

**INFLUENCIA DEL MÉTODO DE SECADO SOBRE LA OBTENCIÓN DE
MORTIÑO (*Vaccinium Floribundum Kunth*) DESHIDRATADO Y EN POLVO**

LUZ MARISOL CUATIN (1322979)

JENNY MARCELA ESCOBAR HERRERA (1126788)

UNIVERSIDAD DEL VALLE

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA DE INGENIERÍA DE ALIMENTOS

CALI – COLOMBIA

2019

**INFLUENCIA DEL TIPO DE SECADO SOBRE LA OBTENCIÓN DE MORTIÑO
(*Vaccinium Floribundum Kunth*) DESHIDRATADO Y EN POLVO**

LUZ MARISOL CUATIN

JENNY MARCELA ESCOBAR HERRERA

**Trabajo de grado presentado como requisito para optar al título de Ingeniera de
Alimentos**

Dirigido por

ALFREDO AYALA APONTE, I.A., PhD.

Profesor Escuela Ingeniería de Alimentos, Universidad del Valle

UNIVERSIDAD DEL VALLE

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA DE INGENIERÍA DE ALIMENTOS

CALI – COLOMBIA

2019

DEDICATORIA

*A Dios y a los Espíritus mayores
por su protección y guía en mi camino;
A mi madre Marina y su esposo Miguel,
por su apoyo incondicional durante mi formación como profesional;
a María José, mi hija, por su tiempo y espera
y Alex mi compañero de vida, por su gran apoyo y amor en todo este tiempo.*

Marisol

*A Dios por la fortaleza, por sus grandes bendiciones, por poner en mi camino esta
profesión y a las personas maravillosas que he conocido durante este proceso. A mis
abuelos Ignacio y Dolores por el apoyo y ser de gran inspiración. A mi madre Adriana por
la motivación, el apoyo y el amor incondicional. A mi familia por ser impulsores de mis
proyectos. A mis amigos por el acompañamiento.*

Jenny

AGRADECIMIENTOS

Al profesor Alfredo Ayala por darnos la oportunidad de trabajar con él, por su apoyo, dedicación y consejos en todo este proceso de aprendizaje.

A José David Cárdenas Nieto por su conocimiento y ser nuestro mentor cuando fue necesario.

A Liseth Marcela Casso por sus conocimientos compartidos en el modelado matemático de cinéticas de secado.

A la escuela de Ingeniería de alimentos y la Universidad del Valle por la formación académica recibida y darnos las herramientas necesarias para ser profesionales integrales.

TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN	1
ABSTRACT	2
1 INTRODUCCIÓN	3
2 PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	5
2.1 Pregunta de investigación	5
3 JUSTIFICACIÓN	6
4 OBJETIVOS	7
4.1 General	7
4.2 Específicos	7
5 MARCO TEORICO	8
5.1 Generalidades del mortino	8
5.2 Secado de los alimentos	10
5.2.1 Secado por ventana de refractancia	11
5.2.2 Secado convectivo	11
5.3 Propiedades físicas en los alimentos	12
5.3.1 Contenido de Humedad	12
5.3.2 Color	12
5.3.3 Molienda	13
5.3.4 Tamizado	13
5.3.5 Solubilidad	13
5.3.6 Capacidad antioxidante	14
5.3.7 Rehidratación	14

6 ANTECEDENTES.	16
7 MATERIALES Y MÉTODOS	18
7.1 Materia prima	18
7.2 Diseño experimental	19
7.3 Procedimiento	20
7.3.1 Pruebas Preliminares	20
7.3.2 Preparación de la muestra	20
7.3.3 Secado por Ventana de Refractancia	20
7.3.4 Secado Convectivo	21
7.4 Determinación de propiedades fisicoquímicas	21
7.4.1 Contenido de Humedad	21
7.4.1.1 Coeficiente de difusión	22
7.4.1.2 Energía de activación	22
7.4.1.3 Modelos matemáticos de cinética de secado	23
7.4.2 Color	24
7.4.3 Rehidratación	25
7.4.4 Reducción de tamaño y granulometría	25
7.4.5 Índice de solubilidad en agua (I.S.A)	26
7.4.6 Determinación de la actividad antioxidante por el método DPPH	26
7.5 Análisis estadístico	27
8 RESULTADOS Y ANÁLISIS	28
8.1 Propiedades fisicoquímicas	28
8.1.1 Curvas de secado	28
8.1.1.1 Coeficiente de difusividad	29
8.1.1.2 Energía de activación	30

8.1.1.3 Modelos matemáticos	31
8.1.2 Rehidratación	34
8.1.3 Color	36
8.1.4 Solubilidad en agua	39
8.1.5 Capacidad antioxidante	40
9 CONCLUSIONES	42
10 RECOMENDACIONES	43
11 BIBLIOGRAFIA	44

LISTA DE TABLAS

Tabla 1 . Caracterización química del fruto de mortiño.....	9
Tabla 2 . Clasificación del mortiño por grado de madurez.	18
Tabla 3 . Diseño experimental de muestras de mortiño secadas por dos métodos y tres temperaturas... ..	19
Tabla 4 . Modelos matemáticos utilizados	23
Tabla 5 . Valores de Def.....	30
Tabla 6 . Valores de energía de activación (E_a) y factor de Arrhenius (D_0)	30
Tabla 7 . Parámetros de los modelos matemáticos empleados para el secado por VR de mortiño... ..	31
Tabla 8 . Parámetros de los modelos matemáticos empleados para el SC de mortiño.....	33

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 . Representación del espacio de color L^*a^*b	13
Figura 2 . Selección del fruto de mortiño.....	18
Figura 3 . Secador VR a escala piloto (a). Muestras de mortiño en el secador VR (b).....	20
Figura 4 . Secador por aire caliente SC (a). Muestras de mortiño en el equipo SC (b).....	21
Figura 5 . Rehidratación de la muestra de mortiño.	25
Figura 6 .Cinetica de secado del mortiño para VR (a) y SC (b).....	28
Figura 7. Curvas de modelamiento de secado por Midilli Kuck para VR (a) y curvas de modelamiento de secado por Logaritmo para SC (b).....	34
Figura 8. Curva de rehidratación de muestra muestras secas de mortiño por VR (a) y SC (b).....	35
Figura 9 . Luminosidad de muestras de mortiño muestra muestras secadas por VR (a) y SC (b). ...	38
Figura 10 . Diferencia total de color ΔE de muestras de mortiño secadas por VR (a) y SC (b).	38
Figura 11 . Solubilidad en agua a 25°C del mortiño en polvo obtenido por VR y SC.	40
Figura 12 . IC50 del barrido del radical libre DPPH de muestras de mortiño en polvo obtenido por VR y SC.	41

LISTADO DE ABREVIATURAS

- Abs: absorbancia
- b.h: Base húmeda
- b.s: Base seca
- CA: Capacidad antioxidante
- Def: Coeficiente de difusión
- Do: Factor de Arrhenius
- DPPH: 2,2-Difeni-1-picrilhidrazilo
- Ea: Energía de activación
- I.S.A: Índice de solubilidad en agua
- RR: Relación de rehidratación
- SC: Secado convectivo
- VR: Ventana de Refractancia
- CH: Contenido de humedad
- Xeq: humedad en equilibrio
- μm : micrómetros
- ΔL : Diferencia de luminosidad
- ΔE : Diferencia de color
- ΔH : Diferencia de tono

RESUMEN

El mortiño es una fruta de interés debido a su alto contenido de antioxidantes, vitaminas, minerales, proteínas y fibra. El objetivo de este trabajo fue evaluar dos tipos de secado Ventana de Refractancia (VR) y secado convectivo (SC) sobre la calidad fisicoquímica de mortiño en muestras sólidas y en polvo (*Vaccinium Floribundum Kunth*). En muestras sólidas partidas a la mitad se evaluaron las cinéticas de secado, el color y la rehidratación y en muestras de polvo la solubilidad y la capacidad antioxidante. Con VR se emplearon temperaturas de 70, 80, 90°C y con SC 50, 60, 70°C. Se calcularon los coeficientes de difusión y la energía de activación y se modelaron las cinéticas por los modelos de Newton, Page, Henderson y Pabis, Midilli Kuck y Logaritmo. Los resultados mostraron que las curvas de secado por VR presentaron mayor tiempo de secado respecto al SC. El coeficiente de difusión en los dos métodos se incrementa con el aumento de la temperatura. El modelo de Midilli Kuck obtuvo mejor ajuste a las cinéticas para el secado de VR y el modelo de Logaritmo para SC. La capacidad de rehidratación y el color no presentaron cambios significativos en los dos métodos de secado. La temperatura de secado influyó sobre la solubilidad y la capacidad antioxidante del mortiño en polvo.

Palabras clave:

Secado Convectivo, Ventana de Refractancia, Color, Solubilidad, Capacidad antioxidante.

ABSTRACT

Mortino is a fruit of interest due to its antioxidant properties, it has an important content of vitamins, minerals, proteins and fiber. The objective of this project is was to evaluate two types of drying processes Refractance window (VR) and convective drying (SC) on the conservation of the physicochemical properties of the mortino powder samples (*Vaccinium Floribundum* Kunth) and the drying temperature (70, 80, 90 ° C) by VR, (50, 60, 70 ° C) by SC on the kinetics of drying, rehydration and color of the mortino cut in half, likewise the solubility and antioxidant capacity of the mortino powder. The diffusion coefficients and the activation energy were calculated and the kinetics were modeled by Newton, Page, Henderson and Pabis, Midilli Kuck and logarithm models. The results showed that curves of drying by VR presented a longer drying time than by SC. The diffusion coefficient in the two methods is higher as the temperature increases. The model of Midilli kuck obtained better adjustment to the kinetics for the drying of VR and the model of Logarithm for that of SC. The rehydration capacity and the color were not significant in the two drying methods. The drying temperature influenced the solubility and antioxidant capacity of the mortino powder.

1. INTRODUCCIÓN

El mortiño es una planta silvestre, endémica y exclusiva de Suramérica, específicamente de Colombia, Ecuador y Perú (Vizuite, Kumar, Vaca, Debut, & Cumbal, 2019). La fruta es una baya, de color púrpura oscuro a negro cuando está madura, con un sabor ácido y tiene numerosas semillas pequeñas; los campesinos utilizan este arbusto para calmar el reumatismo, fiebres y cólicos, sanar la gripe, para tratar dolencias del hígado y los riñones (Coba *et al.*, 2012). Los estudios fitoquímicos han demostrado que el mortiño es rico en vitaminas, antioxidantes, antocianinas, minerales como potasio (K), calcio (Ca), fósforo (P) y magnesio (Mg); proteínas, fibra, y un alto contenido de agua (Cobo, Gutiérrez, Torres, & Torres, 2016). Por su alta capacidad antioxidante es una fruta con un alto potencial de comercialización (V. López, Pilatowsky, Cortés, Rojano, & Navarro, 2016). En Colombia el mortiño se consume como fruto fresco o transformado artesanalmente en licores, mermeladas y postres.

Si bien el consumo de frutas frescas es alto, el incremento de consumo de frutas deshidratadas en la población mundial es cada vez mayor; productos tipo pasabocas o “snacks” son preferidos por ser un alimento natural, bajo en calorías, con aporte en fibra y con variedad en sabores, colores y olores, además las frutas deshidratadas se emplean como materia prima para el desarrollo de otros productos alimentarios (Ormaza, Ortiz, & Ayala, 2016).

Un uso de las frutas deshidratadas es las frutas en polvo que presentan varias aplicaciones, por ejemplo Šarić *et al.*, (2016) usaron arándanos en polvo como ingrediente en la elaboración de galletas libres de gluten junto con polvo de frambuesa y se comprobó que las galletas mejoraron sus características funcionales, nutricionales y sensoriales. Roig (2017), obtuvo polvo a partir de residuo de arándano por el método de secado por aire caliente a 70°C, el cual permitió obtener un producto con 21.3 ± 0.6 °Brix, una actividad de agua de 0.1890 ± 0.006 , y humedad de 0.014 ± 0.006 kg agua /kg s.s y se usó como ingrediente funcional en la formulación de galletas.

La calidad del polvo de frutas es altamente dependiente del método de secado empleado y su capacidad de retener las características propias de la fruta; también depende del método de trituration, esto permitirá disponer de un producto en polvo estable, de calidad y fácil manipulación (Mosquera, 2010). Los productos en polvo a partir de frutas se usan comercialmente para impartir aroma, sabor y color a los alimentos, los cuales tienen altos valores comerciales, por tanto han logrado penetrar los mercados de la industria alimenticia (A. Ceballos, 2008).

Las frutas secas proporcionan una forma concentrada de frutas frescas; son nutricionalmente equivalentes a las frutas frescas en porciones más pequeñas, que varían de

30 a 43 g según la fruta, de acuerdo a las recomendaciones dietéticas actuales en diferentes países. La calidad de la fruta seca se evalúa a través de parámetros como la forma, el color, la textura, el sabor y las características nutricionales, por ello se han desarrollado tecnologías innovadoras de secado para obtener frutas y hortalizas deshidratadas de alta calidad, reduciendo el tiempo de proceso y costos operativos ([Varaschim, Tribuzi, & Borges, 2017](#)).

La literatura reporta gran variedad de diseños de secadores. Entre los métodos de secado están el secado por fluido calefactor, generalmente aire caliente y el calor se suministra por convección; secado por contacto directo con una superficie caliente en la que el calor se suministra por conducción; secado por aplicación de energía proveniente de una fuente radiante suministrada en diversas formas de ondas electromagnéticas, categorizados según la región del espectro electromagnético (radiofrecuencia (RF), infrarrojo (IR), microondas (MW)) y el método de liofilización en el que el equipo consta de una cámara donde se coloca el alimento previamente congelado, se cierra herméticamente y se hace vacío hasta alcanzar valores por debajo de 4 mm Hg, posteriormente se suministra calor latente de sublimación mediante calefactores, siendo este último el más costoso por que el producto obtenido es de excelente calidad, debido a que todo el proceso de secado se realiza a bajas temperaturas ([Sabarez, 2016](#); [Vuarant, 2013](#)).

Una tecnología novedosa es la de secado por Ventana de Refractancia (VR) que utiliza la combinación de los tres modos de transferencia de calor (convección, conducción y radiación) ([Sabarez, 2016](#)). La tecnología de VR utiliza agua caliente a una temperatura de alrededor de 90°C como fuente de energía y una película plástica transparente infrarroja (Mylar™); el producto húmedo se dispone en la superficie de la película, que flota sobre la superficie del agua a medida que el material se seca la “ventana” de infrarrojos se cierra lentamente, lo que permite que pase menos energía IR, ya que queda poca humedad en contacto con la película de plástico ([Franco et al., 2019](#); [Ortiz & Ochoa, 2014](#)).

Otro método de secado es el convectivo con aire caliente (SC), en donde el fluido calefactor suministra calor para la evaporación de agua y para eliminar la humedad evaporada del producto. Es el método más utilizado a nivel industrial; porque es simple y fácil de operar, además de los costos de capital son relativamente bajos, pero la eficiencia energética es pobre.

En el presente trabajo se estudió la obtención de mortino en polvo utilizando la tecnología de VR y SC, teniendo en cuenta el efecto de la temperatura sobre las curvas de secado, el color, la relación de rehidratación en muestras secas y en mortino en polvo, el índice de solubilidad.

y su capacidad antioxidante.

.

2. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

El mortiño (*Vaccinium Floribundum Kunth*) es una especie silvestre propia de los Andes de América del Sur (Cobo *et al.*, 2016). Es una fruta muy conocida debido a su alta actividad antioxidante que se atribuye a la presencia de antocianinas (delfinidina, peonidina, malvidina y cianidina) y otros compuestos fenólicos en altas concentraciones (Vizuete *et al.*, 2016). Exponer el producto a diferentes técnicas de secado permite ver el comportamiento de sus propiedades fisicoquímicas y facilitar el aprovechamiento de la fruta dándole un valor agregado. La deshidratación es una de las técnicas más utilizadas para la conservación de alimentos, sin embargo algunos métodos de secado no solo disminuyen el contenido de humedad, sino que también pueden afectar las características fisicoquímicas del producto (Fernandez, 2012). Es necesario emplear métodos eficientes, que permitan conservar de manera significativa las características como sabor, aroma, color y nutrientes del alimento.

2.1 Pregunta de investigación

¿Cuál método y condiciones de operación en el secado (Ventana de Refractancia y secado convectivo) conserva mejor las propiedades de rehidratación y color en las muestras secas, y la solubilidad y capacidad antioxidante del polvo de mortiño?

3. JUSTIFICACIÓN

El interés por este trabajo surge de la necesidad de ofrecer alternativas de secado con una alta calidad de producto deshidratado, el mortiño como la mayoría de las frutas comunes se producen de manera estacional, por lo tanto pueden no estar disponibles en condiciones frescas durante todo el año (Kiat, Alasalvar, & Shahidi, 2016), es así que las frutas frescas se procesan mediante diversas técnicas para convertirse en frutas secas y prolongar su vida útil. Sin embargo, la principal preocupación es la degeneración de la fruta deshidratada debido a la aplicación del secado, por ello la técnica utilizada debe ser capaz de minimizar el cambio de propiedades físicas de la fruta para aumentar la comercialización del producto seco (Hwa, Lim, Figiel, Wojdyło, & Oziembłowski, 2013).

La tecnología de VR se caracteriza por tiempos de secado cortos (3-6 min) y temperaturas del producto relativamente bajas durante el secado (30–70 ° C) lo que permite una mejor retención del color, las vitaminas y los antioxidantes. Además se caracteriza por mayores eficiencias térmicas y mejores costos económicos (Bernaert, Droogenbroeck, Pamel, & Ruyck, 2019). Estudios como el de Nemzer, Vargas, Xia, Sintara, & Feng (2018), indican que al deshidratar arándanos, arándanos rojos, cerezas y fresas por tres métodos, el método de VR produjo muestras con una retención de capacidad antioxidante, antocianinas y compuestos fenólicos menos eficaces, pero una retención de vitamina B total más alta en comparación con los productos liofilizados; mientras que las frutas secas con aire caliente mostraron una retención de calidad significativamente menor en la mayoría de los índices de calidad medidos en el estudio. Por su parte Baeghbali, Niakousari, & Farahnaky (2016), encontraron que el contenido de antocianinas, color y actividad antioxidante del jugo de granada concentrado, tratado por VR fue similar a las muestras liofilizadas y a las secas por aspersión, además el consumo energético del secado VR fue de aproximadamente un tercio (1/3) y un cuarto (1/4) de los sistemas de secado por aspersión y liofilización respectivamente.

Por otro lado, el SC es el método más utilizado a nivel industrial y comercial de cultivos agrícolas, se usa con frecuencia debido a los costos más bajos de operación, la vida útil de los productos obtenidos es de aproximadamente un año. Sin embargo, se ha encontrado que este método de secado consume gran cantidad de energía y tiempo, además afecta la calidad de los productos finales y el contenido de componentes bioactivos tiende a ser más bajo que el del producto fresco, por ejemplo el contenido total de compuestos fenólicos en las bayas de maqui disminuyó de 81.16mg/g a 41.62mg/g después del secado por convección a 60 °C (Onwude, Hashim, Abdan, & Chen, 2019).

De esta manera, la aplicación de VR y SC en la deshidratación del mortiño permite analizar la calidad de las propiedades fisicoquímicas (color, rehidratación, solubilidad, rehidratación) del producto final por medio de una tecnología emergente y un método tradicional.

4. OBJETIVOS

4.1 General

Evaluar dos tipos de secado sobre la calidad fisicoquímica del mortiño (*Vaccinium Floribundum Kunth*) en trozos y en polvo.

4.2 Específicos

- Establecer el efecto de la temperatura del proceso de secado por VR y SC sobre las cinéticas de secado, la rehidratación y el color en trozos de mortiño.
- Determinar la influencia del tipo de secado (VR y SC) y la temperatura sobre la solubilidad y capacidad antioxidante del mortiño en polvo.

5. MARCO TEORICO

5.1 Generalidades del Mortiño

El mortiño es un fruto silvestre conocido con el nombre científico de *Vaccinium Floribundum Kunth*, perteneciente a la familia *Ericaceae*, crece en los páramos o zonas húmedas de las montañas de Ecuador y Colombia. Es un arbusto pequeño que puede alcanzar hasta 3.5 m de altura; la fruta es una baya esférica de color azul oscuro con un diámetro entre 5 y 8 mm (Coba *et al.*, 2012). Los frutos del género *Vaccinium* tienen una amplia aceptación y demanda por sus propiedades nutraceuticas, contenido de antioxidantes y compuestos fenólicos, estos tienen la propiedad de ser colorantes y antioxidantes potencialmente protectores de la salud (Barragan, 2011).

Vasco, Kaisu, Ruales, & Eldin Kamal, (2009) e Idrovo (2013), mencionan que el fruto se consume fresco con cereales o yogurt, se utiliza en la preparación de platos con carne acompañados de salsa o como relleno para postres y otro tipo de pastelería. En Ecuador se usa como ingrediente para preparación de coladas moradas (Abadiano, 2015). También se consume como fruta fresca, zumo o mermelada, vinos, helados, harinas, frutos deshidratados, bebidas no fermentadas y compotas (Coba *et al.*, 2012; Vizuite *et al.*, 2016).

Respecto a su composición química, el mortiño contiene gran cantidad de polifenoles asistida por el contenido de azúcares, fibra, lípidos, minerales y vitaminas. Sus propiedades aromáticas, antioxidantes y como colorantes alimenticios se los debe a proantocianidinas, antocianinas, flavonoides, taninos y ácido polifenólicos (Dávila, 2015). La Tabla 1. muestra la caracterización química del fruto según Vasco *et al.*, (2009).

Tabla 1. Caracterización química del fruto de mortiño

Los resultados están estimados por cada 100 g de fruta.

Componente	Cantidad
Componentes próximos	
Humedad (g/100 g)	81,00 ± 2,00
Proteínas (g/100 g)	0,70 ± 0,02
Cenizas (g/100 g)	0,40 ± 0,03
Carbohidratos totales (g/100 g)	16,90 ± 0,10
Fibra dietética total (g/100 g)	7,60 ± 2,20
Azúcares solubles	
Fructosa (g/100 g)	4,40 ± 0,40
Glucosa (g/100 g)	2,60 ± 0,30
Ácidos Orgánicos	
Ácido cítrico (mg/100 g)	3142 ± 614
Ácido málico (mg/100 g)	1823 ± 274
Minerales	
Ca (mg/100 g)	17,00 ± 2,30
Cu (mg/100 g)	0,12 ± 0,02
Fe (mg/100 g)	0,64 ± 0,20
K (mg/100 g)	607 ± 73,00
Zn (mg/100 g)	0,13 ± 0,03
Mg (mg/100 g)	10,20 ± 1,10
Componentes antioxidantes	
Contenido fenólico soluble total (mg AG/100 g)	882 ± 38
Ácido ascórbico (mg/100 g) (mg/100 g)	9,00 ± 2,00
Capacidad antioxidante TEAC (mg Trolox/100 g)	1203 ± 94
B-caroteno (µg/100 g)	36 ± 6,00

Fuente: [Vasco et al., \(2009\)](#)

El mortiño es una fruta conocida por su alta capacidad antioxidante debido a la presencia de antocianinas (delfinina, peonidina, malvidina y cianidina) y otros compuestos fenólicos (quercetina, miricetina, ácido gálico, ácidos elágico, hidrocicinámico derivado del ácido hidrocibenzoico y otros) en concentraciones muy altas ([Vizúete et al., 2016](#)). Debido a las características físicas y químicas que posee el mortiño, presenta la ventaja que puede ser refrigerado sin alteración de sus características organolépticas y nutricionales, ni variaciones en peso o volumen, para la elaboración posterior de cualquier producto con valor agregado, esto facilita poder mantener un mercado permanente, aun fuera de las épocas de cosecha. [Rincón, Buitrago, Ligarreto, Torres, & Balaguera \(2012\)](#), mencionan que el mortiño refrigerado a 1°C y en estado de madurez 3 conserva sus características fisicoquímicas aproximadamente por 55 días.

5.2 Secado de alimentos

La deshidratación o secado es la operación más antigua de conservación de los productos perecederos, que consiste en reducir el contenido de agua y con ello, una serie de reacciones típicas de los productos con alta actividad de este líquido (Mejia, 2011). El agua del alimento es eliminada, en mayor o menor grado, y se consigue con ello una mejor conservación microbiológica, además de retardar muchas reacciones indeseables. Con la deshidratación también se logran disminuir los costes de envasado, manejo, almacenado y transporte, ya que se disminuye el peso y el volumen del alimento (Mahecha, 2011).

El secado de alimentos además de afectar el contenido en agua del producto, puede modificar otras propiedades físicas, químicas y biológicas, tales como la actividad enzimática, actividad microbiana, textura, viscosidad, dureza, aroma, gusto y sabor de los alimentos (Batlle *et al.*, 2016).

El secado se utiliza en alimentos frescos tales como frutas, verduras, especias y otros productos con un alto contenido de humedad, y aquellos que son considerados altamente perecederos (Moses, Norton, Alagusundaram, & Tiwari, 2014); al final del proceso de secado el contenido de humedad del producto seco varía según el tipo de material (Geankoplis, 2011). El nivel de agua deseado lo determina el tipo de producto final, por ejemplo, el secado de granos y cereales se realiza hasta obtener alrededor de 12% de agua en el producto, en frutas secas los niveles son más bajos (8-10%), en el caso de nueces y semillas los niveles son de 3-5% (Álzate, Jimenez, & Londoño, 2011).

Pérez, (2011), afirma que en el secado de un sólido se presenta simultáneamente dos fenómenos de transporte: la transferencia de calor desde el aire de secado hasta el sólido húmedo debido al gradiente de temperatura entre ambos y una transferencia de masa ya que el agua contenida en el sólido, es desplazada hacia la superficie del mismo y posteriormente pasa a la fase gaseosa. Estos fenómenos se pueden describir en cuatro pasos:

1. Transferencia del calor desde el aire hasta la superficie del producto; se puede realizar por conducción, convección o radiación.
2. Transferencia de calor desde la interfase aire-sólido hacia el interior del sólido. Se logra por conducción.
3. Es la transferencia de masa, agua líquida, a través del sólido y hasta la interfase sólido-aire.
4. Transferencia de vapor desde la interfase sólido-aire hacia el seno del aire.

5.2.1 Secado por ventana de refractancia

La tecnología de VR fue patentada como una nueva técnica de secado en 1986 por MCD Technologies, Inc. y se caracteriza por ser un método novedoso rápido y de bajo costo en la deshidratación de alimentos (Tirado, Correa, & Castillo, 2016). El método de secado por VR utiliza la energía infrarroja del agua para secar frutas y vegetales sensibles al calor de forma eficiente y con alta retención de calidad (Ocoro & Ayala, 2012).

De acuerdo a la teoría de este tipo de secado están presentes todas las formas de transferencia de calor desde el agua caliente. El uso de una membrana transparente a la radiación infrarroja que en contacto con el agua crea una ventana de transmisión hacia un material húmedo dispuesto sobre la membrana, por lo cual, el material experimenta un secado más rápido a una temperatura relativamente baja en comparación con otros métodos (Ortiz, 2014).

Con esta tecnología los alimentos pueden ser deshidratados sólidos, líquidos o en forma de puré en periodos cortos de tiempo obteniéndose productos con retención del color, sabor y aroma natural del alimento, vitamina C y compuestos activos, además de generar productos microbiológicamente estables (Morales & Vélez, 2013).

5.2.2 Secado convectivo

El secado convectivo es uno de los procesos de deshidratación más utilizados para conservar frutas y actualmente se utiliza combinado con pretratamientos como la deshidratación osmótica (osmosis), el escaldado y la impregnación a vacío, a fin de aumentar la calidad del producto deshidratado y reducir el tiempo de secado (Muñiz, Hernández, García, & Méndez, 2013).

En el secado convectivo el calor se transfiere al sólido que se está secando mediante una corriente de aire caliente que transmite el calor necesario para la evaporación del agua y además es el agente transportador de vapor de agua que se elimina al sólido (Espinoza, 2011). La deshidratación en secadores de túneles es uno de los procesos más usados a nivel comercial para la conservación de productos alimenticios, principalmente los agropecuarios (Ceballos & Jimenez, 2012). La corriente de aire caliente que se introduce por un extremo del túnel y circula a una determinada velocidad a través de las bandejas con producto (Sing & Heldman, 2009), conduce el calor al alimento y retira el agua que el alimento libera.

Los secadores de túnel se clasifican de acuerdo a los mecanismos de movimiento de los alimentos y la dirección de la corriente de aire, las cuales pueden ser paralelas o en contracorriente al alimento (Ceballos & Jimenez, 2012). El tipo de sistema elegido en cada caso, depende de las características del producto y de su sensibilidad a la temperatura (Sing & Heldman, 2009).

5.3 Propiedades físicas en los alimentos

5.3.1 Contenido de humedad

El agua es el componente más abundante en los alimentos y la determinación del contenido de humedad es uno de los métodos más importantes y usados en el proceso y control de los alimentos ya que indica la cantidad de agua involucrada en la composición de los mismos; los tejidos animales y vegetales contienen agua en diferentes proporciones, distribuida de una manera compleja y heterogénea (Bolaños, Lutz, & Herrera, 2003). En general, el contenido de humedad de un alimento se refiere a toda el agua global, pero existe de dos formas generales, como agua libre y agua ligada. El agua libre es la forma predominante, es aquella que se volatiliza fácilmente, se congela primero, se pierde en el calentamiento y es la disponible para el crecimiento microbiano; el agua ligada es aquella porción que no congela en condiciones normales ya que está unida a la superficie sólida y su determinación requiere tecnologías como la resonancia magnética nuclear (Badui, 2006).

5.3.2 Color

El color es una propiedad de la materia relacionada con el espectro de luz, la medida de color se puede hacer físicamente debido a su energía radiante o intensidad, como también por su longitud de onda (Badui, 2006). En la evaluación comercial de los alimentos, el color es un parámetro muy importante, ya que define su calidad, hasta el punto que puede ser rechazado o aceptado si la impresión visual que produce no coincide con el estándar aceptado como bueno. Por lo tanto, el control de color de los alimentos se considera más importante cada día (Vallejo, 2010).

Durante el proceso de secado, el color de los alimentos cambia debido a la evaporación de agua y reacciones enzimáticas y no enzimáticas, por lo que la medición de color es un parámetro importante que se utiliza como índice de calidad (Rojas & Duran, 2011). Uno de los métodos instrumentales para la medición de color más completo es el espacio de color $L^*a^*b^*$ (también llamado CIELAB) que se usa para describir los colores que puede percibir el ojo humano (Vasquez, 2015). La coordenada L^* corresponde a la luminosidad comprendida entre valores de 0 y 100, ($L=0$ significa negro, $L=100$ significa blanco) a^* y b^* son las coordenadas de cromaticidad, $+a^*$ corresponde al color rojo, $-a^*$ corresponde al color verde, $+b^*$ es el amarillo y $-b^*$ el indica el color azul (Minolta Konica, 2007).

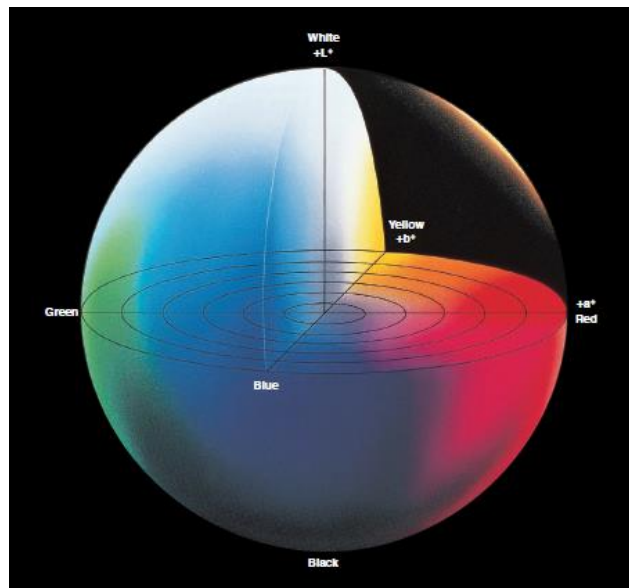


Figura 1. Representación del espacio de color $L^*a^*b^*$. (Minolta)

5.3.3 Molienda

La molienda es una operación unitaria, en la que los materiales de alimentación se pulverizan, reduciéndose a un menor tamaño por medio de una acción mecánica, logrando la fractura de los materiales. El primer paso de la molienda consiste en que las partículas de alimentación se deformen y desarrollen tensiones por acción de la maquinaria de reducción de tamaño. A medida que se aplica más fuerza a las partículas, la energía de tensión excede un nivel y el material se fractura (Suárez Moreno, 2003).

En el caso de los sólidos la reducción de tamaño se hace mediante diversos métodos. La compresión o trituración se usa para reducir sólidos duros a tamaños más o menos grandes. El Impacto produce tamaños gruesos, medianos o finos, el desgaste o frotamiento produce materiales muy finos, el corte se usa para obtener tamaños prefijados (Geankoplis, 2011).

5.3.4 Tamizado

En esta operación una mezcla de partículas sólidas de diferentes tamaños se separa en dos o más fracciones pasándolas por un tamiz; cada fracción es más uniforme en tamaño que la mezcla original (Quintero & Zambrano, 2011). El producto se hace pasar sobre una superficie provista de orificios de tamaño deseado llamado “apertura o luz de malla”. El equipo puede estar formado por barras fijas o en movimiento, por placas metálicas perforadas o por tejidos de hilos metálicos (García Castelló, 2006).

5.3.5 Solubilidad

La solubilidad se define como la velocidad y grado en que los componentes de las partículas de polvo se disuelven en el agua, se expresa como porcentaje de solubilidad y hace referencia a la cantidad de polvo que se deposita en el sobrenadante (Serna, Torres, &

Ayala, 2015). Cuando se quiere evaluar la aplicación del polvo en otros productos alimenticios, una propiedad importante que se usa es la solubilidad (Caparino, Tang, Nindo, Sablani, Powers & Fellman, 2012), y esta depende del tamaño de partícula, la composición fisicoquímica y el contenido en fibra soluble (Roig, 2017). La solubilidad de los sólidos en líquidos se puede ver afectada por factores como las fuerzas intermoleculares entre el soluto y el solvente, y la temperatura (Ceballos Peñalosa, 2008).

5.3.6 Capacidad antioxidante

Los antioxidantes son componentes de determinados alimentos que actúan como protectores del organismo de la acción de los radicales libres, causantes de los procesos de envejecimiento y de algunas enfermedades (Zavala, Rivero, García García, & Castillejos, 2007). Otros autores mencionan que un antioxidante es cualquier sustancia que retarda, previene o elimina el daño oxidativo hacia una molécula o la capacidad que tienen determinados compuestos para neutralizar los radicales libres (Zapata *et al.*, 2014).

Gran variedad de alimentos con fitonutrientes como la vitamina C y E, los carotenoides, flavonoides (incluyendo flavonas, isoflavonas, flavononas, antocianinas y catequinas) son fuertes antioxidantes y contribuyen considerablemente a la capacidad antioxidante total (Zavala *et al.*, 2007).

Existen varios estudios del efecto de las tecnologías de secado (secado al vacío, liofilización, secado de aire caliente) sobre la capacidad antioxidantes de las frutas, obteniendo resultados que muestran que el aumento en la temperatura de secado disminuye las propiedades nutraceuticas. Sin embargo, autores como Kamiloglu y Capanoglu informan sobre los altos potenciales antioxidantes de las frutas secas (López *et al.*, 2016).

5.3.7 Rehidratación

Actualmente la mayoría de productos deshidratados son rehidratados para su uso como materia prima o para su consumo directo (García, Romero, & Bermúdez, 2016). Con la rehidratación se espera obtener productos que al ser reconstituidos alcancen lo más posible sus características iniciales en el menor tiempo; las condiciones de secado, la preparación de la muestra, su composición y el grado de ruptura estructural y química influyen durante el proceso de rehidratación (Melquíades, López, & Rosas, 2009).

La capacidad de rehidratación de un alimento se puede considerar como una medida del daño estructural o celular ocurrido durante el secado. En algunos casos la velocidad de rehidratación sirve como medida de la calidad del producto deshidratado (Arteaga, Espinoza, Aguilar, & Cruz, 2015), por lo que los alimentos deshidratados en condiciones óptimas, son los que se deterioran menos y se rehidratan de forma normal (Marín, Lemus, Flores, & Vega, 2006).

Durante el proceso de rehidratación se dan tres procesos simultáneos: a) la absorción de agua al interior del material deshidratado, b) la pérdida de solutos al medio y c) el

hinchamiento del material, donde el cambio de volumen del producto deshidratado es proporcional a la cantidad de agua absorbida, lo que genera un aumento o recuperación de su tamaño y volumen inicial ([García *et al.*, 2016](#)).

6. ANTECEDENTES

Se presentan algunos estudios comparativos de la técnica de VR y SC sobre la deshidratación de mortino como de otros alimentos, y su comportamiento respecto a cambios en sus propiedades fisicoquímicas.

[Abul-Fadl & Ghanem \(2011\)](#), Determinaron el efecto del método de secado por VR en las características de calidad fisicoquímicas como solubilidad (%) y rehidratación del polvo de tomate y se comparó con el método de SC. En el secado por VR a 90, 75 y 60°C durante 40, 60 y 75 min, llegó a un contenido de humedad de (10-13%), un porcentaje de solubilidad entre (63.16-65.94%), la relación de rehidratación (RR) varió de 3.14-3.24 (Kg agua/Kg s.s.). El método de SC se efectuó a 60°C y requirió 16h para llegar a 11.37% de contenido de humedad, (54.66%) de solubilidad y una RR de 2.95 (Kg agua/Kg s.s.), por el método de VR la calidad de las características fisicoquímicas del polvo de tomate es mejor que por el método de SC.

[Pavan, Schmidt, & Feng \(2012\)](#), mediante los métodos de secado VR y SC evaluaron el contenido de humedad y la actividad de agua de muestras secas de jugo de açaí; por VR para llegar a la humedad deseada fue necesario 1min:15s y 1min:29s a 94°C. En el SC las muestras se colocaron en bandejas con un espesor de muestra de 1-2cm a 65°C durante aproximadamente 20h. Las muestras secas por VR y SC se molieron en un molino de café hasta obtener un tamaño de partícula entre 425 y 600 μm . El contenido de humedad y la actividad de agua en el polvo de açaí producido por los métodos de secado fueron bajos, el contenido de humedad 2.19% por VR y 1.36% por SC, en cuanto a la actividad de agua 0.240 por VR y 0.119 por SC.

[Celli, Khattab, Ghanem, & Brooks \(2015\)](#), determinaron la retención de antocianinas y las propiedades fisicoquímicas del polvo de haskapberry (*Lonicera caerulea*) obtenido por el método de VR. Se utilizó un secador VR a escala industrial, la temperatura del agua de calentamiento se fijó en 95°C, con un espesor de puré de 0,2mm aproximadamente y por 9.5 min, fue molido hasta un tamaño de partícula <1.2mm. El polvo de Haskapberry obtuvo una alta retención de antocianinas, la solubilidad del polvo del fruto fue de aproximadamente 75.63% en agua.

[Tirado et al., \(2016\)](#), compararon la cinética del secado de rebanadas de fruto del árbol del pan (*Artocarpus communis*) mediante la técnica de VR con la de secado por bandeja. El secado por VR se realizó a 92°C, el secado por bandeja a 62°C y una velocidad de aire de 0.52m/s usando muestras en rodajas con un espesor de 1 y 2 mm para los dos métodos. Las

rodajas de 1mm secadas por VR presentaron el contenido humedad por debajo de 0,3 Kg de agua/Kg de sólido seco en solo 12 min, un contenido de humedad bajo ante los demás tratamientos; se obtuvieron mayores resultados para la difusividad efectiva de agua durante el secado por VR con coeficientes de difusividad de $6,13$ y $3,90 \times 10^{-9} \text{ m}^2/\text{s}$ respectivamente, se evidenció que entre menor sea el espesor de la muestra, mayor es la eficiencia del método.

Vargas (2012), secó mortiño a 45 y 60°C empleando el método de SC para obtener el producto en polvo para ser utilizado en la elaboración de chocolate blanco y con leche. El autor reportó alta calidad del producto con la adición del mortiño en polvo.

Arias (2013), evaluó las propiedades fisicoquímicas (°Brix, humedad, antocianinas, polifenoles solubles, vitamina C) de mortiño mediante un secador de bandejas con temperaturas de 40 y 50°C y flujo de aire de $0,24 \text{ m}^3/\text{s}$ y $40 \text{ m}^3/\text{s}$; mediante curvas de secado se determinaron los tiempos de secado a las diferentes condiciones establecidas en los que el producto alcanzó 5% de humedad en 30 horas para 40°C y 24 h para 50°C. El proceso de deshidratación de mortiño es extenso debido a que la difusión del vapor de agua se dificulta por la naturaleza de la corteza del fruto.

Dávila (2015), realizó un estudio para la obtención de polvo de mortiño, utilizando como método de secado una deshidratadora eléctrica marca “Sweda”; empleó una temperatura de secado de 55°C y un tiempo entre 16-18 h, el polvo se obtuvo utilizando un molino tipo casero. En este trabajo no evaluaron propiedades fisicoquímicas.

7. MATERIALES Y METODOS

7.1 Materia prima

Se emplearon frutos de mortiño (*Vaccinium Floribundum Kunth*) con un estado de madurez 5 según la Tabla 2 (Dalgo, Arteaga, Cuvi, & Guerrero, 2014), el contenido de humedad inicial fue de 83.97% (b.h) y un diámetro entre 0.6-0.8 cm. Las muestras se obtuvieron en el mercado de frutas del municipio de Cumbal departamento de Nariño. La fruta se cortó a la mitad para el proceso de secado.

Tabla 2. Clasificación del mortiño por grado de madurez.

Estado de madurez	Característica	
1	Color verde 100%	
2	Color 50% verde -50% rosado	
3	Color rosado 100%	
4	Color 50% negro-rosado-50%	
5	Color negro 100%	



Figura 2. Selección del fruto de mortiño

7.2 Diseño experimental

Se aplicó un diseño anidado factorial completamente aleatorizado, este diseño se realiza cuando en un experimento los niveles del factor B son similares, pero no idénticos a los diferentes niveles del factor A (Tabla 3). Es decir, los niveles del factor B están anidados bajo los niveles del factor A (Montgomery, 2004). Se estudió el efecto del método de secado y la temperatura del medio de calentamiento sobre las variables de respuesta, realizando el experimento por triplicado. La unidad experimental fueron los mortíños en mitad.

Tabla 3. Diseño experimental de muestras de mortíño secadas por dos métodos y tres temperaturas

Factores	Niveles		Variables de respuesta	
Método de secado	SC		Fruto Deshidratado	Fruto en Polvo
	VR			
Temperatura (°C)	VR	70	Contenido de humedad Color (ΔE, ΔL, H°) Rehidratación	Solubilidad Capacidad antioxidante
		80		
		90		
	SC	50		
		60		
		70		

La ecuación (1) presenta el modelo estadístico lineal para el diseño anidado en dos etapas:

$$y_{ij} = \mu + \alpha_i + \beta_j(i) + e_{(ij)} \quad (1)$$

Donde:

i : Método (1,2)

j : Temperatura (1, 2, 3)

μ : Media general

α_i : Efecto debido al método de secado

$\beta_j(i)$: Efecto debido a la temperatura anidada al método de secado

$e_{(ij)}$: Error aleatorio

7.3 Procedimientos

7.3.1 Pruebas preliminares

Se realizaron pruebas preliminares para determinar el tiempo de secado hasta un contenido de humedad entre el 8 y 10% (b.h). Se utilizaron frutos enteros y en mitades, logrando establecer que el tiempo de secado es menor con el fruto cortado y la cascara expuesta sobre la superficie de calentamiento.

7.3.2 Preparación de la muestra

Las muestras fueron seleccionadas por el tamaño, color y apariencia del fruto, se lavaron y se cortaron por la mitad para realizar el proceso de secado.

7.3.3 Secado por ventana de refractancia

Se utilizó un equipo a escala de laboratorio que consta de un baño termostático de agua (General Purpose Walter Baths USA) y una membrana Mylar (polietileno de tereftalato metalizado) como película refractante puesta sobre la superficie del baño maría. En la superficie de la membrana se colocaron las muestras con temperaturas del agua de 70, 80 y 90 °C determinadas a partir de la revisión de anteriores estudios por este método de secado aplicado en frutas (Cárdenas & Jimenez, 2013; Polania, Casso, & Ayala, 2016). Se empleó termopares tipo K para el control de la temperatura que se acoplaron a un sistema de adquisición de datos (SPER SCIENTIFIC, 800024, USA).

Para las cinéticas de secado se tomaron muestras cada 20 min, hasta obtener el contenido de humedad deseado en cada temperatura (540, 500 y 400 min a 70°, 80° y 90°C respectivamente). Se colocaron en cajas de aluminio previamente marcadas y pesadas dejando reposar en el desecador por 5 min, se registró el peso en una balanza analítica y se llevó a estufa a 70°C por 24 h de acuerdo al método AOAC 20.013. Las cinéticas de secado se obtuvieron a partir de la gráfica de contenido de humedad (b.s.) (Kg de agua/Kg materia seco) vs tiempo de proceso (min) (Ochoa, Ayala, Quintero, & Ortiz, 2012).



(a)



(b)

Figura 3. Secador VR a escala piloto (a). Muestras de mortño en el secador VR (b)

7.3.4 Secado Convectivo

Se utilizó un secador de aire caliente (Armfield, modelo UOP8-8, USA) el cual tiene un controlador de temperatura y de velocidad de aire. En las bandejas (acondicionadas con malla metálica de aluminio para mejorar la transferencia de calor) se ubicaron muestras de mortiño en mitades con la pulpa expuesta hacia arriba. El tratamiento se efectuó para tres niveles de temperatura (50, 60 y 70°C) a una velocidad constante de 1 ± 0.01 m/s que se controló con un anemómetro (Airflow Instruments LCA30, USA) con un rango de 0.25 a 30 m/s y una precisión de ± 0.02 m/s. Las temperaturas de bulbo seco y húmedo del aire (ambiental y de operación) se midieron con termómetros de mercurio. La pérdida de peso se evaluó cada 20 min, empleando una balanza (Ohaus® Adventurer™, USA); se obtuvieron las cinéticas de SC graficando el contenido de humedad (b.s) vs tiempo de proceso.



Figura 4. Secador por aire caliente SC (a). Muestras de mortiño en el equipo SC (b)

7.4 Determinación de propiedades fisicoquímicas

7.4.1 Contenido de Humedad

Se determinó mediante el método de estufa a 70°C por 24 h. Cada determinación se realizó por triplicado. Se empleó una estufa (Heratherm OGS60, USA) y una balanza analítica con una precisión de 0.0001 (Mettler-Toledo, AE100, Suiza). La humedad en base seca se calculó con la ecuación (2):

$$CH_{bs} = \frac{(m_0 * x_0) - (m_t * x_t)}{m_0 - (m_0 * x_0)} \quad (2)$$

CH_{bs} : Contenido de humedad en base seca (kg agua/ Kg s.s)

m_0 : Peso inicial de la muestra (Kg)

x_0 : Fracción de agua inicial

m_t : Peso de la muestra en un tiempo t (Kg)

x_t : Fracción de agua en un tiempo t

7.4.1.1 Coeficiente de Difusividad

Para el cálculo del coeficiente de difusión D_{ef} se utilizó la solución analítica de la segunda ley de Fick para tiempos largos y considerando la muestra con una geometría plana, la cual es adecuada para fenómenos difusivos durante la transferencia de masa en el alimento durante el secado hasta alcanzar el equilibrio (Díaz, Echegaray, Castro, & Di Scala, 2013). La razón de humedad (MR) se expresa mediante la ecuación (3a); que se utilizó para el cálculo de D_{ef} para el SC tomando como base que la X_{eq} del mortiño es de 0.05 Kg agua/Kg s.s a partir del estudio de (Arias, 2013); sin embargo, cuando el contenido de humedad en equilibrio es relativamente pequeño, la MR se simplifica a la ecuación (3b). Como en VR no se controla la humedad relativa del aire que está en contacto con el material, la humedad de equilibrio se despreció.

$$MR = \frac{X_t - X_{eq}}{X_0 - X_{eq}} \quad (3a)$$

$$MR = \frac{X_t}{X_0} \quad (3b)$$

$$MR = \frac{8}{\pi^2} \sum_{i=0}^{\infty} \frac{1}{(2i+1)^2} \exp\left(-\frac{D_{ef} (2i+1)^2 \pi^2 t}{4L^2}\right) \quad MR = \frac{8}{\pi^2} \exp\left(-\frac{D_{ef} \pi^2 t}{4L^2}\right) \quad (4)$$

MR: Contenido de humedad adimensional

X_t : Contenido de humedad en el tiempo (Kg agua/Kg s.s.)

X_0 : Contenido de humedad inicial (Kg agua/Kg s.s.)

X_{eq} : Contenido de humedad en equilibrio (Kg agua/Kg s.s.)

D_{ef} : Coeficiente de difusión del agua (m^2/s)

t : Tiempo de secado (s)

L : Espesor de la muestra (m).

Se utilizó el primer término de la serie para el cálculo del coeficiente de difusión. La mitad del mortiño se asumió como una placa plana infinita, además se consideró que la transferencia de masa es en una dimensión y el encogimiento del fruto despreciable.

7.4.1.2 Energía de activación

El cálculo de la energía de activación (E_a), se realizó por medio de la ecuación de Arrhenius, ecuación (5) para cada una de las temperaturas de secado.

$$D_{ef} = D_o \exp\left(-\frac{E_a}{RT}\right) \quad (5)$$

D_{ef} : Coeficiente de difusión (m^2/s)

R : Constante de los gases ideales ($8.314 J/molK$)

D_o : Factor de Arrhenius (m^2/s)

T : Temperatura (K)

E_a : Energía de activación (KJ/mol)

7.4.1.3 Modelos matemáticos de cinética de secado

Utilizando el programa Matlab R2017a, se ajustaron los datos obtenidos a 5 modelos matemáticos: Newton, Page, Henderson-Pabis, Midilli Kuck y Logaritmo. La Tabla 4, muestra las ecuaciones correspondientes a cada modelo matemático:

Tabla 4. Modelos matemáticos utilizados

Nombre	Modelo	Ec.
Newton	$MR = \exp(-kt)$	(6)
Page	$MR = \exp(-kt^n)$	(7)
Henderson y Pabis	$MR = a \cdot \exp(-kt^n)$	(8)
Midilli Kuck	$MR = a \cdot \exp(-kt^n) + bt$	(9)
Logaritmo	$MR = a \cdot \exp(-kt) + c$	(10)

En estos modelos la variable dependiente es MR, la cual representa la relación de humedad expresada anteriormente en el numeral 7.4.1.

Dónde: M es la humedad del producto en un tiempo determinado, M_o la humedad en tiempo inicial, t es el tiempo de secado y k, n, a y b son parámetros de los modelos.

Para determinar el mejor ajuste de los modelos matemáticos con los datos experimentales, se empleó el coeficiente de correlación (R^2), el porcentaje de error medio relativo MRE (E%), raíz cuadrada de los errores al cuadrado (RMSE) y el chi-cuadrado (χ^2) expresados mediante las ecuaciones (11, 12, 13, y 14) respectivamente:

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^N (MR_{cal} - MR_{exp})^2}{\sum_{i=1}^N (MR_{cal} - MR_{exp})^2} \quad (11)$$

$$(\%)E = \frac{n}{100} \sum_{i=1}^n \frac{|X_{exp} - X_{cal}|}{X_{exp}} \quad (12)$$

$$RMSE = \left[\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (MR_{cal} - MR_{exp})^2 \right]^{\frac{1}{2}} \quad (13)$$

$$X^2 = \frac{\sum_{i=1}^N (MR_{cal} - MR_{exp})}{N - n} \quad (14)$$

Donde:

MR_{cal} : Valores calculados mediante el modelo

MR_{exp} : Valores experimentales

N : Número de observaciones

n : Número de constantes en el modelo

7.4.2 Color

Se obtuvieron los parámetros de color L^* , a^* y b^* con un espectrocolorímetro (HunterLab Colorflex, USA), utilizando como referencia el iluminante D65 y el observador 10°. Las mediciones de color se realizaron por duplicado, para cada tiempo se tomaron cuatro muestras realizando una lectura para cada una, esto se efectuó cada 20 min hasta completar el tiempo de secado. Se determinó la diferencia de luminosidad (L), la diferencia de color (ΔE) mediante las ecuaciones (15 y 16) respectivamente:

$$\Delta L = \frac{L_t^* - L_0^*}{L_0^*} \quad (15)$$

$$\Delta E = \sqrt{(L_0^* - L_t^*)^2 + (b_0^* - b_t^*)^2 + (a_0^* - a_t^*)^2} \quad (16)$$

ΔL : Diferencia de luminosidad

ΔE : Diferencia de color

0: Valor inicial de la coordenada
t: Valor de la coordenada en el tiempo t

7.4.3 Rehidratación

Las muestras de mortíño deshidratadas con 10 % de humedad (b.h) aproximadamente, se pesaron y se llevaron a recipientes con agua destilada a 25 °C con una relación de 1:40 (peso muestra: peso agua); el uso de una malla metálica permitió que las muestras permanecieran sumergidas en el agua (Figura 5). A distintos tiempos de rehidratación (cada 30 s hasta 5 min, y después a los 7, 10, 15, 30 y 60 min) se retiraron muestras del recipiente y se le retiró el exceso de agua con papel absorbente antes de pesarlas, el contenido de humedad de las muestras se determinó de acuerdo a la metodología descrita en el numeral 7.4.1. Las curvas de humedad se efectuaron hasta alcanzar la humedad de equilibrio, punto donde se alcanza peso constante. Se graficó la relación de rehidratación (RR) vs tiempo. El cálculo de RR se hizo mediante la ecuación (18):

$$RR = \frac{Mrh}{Ms} \quad (17)$$

Mrh: peso de muestra rehidratada (g)
Ms: peso del producto seco (g)



Figura 5. Rehidratación de la muestra de mortíño.

7.4.4 Reducción de tamaño y granulometría

Para obtener el mortíño en polvo, la muestra deshidratada (con 10% de humedad aproximadamente, por los dos métodos de secado) se trituró en un molino de granos tradicional y el tamaño de partícula se midió utilizando una criba de laboratorio Ro-Tap, obteniendo mayor retención en el tamiz # 35 equivalente a 500 µm.

7.4.5 Índice de solubilidad en agua (I.S.A)

El índice de solubilidad en agua se realizó siguiendo el método de Anderson, (1969). Se agregaron 1.25 g de muestra en tubos de centrifuga previamente pesados, adicionando 30 ml de agua destilada. La muestra se llevó a calentamiento con agitación constante en un baño maría (Lab. Companion BW-20H, USA), a 60°C por 30 min; se dejó en reposo a 28°C y se centrifugó (BIOBLOCK SCIENTIFIC Sigma 2-15, USA) por 30 min a 4900 rpm. El sobrenadante se decantó y se registró el volumen separando 10 ml en una caja Petri previamente pesada, se secó en estufa a 70°C por 24 h para determinar el peso seco de los solubles. El ISA se calculó a partir de la ecuación (19):

$$(ISA) = \frac{\text{Peso solubles (g)} * V * 10}{\text{Peso muestra (g)}bs} \quad (18)$$

7.4.6 Determinación de la actividad antioxidante por el método DPPH

El fundamento del método desarrollado por Brand-Williams (1995); DPPH (2,2-Difeni-1-picrilhidrazilo), consiste en que este radical tiene un electrón desapareado y es de color azul-violeta, decolorándose hacia amarillo pálido por la reacción de la presencia de una sustancia antioxidante. Se preparó una solución de 2 ml de 0.15mmol/L DPPH en 1 ml etanol, con una agitación de 30s y se almacenó en oscuridad durante 20 min; se pesaron 4 muestras secas considerando un rango de 5 - 35 mg y para la muestra fresca se consideró un rango de 0.5 – 2 ml y se disolvieron en 5ml de metanol/agua (8:2 V/V) cada una, las muestras fueron preparadas por duplicado. Para la medición de absorbancia a 517nm se utilizó un espectrofotómetro (Mapada Instruments UV-3200PCS) y se empleó metanol al 80% (V/V) para calibrar el equipo; a 1 ml de cada muestra se le agregó 2ml de la solución de DPPH expuestas bajo luz tenue y se llevó a la medición de absorbancia.

Los valores de la absorbancia fueron utilizados para determinar el % de captación de radicales libres (DPPH) mediante la ecuación (20).

$$\%(CA) = \left\{ 1 - \left(\frac{Abs_{515 \text{ muestra}}}{Abs_{515 \text{ DPPH solución}}} \right) \right\} * 100 \quad (19)$$

Donde Abs_{muestra} es la absorbancia de la mezcla de reacción y $Abs_{\text{solución}}$ es la absorbancia de la solución de DPPH. A partir del valor de CA se determinó el IC_{50} , que se define como la concentración del sustrato que produce aproximadamente 50% de pérdida del radical DPPH, el valor más bajo de IC_{50} indica la mayor efectividad general del antioxidante (López et al., 2010).

7.5 Análisis estadístico

Se empleó el paquete estadístico Minitab 17. El análisis estadístico de los valores experimentales se realizarán para cada diseño experimental, analizando la influencia significativa de los factores sobre las variables de respuesta mediante el análisis de la varianza (ANOVA) con un nivel de confianza del 95% (Barbosa, Vega, & Ribas, 2000).

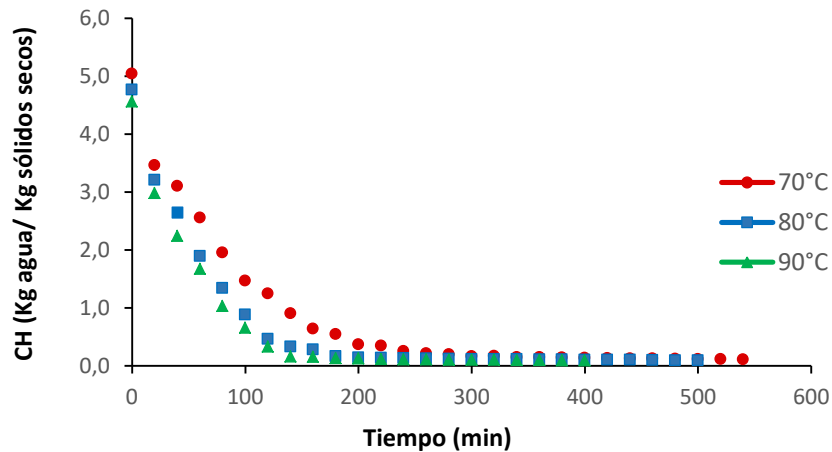
8. RESULTADOS Y ANALISIS

8.1 Propiedades Fisicoquímicas

8.1.1 Curvas de secado

El CH promedio inicial de las muestras de mortiño *Vaccinium Floribundum Kunth* fue de 4.89 ± 0.21 (Kg agua/Kg s.s). En la figura 6 (a) y (b) se observa que conforme se incrementa la temperatura en ambos procesos mayor es la velocidad de secado debido que, al aumentar la temperatura, la velocidad de transferencia de calor a las partículas es mayor acelerando la evaporación de la humedad y la eliminación del agua del producto es más rápida (Mishra, Mishra, & Mahanta, 2014).

(a)



(b)

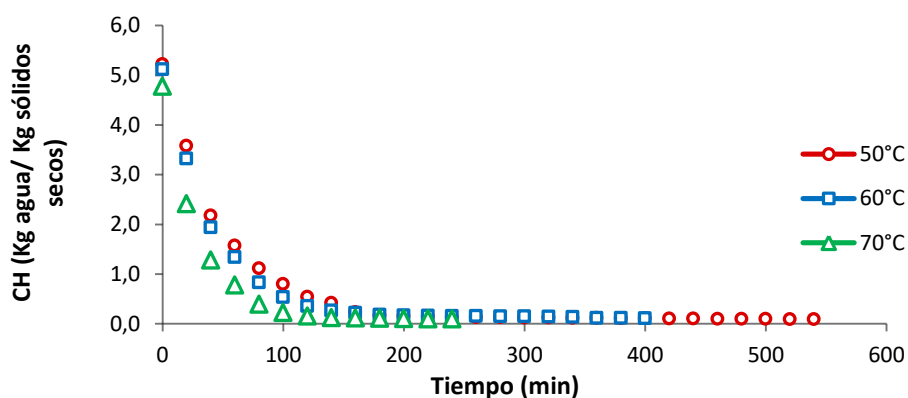


Figura 6. Cinética de secado del mortiño para VR (a) y SC (b)

Las curvas de secado por VR presentaron mayor tiempo de proceso (540 min a 70°C, 500 a 80°C y 400 a 90°C) comparado con las de SC (540 min a 50°C, 400 a 60°C y 240 a 70°C). Este comportamiento en VR puede ser atribuido a la forma semiesférica de la muestra de mortiño, ya que el contacto con la lámina de plástico no sería en toda la superficie de la fruta, ocasionando que la energía térmica que se transfiere del sistema al alimento no sea uniforme en toda la muestra, sino que se transfiere desde el centro de la muestra que está en contacto con la lámina hacia la superficie externa. Esto hace que la transferencia de calor sea menor, generando una remoción de humedad más lenta respecto al SC.

Estudios realizados por [Macas \(2018\)](#), al deshidratar mortiño para la obtención de un colorante natural, utilizando tres tipos de secado (secado por bandejas, liofilización y atomización) reportó que el proceso de secado por bandejas fue de 600 min a 55°C para eliminar el 79.71% de la humedad del fruto, 660 min a 50 °C por liofilización con una pérdida de humedad del 76.33% y 180 min a 110 °C usando el método de atomización con un porcentaje de humedad eliminada del 97.9%. [\(Arias, 2013\)](#), utilizó el secado en bandejas para deshidratar mortiño a 40 y 50 °C y un flujo de aire de 0.24 m³/s reportando que el tiempo de secado fue de 1800 min y 1320 min respectivamente, para obtener un producto con 5% de humedad aproximadamente.

Los tiempos largos de secado también se le atribuyen a la cutícula del fruto recubierta con una capa cerosa, que ponen resistencia al secado. La cutícula es un éster de ácidos grasos de cadena larga, ligada con ceras o lípidos cuticulares solubles, ceras intracuticulares y ceras epicuticulares, además la conforman componentes no lipídicos tales como polisacáridos (celulosa y pectina principalmente), polipéptidos y compuestos fenólicos. La mayoría de los grupos carboxílicos que se encuentran en la membrana, están esterificados con grupos hidroxilos alifáticos de otros ácidos grasos, esto hace que la cutícula vegetal pueda ser considerada como un complejo poliéster con ceras asociadas, de naturaleza hidrofóbica y reactividad limitada [\(Vuarant, 2013\)](#).

8.1.1.1 Coeficiente de difusividad

La Tabla 5 presenta los valores del D_{ef} para las muestras de mortiño secadas por VR y SC. En los dos métodos de secado, se observa que a medida que aumenta la temperatura se incrementa significativamente ($p < 0.05$) el valor de D_{ef} . Según [Agudelo & Franco \(2009\)](#), se ha demostrado que la temperatura es un factor que afecta la difusividad en agua de los materiales agrícolas. Al aumentar la temperatura de proceso se genera mayor movimiento de las moléculas de agua, aumentando así la difusividad efectiva y disminuyendo la resistencia interna de la matriz alimentaria a la transferencia de masa ([Polania et al., 2016](#)).

Los coeficientes de difusión fueron superiores en los tratamientos por SC con valores que variaron entre 6.94×10^{-10} y $1.53 \times 10^{-9} m^2/s$, mientras que los de VR variaron entre 5.46×10^{-10} y $1.01 \times 10^{-9} m^2/s$. Estos valores están en el rango entre 10^{-12} y 10^{-6} que corresponden a alimentos o sistemas alimentarios ([Al-Awaadh, Bakri, & Khaled, 2015](#); [Díaz et al., 2013](#)). Una posible razón de que los valores del D_{ef} de SC sean mayores que los de VR, es que en SC el tiempo de proceso fue menor, por lo que las muestras sufrieron menor encogimiento, resultando una mayor área de exposición con relación al aire caliente y en efecto una mayor difusividad de la humedad.

Tabla 5. Valores de D_{ef}

Tratamiento	Temperatura (°C)	D_{ef} (m^2/s)
VR	70	5.46×10^{-10}
	80	7.02×10^{-10}
	90	1.01×10^{-9}
SC	50	6.94×10^{-10}
	60	9.35×10^{-10}
	70	1.53×10^{-9}

Comportamiento similar en estos valores se reportan por varios autores como [Cardenas & Jimenez, \(2013\)](#), en muestras de flor de Jamaica secadas por VR y SC con valores de D_{ef} de 4.061×10^{-9} a $5.819 \times 10^{-9} m^2/s$ para temperaturas de 70 a 90°C y 1.303×10^{-9} a $2.233 \times 10^{-9} m^2/s$ para temperaturas de 50 a 70°C respectivamente. [Espinoza, \(2011\)](#), encontró en fruta de murtilla en el proceso de secado asistido por infrarrojo a temperaturas de 40, 50 y 60°C y 0 watts, valores de 1.0556×10^{-10} , 1.1779×10^{-10} y $1.4117 \times 10^{-10} m^2/s$ respectivamente. [Shi et al., \(2008\)](#), reportaron para arándanos secos por infrarrojo valores de D_{ef} 2.24×10^{-10} a $16.4 \times 10^{-10} m^2/s$ para temperaturas de 60 a 90 °C.

8.1.1.2 Energía de activación

La E_a se define como un parámetro experimental que caracteriza la dependencia de la temperatura exponencial con el coeficiente de velocidad. La E_a es la energía mínima, o la energía que debe superarse para que se produzca una reacción química (Shi *et al.*, 2008). Utilizando la ecuación (5) se determinó E_a y el D_0 para los dos métodos de secado presentados en la Tabla 6. Los valores obtenidos están en el rango para alimentos, de 12.7 - 110 kJ/mol y dentro del 80.5% con valores entre 18.0 y 49.5 kJ/mol (Al-Awaadh *et al.*, 2015).

Tabla 6. Valores de energía de activación y factor de Arrhenius

Método	E_a (kJ/mol)	D_0 (m ² /s)	R^2
VR	31.9848	3.99E-05	0.9754
SC	36.1933	4.78E-04	0.9664

Los valores de E_a obtenidos en ambos métodos son relativamente cercanos. Se observa que el método de SC presenta mayor E_a , indicando que se requiere mayor energía para iniciar la difusión del agua durante el proceso de secado (Cardenas & Jimenez, 2013); resultado similar reportaron Vega, Lemus, Tello, Miranda, & Yagnam (2009), al secar arándano O'Neil a 60, 70 y 80°C con SC y aplicar varios modelos matemáticos a las cinéticas de secado, con valores entre 36.2 y 54.5 kJ/mol. La tecnología VR presentó menor valor de E_a , en el secado de arándanos por infrarrojo estudiado por Vuarant, (2013), reporta un valor E_a de 20.73 kJ/mol para temperaturas de 105, 110 y 115 °C calculada a partir de los D_{ef} . En cambio Shi *et al.*, (2008) presentaron un valor más alto (66.3 kJ/mol) para temperaturas de 60, 70, 80 y 90°C.

8.1.1.3 Modelos matemáticos

Existen varias ecuaciones matemáticas que se usan para la simulación de los fenómenos de transporte en la operación de secado, lo que permiten analizar la influencia de ciertas variables como el contenido de humedad del alimento y la temperatura de secado sobre el proceso de secado; también el estudio del modelado de las cinéticas, la optimización del proceso y el diseño de secadores (Ortiz, 2014; Vega *et al.*, 2009). Se utilizaron cinco modelos matemáticos para representar la cinética de secado experimental del mortiño. En las Tablas 7 y 8 se muestran los parámetros de cada modelo a 70, 80 y 90°C por VR y 50, 60 y 70°C por SC respectivamente.

Tabla 7. Parámetros de los modelos matemáticos empleados para el secado por VR de mortiño.

Modelo	Constantes	Temperatura secado VR		
		70°C	80°C	90°C
Newton	k	0,0122	0,0166	0,0189
	R ²	0,9910	0,9918	0,9932
	E (%)	2,7982	3,5227	2,2141
	RMSE	0,0232	0,0217	0,0210
	X ²	9,10E-04	1,25E-03	6,30E-04
Page	k	0,0182	0,0154	0,0177
	n	0,9149	1,0170	1,0150
	R ²	0,9926	0,9919	0,9933
	E (%)	2,4569	3,5499	2,2216
	RMSE	0,0210	0,0216	0,0210
	X ²	2,32E-04	1,39E-03	7,85E-04
Henderson y Pabis	a	0,964	0,995	0,996
	k	0,012	0,016	0,019
	R ²	0,992	0,992	0,993
	E (%)	2,730	3,522	2,215
	RMSE	0,022	0,022	0,021
	X ²	1,14E-03	1,31E-03	6,41E-04
Midilli	a	0,9753	0,9828	0,9873
	k	0,0130	0,0116	0,0142
	n	0,9861	1,0830	1,0700
	b	0,0000	0,0000	0,0001
	R ²	0,9941	0,9948	0,9952
	E (%)	0,8304	1,2626	0,7878
	RMSE	0,0187	0,0173	0,0177
	X ²	1,07E-05	5,51E-05	6,54E-06
Logarítmico	a	0,9583	0,9880	0,9898
	k	0,0125	0,0172	0,0195
	b	0,0152	0,0132	0,0107
	R ²	0,9938	0,9935	0,9942
	E (%)	1,0887	1,7599	1,3753
	RMSE	0,0192	0,0193	0,0195
	X ²	2,89E-07	1,54E-06	1,68E-09

El parámetro k (1/min) está relacionado con el comportamiento de la velocidad de secado, los otros parámetros (n , a , b y c) pueden que dependan más de la estructura del tejido del alimento, así como del flujo de aire de secado (Espinoza, 2011; Vuarant, 2013). La constante k presentó similar comportamiento en el modelado de las cinéticas para los dos métodos de secado; el cual es dependiente de la temperatura, pues a medida que ésta sea más alta, el valor de k aumenta.

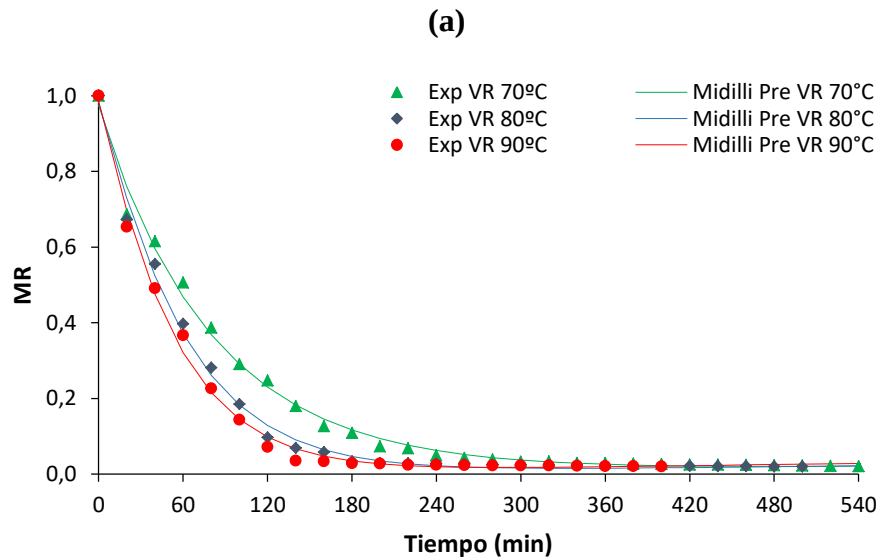
En todos los casos se obtuvieron valores de $R^2 > 0.99$. El modelo que mejor se ajustó a las cinéticas para el secado por VR fue el de Midilli Kuck, el cual presento los valores de R^2 más cercanos a 1, y los valores de %E, RMSE y X^2 cercanos a cero. Respecto al secado por aire caliente, donde el modelo de Logaritmo, presentó el mejor ajuste para las muestras de mortiño secadas por convección con el valor de R^2 más próximo a 1 lo que demuestra mayor exactitud para describir el modelo (Agudelo & Franco, 2009).

Tabla 8. Parámetros de los modelos matemáticos empleados para el SC de mortiño.

Modelo	Constantes	Temperatura SC		
		50°C	60°C	70°C
Newton	k	0,0196	0,0225	0,0322
	R²	0,9940	0,9935	0,9969
	E (%)	4,2534	2,2039	0,5997
	RMSE	0,0121	0,0140	0,0105
	X²	3,73E-04	6,30E-04	5,07E-06
Page	k	0,0275	0,0286	0,0490
	n	0,9185	0,9394	0,8863
	R²	0,9943	0,9940	0,9984
	E (%)	4,0177	2,0410	0,5433
	RMSE	0,0126	0,0147	0,0098
	X²	4,07E-05	2,38E-04	1,75E-04
Henderson y Pabis	a	0,9926	0,9974	0,9913
	k	0,0195	0,0224	0,032
	R²	0,9933	0,9935	0,997
	E (%)	4,2359	2,2025	0,593
	RMSE	1,22E-02	0,014	0,010

	X^2	3,90E-04	6,45E-04	1,64E-05
Midilli	a	1,0050	1,0030	0,9998
	k	0,0239	0,0228	0,0413
	n	0,9576	1,0050	0,9387
	b	0,0000	0,0001	0,0001
	R^2	0,9978	0,9990	0,9998
	E (%)	4,4797	1,5987	0,8382
	RMSE	0,0120	0,0111	0,0102
	X^2	1,85E-03	1,28E-03	1,09E-03
Logarítmico	a	0,9826	0,9835	0,9776
	k	0,0209	0,0244	0,0341
	b	0,0197	0,0238	0,0194
	R^2	0,9982	0,9991	0,9996
	E (%)	4,8547	1,5433	0,8889
	RMSE	0,0121	0,0114	0,0109
	X^2	2,24E-03	1,58E-03	1,08E-03

En las figura 7 (a) y (b) se observan las curvas de secado ajustadas al modelo de Midilli Kuck para VR y al modelo de Logaritmo para SC. En la deshidratacion de alimentos, se utilizan distintos modelos matematicos para el analisis de la cinetica de secado; estudios realizados por [Vega et al., \(2009\)](#), en el secado convectivo de arandanos encontraron que el modelo Logaritmo fue el que mejor ajustó, igual en limón secados por Infrarojo ([Díaz et al., 2013](#)).



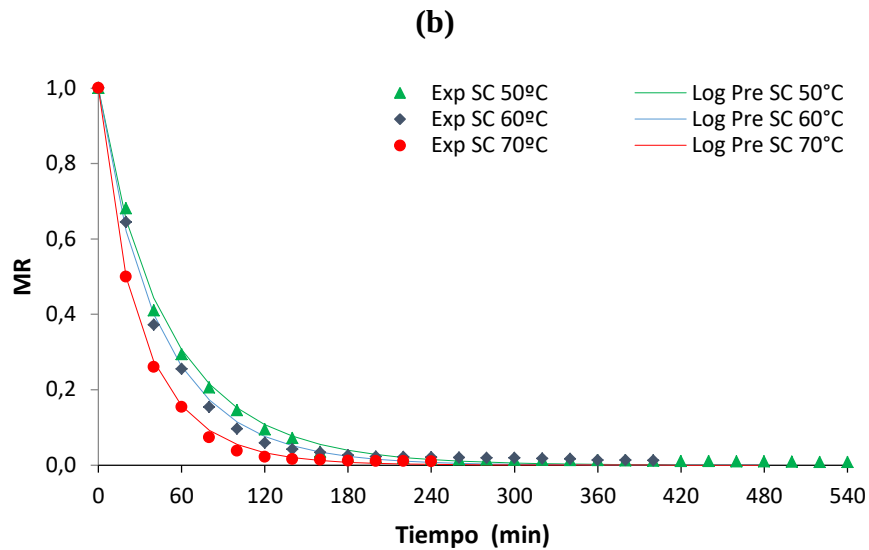
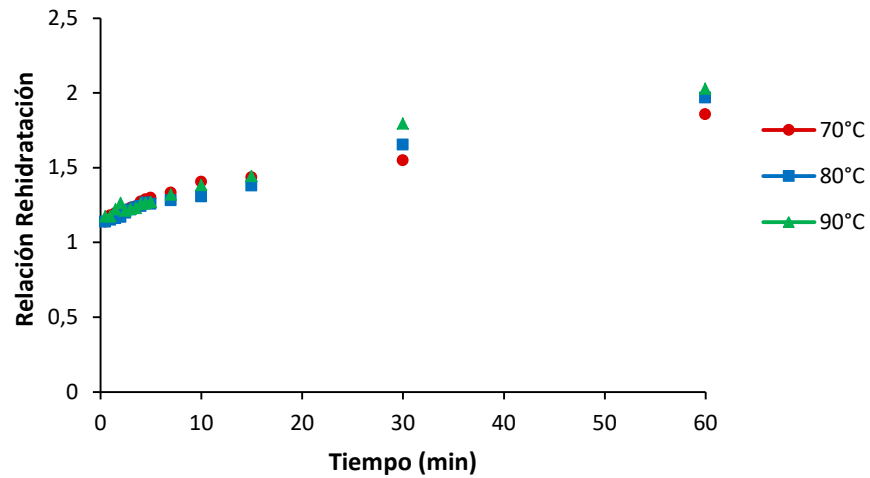


Figura 7. Curvas de modelamiento de secado por Midilli Kuck para VR (a) y curvas de modelamiento de secado por Logaritmo para SC (b).

8.1.2 Rehidratación

[Vega et al., \(2013\)](#), indican que la capacidad de rehidratación está relacionada con la capacidad de retención de agua, y se puede considerar como una medida de daños del material causada por el secado. En la figura 8 (a) y (b) se presentan las cinéticas de rehidratación a 25°C de las muestras de mortño deshidratados por VR y SC respectivamente.

(a)



(b)

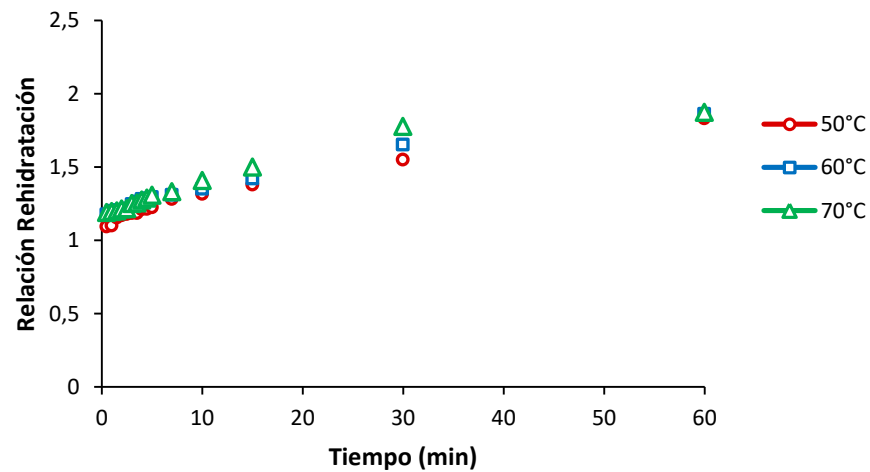


Figura 8. Curva de rehidratación de muestra muestras secas de mortiño por VR (a) y SC (b)

El contenido de humedad inicial de las muestras al inicio del proceso de rehidratación fue 0.10 ± 0.04 (Kg agua/Kg s.s). Las curvas muestran el comportamiento característico de rehidratación, la absorción de agua es rápida durante los primeros 5 min, posteriormente la velocidad disminuye; este comportamiento se le atribuye a la transferencia de masa en la rehidratación, donde el agua es absorbida rápidamente al inicio del proceso y la absorción disminuye gradualmente hasta que el contenido de humedad alcanza el equilibrio, tiempo en que todos los espacios inter e intracelulares quedan saturados con agua (Melquíades *et al.*, 2009).

Aunque el ANOVA no evidenció influencia significativa ($p < 0.05$) de la temperatura sobre la RR en ambos métodos de secado; en algunos tiempos se observa que la capacidad de rehidratación se incrementa a mayor temperatura de secado. Al aumentar la temperatura de secado, la capacidad de rehidratación se incrementa, puesto que hay un mayor daño de la membrana y de la pared celular de los tejidos vegetales, provocando mayor absorción de agua en los espacios creados por las células dañadas (Marín *et al.*, 2006). En otras frutas, se han encontrado diversos resultados por efecto de la temperatura; Vega *et al.*, (2013), observaron en uchuvas deshidratadas con aire caliente mayor capacidad de rehidratación. Vega, Lemus, Bilbao, Fito, & Andrés (2008), reportaron que la RR del pimiento rojo es mayor a 80°C, comparados con 50, 60 y 70°C. Por el contrario Xiao, Bai, Xie, Sun, & Gao, (2015) y Ormazza *et al.*, (2016), encontraron que la RR disminuyó cuando se incrementó la temperatura.

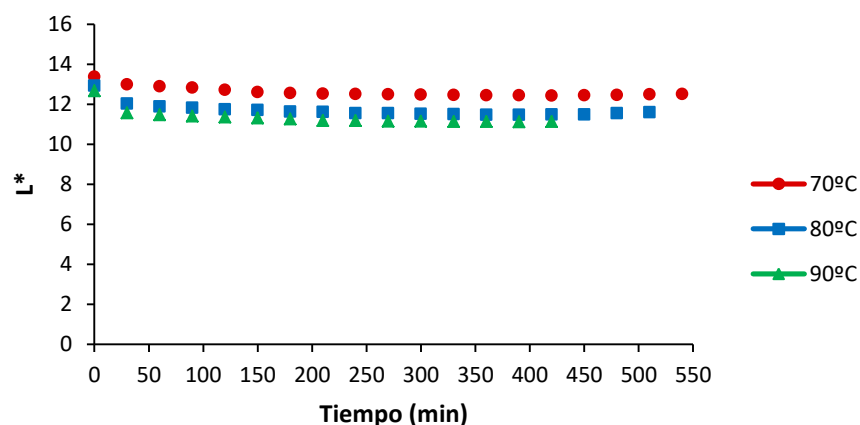
Van der Sman y Meinder (2013), manifiestan que durante los primeros minutos de rehidratación, las moléculas del producto empiezan a formar puentes de hidrogeno en las regiones hidrófilas, que al estar en contacto con moléculas de agua quedan retenidas por interacciones de Van der Waals ocasionando que los poros superficiales se saturen, posteriormente las moléculas de agua comienzan a penetrar al interior de la fase sólida, provocando un flujo de solutos en donde se dispersa el material soluble formando la fase líquida. Las interacciones determinan las fuerzas y la cinética para el transporte del agua (García *et al.*, 2016).

Las muestras secas a 70, 80 y 90 °C por VR y posteriormente rehidratadas alcanzaron a los 60 min un contenido de humedad de 25.45, 24.78 y 26.63 (Kg agua/Kg s.s); mientras que por SC de 23.4, 24.21 y 23.14 (Kg agua/Kg. s.s) a 50, 60 y 70°C respectivamente. Estos resultados evidencian que las muestras tratadas por la tecnología de VR presentaron ligeramente una mayor tasa de rehidratación que las secas por aire caliente. Las altas temperaturas producen colapso del tejido y daño celular dando como resultado un aumento en la RR debido a la retención de agua en los espacios creados por las células dañadas (Vega *et al.*, 2013).

8.1.3 Color

El color es uno de los parámetros más importante en frutas y vegetales deshidratados (Polania *et al.*, 2016), siendo el primer atributo que se evalúa de un producto por parte de los consumidores (Mathias & Ah-Hen, 2014). En la figura 9 (a) y (b) se observa la variación del parámetro L* (luminosidad) de las muestras de mortiño durante el proceso de secado por VR y SC. Los valores de L* presentan un comportamiento relativamente constante durante el secado, por lo que no se evidenció un efecto significativo ($p > 0.05$) del tratamiento sobre la luminosidad del mortiño.

(a)



(b)

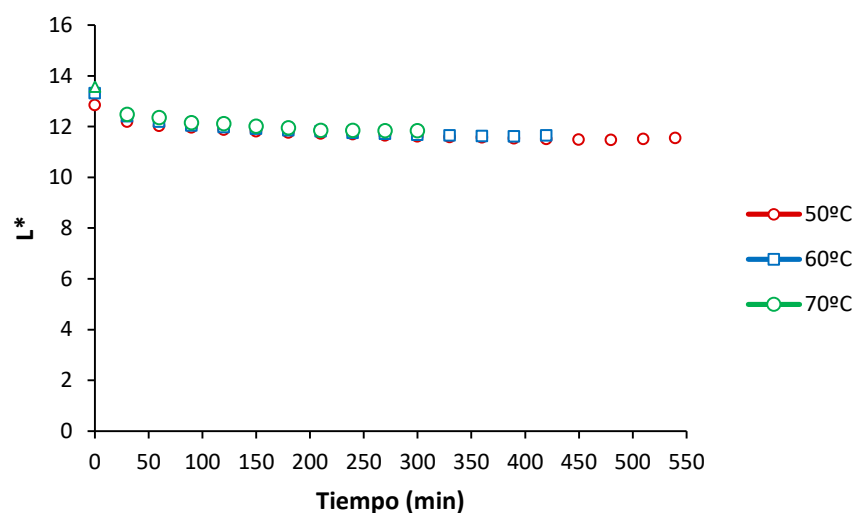


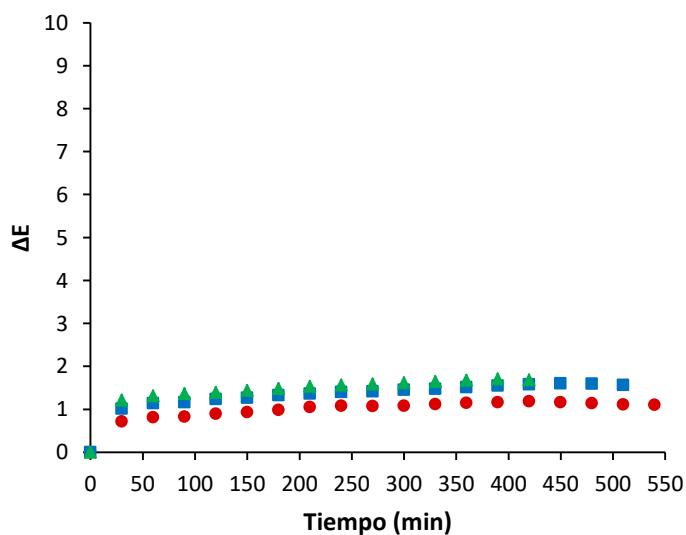
Figura 9. Luminosidad de muestras de mortiño secadas por VR (a) y SC (b).

Este comportamiento indica que el mortiño no presentó cambios de claridad u oscuridad durante el secado en ambos métodos. En la literatura científica, no se evidencian estudios de color en mortiño. [Pavan, \(2010\)](#), reportó un comportamiento similar al deshidratar fruto de açaí en el que no se observaron diferencias significativas de L^* entre el polvo obtenido por liofilización y por aire caliente, mientras que las muestras obtenidas por VR presentaron valores de L^* significativamente más altos comparados con los otros dos productos secos; tampoco se evidenciaron cambios significativos del parámetro L^* en mango en polvo con tamaño de partícula de 500 y 350 μm utilizando la tecnología de VR y la liofilización ([Caparino et al., 2012](#)).

Yemmireddy, Chinnan, Kerr, & Hung (2013), deshidrataron arándanos previamente congelados, usando cuatro métodos: secador de aire forzado a 85 y 107 °C y velocidad de aire 0.4 m/s, por lecho fluidizado a 85 y 107 °C y 45 m/s, secador de aire comprimido a 1.4 m/s y secador de impacto de aire modificado a 1.6 m/s. Los valores de luminosidad (L^*) de los arándanos secos fueron 16.29, 15.40, 13.42 y 16.24, respectivamente. Los arándanos deshidratados con el secador de aire comprimido tuvieron el valor L^* más bajo (13.42), lo que indica que tenían el color más oscuro. Sin embargo, la diferencia en la luminosidad ΔL ($L^* - L_0^*$) entre el estándar y otros métodos de secado fue muy baja, es decir que los arándanos secos conservaron el color oscuro típico después del secado.

La diferencia total de color (ΔE) describe el cambio global del color, y depende de los valores L^* , a^* y b^* ; este parámetro define la cuantificación de un cambio en el color (Mathias & Ah-Hen, 2014). La figura 10 (a) y (b) muestra la (ΔE) para VR y SC respectivamente, los valores entre 1 y 2 indican menores cambios globales de color en las muestras. El ANOVA no evidenció cambios significativos ($p > 0,05$), lo que corrobora los resultados anteriores respecto a que la tecnología de secado por VR y el SC no influyeron negativamente sobre el color de la fruta.

(a)



(b)

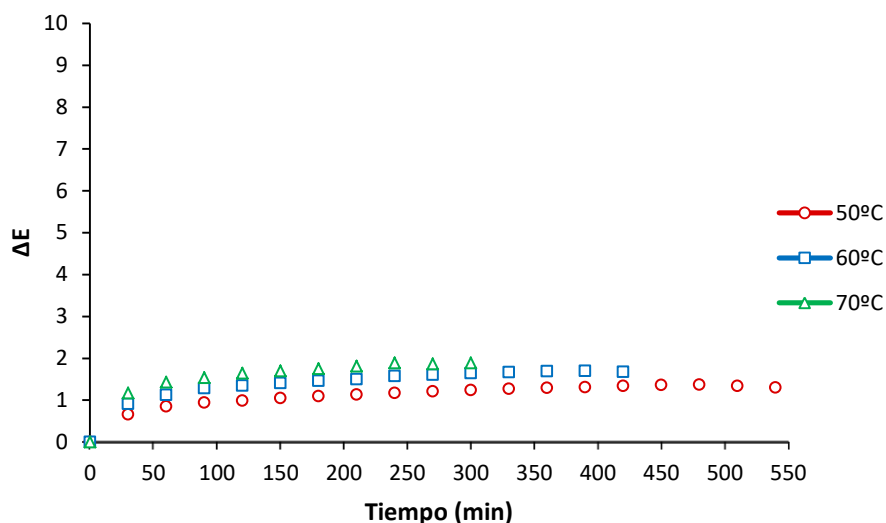


Figura 10. Diferencia total de color ΔE de muestras de mortiño secadas por VR (a) y SC (b).

En un estudio [Caparino *et al.*, \(2012\)](#), encontró que la diferencia de color ΔE entre el mango en polvo obtenido por VR y liofilización no fue significativamente diferente. Los pigmentos responsables del color en el mortiño son las antocianinas, polifenoles de color azul, púrpura, violeta, magenta, rojo y naranja ([Arteaga *et al.*, 2015](#); [Dalgo *et al.*, 2014](#)); el mortiño presenta una tonalidad violeta, que evidencia la alta concentración de estos compuestos polifenólicos que le otorgan parte de su calidad nutricional ([Coba *et al.*, 2012](#); [Vasquez, 2015](#)). De acuerdo a los resultados de color, el mortiño secado por los métodos de VR y SC mantiene sus características de color violeta de fruta fresca, lo que indica que no hubo pérdidas significativas de sus pigmentos.

8.1.4 Solubilidad en agua del mortiño en polvo

La solubilidad indica la máxima concentración que puede tener un soluto en un solvente a una temperatura determinada ([Galeano, 2015](#)), y es una importante característica que se puede utilizar para evaluar la aplicación del producto en polvo en otros alimentos ([Bonat, Khattab, Ghanem, & Su-Ling, 2016](#)). En la Figura 11 se observa el porcentaje de solubilidad en agua a 25°C del mortiño en polvo con un tamaño de partícula de 500µm, obtenido por los métodos de VR a 70, 80 y 90°C, y SC a 50, 60 y 70°C respectivamente. Las muestras por el método de VR presentaron ligeramente mayores valores variando de 46.56 – 52.50%, mientras que por el método de SC variaron entre 43.99- 49.43%.

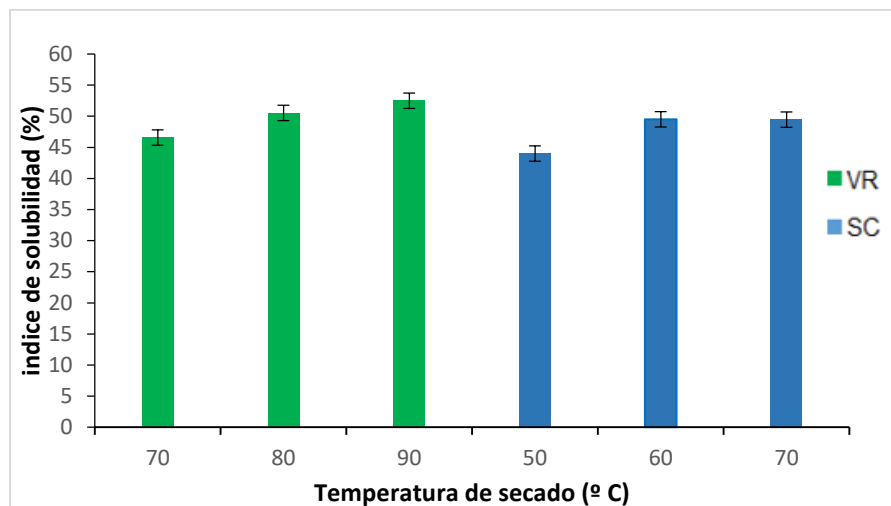


Figura 11. Solubilidad en agua a 25°C del mortiño en polvo obtenido por VR y SC.

El ANOVA no evidenció cambios significativos ($p > 0,05$), sin embargo se evidencia un pequeño incremento del índice de solubilidad a mayor temperatura, lo que puede indicar daño estructural del material (Mirhosseini & Amid, 2013). Comportamiento similar fueron encontrados por Abul-Fadl & Ghanem, (2011), en polvo de tomate secados previamente por VR y SC. Industrialmente la solubilidad es un criterio confiable para evaluar el comportamiento de un polvo en una solución acuosa (O'Shea, Arendt, & Gallagher, 2012).

8.1.5 Capacidad antioxidante

Existe un interés creciente en los beneficios para la salud de las frutas con énfasis en antioxidantes. Las bayas contienen cantidades considerables de sustancias químicas denominadas compuestos fenólicos que se han identificado como una fuente importante de antioxidantes (Hangun-balkir & Mckenney, 2011). El fruto de mortiño ha sido reconocido como una excelente fuente de antioxidantes, compuestos fenólicos y antocianinas (López-Vidaña *et al.*, 2016).

En la Figura 12 se presenta el IC_{50} de las muestras de mortiño en polvo, este parámetro indica la concentración requerida para obtener un 50% de capacidad antioxidante. Bajos valores de IC_{50} corresponden a alta capacidad antioxidante.

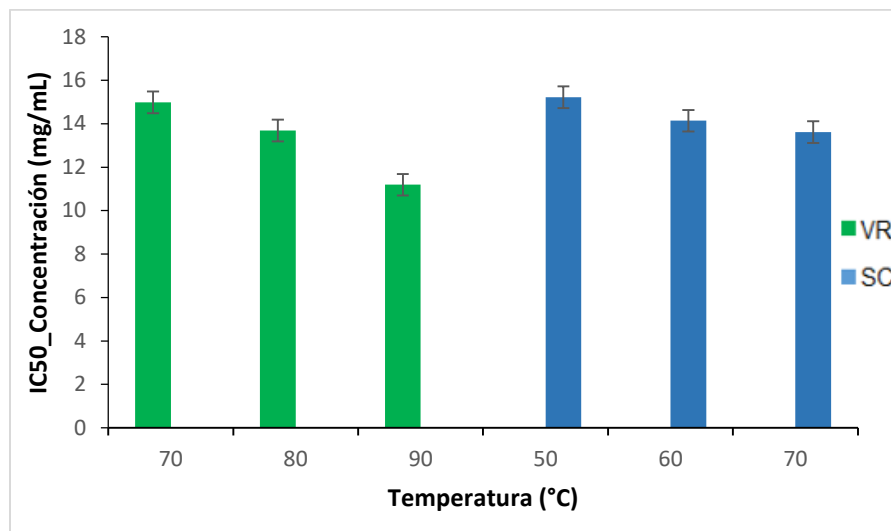


Figura 12. IC₅₀ del barrido del radical libre DPPH de muestras de mortiño en polvo obtenido por VR y SC.

El mortiño fresco obtuvo un valor IC₅₀ de 3.59 ± 0.83 mg/ml. En los dos métodos hay una disminución en la capacidad antioxidante ya que presentan valores de IC₅₀ superiores a la muestra fresca. El ANOVA evidenció que existe un efecto significativo ($p < 0.05$) de la temperatura de secado por VR sobre la capacidad antioxidante; para el método de SC no se evidenciaron cambios significativos, ($p > 0.05$). La técnica de VR retuvo mayor capacidad antioxidante que el SC. Sin embargo, en 70°C que es la temperatura en común de los métodos, el valor de IC₅₀ en SC es más bajo, debido a que el tiempo de exposición fue menor.

Se observa que a menor temperatura de proceso se incrementa el IC₅₀, lo que implica disminución de la capacidad antioxidante, comportamiento que puede estar asociado a mayor tiempo de exposición durante el secado (Hangun-balkir & Mckenney, 2011). Comportamiento similar reportó V. López *et al.*, (2016), en mortiño encontraron que la capacidad antioxidante y el contenido fenólico y de antocianinas disminuyeron su pérdida al aumentar la temperatura y el tiempo de secado.

A mayor temperatura de secado menor es el tiempo de proceso, lo que favorece mayor retención de la capacidad antioxidante en el alimento (Garau, Simal, Rosselló, & Femenia, 2007). Santacatalina, Rodriguez, Riera, Simal, & Garcia (2012), secaron manzana con aire caliente a distintas temperaturas, observaron que la capacidad antioxidante y el contenido polifenólico de las muestras mostraron mayor retención con menor tiempo de secado. Por su parte López *et al.*, (2010), reportaron el efecto de la temperatura del aire sobre la capacidad antioxidante de arándanos, donde el aumento en la temperatura mostró influencia sobre el contenido fenólico total, obtuvieron alta retención de polifenoles a mayor temperatura (90° C), debido a que tiempos cortos de secado contribuyen a incrementar el efecto protector contra el daño oxidativo de las células

9. CONCLUSIONES

- El método de secado y la temperatura influyen significativamente en la disminución del CH y en el tiempo de proceso. Con el aumento de la temperatura se incrementa la velocidad de secado en ambos métodos (VR y SC). Se evidenció que con VR se requiere mayor tiempo para alcanzar un mismo nivel de humedad respecto al SC, debido a su geometría semiesférica al no tener contacto total entre la fruta y la superficie de la membrana plástica.
- El coeficiente de difusión se incrementa con el aumento de la temperatura de secado y es superior con el método SC. Los valores de D_{ef} y E_a determinados en ambos métodos se encuentran dentro del rango de alimentos y son relativamente similares a otros alimentos.
- La capacidad de rehidratación de muestras secas y el índice de solubilidad de mortiño en polvo fueron superiores en los tratamientos secados por VR. En los dos métodos estudiados se observó la influencia de la temperatura sobre estas propiedades, puesto que, al aumentar la temperatura de secado, los valores de RR e índice de solubilidad en agua también aumentaron.
- La temperatura y los métodos de secado por VR y SC no presentaron cambios significativos en el color violeta característico del mortiño, lo que indica que no hubo pérdidas significativas de componentes responsables de su color.
- El general el método de VR mostró mayor retención de la capacidad antioxidante del mortiño en polvo con respecto al SC; excepto en la temperatura a 70°C, en la que SC obtuvo menor valor de IC_{50} que VR, lo que indica que retuvo mayor capacidad antioxidante. Tanto el método como las temperaturas de secado influyen en la retención de la capacidad antioxidante en el producto.

10. RECOMENDACIONES

- Para mejorar la calidad del polvo de mortiño se propone usar el método de VR modificando la presentación de la muestra, ya que así podría llegar a la humedad deseada en menor tiempo de secado; por ejemplo, la fruta en pulpa.
- En cuanto al método de SC se recomienda el tratamiento a 70°C ya que necesita menor tiempo de secado para llegar a la humedad deseada y presenta buenos resultados en cuanto al producto en polvo.
- Se recomienda continuar con la investigación de este producto debido a su solubilidad y capacidad antioxidante, realizando estudios específicos que corroboren las propiedades funcionales del mortiño en polvo por estos métodos de secado y evaluar otras variables de respuesta.
- Evaluar otros métodos de secado sobre la conservación de las propiedades fisicoquímicas del mortiño en polvo.

11. BIBLIOGRAFIA

- Abadiano, L. (2015). Desarrollo de un ingrediente funcional a partir de pulpa de mora (*Rubus glaucus benth*) y pulpa de mortiño (*Vaccinium floribundum kunth*) mediante la microencapsulacion de compuestos fenolicos.
- Abul-Fadl, M., & Ghanem, T. (2011). Effect of refractance window (RW) drying method on quality criteria of produced tomato powders as compared to the convection drying method. *World Appl.Sci.*, 15(7), 953–965. <https://doi.org/10.12691/ajfst-4-5-4>
- Agudelo, J., & Franco, R. (2009). Aplicación de la ley de fick y el modelo de peleg para estudiar la absorcion de agua en el frijol cargamanto ombligo amarillo (*Phaseolus vulgaris l.*) y la arveja seca (*Pisan Sativa*) durante la rehidratación., 15–28.
- Al-Awaadh, A., Bakri, H., & Khaled, A. (2015). Hot air drying characteristics of Sukkari date (*Phoenix dactylifera L.*) and effects of drying condition on fruit color and texture. *International journal of food engineering*, 11(3), 421–434. <https://doi.org/10.1515/ijfe-2014-0309>
- Alzate, L., Jimenez, C., & Londoño, J. (2011). Aprovechamiento de residuos agroindustriales para mejorar la calidad sensorial y nutricional de productos avícolas, 6(1), 108–127.
- Arias, J. (2013). Estudio del efecto de pre-tratamiento en la deshidratación de mortiño (*Vaccinium floribundum Kunth*) sobre la velocidad de secado y contenido de polifenoles solubles y antocianinas, 296.
- Arteaga, H., Espinoza, M., Aguilar, J., & Cruz, M. (2015). Efecto de la osmodeshidratación sobre el contenido de antocianinas y capacidad de rehidratación de arándanos liofilizados, 5, 167–175.
- Badui, S. (2006). Química de los alimentos (cuarta ed). <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Baeghbali, V., Niakousari, M., & Farahnaky, A. (2016). Refractance window drying of pomegranate juice : Quality retention and energy efficiency. *LWT - Food science and technology*, 66, 34–40. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2015.10.017>
- Barbosa, G., Vega, H., & Ribas, A. (2000). Deshidratación de alimentos. Acribia editorial.
- Barragan, G. (2011). Evaluacion del proceso para la elaboracion de conservas de frutos de agraz (*vacinium meridionale swartz*).
- Batlle, T., Zaniolo, S., Leporati, J., Balmaceda, M., Bomben, R., & Malka, M. (2016). Influencia de las variables de secado en la calidad organoléptica de bocaditos salados a base de amaranto, 7(4), 47–56.

- Bernaert, N., Droogenbroeck, B., Pamel, E., & Ruyck, H. (2019). Innovative refractance window drying technology to keep nutrient value during processing. *Trends in Food Science & Technology*, 84(August 2018), 22–24. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2018.07.029>
- Bolaños, N., Lutz, G., & Herrera, C. (2003). Química de Alimentos: Manual de laboratorio. Química de Alimentos: Manual de Laboratorio, 22–23. Retrieved from <https://books.google.com.co/books?id=8VpJ8foyDiIC&lpg=PA1&dq=contenido de humedad en alimentos&pg=PR3#v=onepage&q=contenido de humedad en alimentos&f=false>
- Bonat, G., Khattab, R., Ghanem, A., & Su-Ling, M. (2016). Refractance window drying of haskap berry – Preliminary results on anthocyanin retention and physicochemical properties. *Food Chemistry*, 194, 218–221. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2015.08.012>
- Caparino, O., Tang, J., Nindo, C., Sablani, S., Powers, J., & Fellman, J. (2012). Effect of drying methods on the physical properties and microstructures of mango (*Philippine “Carabao”*) powder. *Journal of Food Engineering*, 111(1), 135–148. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2012.01.010>
- Cardenas, J., & Jimenez, M. (2013). Secado de flor de jamaica (*Hibiscus sabdariffa*) por los métodos de ventana de refractancia y convectivo.
- Ceballos, A. (2008). Estudio comparativo de tres sistemas de secado para la producción de un polvo deshidratado de fruta, 111.
- Ceballos, E., & Jimenez, M. (2012). Cambios en las propiedades de frutas y verduras durante la deshidratación con aire caliente y su susceptibilidad al deterioro microbiano. *Temas Selectos de Ingeniería de Alimentos*.
- Celli, G., Khattab, R., Ghanem, A., & Brooks, M. (2016). Refractance window drying of haskap berry - Preliminary results on anthocyanin retention and physicochemical properties. *Food chemistry*, 194, 218–221. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2015.08.012>
- Coba, S., Coronel, D., Verdugo, K., Paredes, M., Yugsi, E., & Huachi, L. (2012). Estudio etnobotánico del mortiño (*Vaccinium floribundum Kunth*) como alimento ancestral y potencial alimento funcional. *La granja, revista de ciencias de la vida*, 16(2), 5–13. <https://doi.org/https://doi.org/10.17163/LGR.N%X>
- Cobo, M., Gutiérrez, B., Torres, F., & Torres, M. (2016). Preliminary analysis of the genetic diversity and population structure of mortiño (*Vaccinium floribundum Kunth*). *Biochemical Systematics and Ecology*, 64, 14–21. <https://doi.org/10.1016/j.bse.2015.11.008>
- Dalgo, M., Arteaga, M., Cuvi, A., & Guerrero, C. (2014). Relación del desarrollo del color con el contenido de antocianinas y clorofila en diferentes grados de madurez de

- mortiño (*Vaccinium floribundum*). Development relationship of color with anthocyanins and chlorophyll content in different degrees of maturity, 14–28.
- Dávila, C. (2015). Elaboración de saborizantes en polvo, a partir de cinco frutas deshidratadas como: higo, membrillo, níspero, mortiño, y uvilla para la aplicación en cinco tipos de bizcochos y cinco tipos de galletas, 152. <https://doi.org/http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/22376>
- Díaz, L., Echegaray, E., Castro, E., & Di Scala, K. (2013). Secado asistido por infrarrojos de descartes de limón (*Citrus limon, burm . genova*) application of mathematical models to infrared assisted drying process of lemon waste (*Citrus limon, burm . genova*), 91–97.
- Espinoza, J. (2011). Aplicación de un proceso de secado asistido infrarrojo para la deshidratación del fruto de murtila (*Ugni molinae turcz.*), 1–93.
- Fernandez, F. (2012). Secado de piña (*Ananás Comosus*) Por el metodo de ventana de refractancia.
- Franco, S., Jaques, A., Pinto, M., Fardella, M., Valencia, P., Núñez, H., Simpson, R. (2019). Dehydration of salmon (*Atlantic salmon*), beef , and apple (*Granny Smith*) using Refractance window : Effect on diffusion behavior , texture , and color changes. Innovative food science and emerging technologies, 52, 8–16. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2018.12.001>
- Galeano, A. (2015). Propuesta para el aprendizaje del concepto de solubilidad en soluciones acuosas en el grado undécimo. Universidad Nacional de Colombia, 1–145. Retrieved from <http://www.bdigital.unal.edu.co/50834/1/71762688.2015.pdf>
- Garau, Simal, Rosselló, & Femenia. (2007). Effect of air-drying temperature on physico-chemical properties of dietary fibre and antioxidant capacity of orange (*Citrus aurantium v. canoneta*) by-products. Food chemistry, 104(3), 1014–1024.
- García, C., Romero, A., & Bermúdez, P. (2016). Capacidad de rehidratación y cambio de color de yuca (*manihot esculenta crantz*) deshidratada en microondas rehydration capacity and color change of cassava (*manihot esculenta crantz*) dried in microwave, 27(1), 53–60. <https://doi.org/10.4067/S0718-07642016000100007>
- García Castelló, E. (2006). Operaciones básicas: manual de aula. Universidad politécnica de Valencia., España.
- Geankoplis, C. J. (2011). Procesos de transporte y operaciones unitarias. cecsa. University of Minnesota. Mexico, (3), 1024. <https://doi.org/9789682613166>
- Hangun-balkir, Y., & Mckenney, M. L. (2011). Determination of antioxidant activities of berries and resveratrol, 8253. <https://doi.org/10.1080/17518253.2011.603756>
- Hwa, C., Lim, C., Figiel, A., Wojdyło, A., & Oziembłowski, M. (2013). Colour , phenolic content and antioxidant capacity of some fruits dehydrated by a combination of

- different methods. Food Chemistry, 141(4), 3889–3896. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2013.06.042>
- Idrovo, N. (2013). Investigación del mortiño, beneficios nutricionales y su aplicación en la repostería.
- Kiat, S., Alasalvar, C., & Shahidi, F. (2016). Review of dried fruits : Phytochemicals , antioxidant efficacies , and health benefits. ScienceDirect, 21, 113–132. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2015.11.034>
- López, J., Uribe, E., Vega, A., Miranda, M., Vergara, J., Gonzalez, E., & Di Scala, K. (2010). Effect of air temperature on drying kinetics, vitamin c, antioxidant activity, total phenolic content, non-enzymatic browning and firmness of blueberries variety óneil. Food and Bioprocess Technology, 3(5), 772–777. <https://doi.org/10.1007/s11947-009-0306-8>
- López, V., Pilatowsky, F., Cortés, F., Rojano, B., & Navarro, O. (2016). Effect of temperature on antioxidant capacity during drying process of mortiño (*Vaccinium meridionale Swartz*). International Journal of Food Properties, 20(2), 294–305. <https://doi.org/10.1080/10942912.2016.1155601>
- Macas, W. (2018). Obtencion de colorantes naturales a partir de mortiño (*Vaccinium mytillus L.*), uvilla (*Physalis peruviana*) y tuna (*Opuntia ficus-indica*) para el uso alimenticio. Escuela superior politécnica de Chimborazo.
- Mahecha, J. (2011). Simulación matemática del proceso de deshidratación de la uchuva (*Physalis Peruviana L.*).
- Marín, E. B., Lemus, R. M., Flores, V. M., & Vega, A. G. (2006). Revista Chilena de nutrición la rehidratación de alimentos deshidratados the rehydration of dehydrated foods. Revista Chilena de nutrición, 33(33).
- Mathias, K., & Ah-Hen, K. (2014). El color en los alimentos un criterio de calidad medible. Agro Sur, 42(2), 39–48. <https://doi.org/10.4206/agrosur.2014.v42n2-07>
- Mejia, A. (2011). Efecto de la deshidratación por radiación infrarroja sobre algunas características fisicoquímicas de interés comercial del aloe vera.
- Melquíades, Y., López, C., & Rosas, M. (2009). Estudio de la cinética de rehidratación de zanahoria (*daucus carota*) deshidratadas. Informacion Tecnologica, 20(3), 65–72. <https://doi.org/10.1612/inf.tecnol.4037it.08>
- Mirhosseini, H., & Amid, B. T. (2013). Effect of different drying techniques on flowability characteristics and chemical properties of natural carbohydrate-protein gum from durian fruit seed. Chemistry central journal, 7(1), 1. <https://doi.org/10.1186/1752-153X-7-1>
- Mishra, P., Mishra, S., & Mahanta, C. (2014). Effect of maltodextrin concentration and inlet temperature during spray drying on physicochemical and antioxidant properties

- of amla (*Emblica officinalis*) juice powder. Food and Bioproducts Processing, 92(3), 252–258. <https://doi.org/10.1016/j.fbp.2013.08.003>
- Montgomery, D. C. (2004). Diseño y analisis de experimentos (2nd ed.).
- Morales, J., & Vélez, J. (2013). Deshidratación de frutas y hortalizas por ventana refractiva. Revista Reciteia, 13(2), 36–46.
- Moses, J., Norton, T., Alagusundaram, K., & Tiwari, B. (2014). Novel drying techniques for the food industry. <https://doi.org/DOI: 10.1007/s12393-014-9078-7>
- Mosquera, L. (2010). Influencia de la humedad y de la adición de solutos maltodextrina o goma arábiga en las propiedades fisicoquímicas de borjón y fresa en polvo., 219.
- Muñiz, S., Hernández, A., García, A., & Méndez, L. (2013). Empleo del método de secado convectivo combinado para la deshidratación de papaya (*Carica papaya L.*), variedad Maradol roja. Revista Ciencias Técnicas Agrarias, 22.
- Nemzer, B., Vargas, L., Xia, X., Sintara, M., & Feng, H. (2018). Phytochemical and physical properties of blueberries , tart cherries , strawberries , and cranberries as affected by different drying methods. Food Chemistry, 262, 242–250. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.04.047>
- O’Shea, N., Arendt, E., & Gallagher, E. (2012). Dietary fibre and phytochemical characteristics of fruit and vegetable by-products and their recent applications as novel ingredients in food products. Journal of agricultural science and technology, 16(6), 1–10. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2012.06.002>
- Ochoa, C., Ayala, A., Quintero, P., & Ortiz, M. (2012). Characteristics of mango slices using the refractance window. Technique. J Food Eng., 69–75.,.
- Ocoro, M., & Ayala, A. (2012). Evaluation of the refractance window technique on drying of papaya (carica papaya l.) puré. Vitae, 19(1), S72–S74.
- Onwude, D., Hashim, N., Abdan, K., & Chen, G. (2019). The effectiveness of combined infrared and hot-air drying strategies for sweet potato, 241, 75–87. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2018.08.008>
- Ormaza, A., Ortiz, A., & Ayala, A. (2016). Efecto del secado convectivo y de ventana de refractancia sobre compuestos volátiles de “banano bocadillo” (*Musa acuminata Colla*) deshidratado. Vitae, 23, S79–S83.
- Ortiz, M. (2014). Modelación matemática del secado de alimentos por el método de ventana de refractancia, 126. <https://doi.org/10.1007/s13398-014-0173-7.2>
- Ortiz, M., & Ochoa, C. (2014). Secado de Zapallo (*Cucurbita maxima*) por el Método de ventana de refractancia pumpkin (*Cucurbita maxima*). Drying using refractance window method, 67(2), 394–396.
- Pavan, M. (2010). Effects of freeze drying, refractance window drying and hot-air drying

on quiality parameters of acaí, 97.

- Pavan, M., Schmidt, S., & Feng, H. (2012). Water sorption behavior and thermal analysis of freeze-dried, Refractance Window-dried and hot-air dried açai (*Euterpe oleracea martius*) juice. *LWT - Food science and technology*, 48(1), 75–81. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2012.02.024>
- Pérez, W. (2011). Conceptos generales sobre métodos de conservación en la industria de alimentos. Editorial universitaria, Cartagena de Indias.
- Polania, A., Casso, L., & Ayala, A. (2016). Cambios de color en cascara de naranja (*citrus sinensis*) usando la técnica de hidrosecado, 23.
- Quintero, M., & Zambrano, J. (2011). Proceso de obtención de una harina de cidra papa (*Sechium edule*) y su caracterización físico-química, 43.
- Rincón, S., Buitrago, G., Ligarreto, M., Torres, A., & Balaguera, L. (2012). Comportamiento del fruto de agraz (*Vaccinium meridionale Swartz*) Cosechado en diferentes estados de madurez y almacenado en refrigeración, 65(26), 6615–6625.
- Roig, S. (2017). Caracterización del polvo obtenido a partir de residuo de arándano y su uso como ingrediente funcional en la formulación de galletas. 2016–2017. Retrieved from <https://riunet.upv.es:443/handle/10251/86933>
- Rojas, R., & Duran, D. (2011). Efecto del secado por microondas sobre el color de la papa criolla (*Solanum phureja*), (2), 104–114.
- Sabarez, H. (2016). Drying of food materials. reference module in food science. Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100596-5.03416-8>
- Santacatalina, J., Rodriguez, E., Riera, E., Simal, S., & Garcia, J. (2012). Influencia de la aplicación de ultrasonidos de potencia en las potencia en las cinéticas de secado , el contenido,.
- Šarić, B., Mišan, A., Mandić, A., Nedeljković, N., Pojić, M., Pestorić, M., & Đilas, S. (2016). Valorisation of raspberry and blueberry pomace through the formulation of value-added gluten-free cookie. *Journal of food science and technology*, 53(2), 1140–1150.
- Serna, L., Torres, C., & Ayala, A. (2015). Evaluación de polvos alimentarios obtenidos de cáscaras de mango (*Mangifera indica*) como fuente de ingredientes funcionales. *Informacion Tecnologica*, 26(2), 41–50. <https://doi.org/10.4067/S0718-07642015000200006>
- Shi, J., Pan, Z., Mchugh, T. H., Wood, D., Hirschberg, E., & Olson, D. (2008). Drying and quality characteristics of fresh and sugar-infused blueberries dried with infrared radiation heating, 41, 1962–1972. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2008.01.003>
- Sing, P., & Heldman, D. (2009). Introducción a la ingeniería de alimentos. Acribia, 2nd ed.

Zaragoza, España.

- Suárez Moreno, D. X. (2003). Guía de procesos para la elaboración de harinas, almidones, hojuelas deshidratadas y compotas. Convenio Andres Bello. Bogotá- Colombia.
- Tirado, D., Correa, D., & Castillo, P. (2016). Secado de rodajas de fruto del árbol del pan mediante la técnica de ventana refractiva. *Tecnológicas*, 19(36), 103–111.
- Vallejo, J. (2010). Secado de pitahaya amarilla (*Hylocereus Selenicereus*) mediante la técnica de hidrosecado y osmo-hidrosecado.
- Varaschim, J., Tribuzi, G., & Borges, J. (2017). LWT - Food science and technology. Improving quality of dried fruits : A comparison between conductive multflash and traditional drying methods, 84. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2017.06.045>
- Vargas, S. (2012). Deshidratación de mortiño (*Vaccinium floribundum*) y su empleo en la elaboración de chocolate blanco y con leche en la empresa de confites “el salinerito.”
- Vasco, C., Kaisu, R., Ruales, J., & Eldin Kamal, A. (2009). Chemical composition and phenolic compound profile of mortiño (*Vaccinium floribundum Kunth*). *Journal of agricultural and food chemistry*. <https://doi.org/http://pubs.acs.org/doi/pdf/10.1021/jf9013586>
- Vasquez, A. (2015). Estimación de las coordenadas CIEL*a*b* en concentrados de tomate utilizando imagenes digitales., 153.
- Vega-Gálvez, A., Lemus-Mondaca, R., Bilbao-Sáinz, C., Fito, P., & Andrés, A. (2008). Effect of air drying temperature on the quality of rehydrated dried red bell pepper (*Lamuyo*). *Journal of food engineering*, 85(1), 42–50. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2007.06.032>
- Vega, A., Lemus, R., Tello, C., Miranda, M., & Yagnam, F. (2009). Kinetic study of convective drying of blueberry variety o’neil (*Vaccinium corymbosum L.*), 171–178.
- Vega, A., Zura, L., Lemus, R., Martinez, J., Quispe, I., Puente, L., & Di Scala, K. (2013). Influence of drying temperature on dietary fibre, rehydration properties, texture and microstructure of cape gooseberry (*Physalis peruviana L.*). *Journal of food science and technology*, 52(4), 2304–2311. <https://doi.org/10.1007/s13197-013-1235-0>
- Vizuete, K., Kumar, B., Vaca, V., Debut, A., & Cumbal, L. (2016). Mortiño (*Vaccinium floribundum Kunth*) berry assisted green synthesis and photocatalytic performance of Silver–Graphene nanocomposite. *Journal of photochemistry and photobiology a: Chemistry*, 329, 273–279. <https://doi.org/10.1016/j.jphotochem.2016.06.030>
- Vuarant, C. (2013). " Optimización del proceso de secado de arándanos por infrarrojos.
- Xiao, H., Bai, J., Xie, L., Sun, D., & Gao, Z. (2015). Thin-layer air impingement drying enhances drying rate of American ginseng (*Panax quinquefolium L.*). Slices with quality attributes considered. *Food and bioproducts processing*, 94, 581–591.

<https://doi.org/10.1016/j.fbp.2014.08.008>

- Yemmireddy, V., Chinnan, M., Kerr, W., & Hung, Y. (2013). Effect of drying method on drying time and physico-chemical properties of dried rabbiteye blueberries. *Food science and technology*, 50(2), 739–745. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2012.07.011>
- Zapata, Heredia, Qinteros, Malleret, Clemente, & Cárcel. (2014). Optimización de la extracción de antocianinas de arándanos. *Ciencia, docencia y tecnología*, 25(49), 166–192. <https://doi.org/ISSN 1851-1716>
- Zavala, Á. G., Rivero, L. L., García García, I., & Castillejos, O. G. (2007). Capacidad antioxidante total en alimentos convencionales y regionales de Chiapas, México. *Revista Cubana de salud publica*, 33(1), 1–7. <https://doi.org/10.1590/S0864-34662007000100008>