



Secretaría de Educación Pública



TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO

Instituto Tecnológico de Veracruz

**EFFECTO DEL PROCESO DE SECADO
POR ASPERSIÓN CON NITRÓGENO SOBRE LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y
QUÍMICAS DE MESOCARPIO DE AGUACATE HASS**

TESIS

PARA OBTENER EL GRADO DE:

MAESTRÍA EN CIENCIAS EN INGENIERÍA BIOQUÍMICA

PRESENTA:

L.N. MARÍA ELENA CEJA BLANCA

ASESORES:

DR. VICTOR JOSÉ ROBLES OLVERA

DRA. GUADALUPE DEL CARMEN RODRÍGUEZ JIMENES

H. VERACRUZ VER.

FEBRERO 2019

RECONOCIMIENTOS

A la Unidad de Investigación y Desarrollo de Alimentos (UNIDA) por permitirme superarme académicamente.

Al consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) por el apoyo otorgado para la realización de mis estudios de maestría.

DEDICATORIA

A Dios, Por la luz que me da al pasar por esta vida, por darme la salud y fortaleza para emprender cualquier proyecto, por ser mi guía para hacer buenas obras y poder llegar a cumplir mis metas.

A mis padres, Por todos los sacrificios que han hecho por mí y mis hermanos. Por ser la guía y el camino para poder llegar hasta este punto de mi vida y etapa profesional, que con su ejemplo, a través del trabajo, la humildad, coraje, dedicación y palabras de aliento nunca bajaron los brazos para que yo tampoco lo hiciera aun cuando todo se complicaba. Por depositar su entera confianza en cada reto que se me presentaba sin dudar ni un solo momento en mi inteligencia y capacidad. Es por ustedes que soy lo que soy ahora.

A mis hermanos, Por ser el ejemplo a seguir, por su confianza, por cuidarme en todo momento, por alentarme a seguir y no abandonar nunca mis sueños y tener la paciencia para mostrarme la vida desde diferentes perspectivas. Gracias por compartir sus vidas conmigo, sé que siempre estaremos unidos.

A Claudia, Por brindarme su mas sinsera amistad, por apoyarme siempre que lo necesitara, por ser mi complice en la universidad y maestría, por ser la mejor amiga y compañera de lucha y superación que alguien pudiera desear, siempre aconsejándome sabiamente, siempre fuerte, siempre honesta, te quiero mucho, lo logramos!!

A Estefany, Por convertir estos años en una experiencia grata y unica. Por compartir tantos chistes, risas, festejos y dilemas. Por cada palabra de ánimo intercambiada. Por escucharme y apoyarme en todo momento, eres única, con un corazón enorme, muchas gracias por ser tan buena amiga espero de las que duran toda la vida.

A Laura y Araceli, Por siempre enviarme sus buenos deseos y brindarme su amistad, ustedes siempre me sonreían y me daban palabras de animo, desde el principio que nos conocimos siempre me hicieron saber que podía contar con ustedes incondicionalmete y que juntas llegaríamos a cumplir esta meta.

A Jorge, Que estuviste conmigo cuando ya no podía mas, cuando quería rendirme, tu siempre estabas para escucharme, para guiarme y consolarme, me enseñaste nuevamente el camino para llegar a materializar mis sueños y cumplir mis metas.

AGRADECIMIENTOS

Al Instituto Tecnológico de Veracruz (ITVER), y en particular a la Unidad de Investigación y Desarrollo de Alimentos (UNIDA), por abrirme sus puertas y aceptarme en el programa de Maestría de Ciencias en Ingeniería Bioquímica.

Al Consejo Nacional de Ciencias y Tecnología (CONACyT), por el apoyo otorgado para la realización de mis estudios de maestría.

Al Dr. Victor Robles Olvera; por brindarme la confianza y la oportunidad de desarrollar este proyecto de investigación. Gracias por los consejos y enseñanzas que fueron fundamentales para mi formación.

A la Dra. Guadalupe del Carmen Rodríguez Jimenes, por su apoyo y dirección durante la realización de esta investigación.

A mi comité revisor: Dr. José Alberto Monroy Rivera, Dr. José Joel Espinosa de los Monteros, Dr. Zorba Josué Hernández Estrada por sus observaciones durante mi estancia en esta institución; así como por el tiempo dedicado a la revisión de este trabajo sin la cual no sería completo.

RESUMEN

María Elena Ceja Blanca. Maestría en Ciencias en Ingeniería Bioquímica. Instituto Tecnológico de Veracruz. Febrero 2019. Efecto del proceso de secado por aspersión con nitrógeno sobre las propiedades físicas y químicas de mesocarpio de aguacate Hass. Asesores: Dr. Víctor José Robles Olvera, Dra. Guadalupe del Carmen Rodríguez Jimenes.

Debido al carácter perecedero del aguacate (*Persea americana*), se han buscado alternativas para su conservación, como el secado por aspersión, con aire como gas de secado y adición de antioxidantes para evitar el pardeamiento y la generación de sabores desagradables relacionados con la actividad de las enzimas polifenoloxidasas (PPO) y lipoxigenasa (LOX) a través de reacciones de oxidación, por lo que el secado por aspersión usando nitrógeno como gas de secado puede ser una opción para la obtención de aguacate deshidratado sin los problemas relacionados con la presencia de oxígeno. El objetivo de este trabajo fue evaluar el efecto de las condiciones de secado por aspersión con nitrógeno y aire sobre las propiedades físicas y químicas de mesocarpio de aguacate deshidratado. Para realizar este objetivo se empleó mesocarpio de aguacate Hass, la suspensión a secar se ajustó a un contenido de 20 % de sólidos a diferentes concentraciones (1:2, 1:3, 1:4 g/g) de material de soporte (ciclodextrina w-6, ciclodextrina w-7, ciclodextrina w-8, maltodextrina D10, sílice, goma arábiga y almidón de maíz) y se seleccionó el que proporcionó mayores rendimientos. El secado se realizó en un secador BÜCHI mini spray dryer B-290 con temperaturas de entrada y salida de 180 °C y 90 °C (seleccionadas en base a experimentos preliminares), respectivamente; con nitrógeno o aire como gas de secado, los experimentos se realizaron por duplicado. Se estudió el efecto de las variables de proceso sobre el rendimiento, el contenido de fenoles totales (Folin-Ciocalteu), la actividad antirradical (DPPH y ABTS), de polifenoloxidasas y lipoxigenasa, el color y la actividad de agua (A_w) en el polvo. Se obtuvieron rendimientos entre 57.2 y 80.4 %. Se observó disminución en la concentración de fenoles totales y en la actividad antirradical después del proceso de secado al igual que en la actividad de PPO y LOX. La actividad de agua (A_w) fue suficientemente baja para evitar la actividad enzimática así como la proliferación de bacterias, mohos y levaduras. Los tratamientos con la concentración 1:2 presentaron una coloración más cercana a la del mesocarpio de aguacate fresco. Los resultados fueron similares con ambos gases de secado.

ABSTRACT

María Elena Ceja Blanca. Master of Science in Biochemical Engineering. Instituto Tecnológico de Veracruz. Junio 2018. “Effect of the drying process by nitrogen spraying on the physical and chemical properties of Hass avocado mesocarpio”. Advisors: Dr. Víctor José Robles Olvera, Dra. Guadalupe del Carmen Rodríguez Jimenes.

Due to the perishable nature of avocado (*Persea americana*), alternatives have been sought for its conservation, such as spray drying, with air as drying gas and addition of antioxidants to prevent browning and the generation of unpleasant tastes related to the activity of enzymes polifenoloxidase (PPO) and lipoxygenase (LOX) through oxidation reactions, so that spray drying using nitrogen as a drying gas can be an option for obtaining dehydrated avocado without the problems related to the presence of oxygen. The objective of this work was to evaluate the effect of spray drying conditions with nitrogen and air on the physical and chemical properties of mesocarp of dehydrated avocado. To achieve this objective, Hass avocado mesocarp was used, the suspension to be dried was adjusted to a content of 20% solids at different concentrations (1:2, 1:3, 1:4 g/g) of support material (cyclodextrin). w-6, cyclodextrin w-7, cyclodextrin w-8, maltodextrin D10, silica, gum arabic and corn starch) and the one that provided the highest yields was selected. The drying was carried out in a BÜCHI mini spray dryer B-290 with inlet and outlet temperatures of 180 ° C and 90 ° C (selected on the basis of preliminary experiments), respectively; with nitrogen or air as the drying gas, the experiments were carried out in duplicate. The effect of the process variables on the yield, the content of total phenols (Folin-Ciocalteu), the antiradical activity (DPPH and ABTS), polyphenoloxidase and lipoxygenase, color and water activity (A_w) in the powder. Yields were obtained between 57.2 and 80.4%. A decrease in the concentration of total phenols and anti-radical activity was observed after the drying process as well as in the activity of PPO and LOX. The water activity (A_w) was sufficiently low to avoid enzymatic activity as well as the proliferation of bacteria, molds and yeasts. The treatments with the concentration 1: 2 presented a coloration closer to the mesocarp of fresh avocado. The results were similar with both drying gases.

CONTENIDO

RECONOCIMIENTOS.....	II
DEDICATORIA.....	III
AGRADECIMIENTOS.....	IV
RESUMEN.....	V
ABSTRACT	VI
CONTENIDO	VII
LISTA DE TABLAS.....	IX
LISTA DE FIGURAS	X
1 INTRODUCCIÓN	1
2 ANTECEDENTES.....	1
2.1 ESTRUCTURA DEL FRUTO DE AGUACATE	1
2.2 RAZAS DE AGUACATE	1
2.3 VARIEDADES DE AGUACATE.....	1
2.4 COMPOSICIÓN Y VALOR NUTRICIONAL DEL AGUACATE	2
2.5 IMPORTANCIA ECONÓMICA DEL AGUACATE.	1
2.5.1 <i>Importancia internacional</i>	2
2.5.2 <i>Usos e industrialización del aguacate</i>	2
2.6 SECADO POR ASPERSIÓN COMO MÉTODO DE CONSERVACIÓN	4
2.6.1 <i>Atomización</i>	5
2.6.2 <i>Contacto gota-corriente de aire caliente</i>	6
2.6.3 <i>Evaporación del agua de la gota</i>	7
2.6.4 <i>Separación del producto del aire húmedo</i>	8
2.6.5 <i>Materiales de soporte utilizados en el secado por aspersion</i>	8
2.6.6 <i>Antecedentes de secado por aspersion de mesocarpio de aguacate</i>	10
2.7 SÍNTESIS DE ANTECEDENTES	12
3 OBJETIVOS.....	13
3.1 OBJETIVO GENERAL	13
3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	13
4 MATERIALES Y MÉTODOS.....	14
4.1 MATERIA PRIMA	14
4.2 REACTIVOS Y SOLVENTES	¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.
4.3 OBTENCIÓN DE LA MEZCLA DE ALIMENTACIÓN	¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.
4.4 SECADO POR ASPERSIÓN	15
4.4.1 <i>Rendimiento del proceso</i>	16

4.4.2	<i>Análisis físicos</i>	17
4.4.2.1	Determinación del contenido de humedad	17
4.4.2.2	Determinación de la actividad de agua	17
4.4.2.3	Determinación de color	17
4.4.3	<i>Análisis químicos</i>	18
4.4.3.1	Preparación de la muestra para análisis químicos	18
4.4.3.2	Determinación de fenoles totales	18
4.4.3.3	Evaluación de la actividad antirradical por ABTS	19
4.4.3.4	Evaluación de la actividad antirradical por DPPH.....	20
4.4.4	<i>Análisis bioquímicos</i>	21
4.4.4.1	Extracción y actividad de la polifenoloxidasasa (PPO)	21
4.4.4.2	Extracción y actividad de la lipoxigenasa (LOX)	21
4.5	DISEÑO EXPERIMENTAL Y ANÁLISIS ESTADÍSTICO	22
5	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	23
5.1	CARACTERÍSTICAS DEL AGUACATE HASS FRESCO	23
5.2	CONTENIDO DE HUMEDAD Y SÓLIDOS TOTALES EN AGUACATE HASS FRESCO.....	23
5.3	SELECCIÓN DEL TIPO Y CONCENTRACIÓN DE MATERIAL DE SOPORTE Y DE LAS TEMPERATURAS DEL SECADO POR ASPERSIÓN.....	23
5.4	EFFECTO DE LA CONCENTRACIÓN DE SOPORTE Y DEL GAS DE SECADO SOBRE EL RENDIMIENTO.....	26
5.5	EFFECTO DE LA CONCENTRACIÓN DE SOPORTE Y DEL GAS DE SECADO SOBRE EL CONTENIDO DE FENOLES TOTALES.....	26
5.6	EFFECTO DE LA CONCENTRACIÓN DE SOPORTE Y DEL GAS DE SECADO SOBRE LA ACTIVIDAD ANTIRRADICAL (DPPH).....	28
5.7	EFFECTO DE LA CONCENTRACIÓN DE SOPORTE Y DEL GAS DE SECADO SOBRE LA ACTIVIDAD ANTIRRADICAL (ABTS) 30	
5.8	EFFECTO DE LA CONCENTRACIÓN DE SOPORTE Y DEL GAS DE SECADO SOBRE LA ACTIVIDAD POLIFENOLOXIDASA (PPO)	32
5.9	EFFECTO DE LA CONCENTRACIÓN DE SOPORTE Y DEL GAS DE SECADO SOBRE LA ACTIVIDAD LIPOXIGENASA (LOX). 33	
5.10	EFFECTO DE LA CONCENTRACIÓN DE SOPORTE Y DEL GAS DE SECADO SOBRE LA ACTIVIDAD DE AGUA DEL MESOCARPIO DESHIDRATADO.....	35
5.11	EFFECTO DE LA CONCENTRACIÓN DE SOPORTE Y DEL GAS DE SECADO SOBRE EL COLOR DEL MESOCARPIO DESHIDRATADO	36
6	CONCLUSIONES	38
7	BIBLIOGRAFÍA	39
8	ANEXO: CURVAS DE CALIBRACIÓN	44
1.1	CURVA DE CALIBRACIÓN DE ÁCIDO GÁLICO	¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.
1.2	CURVA DE CALIBRACIÓN DE ÁCIDO ASCÓRBICO EN ETANOL	¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.
1.3	CURVA DE CALIBRACIÓN DE ÁCIDO ASCÓRBICO EN METANOL	¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.

LISTA DE TABLAS

<i>Tabla 2.1: Descripción de las razas de aguacate.....</i>	<i>2</i>
<i>Tabla 2.2: Descripción de algunas variedades de aguacate.</i>	<i>0</i>
<i>Tabla 2.3: Análisis proximal de mesocarpio de aguacate (100 g)</i>	<i>1</i>
<i>Tabla 2.4: Principales etados productores de aguacate en 2016.....</i>	<i>2</i>
<i>Tabla 5.1: Contenido de humedad y sólidos totales en aguacate Hass fresco.</i>	<i>¡Error! Marcador no definido.</i>
<i>Tabla 5.2: Pruebas preliminares para la selección de condiciones de secado, concentración y tipo de material de soporte.....</i>	<i>24</i>
<i>Tabla 5.2: Efecto del gas de secado sobre el rendimiento de mesocarpio de aguacate secado por aspersión con almidón de maíz como material de soporte a $T_{in} = 180\text{ }^{\circ}\text{C}$ y $T_{out} = 90\text{ }^{\circ}\text{C}$.</i>	<i>27</i>
<i>Tabla 5.4: Efecto de la concentración de soporte y del gas de secado sobre el color de mesocarpio de aguacate deshidratado por aspersión con almidón de maíz como material de soporte a $T_{in} = 180\text{ }^{\circ}\text{C}$ y $T_{out} = 90\text{ }^{\circ}\text{C}$.</i>	<i>37</i>

LISTA DE FIGURAS

<i>Figura 2.1 Componentes del fruto del aguacate.....</i>	0
<i>Figura 2.2 Patrones de flujo del aire de entrada en un proceso de secado por aspersión.....</i>	7
<i>Figura 2.3 Esquematización de curvas de secado isotérmico de diferentes materiales soporte.....</i>	10
<i>Figura 4.1 Secador por aspersión BÜCHI mini spray dryer B-290.</i>	15
Figura 4.2 Secador por aspersión BÜCHI mini spray dryer B-191.	15
Figura 5.1 Efecto de la concentración de soporte y del gas de secado sobre el contenido de fenoles totales en mesocarpio aguacate deshidratado por aspersión con almidón de maíz como material de soporte a $T_{in} = 180\text{ }^{\circ}\text{C}$ y $T_{out} = 90\text{ }^{\circ}\text{C}$ y reconstituído.....	¡Error! Marcador no definido.
Figura 5.2 Efecto de la concentración de soporte y del gas de secado sobre la actividad antirradical (DPPH) en mesocarpio aguacate deshidratado por aspersión con almidón de maíz como material de soporte a $T_{in} = 180\text{ }^{\circ}\text{C}$ y $T_{out} = 90\text{ }^{\circ}\text{C}$ reconstituído.....	29
Figura 5.3 Efecto de la concentración de soporte y del gas de secado sobre el porcentaje de retención de la actividad antirradical (DPPH) en mesocarpio aguacate deshidratado por aspersión con almidón de maíz como material de soporte a $T_{in} = 180\text{ }^{\circ}\text{C}$ y $T_{out} = 90\text{ }^{\circ}\text{C}$ y reconstituído.....	29
Figura 5.4 Efecto de la concentración de soporte y del gas de secado sobre la actividad antirradical (ABTS) en mesocarpio aguacate deshidratado por aspersión con almidón de maíz como material de soporte a $T_{in} = 180\text{ }^{\circ}\text{C}$ y $T_{out} = 90\text{ }^{\circ}\text{C}$ y reconstituído.....	31
Figura 5.5 Efecto de la concentración de soporte y del gas de secado sobre el porcentaje de retención de la actividad antirradical (ABTS) en mesocarpio aguacate deshidratado por aspersión con almidón de maíz como material de soporte a $T_{in} = 180\text{ }^{\circ}\text{C}$ y $T_{out} = 90\text{ }^{\circ}\text{C}$ y reconstituído.....	31
Figura 5.6 Efecto de la concentración de soporte y del gas de secado sobre el porcentaje de inhibición de la actividad antirradical (ABTS) en mesocarpio aguacate deshidratado por aspersión con almidón de maíz como material de soporte a $T_{in} = 180\text{ }^{\circ}\text{C}$ y $T_{out} = 90\text{ }^{\circ}\text{C}$ y reconstituído.....	32
Figura 5.7 Efecto de la concentración de soporte y del gas de secado sobre la actividad polifenoloxidasas (PPO) en mesocarpio aguacate deshidratado por aspersión con almidón de maíz como material de soporte a $T_{in} = 180\text{ }^{\circ}\text{C}$ y $T_{out} = 90\text{ }^{\circ}\text{C}$ y reconstituído.....	33

- Figura 5.8** Efecto de la concentración de soporte y del gas de secado sobre la actividad lipoxigenasa (LOX) en mesocarpio aguacate deshidratado por aspersión con almidón de maíz como material de soporte a $T_{in} = 180\text{ }^{\circ}\text{C}$ y $T_{out} = 90\text{ }^{\circ}\text{C}$ y reconstituído..... 34
- Figura 5.9** Efecto de la concentración de soporte y del gas de secado sobre la actividad de agua (Aw) en mesocarpio de aguacate deshidratado por aspersión con almidón de maíz como material de soporte a $T_{in} = 180\text{ }^{\circ}\text{C}$ y $T_{out} = 90\text{ }^{\circ}\text{C}$ 35
- Figura 5.10** Efecto de las condiciones de secado por aspersión de mesocarpio de aguacate con almidón de maíz como material de soporte a $T_{in} = 180\text{ }^{\circ}\text{C}$ y $T_{out} = 90\text{ }^{\circ}\text{C}$ sobre el aspecto del producto deshidratado..... 37
- Figura 8.1** Curva de calibración de ácido gálico para la cuantificación de fenoles totales, utilizando como disolvente agua destilada..... 44
- Figura 8.2** Curva de calibración de ácido ascórbico para la determinación de actividad antirradical DPPH utilizando etanol como disolvente. 44
- Figura 8.3** Curva de calibración de ácido ascórbico para la determinación de actividad antirradical ABTS utilizando metanol como disolvente..... 45

1 INTRODUCCIÓN

El aguacate ha obtenido una gran popularidad en México y en países de latinoamérica, su consumo se ha incrementado en países como Estados Unidos, Francia, Alemania y España, por tal motivo y debido al carácter perecedero del fruto, cada vez es más importante su industrialización. En la actualidad existen diferentes métodos de conservación y productos industrializados a base de mesocarpio de aguacate; en el mercado pueden encontrarse en fresco, conservados por refrigeración, congelación o bajo control atmosférico; o deshidratado, por medio de deshidratación osmótica, liofilización o secado por aspersión, aunque éste último no es empleado para la industria alimentaria ya que presenta sabor amargo desagradable. El procesamiento del fruto de aguacate reduce las pérdidas postcosecha, crea mayor utilidad e introduce alimentos nutritivos en las regiones donde no se cultiva (Mepba *et al.*, 2008).

El aguacate proporciona abundante vitamina B y antioxidantes; también es fuente de compuestos benéficos como carotenoides, fitoesteroles y tocoferoles; la fracción lipídica del fruto de aguacate está formada aproximadamente en 71 % por ácidos grasos monoinsaturados, 13% de ácidos grasos poliinsaturados y un 16 % de ácidos grasos saturados, esta proporción promueve perfiles sanguíneos saludables en el consumidor y mejora la biodisponibilidad de vitaminas liposolubles presentes en el fruto. La mayor parte de las proteínas del aguacate son enzimas oxidativas como la polifenoloxidasas (Tirosinasa; EC 1.14.18.1), lipoxigenasa (Lipoxidasas; EC 1.13.11.12) y lipasas, las cuales deterioran rápidamente la pulpa cuando el aguacate es procesado (Kahn, 1977; Elez-Martinez *et al.*, 2005). En la actualidad se usan diversos productos químicos para evitar el deterioro de los productos de aguacate, sin embargo, los aditivos sintéticos tienden a ser rechazados por los consumidores debido a su asociación con efectos potencialmente negativos para la salud humana (Jacobo-Velázquez *et al.*, 2013).

El secado por aspersión es una buena opción para alargar la vida de anaquel de este fruto, debido no solo a la brevedad del tiempo de secado de la gota, que generalmente son segundos, sino también porque gracias al enfriamiento provocado por la evaporación del agua, los sólidos no alcanzan la temperatura del gas de secado manteniéndose cercanos a la temperatura de bulbo húmedo del gas. Esta característica es muy importante para los alimentos termolábiles, donde el tiempo o grado de calentamiento por otros procesos causa deterioro. En los alimentos, la retención de actividad enzimática, el contenido de vitaminas y los componentes volátiles, y la prevención de la desnaturalización de proteínas por calor son algunas de las razones para preferir el secado por aspersión a otros métodos de deshidratación.

Diferentes autores (Grajales *et al.*, 1999; Schwartz *et al.*, en 2007; Uribe, 2010) han realizado secado por aspersión de aguacate adicionado con aditivos antioxidantes, sin embargo, han reportado la formación de sabores desagradables o la oxidación de ácidos grasos insaturados, por otro lado, no reportan el rendimiento alcanzado. El desarrollo de sabores amargos está relacionado con la actividad de la enzima lipoxigenasa y el desarrollo de pardeamiento con la actividad de la enzima polifenoloxidasasa.

El efecto del secado por aspersión sobre la actividad enzimática y su relación con las propiedades sensoriales del aguacate deshidratado no ha sido reportado en la literatura científica. En esta investigación se evaluó el efecto de las condiciones del secado por aspersión (temperaturas de entrada y salida, tipo de gas de secado (nitrógeno y aire) así como el tipo y concentración de soporte utilizados) sobre algunas características físicas (rendimiento, color, actividad de agua) y bioquímicas (actividad enzimática de polifenoloxidasasa y lipoxigenasa, actividad antioxidante, fenoles totales).

2 ANTECEDENTES

La producción mundial de aguacate (*Persea americana* Mill.) en el año 2015 alcanzó los 4.7 millones de toneladas, México posee el primer puesto a nivel mundial produciendo 1,520,695 toneladas, seguido por República Dominicana el cual produjo 428,301 toneladas en el mismo año (SAGARPA, 2017). El consumo de la fruta de aguacate en los últimos años se ha aumentado debido a su sabor y textura, y por beneficios a la salud reportados (Lu *et al.*, 2009). Así, la demanda y producción del aguacate se eleva, aumentando también los volúmenes de fruta de baja calidad, que son comercializados a bajos precios; una alternativa importante para el aprovechamiento y la comercialización de estos volúmenes es la industrialización (Olaeta, 2003).

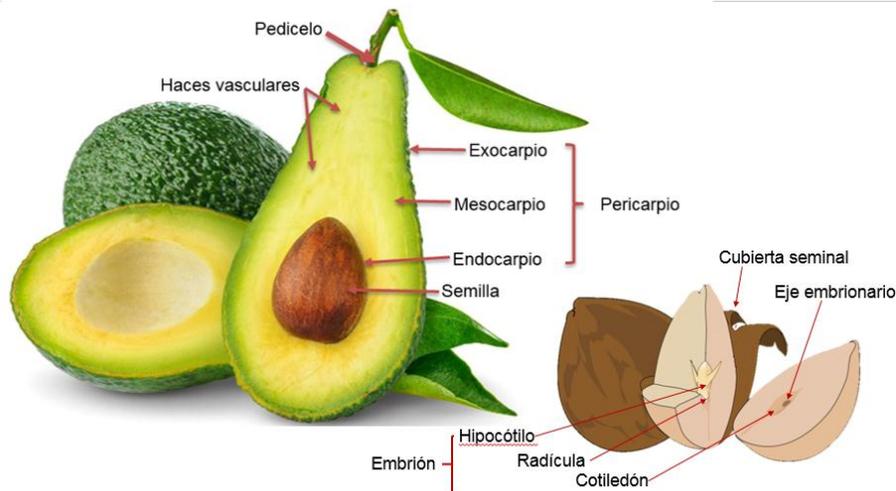
2.1 Estructura del fruto de aguacate

El fruto de aguacate es una baya que contiene una sola semilla. Los principales componentes del aguacate son la semilla y el pericarpio (Figura 2.1).

Exocarpio o cáscara: está formado por tejidos epidérmicos parenquimatosos y esclerenquimatosos; es la capa que se remueve cuando el fruto es pelado, su grosor llega a medir hasta 0.5 cm y está influenciado por el medio ambiente; el exocarpio puede ser rugoso e irregular según el cultivar o completamente liso como en el caso de varios tipos de la raza Mexicana (Barrientos *et al.*, 1996).

Mesocarpio: es la porción comestible de la fruta. La pulpa de este fruto presenta una estructura celular uniforme, compuesta de células isodiamétricas de parénquima; se ha observado que existe división celular aún en frutos completamente maduros, lo que indica que el incremento de volumen resulta de

la división celular a través de la vida del fruto; la célula típica mide alrededor de 60 μm de diámetro con una pared delgada de celulosa. Existen cloroplastos en todas estas células, cristales de oxalato de calcio en algunas y en ocasiones puede presentarse una pequeña cantidad de almidón; las células de parénquima contienen gotas de aceite de diferente tamaño las que se encuentran en la parte periférica de la fruta, son pequeñas y no tan abundantes como en las regiones internas; también contiene células más pequeñas debajo de la epidermis y hay un gradiente creciente en tamaño en el pericarpio hasta alcanzar un tamaño máximo constante, en capas más internas, el tamaño de las células disminuye abruptamente (Barrientos *et al.*, 1996).



Barrientos *et al.*, 1996

Figura 2.1 Componentes del fruto del aguacate.

Endocarpio: es una capa frágil y leñosa que recubre a la semilla, difícil de identificar en el fruto maduro ya que se asocia fuertemente a la semilla, las células del endocarpio contienen menos cloroplastos, granos de almidón, gotas de aceite

y cristales de oxalato de calcio que las células del mesocarpio (Barrientos *et al.*, 1996).

Semilla: está compuesta por la cubierta seminal y embrión, carente de endospermo en la madurez (Barrientos *et al.*, 1996).

2.2 Composición y valor nutricional del aguacate

Un aguacate puede tener diferente composición dependiendo del tiempo de cosecha durante el año (Lu *et al.*, 2009). La fruta de aguacate es valorada por su alto contenido lipídico en el tejido del mesocarpio, el cual puede variar entre 15 y 30 %, dependiendo del cultivar y estación del año; el aguacate es considerado como una de las más importantes fuentes naturales de lípidos monoinsaturados tales como ácido linoleico y linolénico (Meyer *et al.*, 2009). En la Tabla 2.3 se muestra el análisis proximal de la pulpa.

2.3 Razas de aguacate

Las variedades de aguacate se agrupan en tres razas:

- ❖ Raza mexicana (*Persea americana* var. *drymifolia*)
- ❖ Raza antillana (*Persea americana* var. *americana*)
- ❖ Raza guatemalteca (*Persea americana* var. *guatemalensis*)

Cada una de estas razas tiene una serie de características agronómicas bien definidas que se encuentran enumeradas en la Tabla 2.1.

2.4 Variedades de aguacate

Existen más de 400 variedades de aguacate debido a múltiples hibridaciones ocurridas entre las razas y ambientes ecológicos de México y

Centroamérica los cuales permitieron su modificación. La Tabla 2.2 muestra las características más importantes de algunas variedades de aguacate.

2.5 Composición y valor nutricional del aguacate

Un aguacate puede tener diferente composición dependiendo del tiempo de cosecha durante el año (Lu *et al.*, 2009). La fruta de aguacate es valorada por su alto contenido lipídico en el tejido del mesocarpio, el cual puede variar entre 15 y 30 %, dependiendo del cultivar y estación del año; el aguacate es considerado como una de las más importantes fuentes naturales de lípidos monoinsaturados tales como ácido linoleico y linolénico (Meyer *et al.*, 2009). En la Tabla 2.3 se muestra el análisis proximal de la pulpa.

Tabla 2.1: Descripción de las razas de aguacate.

	RAZA MEXICANA	RAZA ANTILLANA	RAZA GUATEMALTECA
Color de yema	Verde	Verde	Violeta
Hojas con olor a anís	Si	No	No
Floración	De enero a marzo	De febrero a marzo	De enero a abril
Resistencia al frío	Alta (-7°C)	Poca (-1°C)	Intermedia
Resistencia a salinidad	Poca	Mucha	Intermedia
Resistencia a clorosis	Poca	Mucha	Poca
Tamaño fruto	Pequeño (50 – 300g)	Grande (400 – 1500g)	Mediano (200 – 500g)
Características de la piel	Muy fina y lisa	Algo gruesa, lisa y brillante	Gruesa, leñosa y rugosa
Características de la pulpa y semilla	Semilla grande y poca pulpa	Pulpa abundante	Pulpa abundante, semilla pequeña
Forma del pedúnculo	Alargado y cilíndrico de diámetro uniforme	Cilíndrico y ensanchado	Forma troncocónica
Maduración	Fin de verano-otoño	Verano y principio de otoño	Fin de invierno y primavera
Calidad del fruto	Buena	Buena	Muy buena

Tabla 2.2: Descripción de algunas variedades de aguacate.

Variedad	Raza	Forma	Piel	Pulpa	Sabor	Tolerancia al frío	Maduración
Hass	Guatemalteca	Pera	Rugosa verde oscura a violacea casi negra	Buena calidad y poco fibrosa, suave y cremosa	Agradable con ligeros toques de nuez y avellana	Muy poco resistente	Todo el año
Zutano	Mexicano-guatemalteco	Pera	Lisa y negra	Baja calidad	Agradable	Resistente	Principios del invierno
Bacon	Mexicano-guatemalteco	Oval	Lisa y fina color verde a verde oscuro	Mediana calidad, amarilla verdosa de textura suave	Agradable	Muy resistente	Otoño y primavera
Fuerte	Mexicano-guatemalteco	Pera	Gruesa y aspera de color verde a amarillo	Buena calidad y cremosa	Agradable con ligeros toques de nuez	Muy poco resistente	Finales de otoño a primavera
Pinkerton	Mexicano-guatemalteco	Pera alargado	Gruesa verde oscuro	Buena calidad y cremosa.	Agradable	Resistente	Invierno a verano
Lamb Hass	Mexicano-guatemalteco	Pera muy ancho	Gruesa y rugosa de color verde a violacea casi negra	Buena calidad	Agradable	Resistente	Verano
Aguacatillo	Mexicano	Oval	Muy fina y negra	Mediana calidad de color amarillo a verde limón	Agradable	Muy resistente	Verano a inicios de otoño
Reed	Mexicano-guatemalteco	Redondo	Gruesa y verde	Textura cremosa y de color amarillo	Agradable	Resistente	Verano a inicios de otoño

(Mijares Oviedo y López López, 1998; SAGARPA, 2011)

Tabla 2.3: Análisis proximal de mesocarpio de aguacate (100 g)

Análisis proximal del aguacate en 100 g de pulpa fresca	
Calorías	160 calorías
Agua	75 g
Lípidos	15.4 g
Ácidos grasos poliinsaturados	1.69 g
Ácido linoleico (C 18:2)	11.13 %
Ácido linolénico (C 18:3)	2.52 %
Carbohidratos	5.9 g
Proteínas	1.7 g
Fibra	1.6 g

(Ortega, 2003).

2.6 Importancia económica del aguacate.

El aguacate es uno de los productos de mayor importancia que se producen en México por su gran consumo en el mundo. Existen más de 150 mil hectáreas plantadas en diferentes partes de la República Mexicana. En el año 2012 la producción de este fruto alcanzó 1.3 millones de toneladas y 1.5 millones en el 2013. Cada año el volumen de producción va en aumento tan solo del año 2007 al 2012, el volumen de producción incrementó a una tasa media anual de 2.9 % y en 2013 se observó un crecimiento mayor de 11.5 %, debido a que se ha destinado una mayor superficie para el cultivo. El 96.4 % de la producción del país está destinado al aguacate Hass, el 2.7 % a criollo, 0.1 % a fuerte, el resto no se encuentra clasificado (SHCP, 2014). Michoacán es el mayor productor el cual concentra el 83.5 % del volumen de producción de aguacate en el país, casi cada 8 de 10 aguacates de producción nacional proviene de este estado. Otras entidades que tienen cierta participación son: Jalisco, 6.4 %; Estado de México, 5 %; Morelos, Nayarit y Morelos (estos últimos aportan menos del 5 % de la producción nacional) (SAGARPA, 2017; Tabla 2.4).

Tabla 2.4: Principales estados productores de aguacate en 2016.

Posición	Entidad federativa	Volumen (toneladas)	Variación (%) 2015-2016
	Total nacional	1,889,354	14.9
1	Michoacán	1,477,263	15.1
2	Jalisco	143,505	19.9
3	México	109,209	22.7
4	Nayarit	33,240	-15.1
5	Morelos	32,448	9.8

(SAGARPA, 2017).

2.6.1 Importancia internacional

El cultivo y exportación de aguacates frescos es una actividad agrícola mexicana de importancia mundial pues México es el principal productor mundial desde 1961, produciendo alrededor del 30 % del volumen total de aguacates que se cosechan en el mundo (Morales, 2014). México también es el mayor exportador de este fruto, los principales países que importan este fruto son: Estados Unidos, que se sitúa en el primer lugar, seguido de Canadá, Japón, Holanda y Francia. Siete de cada diez aguacates mexicanos exportados son dirigidos al mercado estadounidense (SAGARPA, 2017).

2.6.2 Usos e industrialización del aguacate

La industrialización del aguacate es una actividad que depende de los remanentes que quedan de la producción en fresco. Al incrementar el consumo y producción de este fruto se provoca un incremento en la producción de fruto de baja calidad, el cual se comercializa normalmente en los mercados domésticos nacionales a menor costo haciendo que la industrialización sea una buena alternativa para la comercialización de este producto (Olaeta, 2003).

El aguacate puede industrializarse de diferentes maneras por ejemplo, mitades congeladas, la pulpa como base de productos untables principalmente purés tipo guacamole, congelados o refrigerados que son base de la comida denominada "Tex-Mex", tanto frescas como refrigeradas o congeladas; también puede emplearse para la obtención de aceite (Olaeta, 2003).

Otras alternativas para la industrialización del aguacate son la deshidratación osmótica, atomización ó liofilización. En todos los casos la tendencia futura será elaborar productos, en lo posible sin conservadores, que sean naturales o estén dentro de la normativa orgánica (Olaeta, 2003).

Cuando se procesa el aguacate, pueden presentarse alteraciones indeseables, que modifican su sabor, textura, apariencia, vida de anaquel y valor nutricional; este deterioro puede ser causado por enzimas que están presentes de manera natural (oscurecimiento enzimático por polifenoloxidasas o rancidez causada por la presencia de lipasas y lipoxigenasas endógenas) o por enzimas producidas por ciertos microorganismos (Whitaker, 2003). El oscurecimiento enzimático ocurre como resultado de la oxidación de componentes fenólicos, por la polifenoloxidasa a sus respectivas quinonas. Las quinonas eventualmente pueden polimerizar a melaninas las cuales son catalizadas de forma no enzimática; lo que se conoce como melanosis (Yoruk y Marshall, 2003). Uno de los puntos más importantes para la industria alimentaria en este fruto es prevenir el oscurecimiento, principalmente en el que es procesado, este puede retardarse por eliminación de oxígeno o la inhibición de la actividad polifenoloxidasa (Whitaker, 2003). A partir de 1933 el cultivo del aguacate variedad Hass se ha esparcido, siendo actualmente la variedad más común por su buena productividad, sus cualidades para tolerar el transporte, la conservación y por su alto rendimiento en pulpa (alrededor del 63-67 % del total de la fruta) (Lu *et al.*, 2009).

2.7 Secado por aspersión como método de conservación

Se entiende por deshidratación a la operación por la cual se elimina una cierta cantidad de agua de una sustancia o matriz que la contenga hasta el punto donde el crecimiento microbiológico y las reacciones químicas son minimizadas. Frente a otros procedimientos de conservación de alimentos, deshidratar presenta ventajas a nivel industrial, por ejemplo, los productos son de fácil empaquetado, reducen espacio en el almacenamiento y el transporte es más económico. Algunas desventajas de secar productos alimenticios que pueden presentarse, son los cambios indeseables de sabor y aroma debido a la pérdida de compuestos volátiles y los cambios generados por las temperaturas de secado (Fito *et al.*, 2001).

El secado por aspersión es la transformación de una alimentación en estado líquido a un producto sólido y seco, al poner en contacto dicha alimentación en forma de gotas finas con una corriente de aire caliente, generando partículas de diámetros aproximados de 10 a 50 μm (Souza y Oliveira, 2006). Gracias al bajo contenido de agua del producto obtenido, el secado por aspersión se emplea en la industria alimentaria en productos a partir de jugos de fruta gracias a una serie de ventajas como un funcionamiento continuo, representando porcentajes de rendimiento altos, la calidad del producto puede controlarse debido a las características del proceso, pueden utilizarse diferentes gases de secado en base al tipo de alimentación, causa menor daño a productos termosensibles debido a que pueden manejarse temperaturas bajas de secado y a la rápida transferencia de calor, se pueden obtener productos con partículas relativamente uniformes y esféricas con la misma proporción (Mujumdar, 1987; Souza y Oliveira, 2006). Los altos costos de instalación, baja eficiencia térmica, y el manejo de aire cargado de polvo en condiciones de saturación o casi saturación son las principales desventajas de este proceso (Masters, 1985).

Para lograr un buen secado por aspersión deben de considerarse aspectos importantes como los siguientes.

2.7.1 Atomización

La atomización es muy importante en el secado por aspersión, ya que la selección y funcionamiento del atomizador es fundamental para conocer las condiciones óptimas de evaporación y obtener un producto final que cumpla con las especificaciones requeridas.

El atomizador, es el equipo empleado para romper un volumen de líquido en finas gotas formando un spray ya sea por presión o fuerza centrífuga. Los objetivos que se buscan con la atomización son:

- 1) Ampliar la superficie de contacto para aumentar con ello el área de transferencia de masa y tasa de evaporación. Durante la atomización, 1 m^3 de líquido a granel puede ser dividido en aproximadamente 2×10^{12} gotas individuales uniformes de $100 \text{ }\mu\text{m}$ de diámetro y obtener con ello una superficie de transferencia total de más de 60.000 m^2 . Con una mayor área de transferencia se permiten altas velocidades de secado y tiempos de residencia cortos.
- 2) Generar partículas con forma, tamaño y densidad específica logrando un mismo tiempo de secado y por consiguiente el mismo contenido de humedad en las partículas (Masters, 1985).

El tamaño de la gota depende de las características de la mezcla de alimentación, del flujo de alimentación y del atomizador. La tobera de dos fluidos o neumática, tiene como función básica convertir la presión proporcionada por la bomba en energía cinética, logrando que las altas fuerzas de fricción entre la superficie del aire y el líquido que tiene una alta velocidad, generen un asperjado. Cuanto mayor sea la energía proporcionada, la gota es más fina. Cabe recalcar

que puede haber un incremento en el tamaño de la partícula si, para la misma cantidad de energía, se aumenta la velocidad de alimentación o cuando la viscosidad y la tensión superficial del líquido inicial son altas (BÜCHI Labortechnik AG, 2002; BETE, 2005).

El control del tamaño de gota en este tipo de aspersores toma en cuenta el diámetro promedio de la partícula, la velocidad del aire con respecto al líquido en el orificio de la tobera, la tensión superficial, densidad del líquido, la viscosidad y finalmente la relación que existe entre el volumen de aire/líquido en los orificios de aire y el líquido respectivamente (BETE, 2005).

2.7.2 Contacto gota-corriente de aire caliente

Es el primer paso de la etapa del secado, iniciando en la atomización. El comportamiento del contacto de la gota con el aire caliente se determina por la posición relativa entre el atomizador y la entrada de aire de secado. La finalidad es generar finas gotas que tengan un tiempo de residencia adecuado en la cámara de secado para obtener el nivel de humedad deseado sin llegar a la degradación de compuestos importantes por calor y evitar que se generen depósitos en las paredes de la cámara (BÜCHI Labortechnik AG, 2002). Con base a esto se puede clasificar el secado como (a) co-corriente, donde el líquido atomizado va en la misma dirección que el aire de secado, con lo cual el secado se da de forma instantánea, (b) contra corriente donde el aire de secado entra en la posición contraria al líquido que es atomizado, teniendo mayor tiempo de contacto de aire con la gota y (c) flujo mixto. La Figura 2.2 ejemplifica los tipos de flujo en el secado por aspersión (Masters, 1985).

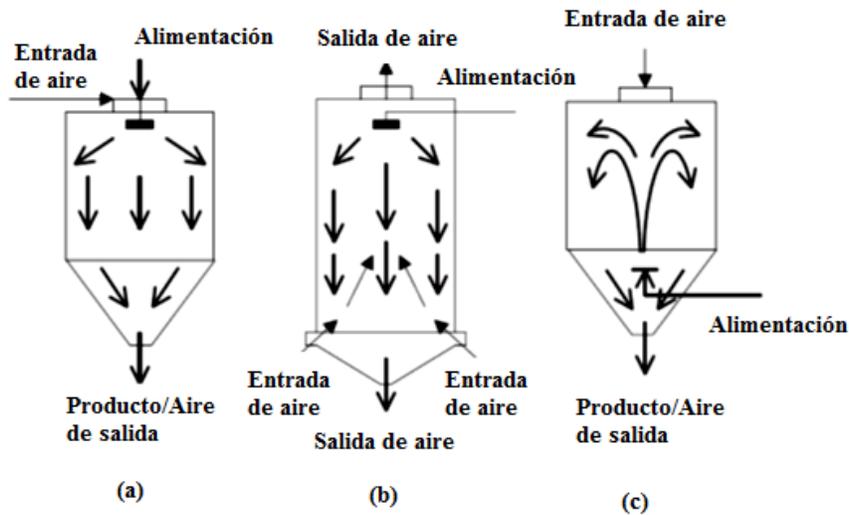


Figura 2.2 Patrones de flujo del aire de entrada en un proceso de secado por aspersión.

2.7.3 Evaporación del agua de la gota

El equilibrio de temperatura y presión parcial de vapor se establece entre las fases líquida y gaseosa al momento de entrar en contacto el aire caliente con las gotas; la transferencia de calor es del aire de secado hacia el producto, por diferencia de temperatura, mientras que la transferencia de agua se lleva a cabo en la dirección opuesta debido a la diferencia en la presión de vapor. Dicha transferencia de calor no requiere temperaturas superiores al punto de ebullición del agua para evaporar el agua contenida en la gota en el corto tiempo de contacto, ya que al tener un gradiente entre la superficie húmeda y el vapor no saturado, se logra una evaporación a bajas temperaturas, así el producto final no tiene ninguna carga térmica adicional (BÜCHI Labortechnik AG, 2002; Gharsallaoui *et al.*, 2007).

Tres pasos se presentan para la eliminación de agua de las gotas en el secado por aspersión: 1) Instantes después del contacto con el aire caliente, la transferencia de calor genera un aumento en la temperatura de las gotas hasta un

valor constante (temperatura de bulbo húmedo), donde a partir de dicho punto, la evaporación de las gotas de agua se lleva a cabo a temperatura constante y a la presión de vapor parcial del agua, iniciando el encogimiento de la gota, 2) La velocidad de difusión de agua desde el núcleo de la gota a la superficie se considera generalmente constante e igual a la velocidad de evaporación de la superficie y 3) Finalmente, al alcanzar el contenido crítico de agua en la gota, comienza la formación de una costra en la superficie de la misma, que genera una disminución en la velocidad de secado, volviéndose dependiente el proceso de la difusión del agua a través de la corteza, el punto final de secado se da cuando la temperatura de la partícula iguala a la del aire (Gharsallaoui *et al.*, 2007; BETE, 2005).

2.7.4 Separación del producto del aire húmedo

Una vez finalizado el secado, las partículas de producto deben ser separadas del aire húmedo, a nivel industrial, la separación primaria se lleva a cabo en la base cónica de la cámara de secado, donde las partículas simplemente caen a la parte inferior de la cámara y las partículas más finas que el aire lleva consigo, son separadas en un ciclón que se encuentra externo al secador. A nivel piloto los ciclones se encuentran conectados a la cámara de secado, logrando de igual forma la separación de las partículas que, por diferencia de densidades, caen en un contenedor (BÜCHI Labortechnik AG, 2002).

2.7.5 Materiales de soporte utilizados en el secado por aspersión

Los materiales de soporte, ya sean polímeros naturales o sintéticos, se eligen en base a las características deseadas del producto final. Deben de presentar características ideales como: Tener buenas propiedades reológicas, conforme a su concentración, que permitan su manipulación durante el proceso, que logren la formación de una película uniforme al momento de llevar a cabo la

aspersión, baja higroscopicidad, que no reaccionen en el proceso de secado, capacidad para liberar el solvente o el encapsulado y bajos costos. En el caso de los empleados en la industria alimentaria, los coadyuvantes deben ser grado alimenticio (Bhandari, 2009; Shahidi y Han, 1993). Existen materiales de soporte insolubles como por ejemplo ceras, ácidos grasos, etc., y solubles en agua como las gomas, carbohidratos, entre otros.

Las principales ventajas de usar un soporte en el secado por aspersión son, a) protección a los factores externos (calor, aire, luz, humedad), evitando degradación del activo; b) liberación controlada del compuesto encapsulado; c) fácil manejo del activo si se encuentra en una cápsula modificando sus características físicas (reduciendo higroscopía, mejorando distribución del material, etc.); d) enmascara sabor y olor del núcleo; e) evita contacto del activo con otros componentes de la matriz; f) estabiliza compuestos inestables y finalmente g) aumenta el porcentaje de sólidos en la alimentación, permitiendo formar una red densa dando como resultado un secado óptimo transformando de forma satisfactoria muestras líquidas en sólidas (Astray *et al.*, 2009; Gharsallaoui *et al.*, 2007).

En la Figura 2.3 se muestra la relación que hay entre el contenido de humedad y la velocidad de secado de un grupo de materiales de soporte. En la Figura 2.3 se muestran curvas de secado para diferentes materiales de soporte, la curva número 1 corresponde a maltodextrina y goma árabiga, este comportamiento indica que dichos materiales de soporte son idóneos para la protección de compuestos bioactivos termosensibles, ya que se observa la capacidad para formar una corteza en la gota de forma rápida protegiendo al núcleo contra la transferencia de oxígeno y el deterioro térmico. Los carbohidratos son considerados buenos agentes encapsulantes debido a su baja viscosidad, buena solubilidad y su alto contenido de sólidos. Las gomas son muy empleadas en alimentos por sus propiedades de película, estabilizadores en emulsiones y por su solubilidad.

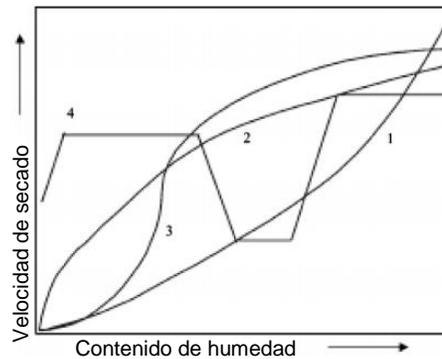


Figura 2.3 Esquematización de curvas de secado isotérmico de diferentes materiales soporte.

2.7.6 Antecedentes de secado por aspersión de mesocarpio de aguacate

En la mayoría de los trabajos reportados donde se emplea secado por aspersión, se hace énfasis en la temperatura de entrada y salida como variable de proceso que determina otras condiciones de operación del equipo, ya que se busca una temperatura de salida que no dañe las características del producto final. Obtener las condiciones óptimas de operación de un secado por aspersión depende del estudio del efecto de los parámetros de operación sobre las características del polvo resultante, por consiguiente, se han estudiado como variables fijas de proceso la temperatura de entrada del aire de secado y el caudal de alimentación al secador con el objetivo de evitar la variación del flujo durante el proceso y tener una temperatura de salida fija.

Grajales *et al.*, en 1999, realizaron secado por aspersión de mesocarpio de aguacate de la variedad Hass (grado de madurez no especificado), empleó como emulsificante monoacilglicérido, como aditivos 0.05 % de hidroxiquinona terciaria butilada (TBHQ) y ácido cítrico con la finalidad de evitar el pardeamiento enzimático, las condiciones del secado fueron temperatura de entrada de 180° C y temperatura de salida de 80° C y un flujo de alimentación de 0.642 L/min. Su proceso fue capaz de inactivar a la polifenoloxidasas (PPO) evitando así el

pardeamiento enzimático en el polvo, el cual presentó sabor amargo y desagradable.

Schwartz *et al.* reportaron, en 2007, el secado por aspersion de mesocarpio de aguacate (variedad y grado de madurez no especificada), el secado se realizó en un secador por aspersion con atomizador monor Niro a temperatura de entrada de 120 a 130° C, temperatura de salida de 70 a 80 °C y un flujo de alimentación de 8 – 10 kg/h, emplearon maltodextrina al 2 % como material de soporte y adicionaron 300 ppm de ácido cítrico, 300 ppm de ácido ascórbico y 200 ppm de antioxidante (TBHQ) para evitar el pardeamiento enzimático. Obtuvo como resultado un polvo de color verde característico del aguacate, con buena reconstitución al agua, bajo contenido de agua (< 1 %), sabor amargo y conservación de lípidos en un 70 %; después de 60 días de almacenamiento en oscuridad, los lípidos en el polvo descedieron a 50 %.

Uribe, en 2010, realizó secado por aspersion de mesocarpio de aguacate de la variedad Hass con madurez “B” (sazón firme duro y color de la cáscara negro) uso temperatura de entrada de 140° C y 60° C como temperatura de salida, como material de soporte utilizó almidón modificado (N-LOK ®) 4:1 y como aditivo 0.015 % de metabisulfito de sodio (respecto al mesocarpio fresco). El proceso provocó la oxidación de ácidos grasos insaturados y poliinsaturados así como disminución de la capacidad antioxidante.

García *et al.*, en 2010, obtuvieron polvo de mesocarpio de aguacate Hass deshidratado por medio de liofilización en el cual no se añadió ningún aditivo, se empleó nitrógeno líquido para congelar el puré de aguacate a - 40° C (1 -10 h) a 450×10^{-3} y 50×10^{-3} mbar. EL producto fue almacenado en atmósfera controlada con oxígeno y contenedores de luz-impermeables. Se logró obtener polvo de mesocarpio de aguacate sin aditivos, evitando el pardeamiento enzimático, con sabor agradable y largo periodo de vida.

2.8 Síntesis de antecedentes

Se ha elaborado polvo de aguacate por diversos métodos de secado, buscando mantener las características sensoriales propias del aguacate evitando el uso de aditivos y la pérdida de nutrientes. También se ha encontrado que el único método de deshidratación que ha podido cumplir con estas características es la liofilización, sin embargo, este método es costoso y eleva el precio del producto final. Por otro lado, el secado por aspersion con aire ha permitido conservar un porcentaje aceptable de lípidos insaturados y evitar el pardeamiento enzimático, pero produce un sabor desagradable en el producto final. No se han encontrado reportes de secado por aspersion de mesocarpio de aguacate usando nitrógeno como gas de secado.

3 OBJETIVOS

3.1 Objetivo general

Evaluar el efecto del secado por aspersión con nitrógeno y aire sobre las propiedades físicas y químicas de mesocarpio de aguacate Hass.

3.2 Objetivos específicos

- ❖ Evaluar el efecto del tipo de gas de secado sobre el rendimiento y las propiedades físicas y químicas de mesocarpio de aguacate deshidratado.
- ❖ Evaluar el efecto de la concentración y tipo de material de soporte sobre las propiedades físicas y químicas del polvo de mesocarpio de aguacate deshidratado.
- ❖ Evaluar el efecto de la temperatura de entrada y salida del gas de secado sobre las propiedades físicas y químicas del polvo de mesocarpio de aguacate deshidratado.

4 MATERIALES Y MÉTODOS

4.1 Materia prima

Los frutos de aguacate de variedad Hass fueron adquiridos en el mercado local de la ciudad de Veracruz, en el Estado de Veracruz, México y se trasladaron a la Unidad de Investigación y Desarrollo en Alimentos (UNIDA) del Instituto Tecnológico de Veracruz (ITVer).

Los frutos fueron lavados por inmersión en agua para eliminar impurezas, se retiró el exceso de agua con papel absorbente. Se realizó una selección en base a su madurez, eliminando frutos inmaduros. Los frutos dañados por el traslado fueron separados para la obtención inmediata del mesocarpio. Los frutos íntegros, se guardaron en contenedores plásticos para ser almacenados a temperatura ambiente hasta su uso posterior.

4.2 Obtención de la mezcla de alimentación

Para definir el soporte adecuado se probaron diferentes materiales de soporte (ciclodextrina w-6, ciclodextrina w-7, ciclodextrina w-8, maltodextrina D10, sílice, goma arábiga y almidón de maíz) en diferentes contracciones (1:0.5, 1:1, 1:2, 1:3 y 1:4), diferentes temperaturas de entrada (130, 150, 170, 180, 190 y 210°C) y diferentes temperaturas de salida (70, 80, 90, 95 y 110°C). Gran parte de las formulaciones no lograron secarse o su rendimiento fue sumamente bajo, por lo cual fueron descartadas; al final se decidió realizar la experimentación con almidón de maíz ya que los polvos resultantes de estas mezclas presentaban buenas características físicas. Las concentraciones de material de soporte que se emplearon en relación sólidos de mesocarpio de aguacate y sólidos de material de soporte (g/g) fueron 1:2, 1:3 y 1:4 (mesocarpio de aguacate:almidón de maíz).

4.3 Secado por aspersion

La mezcla fue deshidratada en un secador por aspersion (BÜCHI mini spray dryer B-290) acoplado a una bomba de calor (BÜCHI B-295) y un deshumidificador (BÜCHI B-296; Figura 4.1). Se empleó un atomizador de flujo a cocorriente, esto quiere decir que la mezcla de alimentación es asperjada en la misma direcci3n que el flujo del aire de secado. Debido a que este secador posee una configuraci3n de ciclo cerrado es posible emplear un gas inerte como el nitr3geno, el cual puede evitar reacciones de oxidaci3n durante el proceso de secado, y resulta favorecedor cuando se tiene la necesidad de secar vegetales con actividad antioxidante, como es el caso del mesocarpio de aguacate Hass.

Para realizar los secados con aire como gas de secado se utiliz3 un secador por aspersion (Mini Spray Dryer B-191 marca BÜCHI) en ciclo abierto, funcionando con el principio de cocorriente (Figura 4.2).



Figura 4.1 Secador por aspersion BÜCHI mini spray dryer B-290.



Figura 4.2 Secador por aspersion BÜCHI mini spray dryer B-191.

La suspensión a secar por aspersión se ajustó a un contenido de 20 % de sólidos a diferentes concentraciones de material de soporte (1:2, 1:3, 1:4 g/g). La mezcla de alimentación 1:2 se preparó con 50 g de mesocarpio de aguacate Hass homogeneizado en mortero y mezclado en licuadora con 23.9 g de almidón de maíz hidratado y homogeneizado con 100 g de agua. La mezcla homogeneizada fue filtrada en colador para eliminar partículas de gran tamaño que pudieran bloquear la tobera del equipo de secado. La mezcla se mantuvo en agitación durante el proceso de secado. El proceso se repitió para elaborar las mezclas con las diferentes concentraciones de material de soporte.

Los experimentos de secado por aspersión se realizaron por duplicado, empleando como temperatura de entrada (T_{ent}) 180 °C y de salida (T_{sal}) 90 °C. La temperatura de salida se mantuvo constante variando el flujo de alimentación.

Los polvos analizados fueron aquellos que se obtuvieron una vez alcanzado el régimen permanente en el secador, para lo cual fue necesario estabilizar previamente las condiciones de operación en el equipo con agua destilada. Cabe mencionar que las condiciones se establecieron en base a experimentos preliminares, obteniendo los tratamientos donde se obtuviera un polvo con el mejor rendimiento ya que no todas las combinaciones fueron factibles.

4.3.1 Rendimiento del proceso

El cálculo del rendimiento (Ec. 1) se llevó a cabo en base a los sólidos alimentados, es decir tomando en cuenta a los sólidos en base seca de la suspensión de mesocarpio de aguacate más los sólidos en base seca del material de soporte adicionado; y a los sólidos recuperados al término del proceso.

$$Rendimiento = \frac{Sólidos recuperados * 100}{Sólidos alimentados} \quad Ec. 1$$

4.3.2 Análisis físicos

Se determinó el contenido de sólidos al mesocarpio de aguacate Hass previo al secado, para poder determinar la formulación de las mezclas de alimentación del secado por aspersión.

En las muestras deshidratadas se midió la actividad de agua (A_w) y el color (L^* , a^* , b^* , HUE* y Cromo).

4.3.2.1 Determinación del contenido de sólidos del mesocarpio de aguacate

El contenido de sólidos en el mesocarpio de aguacate Hass se determinó por diferencia de peso con respecto al contenido de humedad, el cual fue calculado por pérdida de peso, empleando el método de estufa de vacío AOAC 32.1.03. (2006) a 70 °C y 600 mbar, manteniéndose las condiciones hasta llegar a peso constante. Las muestras fueron pesadas en balanza analítica (Velab, modelo VE-204). El contenido de humedad se expresó como porcentaje en base seca.

4.3.2.2 Determinación de la actividad de agua

La actividad de agua se determinó en muestras deshidratadas empleando un higrómetro Aqualab (Decagon, Devices, modelo Serie 3) a 25 ± 1 °C. Las mediciones se realizaron por duplicado.

4.3.2.3 Determinación de color

La determinación del color se realizó colocando la muestra en una charola plástica hasta cubrir $\frac{3}{4}$ partes del volumen total de la misma. Empleando un colorímetro Hunter Lab (Mini Scan XE Plus) se obtuvieron valores de luminosidad

(L*), intensidad cromática o saturación (Croma, Ec. 2) y tono (°HUE, Ec 3). Las mediciones se realizaron por duplicado.

$$C^* = \sqrt{a^{*2} + b^{*2}} \quad \text{Ec. 2}$$

$$^{\circ} HUE = \arctan \frac{b^*}{a^*} \quad \text{Ec. 3}$$

4.3.3 Análisis químicos

Se determinó el contenido de fenoles totales (FT), la actividad antirradical mediante el radical 2,2-difenil-1-picrilhidrazilo-6-sulfónico (DPPH[•]) y 2,2'-azino-bis-(3-etil-benzotiazolin-6-sulfónico (ABTS^{•+}), a las muestras de mesocarpio de aguacate previo al secado por aspersión y posterior al mismo.

4.3.3.1 Preparación de la muestra para análisis químicos

A 5 g de mesocarpio de aguacate Hass, mesocarpio reconstituido ó mezcla de alimentación para el secado, colocados en un tubo para centrífuga, se le añadieron 15 mL de una solución metanol:agua (80:20 v/v), se homogeneizó durante un minuto a 4 °C y se centrifugó a 10000 xg durante 15 min a 4 °C. El sobrenadante fue empleado para realizar la determinación de fenoles totales así como la capacidad antioxidante.

4.3.3.2 Determinación de fenoles totales

La determinación de compuestos fenólicos totales por Folin-Ciocalteu se realizó en base a lo descrito por Ledesma Escobar (2011). Se mezclaron 1580 µL de agua destilada con 100 µL del reactivo de Folin–Ciocalteu 2 M y 70 µL de muestra, se agitó en vortex durante 10 s y se dejó reposar 5 min. Posteriormente se añadieron 300 µL de carbonato de sodio al 20 % agitando nuevamente (10 s).

Se dejó reposar en baño a 40 °C durante 30 minutos. Las lecturas espectrofotométricas se realizaron a 765 nm. La curva de calibración se realizó con una solución stock de ácido gálico con el disolvente de extracción (agua:MetOH 10:90), el cual se diluyó para obtener 0.8, 0.6, 0.4, 0.2, 0.1, 0.05 mg/mL. Los resultados se expresaron en mg equivalentes de ácido gálico por cada 100 g de base seca del extracto (mg EAG/100 g bs). Se utilizó un blanco preparado con todos los reactivos a excepción de la muestra, la cual fue sustituida por el solvente de extracción agua:MetOH (10:90).

La retención de compuestos fenólicos se define en base al porcentaje de dichos compuestos en el producto final, es decir, cantidad de compuestos presentes en el polvo de mesocarpio contra el contenido de la solución de alimentación al secador (Ec. 4), tomando en cuenta el factor de dilución de la muestra con el MeOH de 250.

$$\% \text{ Retención de FT} = \frac{\text{Contenido de fenoles totales en el polvo (mg } \frac{\text{EAG}}{100\text{g}} \text{bs)}}{\text{Contenido de fenoles totales en la mezcla de alimentación (mg } \frac{\text{EAG}}{100\text{g}} \text{bs)}} \times 100$$

Ec. 4

4.3.3.3 Evaluación de la actividad antirradical por ABTS

La actividad antirradical ABTS se realizó siguiendo la metodología descrita por Re *et al.* (1999). Se prepararon 10 mL en base agua del radical ABTS^{•+} (2,2'-Azinobis-3-etil-benzotiazolina-6-ácido sulfónico), adicionando persulfato de potasio (0.0066 g) a una solución de ABTS (0.0384 g) para la formación del radical, la mezcla se dejó reaccionar durante 16 h a 25 ± 1 °C. Para el análisis, dicha solución se diluyó con metanol hasta alcanzar una absorbancia de 0.7 ± 0.05 a 734 nm, un aproximado de 250 µL de la solución de radical preparada en 20 mL de metanol. La determinación se realizó colocando 980 µL del radical

diluido con 20 µL de muestra en un tubo de ensaye, agitándose 10 s con un equipo vortex. El tiempo de reacción requerido fue de 5 min. Las mediciones de absorbancia fueron a 734 nm. Para preparar el blanco, se colocaron en un tubo de ensayo 980 µL de metanol. Para calcular el porcentaje de inhibición, fue necesario la elaboración de una muestra referencia, la cual se preparó con la solución de ABTS diluida con 20 µL de solvente de extracción reemplazando la muestra. El porcentaje de inhibición se calculó utilizando la siguiente ecuación:

$$\% AAr = \left[1 - \frac{A_m}{A_R} \right] * 100 \quad \text{Ec. 5}$$

Donde AAr es actividad antirradical; Am, la absorbancia de las muestras; y AR corresponde a la absorbancia de referencia.

La retención de la actividad antirradical se definió como el porcentaje de actividad antirradical reportado en el producto final, comparado con la solución inicial alimentada al secador por aspersion (Ec. 6).

$$\% \text{ Retención } AAr = \frac{\text{Cotenido de AAr en el polvo (mg EAA / 100g bs)}}{\text{Cotenido de AAr en el extracto fresco (mg EAA/100gbs)}} X 100 \quad \text{Ec. 6}$$

4.3.3.4 Evaluación de la actividad antirradical por DPPH

El análisis se realizó empleando una solución de DPPH (1,1-difenil-2-picrilhidrazilo) a una concentración de 25 mg/L MetOH. 3.9 mL de DPPH preparado se mezclaron con 100 µL de extracto, según lo descrito por Simirgiotis (2012). Se incubó la mezcla durante 20 min a 25 °C en oscuridad. La disminución en la absorbancia se midió a 517 nm. El blanco se realizó con una solución de MetOH, 3.9 mL y 100 µL de la solución de extracción 1:10 (agua:MetOH) y la

solución de referencia se preparó con 3.9 mL de solución de DPPH y 100 µL de solución de extracción 1:10 (agua:MetOH).

4.3.4 Análisis bioquímicos

4.3.4.1 Extracción y actividad de la polifenoloxidasas (PPO)

La extracción y determinación de la actividad de la polifenoloxidasas se realizó conforme a lo reportado por Espin *et al.* (1997), López-Malo *et al.* (1998), Palou *et al.* (2000) y Soliva-Fortuny *et al.* (2002), con algunas modificaciones. Para cada tratamiento se pesaron 5 g de puré de polvo de mesocarpio deshidratado reconstituido con agua al que se le añadió poli(1-vinil-2-pirrolidona) (PVPD) al 1 %, 15 mL de buffer de fosfatos pH 6.5, 50 mM, frío (4 °C), se homogeneizó durante un minuto a 4 °C mediante un homogeneizador Ultra-Turrax T25 Digital (IKA Works, Inc. China.), posteriormente se centrifugó a 10000 x g durante 15 min a 4 °C, en una centrífuga eppendorf modelo 5810R. Se recuperó el sobrenadante y se utilizó como extracto para medir la actividad de la PPO.

Para medir la actividad de la PPO a 500 µL de catecol 20 mM se le añadieron 900 µL de buffer de fosfatos pH 6.5 y 100 µL de extracto enzimático, para el blanco se adicionaron 500 µL de ácido tricloroacético (TCA) al 10 % y se leyó la absorbancia a 410 nm. La mezcla de reacción se incubó durante 20 min a 25 °C, se detuvo la reacción adicionando 500 µL de ácido tricloroacético (TCA) al 10 % y se leyó la absorbancia a 410 nm. La actividad de la PPO se reportó como el incremento en la absorbancia después del tiempo de reacción para 100 µL de extracto.

4.3.4.2 Extracción y actividad de la lipoxigenasa (LOX)

La extracción y la determinación de la actividad de lipoxigenasa (LOX) se realizó conforme a lo descrito por Jacobo-Velazquez *et al.* (2010 a, b), 5 g de puré

de polvo de mesocarpio de aguacate Hass deshidratado reconstituido con agua destilada conteniendo 1 % de Triton X 100 fueron homogeneizados con 15 mL de buffer de fosfato de sodio 0.1 M, pH 6 (4 °C) durante un minuto. Posteriormente la mezcla se centrifugó a 16000 x g durante 5 min a 4 °C. El sobrenadante se utilizó como extracto enzimático.

Para medir la actividad LOX se utilizaron 19 µL de ácido linoleico con 20 µL de Tween-20, 5 mL de agua desionizada y 1 mL de solución de NaOH (1 N), aforados a 25 mL con buffer de fosfato de sodio 0.1 M pH 6. Como mezcla de reacción se utilizó 1mL de fosfato de sodio 0.1 M pH 6, 20 µL de sustrato y 25 µL de extracto enzimático, la mezcla se colocó en una celda para espectro UV y se midió la absorbancia por triplicado a 234 nm cada 30 s durante 5 min a 25 °C. La actividad de la enzima lipoxigenasa fue reportada como la absorbancia final después de 5 min de reacción (Lu *et al.*, 2013).

4.4 Diseño experimental y análisis estadístico

La evaluación de los efectos del secado por aspersion sobre el mesocarpio de aguacate Hass, se llevó a cabo partiendo de un diseño matemático con base factorial $1^3 \times 2$ tipo de gas de secado (nitrógeno y aire) $\times 2$ (duplicado).

5 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1 Características del aguacate Hass fresco

Los aguacates que se emplearon para la experimentación presentaban textura firme y cáscara negra, el peso promedio de los aguacates fue de 232.48 g valor que se encuentra dentro de lo reportado por Saavedra (1995) y Belmar (1996), ellos mencionan que el peso promedio del fruto de aguacate Hass varía entre 200 y 300 g.

5.2 Contenido de humedad y sólidos totales en aguacate Hass fresco

En la Tabla 5.1 se presentan los resultados promedio del contenido de sólidos totales y humedad en mesocarpio de aguacate Hass fresco.

Tabla 5.1: Contenido de humedad y sólidos totales en aguacate Hass fresco.

Sólidos totales (g)	0.17 ± 0.01
Sólidos totales (%)	23.92 ± 0.08
Humedad total (%)	76.07 ± 0.08

Media ± desviación estándar.

5.3 Selección del tipo y concentración de material de soporte y de las temperaturas del secado por aspersión.

La Tabla 5.2 muestra el efecto del tipo y concentración del material de soporte, del tipo de gas de secado, de los sólidos totales en la mezcla de alimentación y de las temperaturas de entrada y salida, sobre el rendimiento. .

Tabla 5.2: Pruebas preliminares para la selección de condiciones de secado, concentración y tipo de material de soporte.

Material de Soporte	Gas de secado	Concent. de soporte (g/g)	Sólidos totales en mezcla de secado (%)	Temp. de entrada (°C)	Temp. de salida (°C)	Rendimiento (%)
Maltodextrina D-10	nitrógeno	1:0.02	6	130	70	-
Maltodextrina D-10	nitrógeno	1:0.02	12.9	130	80	-
Maltodextrina D-10	nitrógeno	1:0.5	6	130	70	-
Maltodextrina D-10	nitrógeno	1:1	6.8	130	70	-
Maltodextrina D-10	nitrógeno	1:1	6	150	70	0.65
Maltodextrina D-10	nitrógeno	1:1	21	180	90	1.04
Maltodextrina D-10	nitrógeno	1:1	21	180	90	1.46
Maltodextrina D-10	nitrógeno	1:2	11.9	130	70	-
Maltodextrina D-10	nitrógeno	1:2	11.9	170	80	3.86
Maltodextrina D-10	nitrógeno	1:2	20.6	180	90	9.43
Maltodextrina D-10	nitrógeno	1:3	21	180	90	8.33
Maltodextrina D-10	nitrógeno	1:3	21	180	90	0.47
Sílice	nitrógeno	1:0.2	12	180	90	-
Sílice	nitrógeno	1:0.5	5.9	130	70	24.21
Celulosa	nitrógeno	1:0.25	3.7	130	70	0.29
Goma Arábica	nitrógeno	1:0.2	9.4	180	90	0.49
Ciclodextrina w8	nitrógeno	1:1	6.8	170	95	-
Ciclodextrina w8	nitrógeno	1:1	6.8	180	95	16.56
Ciclodextrina w7	nitrógeno	1:0.2	12	180	90	-
Ciclodextrina w7	nitrógeno	1:1	6.8	170	100	-
Ciclodextrina w7	nitrógeno	1:1	6.8	180	100	15.44
Ciclodextrina w6	nitrógeno	1:1	6.8	170	90	24.36

Material de Soporte	Gas de secado	Concent. de soporte (g/g)	Sólidos totales en mezcla de secado (%)	Temp. de entrada (°C)	Temp. de salida (°C)	Rendimiento (%)
Ciclodextrina w6	nitrógeno	1:1	6.8	190	110	-
Ciclodextrina w6	nitrógeno	1:1	6.8	190	110	18.98
Ciclodextrina w6	nitrógeno	1:1	6.8	210	110	16.07
Ciclodextrina w6	nitrógeno	1:1	6.8	170	110	12.50
Ciclodextrina w6	nitrógeno	1:1	6.8	170	90	17.99
Ciclodextrina w6	nitrógeno	1:1	6.8	190	110	25.86
Ciclodextrina w6	nitrógeno	1:1	6.8	150	70	1.71
Ciclodextrina w6	nitrógeno	1:1	6.8	130	70	18.91
Ciclodextrina w6	nitrógeno	1:0.2	12	180	90	-
Almidón de maíz	nitrógeno	1:2	21	130	70	-
Almidón de maíz	nitrógeno	1:2	21	180	90	-
Almidón de maíz	aire	1:2	21	180	90	0.95
Almidón de maíz	nitrógeno	1:3	21	170	80	-
Almidón de maíz	nitrógeno	1:3	21	180	90	3.57
Almidón de maíz	aire	1:3	21	180	90	1.42
Almidón de maíz	nitrógeno	1:4	21	180	90	4.76
Almidón de maíz	aire	1:4	21	180	90	1.19
Maltodextrina D-10: Sílice	nitrógeno	1:2:0.5	13.9	130	70	10.35
Maltodextrina D-10:Ciclodextrina w6	nitrógeno	1:0.2:1	7	130	70	0.25
Maltodextrina D-10:Ciclodextrina w6	nitrógeno	1:0.2:1	7	130	80	2.51
Celulosa: Sílice	nitrógeno	1:0.25:0.2	6	130	70	-
Celulosa: Sílice	nitrógeno	1:0.25:0.2	6	150	70	0.88
Maltodextrina D-10:Ciclodextrina w6: Sílice	nitrógeno	1:1:0.2:0.2	7	130	70	0.25

Los experimentos que se realizaron con ciclodextrina w-6, ciclodextrina w-7, ciclodextrina w-8 y sílice fueron descartados debido a que, o proporcionaron un rendimiento muy bajo o, los que presentaban un rendimiento aceptable, representaban una cantidad de material de soporte que superaba el máximo recomendable para su consumo en productos alimentarios. La goma arábiga y la celulosa fueron descartadas debido a que proporcionaron bajos rendimientos; por otra parte, la maltodextrina D-10 y el almidón de maíz presentaron rendimientos aceptables, pero se tomó la decisión de realizar los experimentos con almidón de maíz, ya que los polvos resultantes de los secados en los que se empleó este material de soporte presentaba mejores características que los realizados con maltodextrina D-10. De forma similar, se seleccionaron las temperaturas de entrada y salida de 180 °C y 90 °C, respectivamente, y un contenido de sólidos totales de 21 %.

5.4 Efecto de la concentración de soporte y del gas de secado sobre el rendimiento

Como se observa en la Tabla 5.3, el rendimiento más alto (80.47 %) se alcanzó con el tratamiento realizado con aire como gas de secado y concentración de material de soporte 1:2, a diferencia del tratamiento realizado con aire como gas de secado a una concentración de 1:3, que presentó el menor rendimiento (54.40 %), estos rendimientos son mayores que el reportado por Schwartz en 2007, quien obtuvo un rendimiento del 30 %.

5.5 Efecto de la concentración de soporte y del gas de secado sobre el contenido de fenoles totales.

En todos los casos, se observó una pérdida de fenoles totales después del proceso de secado la cual fue similar entre los secados realizados con los diferentes gases. En la Fig. 5.1 se puede observar que el secado con aire en proporción de soporte 1:3 conservó mejor los fenoles.

Tabla 5.3: Efecto del gas de secado sobre el rendimiento de mesocarpio de aguacate secado por aspersion con almidón de maíz como material de soporte a $T_{in} = 180\text{ }^{\circ}\text{C}$ y $T_{out} = 90\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Gas de secado	Concentración de material de soporte (g/g)	Rendimiento (%)
nitrógeno	1:2	57.26 \pm 4.54
aire	1:2	80.47 \pm 13.13
nitrógeno	1:3	68.92 \pm 7.91
aire	1:3	54.40 \pm 15.32
nitrógeno	1:4	72.73 \pm 10.26
aire	1:4	68.21 \pm 2.86

Media \pm desviación estándar.

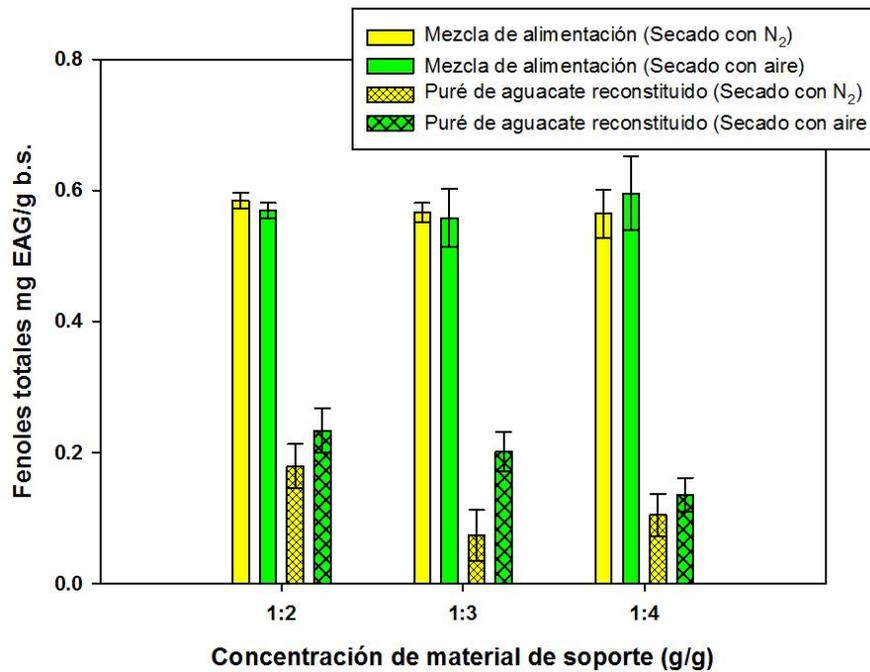


Figura 5.1 Efecto de la concentración de soporte y del gas de secado sobre el contenido de fenoles totales en mesocarpio aguacate deshidratado por aspersion con almidón de maíz como material de soporte a $T_{in} = 180\text{ }^{\circ}\text{C}$ y $T_{out} = 90\text{ }^{\circ}\text{C}$ y reconstituido.

La disminución del contenido fenólico puede deberse a la temperatura de salida de 90 °C la cual pudo ocasionar la posible degradación térmica de los compuestos fenólicos. En este sentido, Georgetti *et al.* (2008), publicaron resultados similares y discuten que la degradación de las sustancias fenólicas puede estar asociada con la aparición de reacciones de oxidación inducidas por el calor y también con la posibilidad de pérdida de sustancias volátiles durante el secado por aspersión.

5.6 Efecto de la concentración de soporte y del gas de secado sobre la actividad antirradical (DPPH).

La capacidad antioxidante es una variable importante para establecer la función de un producto alimenticio como saludable (Kaur y Kapoor, 2001), por lo mismo se buscaba que esta capacidad no se viera afectada de forma importante, sin embargo, se observó una pérdida significativa de la actividad antirradical DPPH posterior al proceso de secado por aspersión.

La disminución en la actividad antirradical fue similar en los secados realizados con los diferentes gases (Figura 5.2) y pudo deberse a la exposición a altas temperaturas, ya que al aumentar ésta, aumenta la velocidad de degradación de los compuestos bioactivos (Fazaeli *et al.*, 2012). De igual manera Quek *et al.* (2007) reportaron una disminución en el contenido de la capacidad antioxidante resultante del aumento de la temperatura del aire de entrada.

Los valores de retención de actividad radical por DPPH fueron mayores al utilizar la concentración de almidón de maíz 1:4 (22-25 %) que con la concentración 1:3 (8-9 %) y la concentración 1:2 (9-14 %). La retención de la actividad antirradical fue similar en el mesocarpio deshidratado con diferentes gases, a una proporción de soporte 1:3; sin embargo, en las otras dos proporciones se observó mayor retención antirradical en el producto deshidratado con nitrógeno (Figura 5.3).

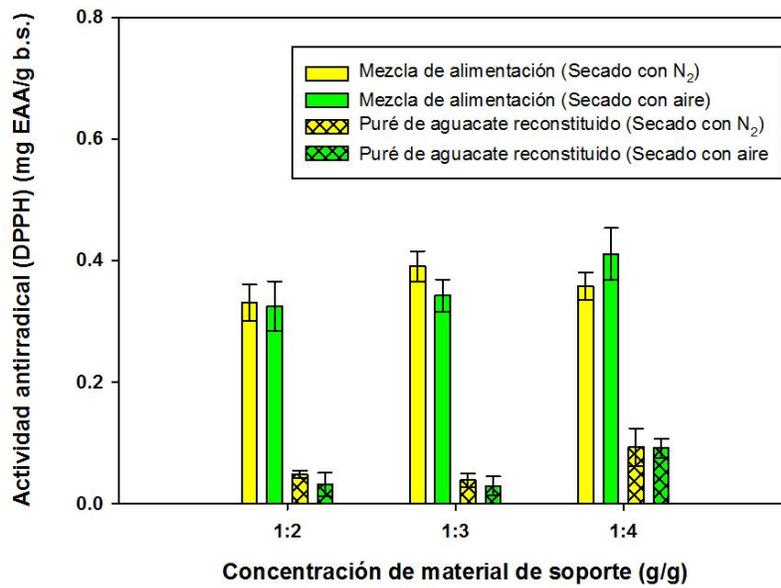


Figura 5.2 Efecto de la concentración de soporte y del gas de secado sobre la actividad antirradical (DPPH) en mesocarpio aguacate deshidratado por aspersión con almidón de maíz como material de soporte a $T_{in} = 180\text{ }^{\circ}\text{C}$ y $T_{out} = 90\text{ }^{\circ}\text{C}$ reconstituido.

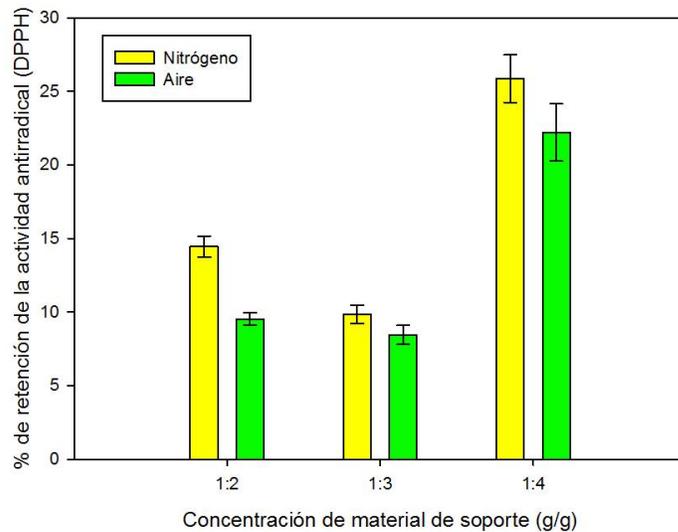


Figura 5.3 Efecto de la concentración de soporte y del gas de secado sobre el porcentaje de retención de la actividad antirradical (DPPH) en mesocarpio aguacate deshidratado por aspersión con almidón de maíz como material de soporte a $T_{in} = 180\text{ }^{\circ}\text{C}$ y $T_{out} = 90\text{ }^{\circ}\text{C}$ y reconstituido.

El aumento de la temperatura aumenta la velocidad de degradación de los compuestos, sin embargo, también disminuye simultáneamente la humedad, hasta que llega un momento en el que disminuye la tasa de degradación; por lo que el efecto general de las temperaturas de entrada y salida puede no ser significativo. Goula *et al.* (2006) concluyeron que para realizar el cálculo exacto de una cinética de degradación durante el proceso de secado se debe conocer la temperatura del material y el contenido de agua en cada momento del proceso; así se puede definir la dependencia existente con la velocidad de degradación.

5.7 Efecto de la concentración de soporte y del gas de secado sobre la actividad antirradical (ABTS)

En el análisis de productos vegetales se emplean usualmente los ensayos DPPH y ABTS ya que ambos radicales libres son capaces de ser neutralizados por reducción directa vía transferencia de electrones así como por inactivación de radicales vía transferencia de átomos de hidrógeno. El porcentaje de inhibición de radicales es proporcional al contenido de actividad antirradical (Prior *et al.*, 2005).

La actividad antirradical ABTS también se vió afectada por el proceso de secado por aspersion, aunque en menor grado que la actividad antirradical DPPH. Estos resultados ponen de manifiesto que el material de soporte no fue capaz de proteger a los compuestos con actividad antirradical (Figura 5.4).

En la Figura 5.5 se observa la disminución del porcentaje de retención de actividad antirradical ABTS posterior al secado, también se observa un comportamiento similar con respecto a la concentración de material de soporte; los secados realizados con aire a la concentración de soporte 1:2 presentaron mayor disminución (29 %) en comparación con las concentraciones 1:3 y 1:4 quienes presentaron porcentajes de 40 y 41 % respectivamente. En los secados efectuados con nitrógeno la diferencia, en dos de tres condiciones, no fue significativa.

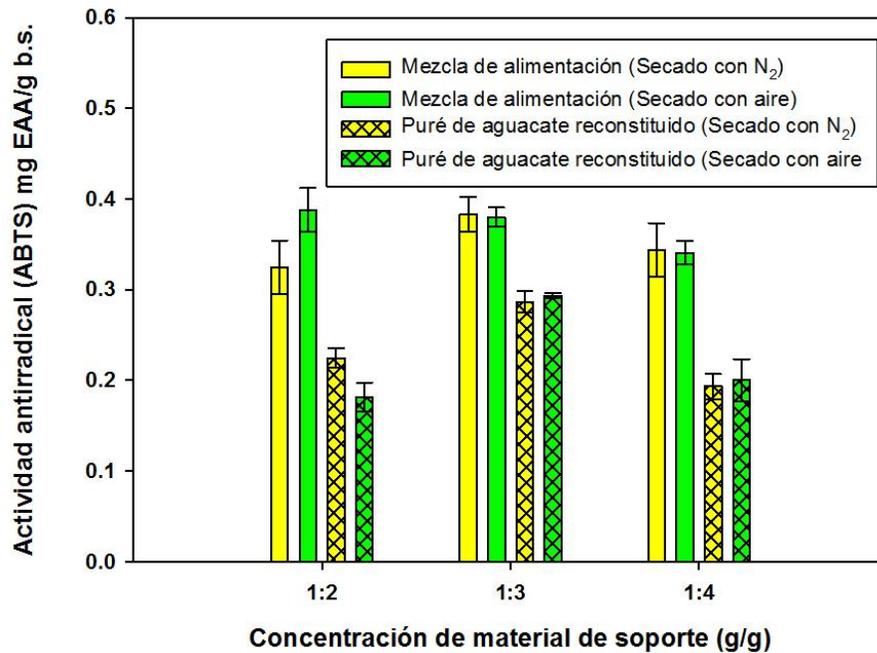


Figura 5.4 Efecto de la concentración de soporte y del gas de secado sobre la actividad antirradical (ABTS) en mesocarpio aguacate deshidratado por aspersión con almidón de maíz como material de soporte a $T_{in} = 180\text{ }^{\circ}\text{C}$ y $T_{out} = 90\text{ }^{\circ}\text{C}$ y reconstituido.

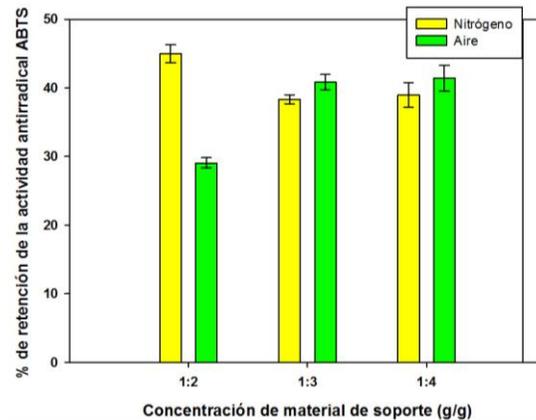


Figura 5.5 Efecto de la concentración de soporte y del gas de secado sobre el porcentaje de retención de la actividad antirradical (ABTS) en mesocarpio aguacate deshidratado por aspersión con almidón de maíz como material de soporte a $T_{in} = 180\text{ }^{\circ}\text{C}$ y $T_{out} = 90\text{ }^{\circ}\text{C}$ y reconstituido.

El porcentaje de inhibición de actividad antirradical ABTS, en el mesocarpio de aguacate deshidratado con aire y con nitrógeno, no mostró diferencias significativas independientemente de la concentración de soporte. El porcentaje de inhibición fue mayor a concentración 1:3 aunque el secado con nitrógeno no mostró diferencias significativas con la concentración de soporte 1:2. El menor porcentaje de inhibición se obtuvo con la concentración 1:4, indicando que a mayor cantidad de soporte, se presentó mayor protección de los compuestos con actividad antirradical (Figura 5.6).

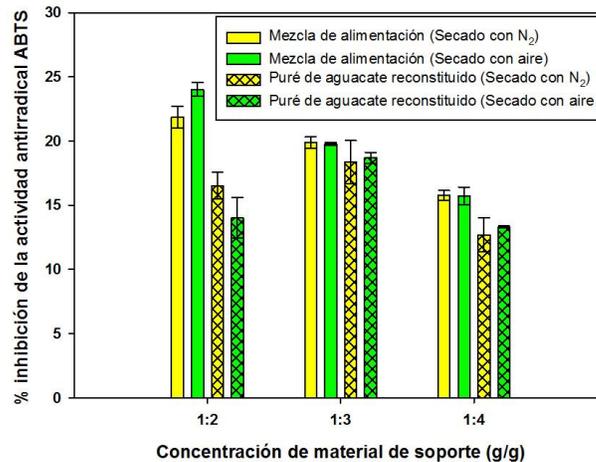


Figura 5.6 Efecto de la concentración de soporte y del gas de secado sobre el porcentaje de inhibición de la actividad antirradical (ABTS) en mesocarpio aguacate deshidratado por aspersión con almidón de maíz como material de soporte a $T_{in} = 180\text{ }^{\circ}\text{C}$ y $T_{out} = 90\text{ }^{\circ}\text{C}$ y reconstituido.

5.8 Efecto de la concentración de soporte y del gas de secado sobre la actividad polifenoloxidasasa (PPO)

Existe un comportamiento similar entre los experimentos realizados con diferente concentración de material de soporte en donde se observa que existe una pequeña disminución en la actividad enzimática después del secado, esto coincide con lo descrito por Grajales *et al.* (2007) quien también presentó

disminución de actividad enzimática en sus polvos. Los polvos secados con nitrógeno presentaron mayor pérdida de actividad enzimática que los secados con aire. Puede ser que la disminución de oxígeno en el proceso cree la inhibición de la actividad de PPO (Figura 5.7).

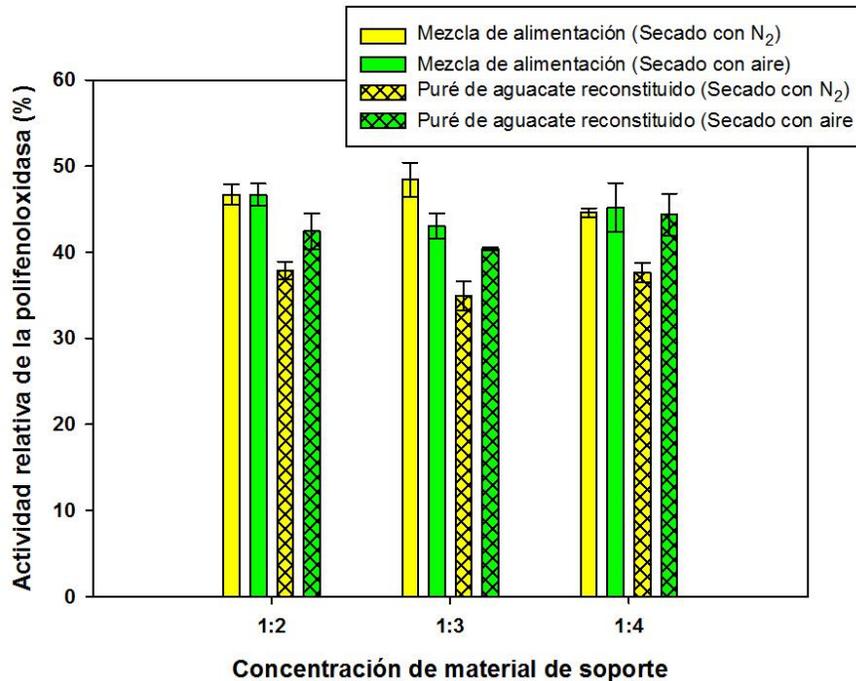


Figura 5.7 Efecto de la concentración de soporte y del gas de secado sobre la actividad polifenoloxidasasa (PPO) en mesocarpio aguacate deshidratado por aspersión con almidón de maíz como material de soporte a $T_{in} = 180\text{ }^{\circ}\text{C}$ y $T_{out} = 90\text{ }^{\circ}\text{C}$ y reconstituido.

5.9 Efecto de la concentración de soporte y del gas de secado sobre la actividad lipoxigenasa (LOX).

La temperatura óptima para la actividad de LOX en frutos de aguacate es de 30 y 40 °C según lo reportado por Jacobo-Velázquez *et al.* (2010), sin embargo, estos mismos autores reportan que LOX mostró alta actividad a temperaturas mayores de 75 °C. La estabilidad térmica que presenta LOX ha sido evaluada en

varios vegetales (ya que es una enzima fuertemente relacionada con los procesos de deterioro de los alimentos), ejemplo de esto es que para el tomate únicamente fue necesario alcanzar 60 a 65 °C para inactivar LOX (Anthon y Barrett, 2003; Rodrigo *et al.* 2007). Sin embargo, en escaldado convencional con una exposición de 3 min a 100 °C, se obtienen reducciones del 75 % en calabaza amarga, del 70 % en chícharos y del 80 % en zanahorias (Kaur *et al.*, 1999), también se reportó que posterior a un tratamiento de 95 °C por 10 min se seguía observando actividad residual de LOX del 29.1 % en brócoli (Morales-Blancas *et al.*, 2002).

En la Figura 5.8 se puede observar que la actividad de LOX disminuyó ligera, pero significativamente, después del secado, por lo anteriormente descrito acerca de la tolerancia de la enzima LOX a altas temperaturas se puede pensar que la actividad de ésta no fue afectada debido a que en el proceso de secado por aspersión el producto no se encuentra expuesto a altas temperaturas.

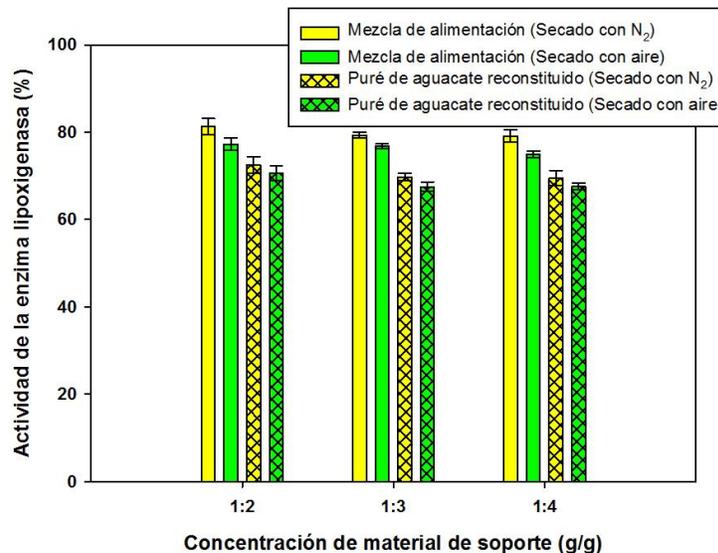


Figura 5.8 Efecto de la concentración de soporte y del gas de secado sobre la actividad lipoxigenasa (LOX) en mesocarpio aguacate deshidratado por aspersión con almidón de maíz como material de soporte a $T_{in} = 180$ °C y $T_{out} = 90$ °C y reconstituido.

5.10 Efecto de la concentración de soporte y del gas de secado sobre la actividad de agua del mesocarpio deshidratado.

La actividad de agua del mesocarpio de aguacate secado por aspersión se encontró entre 0.18 (con aire como gas de secado) y de 0.27 con nitrógeno (como gas de secado, Figura 5.9), se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos. Estos resultados coinciden con lo realizado por Schwartz en 2007 quien secó mesocarpio de aguacate usando aire como gas de secado y una mezcla de maltodextrina y antioxidantes a 120 °C de temperatura de entrada y 80 °C como temperatura de salida. Debido a que los microorganismos requieren de agua para su crecimiento es indispensable que un producto seco contenga la menor A_w posible para garantizar su estabilidad química y microbiológica, mencionó Kah en 2000.

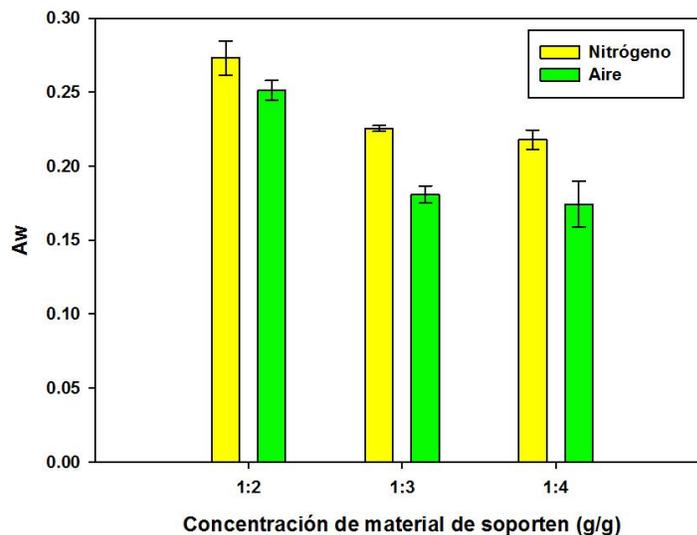


Figura 5.9 Efecto de la concentración de soporte y del gas de secado sobre la actividad de agua (A_w) en mesocarpio de aguacate deshidratado por aspersión con almidón de maíz como material de soporte a $T_{in} = 180$ °C y $T_{out} = 90$ °C.

En el caso de productos grasos como el aguacate, es importante que presenten actividades de agua bajas debido a que ésta contribuye a la oxidación

de las grasas. Se ha reportado (Colina, 2010) que en los alimentos que contienen entre 3 a 12 % de humedad se ven inhibidas la mayoría de las reacciones bioquímicas y enzimáticas, sin embargo, la oxidación de los lípidos suele ser la principal causa de deterioro de los alimentos grasos.

5.11 Efecto de la concentración de soporte y del gas de secado sobre el color del mesocarpio deshidratado

El color es uno de los atributos de mayor importancia en los alimentos, es el primer contacto que se tiene con el consumidor, condicionando sus preferencias e influenciando la elección.

En cuanto al color de los polvos, la luminosidad L^* se ve afectada por la concentración de material de soporte, cuando se emplea almidón de maíz (Tabla 5.4). El incremento en la luminosidad en los polvos es debido a las características de los materiales de soporte, los cuales son polvos de apariencia clara, esto ha sido descrito por Abadio *et al.* (2004) y Grabowski *et al.* (2006) quienes encontraron un aumento en la luminosidad de sus polvos obtenidos en el proceso de secado por aspersión al aumentar la concentración del material de soporte.

El ángulo Hue representa la tonalidad de los extractos secos; en la Tabla 5.4 se observa que los valores de Hue están en la región comprendida a las tonalidades verde a azul. Se puede observar que los polvos y la mezcla de alimentación con concentración 1:2 son los que poseen el color similar al mesocarpio de aguacate Hass fresco, ya que al tener menor cantidad de material de soporte presentan menor luminosidad. Estos datos de color corresponden con el color del mesocarpio de aguacate deshidratado que se observa en la Figura 5.10.

Tabla 5.4: Efecto de la concentración de soporte y del gas de secado sobre el color de mesocarpio de aguacate deshidratado por aspersión con almidón de maíz como material de soporte a $T_{in} = 180\text{ }^{\circ}\text{C}$ y $T_{out} = 90\text{ }^{\circ}\text{C}$.

			L*	a*	b*	c*	Hue	
Fresco	Nitrógeno	1:2	55.9	-9.36	37.9	38.563	-1.326	
		1:3	69.935	7.365	32.095	32.926	-1.345	
		1:4	67.785	-6.705	29.975	30.721	-1.350	
	Aire	1:2	72.62	-7.145	29.515	30.378	-1.332	
		1:3	68.575	-7.115	33.15	31.377	-1.358	
		1:4	70.43	-6.7	29.99	29.914	-1.344	
	Polvo	Nitrógeno	1:2	73.265	-7.06	29.25	30.095	-1.333
			1:3	69.88	-8.68	31.505	32.683	-1.301
			1:4	71.865	-6.17	25.005	26.055	-1.329
Aire		1:2	71.29	-5.385	22.655	23.247	-1.338	
		1:3	67.735	-6.52	29.5	30.225	-1.354	
		1:4	71.77	-5.285	26.08	26.610	-1.371	
		1:4	72.645	-5.455	20.86	22.380	-1.319	

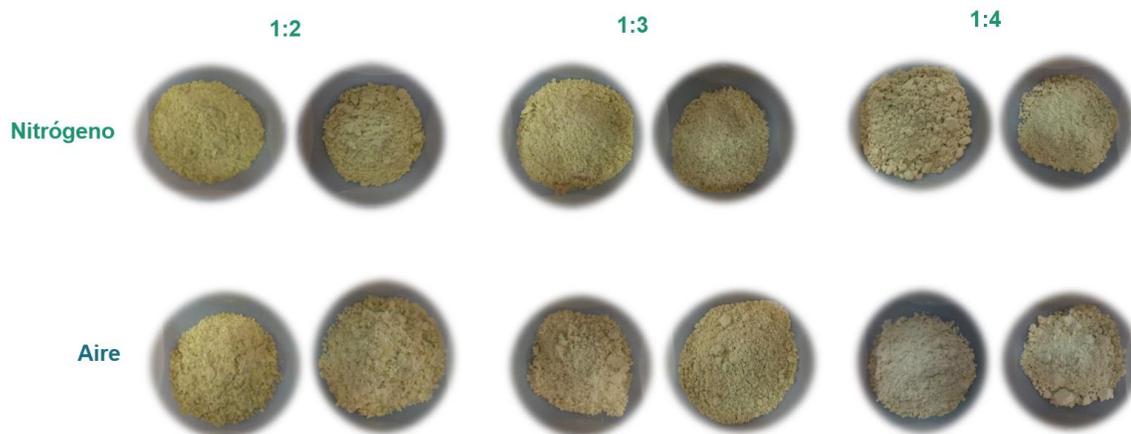


Figura 5.10 Efecto de las condiciones de secado por aspersión de mesocarpio de aguacate con almidón de maíz como material de soporte a $T_{in} = 180\text{ }^{\circ}\text{C}$ y $T_{out} = 90\text{ }^{\circ}\text{C}$ sobre el aspecto del producto deshidratado.

6 CONCLUSIONES

El mesocarpio de aguacate deshidratado con aire o nitrógeno mostró características similares, indicando la ausencia de un efecto significativo relacionado con el tipo de gas de secado. Se observó disminución en la concentración de fenoles totales, en la actividad antirradical y en las actividades de PPO y de LOX después del proceso de secado. La actividad de agua (A_w) fue suficientemente baja para evitar la actividad enzimática así como la proliferación de bacterias, mohos y levaduras.

Las diferentes concentraciones de soporte mostraron comportamientos similares durante el proceso, en todas se observó disminución en la actividad de PPO y de LOX así como en el contenido de fenoles totales y actividad antirradical. Sin embargo, los tratamientos realizados con la concentración 1:2 fueron los que presentaron una coloración mas cercana a la del mesocarpio de aguacate fresco.

7 BIBLIOGRAFÍA

Abadio, F. D. B., Domingues, A. M., Borges, S. V., Oliveira, V. M. 2004. Physical properties of powdered pineapple (*Ananas comosus*) juice effect of maldextrin concentration and atomization speed. *J. Food Eng.* 64(3), 285-287.

Abbott, J.A., Massie, D.R. y Ada, A.E.W. 1982. The use of a computer with an instron for textural measurements. *J. Texture Stud.* 13:413–422.

Anthon, G.E. y Barrett, D.M. 2003. Thermal inactivation of lipoxygenase and hydroperoxytrienoic acid lyase in tomatoes. *Food Chem.* 81:275 - 279.

AOAC. 2006. Official methods of analysis. association of official analytical chemists. Washington, D.C.

Ashton, O.B.O., Wong, M., McGhie, T.K., Vather, R., Wang, Y., Requejo-Jackman, C., Ramankutty, P. y Woolf, A.B., 2006. Pigments in avocado tissue and oil. *J. Agric. Food Chem.* 54:10151–10158.

Astray, G., González-Barreiro, C., Mejuto, J.C., Rial-Otero R. y Simal-Gándara, J. 2009. A review on the use of cyclodextrins in foods. *Food Hydrocolloid.* 23:1631-1640.

Barrett, D.M., Beaulieu, J.C. y Shewfelt, R. 2010. Color, flavor, texture, and nutritional quality of fresh-cut fruits and vegetables: desirable levels, instrumental and sensory measurement, and the effects of processing. *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.* 50:369

Barrientos Priego, A. F. 2010. El aguacate. *CONABIO Biodiversitas.* 88:1–7.

Barrientos, P.A., García, V.E. y Avitia, G.E. 1996. Anatomía del fruto de aguacate, ¿drupa o baya? *Rev. Chapingo Serie Horticult.* 2:189-198.

Belmar, R. 1996. Variación estacional de la concentración de aceite y humedad de mesocarpio y calidad en frutos de palto cvs. “Bacon y Edranol” Tesis de Licentura en Ingeniería Agrónoma, Universidad de Chile, Chile.

BETE. 2005. Spray Dry Manual. Fog Nozzle, Inc. p. 24.

Bhandari, B. 2009. Device and method for preparing microparticles. PCTWO2009062254-A1 Australia.

Bill, M., Sivakumar, D., Thompson, A. K. y Korsten, L. 2014. Avocado fruit quality management during the postharvest supply chain. *Food Rev. Int.* 30(3):169-202.

BÜCHI Labortechnik A.G, 2002. Training papers spray drying.

BÜCHI Labortechnik A.G, 2002. Training papers spray drying. http://static1.buchi.com/sites/default/files/downloads/Set_3_Training_Papers_Spray_Drying_en_01.pdf.

- Castañeda-Saucedo, M.C., Valdés-Miramontes, E.H., Tapia-Campos, E., Delgado-Alvarado, A., Bernardino-García, A.C., Rodríguez-Ramírez, M.R. y Ramírez-Anaya, J. del P. 2014. Effect of freeze-drying and production process on the chemical composition and fatty acids profile of avocado pulp. *Rev. Chil. Nutr.* 41:404–411.
- Dreher, M.L. y Davenport, A.J. 2013. Hass avocado composition and potential health effects. *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.* 53:738–750.
- Elez-Martinez, P., Soliva-Fortuny, R.C., Gorinstein, S. y Martín-Belloso, O. 2005. Natural antioxidants preserve the lipid oxidative stability of minimally processed avocado purée. *J. Food Sci.* 70: S325–S329.
- Espín, J.C., Féliz, T.M., Tudela, J. y García, C. 1997. Monophenolase activity of polyphenol oxidase from hass avocado. *J. Agr. Food Chem.* 45:1091-1096.
- FAO. 2012. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura.
- Fazaeli, M., Emam-Djomeh, Z., Kalbasi-Ashtari, A. y Omid, M. 2012. Effect of process conditions and carrier concentration for improving drying yield and other quality attributes of spray dried black mulberry (*Morus nigra*) juice. *Int. J. Food Eng.* 8(1): 1-20.
- Fito, M.P., Andrés, G.A.M., Brat, B.J.M., y Albors, S.A. 2001. Introducción al secado de alimentos por aire caliente. Ed. Universidad politécnica de Valencia. 2001.
- Garbanzo, M. 2011. Manual de aguacate. Buenas prácticas de cultivo variedad Hass.
- García, E., Zamudio, J., Vargas, R., Castillo, S. 2010. Method of obtaining avocado powder. United States Patent. Patent NO.: US 7,678,396 B2.
- Georgetti, S.R., Casagrande, R., Souza, C.R.F., Oliveira, W.P. Y Fonseca, M.J.V. 2008. Spray drying of the soybean extract: Effects on chemical properties and antioxidant activity. *LWT-Food Sci. Technol.* 41(8):1521-1527.
- Gharsallaoui, A., Roudaut, G., Chambin, O., Voilley, A. y Rémi, S., 2007. Applications of spray-drying in microencapsulation of food ingredients: An overview. *Food Res. Int.* 40:1107–1121.
- Goula, A.M., Adamopoulos, K.G., Chatzitakis, P.C. y Nikas, V.A. 2006. Prediction of lycopene degradation during a drying process of tomato pulp. *J. Food Eng.* 74(1):37-46.
- Grajales-Lagunes, A., Garcia-Galindo, H. S., Angulo-Guerrero, O., y Monroy-Rivera, J. A. 1999. Stability and sensory quality of spray dried avocado paste. *Dry Technol.* 17(1–2), 318–326.

- Grabowski, J. A., Truong, V. D., y Daubert, C. R. 2006. Spray drying of amylase hydrolyzed sweet potato puree and physicochemical properties of powder. *J. Food Sci.* 71(5), 209-217.
- Jacobo-Velázquez, D.A., Castellanos-Dohnal, G., Caballero-Mata, P. y Hernández-Brenes, C. 2013. Cambios bioquímicos durante el almacenamiento de puré de aguacate adicionado con antioxidantes naturales y procesado con alta presión hidrostática. *CyTA J. Food* 11:379–391.
- Jacobo-Velázquez, D.A. y Hernandez-Brenes, C. 2010. Biochemical changes during storage of high hydrostatic pressure processed avocado paste. *J. Food Sci.* 75:264-270.
- Kahn, V. 1977. Latency properties of polyphenol oxidase in two avocado cultivars differing in their rate of browning. *J. Sci. Food Agr.* 28(3):233-239.
- Kaur, C., Kumar, S. y Kapoor, H.C. 1999. Heat stability of lipoxygenase and peroxidase during blanching of vegetables. *J. Sci. Ind. Res. India* 58:1005-1009.
- Kaur, Ch., y Harish C. Kapoor 2001. Antioxidants in fruits and vegetables the millennium's health. *Int. J. Food. Sci. Tech.* 36:703-725.
- Khamar, R. y Jasrai, Y.T. 2014. Nutraceutical analysis of amaranth oil, avocado oil, cumin oil, linseed oil and neem oil. *Int. J. Bioassays.* 3(05):2090-2095.
- Lawless, H. 1995. Dimensions of sensory quality: A critique. *Food Qual. Prefer.* 6:191–199.
- Ledesma Escobar, C.A. 2011. Efecto de la extracción sobre las características antioxidantes de los extractos obtenidos de cortezas de limón persa *Citrus latifolia Tanaka*. Tesis de Maestría en Ciencias en Ingeniería Bioquímica. Instituto Tecnológico de Veracruz. Veracruz, México.
- Litz, R.E., Raharjo, S.H.T. y Gómez-Lim, M.A. 2007. Avocado. *Biotechnology in Agriculture and Forestry.*167-187.
- Lopez-Malo, A., Palou, E., Barbosa-Canovas, G.V., Welti-Chanes, J. y Swanson, B.G. 1998. Polyphenoloxidase activity and color changes during storage of high hydrostatic pressure treated avocado puree. *Food Res. Int.* 31:549-556.
- Lu, Q.Y., Zhang, Y., Wang, Y., Wang, D., Lee, R., Gao, K., Bryns, R. y Heber, D. 2009. California Hass avocado: Profiling of crotenoids, tocopherols, fatty acid and fat content during maturation and from different growing areas. *J. Agr. Food Chem.* 57:10408-104013.
- Lu, W., Zhao, X., Xu, Z., Dong, N., Zou, S., Shen, X. y Huang, J. 2013. Development of a new colorimetric assay for lipoxygenase activity. *Anal. Biochem.* 441:162–168.
- Masters, K. 1985. Spray drying handbook, 4th ed. George Godwin, London UK.

Mepba, H.D., Sokari, T.G., Eboh, L., Banigo, E.B. y Kiin-Kabari, D.B. 2008. Stabilized avocado pastes: chemical contents and oxidative changes during storage. *Open Food Sci. J.* 2:77-84.

Meyer, M.D., Terry, L.A. y Landahl, S. 2009. Spatial and temporal analysis of textural and biochemical changes of imported avocado cv. Hass during fruit ripening. *J. Agr. Food Chem.* 57:7039-7047.

Mijares O. Pedro., L. L. L. 1998. Variedades de aguacate y su producción en México, (6), 88–99.

Morales-Blancas, E.F., Chandia, V.E. y Cisneros- Zevallos, L. 2002. Thermal inactivation kinetics of peroxidase and lipoxygenase from broccoli, green asparagus and carrots. *J. Food Sci.* 67(1):146–154.

Morales, T.C. 2014. La exportación mexicana de aguacates a Canadá; un comercio triangulado con escasa participación de las pequeñas empresas exportadoras. Congreso Internacional de Contaduría, Administración e informática. México, D.F.

Mujumdar, A.S. 1987. Handbook of industrial drying. Industrial spray drying system. Marcel Dekker, Inc. New York, EUA.

Olaeta, J. 2003. Industrialización del aguacate: estado actual y perspectivas futuras. Actas V Congreso Mundial del Aguacate, Valparaiso, Chile pp.749-754.

Ortega, T.M.A. 2003. Valor nutrimental de la pulpa fresca de aguacate Hass. Proceedings v world avocado congress, Granada - Málaga, España pp. 761-768.

Ortiz, A., Mora, R., Santiago, T. y Dorantes, L. 2003. Obtención de una pasta de aguacate mediante tratamiento térmico, in: Proceedings V World Avocado Congress. pp. 761–768.

Palou, E., Hernandez-Salgado, C., Lopez-Malo, A., Barbosa-Canovas, G.V., Swanson, B.G. y Welti-Chanes, J. 2000. High pressure-processed guacamole. *Innov. Food Sci. Emerg. Tech.* 1:69-75.

Prior, R.L., Wu, X. y Schain, K. 2005. Standardized methods for the determination of antioxidant capacity and phenolics in foods and dietary supplements. *J. Agric. Food. Chem.* 53(10):4290-4302.

Quek, S.Y., Chok, N.K. y Swedlund, P. 2007. The Physicochemical properties of spray-dried watermelon powders. *Chem. Eng. Process.* 46(5):386-392.

Rodrigo, D., Jolie, R., Van Loey, A., y Hendrickx, M. 2007. Thermal and high pressure and stability of tomato lipoxygenase and hydroperoxidelyase. *J. Food Eng.* 79:423–429.

Saavedra, S. 1995. Evolución de parámetros físico-químicos y sensoriales en paltas cvs. "Hass, Gwen y Whitsell". Tesis de Licenciatura en Ingeniería Agrónoma, Universidad Católica de Valparaíso, Chile.

Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera SAGARPA. 2011. Monografía de cultivos Subsecretaría de Fomento a los Agronegocios Aguacate.

Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera SAGARPA. 2017. Atlas Agroalimntario. pp.24, 25.

Schwartz, M., Olaeta, J. A., y Sepúlveda, P. U. M. 2007. Obtención y almacenamiento de palta (aguacate) en polvo. Universidad de Chile, facultad de ciencias agronómicas. Dpto. Agroindustria y enología. ISBN No 978-956-17-0413-8.

Shahidi, F. y Han, X. Q. 1993. Encapsulation of food ingredients. Critical Review. *J. Food Sci. Nutr.* 33:501–547.

SHCP (Secretaría de hacienda y crédito público). 2014. Panorama del aguacate. boletín: abril 2014. México.

Simirgiotis, M. J., Bórquez J. y Schmeda-Hirschmann G. 2012. Antioxidant capacity, polyphenolic content and tandem HPLC–DAD–ESI/MS profiling of phenolic compounds from the South American berries *Luma apiculata* and *L. chequén*. *J. Food Chem.* 139: 289–299.

Soliva-Fortuny R., Elez-Martínez P., Sebastián-Calderón M. y Martín-Belloso O. 2002. Kinetics of polyphenol oxidase activity inhibition and browning of avocado purée preserved by combined methods. *J. Food Eng.* 55(2):131-137.

Souza, C.R. y Oliveira, W.P. 2006. Powder properties and system behavior during spray drying of *Bauhinia forficata* Link extract. *Drying Technol.* 24(6):735-749.

Souza, C.R. y Oliveira, W.P. 2006. Powder properties and system behavior during spray drying of *Bauhinia forficata* Link extract. *Drying Technol.* 24(6):735-749.

Thomas-Danguin, T., Rouby, C., Sicard, G., Vigouroux, M., Farget, V., Johanson, A., Bengtzon, A., Hall, G., Ormel, W., De Graaf, C., Rousseau, F. y Dumont, J.P. 2003. Development of the ETOC: a european test of olfactory capabilities. *rhinology* 41, 142–151.

Uribe, K. 2010. Obtención de aguacate en polvo secado por aspersión y seguimiento de parámetros de calidad utilizando FTIR-HATR y análisis multivariable., 38. <http://hdl.handle.net/123456789/10392>.

Whitaker, R.J. 2003. Protein structure and kinetics of enzyme reactions. a historical perspective. Handbook of food enzymology. (Ed. Witaker R.J. Voragen, A.G.J., Wong, D.W.S.) Marcel Dekker, Inc., New York, USA. Chapter 1.

Yoruk, R. y Marshall, R.M. 2003. Physicochemical propiedades and function of plant polyphenol oxidase: a review. *J. Food Biochem.* 27:361-422.

8 ANEXO: CURVAS DE CALIBRACIÓN

8.1 Curva de calibración de ácido gálico

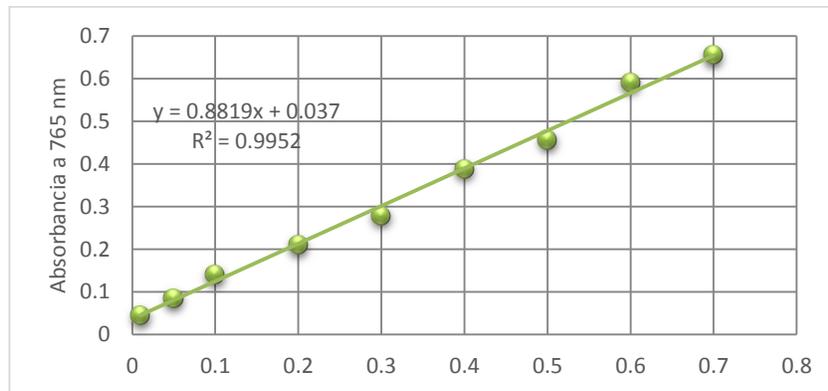


Figura 8.1 Curva de calibración de ácido gálico para la cuantificación de fenoles totales, utilizando como disolvente agua destilada.

8.2 Curva de calibración de ácido ascórbico en etanol

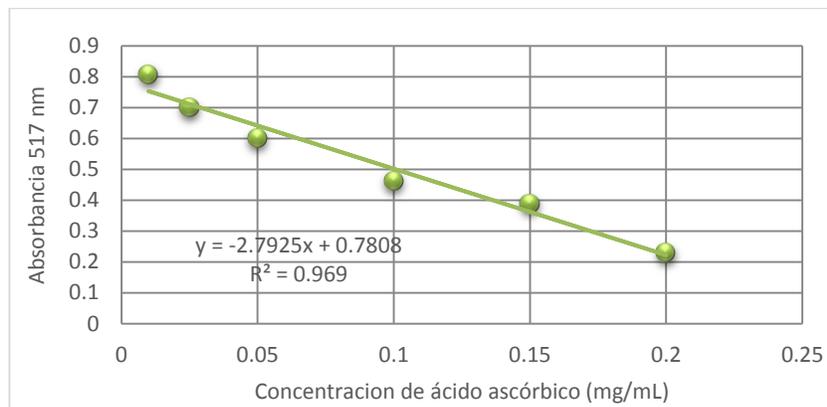


Figura 8.2 Curva de calibración de ácido ascórbico para la determinación de actividad antirradical DPPH utilizando etanol como disolvente.

8.3 Curva de calibración de ácido ascórbico en metanol

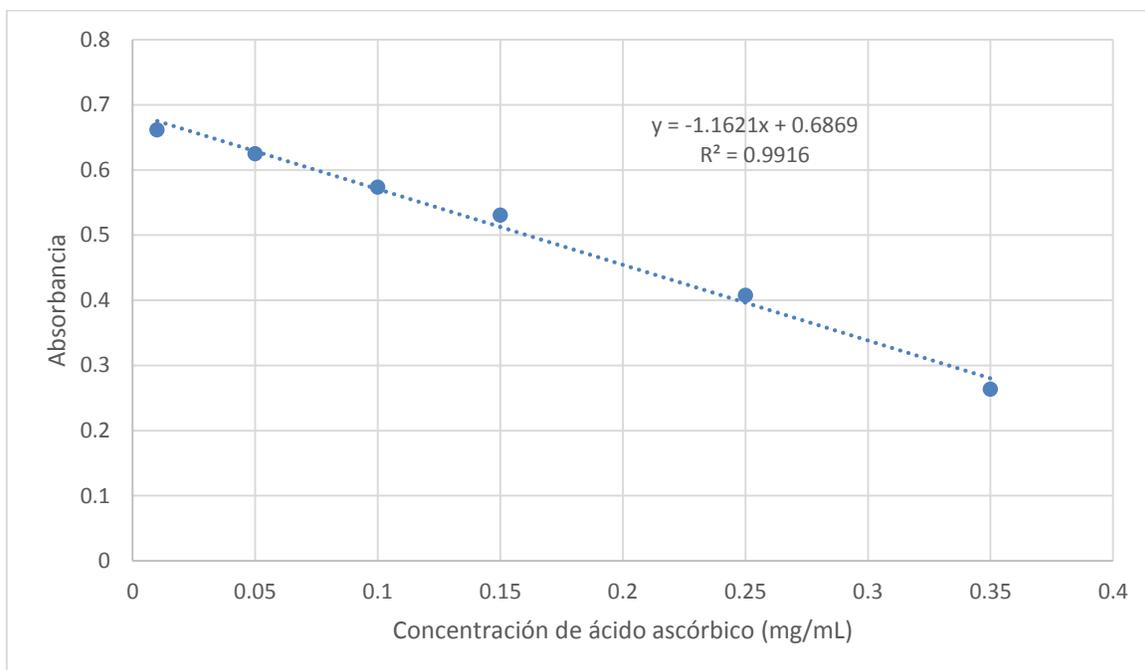


Figura 8.3 Curva de calibración de ácido ascórbico para la determinación de actividad antirradical ABTS utilizando metanol como disolvente.