

**Alternativas para la conservación de aguacate (*Persea americana* Mill,  
variedad Hass) en la inhibición del pardeamiento enzimático**

**Ana María Restrepo Suárez**

**CAPITULO DE LIBRO para optar el título de Especialista en Alimentación y Nutrición**

**Asesor  
Ana María Restrepo Duque MSc**

**CORPORACION UNIVERSITARIA LASALLISTA  
Facultad de Ingeniería  
Especialización en Alimentación y Nutrición  
Caldas ( Ant. )  
2012**

## TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN .....	3
ABSTRACT .....	3
INTRODUCCIÓN .....	4
1 GENERALIDADES DEL CULTIVO DE AGUACATE .....	5
1.1 Origen .....	5
1.2 Taxonomía y Botánica .....	5
1.3 Clasificación <sup>4,5</sup> .....	5
1.4 Composición química y su relación con la salud.....	6
1.5 Producción .....	9
2 POLIFENOLOXIDASA PFO .....	10
3 ALTERNATIVAS PARA LA CONSERVACIÓN DE PULPA DE AGUACATE Y SU EFECTIVIDAD EN LA INHIBICIÓN DEL PARDEAMIENTO ENZIMÁTICO .....	12
3.1 Procesos de deshidratación .....	12
3.2 Métodos combinados .....	14
3.3 Otras tecnologías .....	15
4 CONCLUSIONES.....	17
REFERENCIAS.....	17

## **RESUMEN**

Las reacciones de pardeamiento enzimático limitan la vida comercial del aguacate, debido a que alteran uno de los principales indicadores de calidad: "el color". Por esta razón uno de los propósitos para los procesadores es mantener el color durante el almacenamiento. El objetivo de este trabajo fue revisar los recientes avances en el estudio de la polifenoloxidasas y los métodos de conservación que permitan su inhibición y al mismo tiempo eviten la generación de sabores indeseables y pérdidas nutricionales (vitamina C, carotenoides, y los ácidos grasos monoinsaturados), como resultado de la aplicación de tratamientos térmicos, factores que limitan la conservación de aguacate por métodos tradicionales.

### **Palabras claves**

Aguacate, Polifenoloxidasas, métodos combinados

## **ABSTRACT**

Enzymatic browning reactions limit the commercial shelf life of avocado, because altering one of the main indicators of quality: "color" thus preservation throughout storage becomes one of the objectives for processors. The aim of this work was to review preserved by methods and recent progress in the study of polyphenol oxidases suggesting their potential role in the generation of undesirable flavors and nutritional losses (vitamin C, carotenoids, and monounsaturated fatty acids) as a result of the application of heat treatments, factors limiting the conservation of avocado by traditional methods.

### **Keywords**

Avocado, polyphenol oxidase, combined methods

## INTRODUCCIÓN

El deterioro de los alimentos ha sido atribuido a una amplia gama de causas incluyendo variables físicas, químicas y microbiológicas, es un hecho que las pérdidas en postcosecha de frutas y hortalizas pueden reducirse inactivando las enzimas endógenas que continúan actuando en los frutos procesados y almacenados. Estos cambios fisiológicos generalmente están acompañados por pérdidas de características sensoriales como sabor, aroma y color, pérdida de vitaminas, deterioro del tejido, disminución de la turgencia y volumen, lo cual conduce a una vida útil muy corta.

El principal problema que afecta al aguacate es su pardeamiento al poco tiempo de ser cortado o troceado. Este pardeamiento oxidativo es el resultado de la acción de enzimas como la polifenoloxidasas que cataliza la oxidación de los mono y difenoles a quinonas, las cuales se polimerizan espontáneamente formando la coloración parda. El pardeamiento enzimático puede ser controlado a través del uso de métodos químicos y físicos, a menudo empleados en combinación.

# 1 GENERALIDADES DEL CULTIVO DE AGUACATE

## 1.1 Origen

El aguacate es una planta originaria del continente americano específicamente de Guatemala y México. Se han hallado fósiles en el Valle de Tehuacán (Estado de Puebla, México) con más de 8.000 mil años de antigüedad. En el mundo hay alrededor de 500 variedades de aguacates, que difieren en la forma de la fruta y el color<sup>1</sup>.

## 1.2 Taxonomía y Botánica

Pertenece a las Lauráceas, familia con gran importancia económica, productora de aceites esenciales, madera y especias.

Taxonomía

Reino: *Plantae*

División: *Magnoliophyta*

Clase: *Magnoliopsida*

Orden: *Lurales*

Familia: *Lauraceae*

Género: *Persea*

Especie: *P. americana*

Nombre binomial: *Persea americana* Mill<sup>2</sup>

Es una planta perenne, puede llegar a medir más de 10 metros de altura, su fruto es una baya carnosa, con una sola semilla, grande, y su forma puede variar de acuerdo a la variedad entre oblata, esferoide, esferoide alto, elipsoide, obovado-angosto, obovado, claviforme, romboide, periforme, ovoide o globoso.

Es un fruto climatérico presentando una tasa de respiración acelerada después de recolectado, su maduración completa no se da en el árbol por eso se separa de este manualmente cortando su pedúnculo, conservando una pequeña porción de este para no acelerar su maduración y evitar daños por patógenos, alcanzando su madurez comercial después de haber sido cosechado de acuerdo a las exigencias del mercado quien tiene en cuenta sus características sensoriales<sup>3</sup>.

## 1.3 Clasificación<sup>4,5</sup>

Los aguacates que están destinados a consumo directo fresco y no son sometidos a procesamiento industrial deben cumplir requisitos mínimos como

-Estar enteros, sanos, limpios, prácticamente exentos de daños causados por plagas/bajas temperaturas, y estar exentos de cualquier olor/sabor extraños.

Los aguacates se clasifican en tres categorías de acuerdo a su calidad:

- Categoría "Extra": Son aguacates de calidad superior. No deberán tener defectos, salvo algunos superficiales muy leves que no afecten el aspecto general del producto, su calidad, estado de conservación y presentación en el envase.
- Categoría I: Los aguacates deberán ser de buena calidad, aunque podrán permitirse defectos leves de forma y coloración, algunos de la cascara como suberosidad, lenticelas ya sanadas y quemaduras producidas por el sol; sin embargo, la superficie total afectada no debe superar 4cm<sup>2</sup>, ni deberá verse afectada la pulpa del fruto.
- Categoría II: Los aguacates, aunque no son de óptima calidad, deben satisfacer los requisitos mínimos antes mencionados. La superficie total afectada no deberá superar 6 cm<sup>2</sup>, y el pedúnculo, si lo hay, podrá presentar daños.

#### **1.4 Composición química y su relación con la salud**

De acuerdo con la Asociación Americana de la dieta (ADA), el aguacate puede ser clasificado como un alimento funcional, debido a su alto valor nutritivo y por sus efectos beneficiosos para la salud humana<sup>6</sup>. Es una fruta de exquisito sabor y aroma. Ha sido reconocida como una buena fuente de energía (160 kcal) y vitaminas. Varios fitoquímicos bioactivos han sido encontrados en esta fruta (Figura1), antioxidantes tales como vitamina E o tocoferoles (2.07 mg/100g) reconocida como estabilizante de radicales libres<sup>7,8</sup>; se reportan además carotenoides como la luteína (248 mg/100g) que ayuda a proteger los ojos de enfermedades como la degeneración de la mácula y cataratas<sup>9</sup>. Su contenido de  $\beta$ -sitosterol es similar al encontrado en soya y olivos, varios estudios afirman que este compuesto está relacionado con la inhibición de cáncer en líneas celulares humanas<sup>10,11</sup>.

Su alto contenido de potasio (485mg/100g) y bajo de sodio (7mg/100g), favorece la disminución de la presión arterial y con ello el riesgo de presentar accidentes vasculares<sup>12,13</sup>. El aguacate es buena fuente de Folato (81 $\mu$ g/100g) importante en períodos de alto crecimiento, tales como la infancia, la adolescencia y durante el embarazo. Ayuda a controlar los niveles sanguíneos de homocisteína, un aminoácido ligado a enfermedades cardíacas crónicas, depresión, Alzheimer y cáncer de cuello uterino<sup>14</sup>.

Otro componente del aguacate es la mezcla de ácidos grasos  $\omega$ -3,  $\omega$ -6 y  $\omega$ -9, relacionado con la baja incidencia de enfermedad coronaria ya que reducen las concentraciones colesterol y triglicéridos esto es: ayudar a disminuir el colesterol LDL (el llamado colesterol "malo"), y protege el colesterol HDL (colesterol "bueno")

al mismo tiempo que es menos susceptible de ser oxidado disminuyendo la producción de radicales libres<sup>15,16,17,18</sup>.

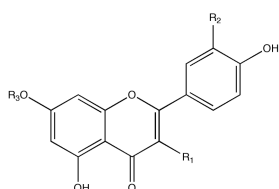
El aguacate, dependiendo de la variedad y madurez alcanza en la pulpa niveles de hasta 25% de aceite, con valores promedios de 15-19%, lo que permite lograr rendimientos de alrededor de 10% de la fruta fresca<sup>19</sup>. En general, la mayoría de los productos post-cosecha son relativamente bajos en lípidos totales, a excepción de los aguacates, las aceitunas entre otros. Ejemplos de contenido de grasa sobre una base de materia seca son<sup>20,21</sup>:

Aguacate: 35–70%

Aceituna: 30–70%

Uva: 0.2%

**Figura 1.** Estructuras químicas de algunos metabolitos bioactivos presentes en aguacate



R1	R2	R3	
O-D-Glc	H	H	Astragalina
H	OH	H	Luteolina
H	H	H	Apigenina
H	OH	O-D-Glc	Luteolina-7-o-Dglc

**Tabla 1.** Composición del aguacate<sup>22,23</sup>

<b>Nutriente</b>	<b>Unidad</b>	<b>100.0 g</b>
Agua	g	73.23
Energía	Kcal	160
Proteína	g	2
Lípidos totales (grasa)	g	14.66
Carbohidratos ,por diferencia	g	8.53
Fibra total dietaria	g	6.7
Azúcar, total	g	0.66
<b>Minerales</b>		
Calcio, Ca	m	12
Hierro, Fe	mg	0.55
Magnesio, Mg	mg	29
Fósforo, P	mg	52
Potasio, K	mg	485
Sodio, Na	mg	7
Zinc, Zn	mg	0.64
<b>Vitaminas</b>		
Vitamina C, ácido ascórbico total	mg	10
Tiamina	mg	0.067
Riboflavina	mg	0.13
Niacina	mg	1.738
Vitamina B-6	mg	0.257
Folato, DFE	µg	81
Vitamina B-12	µg	0
Vitamina A, RAE	µg	7
Vitamina A, IU	IU	146
Vitamina E (alfa tocoferol)	mg	2.07
Vitamina D (D2 + D3)	µg	0
Vitamina D	IU	0
Vitamina K (filoquinona)	µg	21
<b>Lípidos</b>		
Ácidos grasos, saturados totales	g	2.126
Ácidos grasos, insaturados totales	g	9.799
Ácidos grasos, poli insaturados totales	g	1.816
Colesterol	mg	0

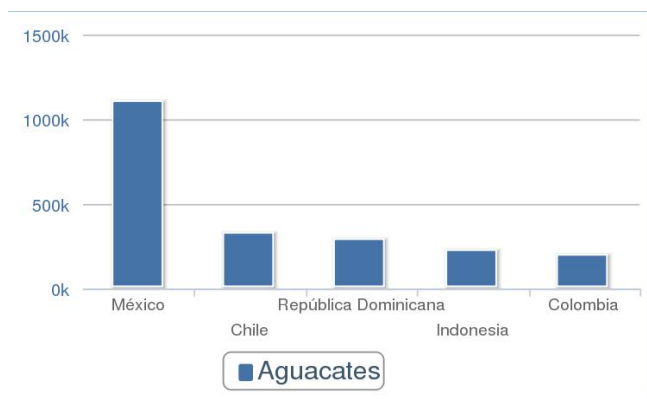
**Fuente:** USDA National Nutrient Database for Standard Reference

## 1.5 Producción

Según las estimaciones de la FAO, la producción mundial de aguacate se ha más que cuadruplicado en los cuatros últimos decenios, y recientemente superó un promedio anual de 3 millones de toneladas<sup>24,25</sup>.

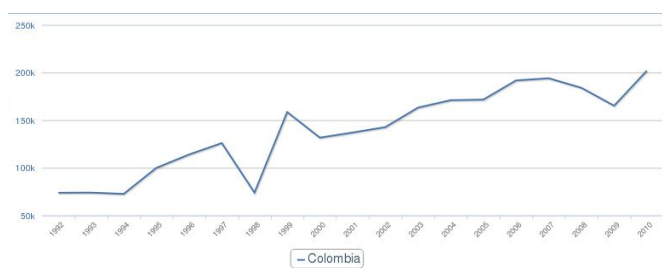
En la actualidad México es el primer productor mundial seguido de Chile, Colombia se ubica en la quinta posición (figura 2).

**Figura 2.** Producción de los 5 principales productores (2010). Fuente: FAOSTAT



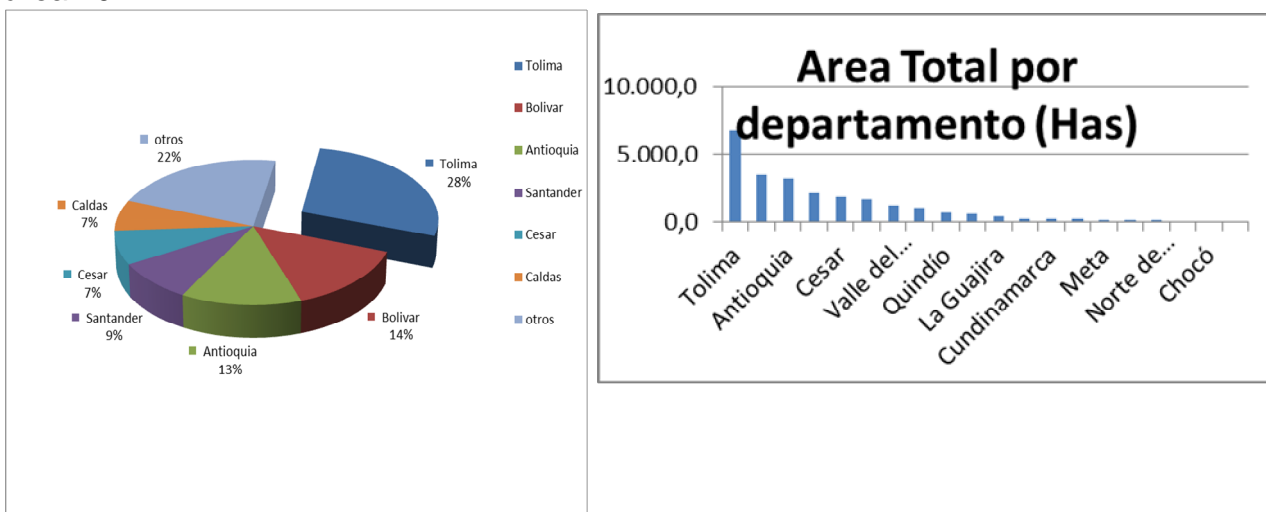
En Colombia la producción de aguacate se da desde el nivel del mar, hasta los 2.200 m.s.n.m., su mercado es principalmente a nivel local, sin embargo presenta un gran potencial para la exportación como fruta fresca y procesada. La gran limitación para la exportación a países como Estados Unidos y la Unión Europea está relacionada con el cumplimiento de las condiciones fitosanitarias, al no poseer registros vigentes ante el ICA, buenas prácticas agrícolas y la certificación Global Gap<sup>26</sup>.

**Figura 3.** Producción de producto en Colombia (1992 - 2010). Fuente: FAOSTAT



Dentro las variedades de aguacate que se producen encontramos la variedad Hass con alrededor de 5500 hectáreas sembradas; las regiones más sobresalientes en orden de producción son: Antioquia con 2300 hectáreas, Tolima con 2000 hectáreas y el eje cafetero con las 780 hectáreas restantes<sup>27</sup>.

**Figura 4.** Principales Departamentos productores de Aguacate ordenados por área 2011



Fuente: Agronet.

Teniendo en cuenta que Colombia tendrá una cosecha abundante en el 2012, muy superior a la de años anteriores, dado el número de hectáreas adicionales que entran en producción se requiere crear una estrategia para disponer de la fruta que no es apta para exportación.

En la producción de aguacate para exportación se ven relegados aquellos que no cumplen con los parámetros de calidad produciéndose los que se denominan segundas, estos se pueden utilizar en la elaboración de productos procesados y así darle un mayor valor agregado, presentando variedad de posibilidades para su industrialización dentro las cuales se encuentran: pulpas, mitades congeladas y obtención de aceite<sup>28,29</sup>.

## 2 POLIFENOLOXIDASA PFO

La apariencia es el factor principal que determina la aceptación o rechazo de un alimento. Es por esta razón que uno de los principales propósitos y dificultades en la Industria de alimentos es mantener el color durante el procesamiento y almacenamiento<sup>30</sup>. Las reacciones de pardeamiento enzimático en frutas y vegetales impresionan negativamente a los consumidores debido a la asociación que hacen entre el color y su calidad nutricional. El color de un alimento es un indicador de calidad<sup>31</sup>. Una alteración que se manifiesta con el cambio de color, sabor e incluso pérdida nutricional es la que se conoce como pardeamiento enzimático, reacción catalizada por la enzima polifenoloxidasas.

La Polifenoloxidasas (PFO) son un grupo de enzimas que tienen el cobre como grupo prostético, son oxidorreductasas, donde el oxígeno es un aceptor de

hidrógeno. Está ampliamente distribuida en plantas, animales, hongos y bacterias<sup>32,33</sup>, se clasifican de acuerdo a la reacción que catalicen /especificidad del sustrato, los primeros estudios sobre la oxidación enzimática de compuestos fenólicos se identificaron dos tipos de actividades que fueron inicialmente denominadas tirosinasa y lacasa. Los respectivos nombres sistemáticos utilizados anteriormente eran o-difenol: oxígeno oxidorreductasa (EC 1.10.3.1) y p-difenol: oxígeno oxidorreductasa (EC 1.10.3.2), que se combinan ahora como monofenol monooxigenasa (EC 1.14.18.1)<sup>34</sup>.

Monofenol monooxigenasa o tirosinasa EC1.14.18.1) es una enzima que inicia la reacción de pardeamiento que cataliza la hidroxilación de mono fenoles a orto difenoles (actividad monofenolasa), luego se involucra la difenol oxidasa o catecolasa (EC 1.10.3.1) que cataliza la reacción de los orto difenoles en sus correspondientes orto quinonas (actividad difenolasa) Figura 5 Las quinonas, en presencia de oxígeno, son irreversiblemente oxidadas a melaninas, produciéndose un pardeamiento y la consecuente aparición de desórdenes fisiológicos<sup>35</sup>.

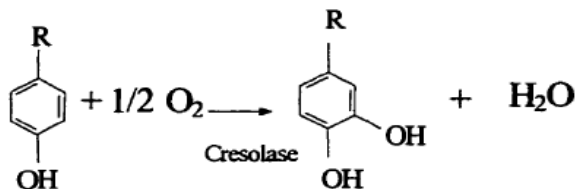
El pH óptimo para la actividad de la PFO del aguacate es entre 5,5 a 6,5<sup>36</sup>

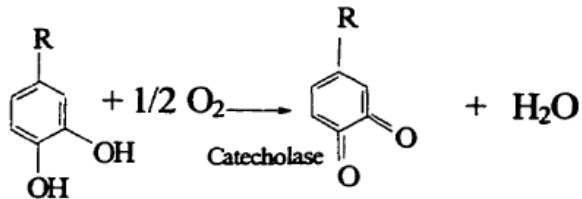
La PFO se localiza en los plastidios de tejido sano y la mayoría de los compuestos fenólicos se ubican en la vacuola, aislados de la PFO. Aparentemente, se requiere de alguna forma de daño celular para la activación de la PFO latente, la que reaccionaría con los fenoles liberados de la vacuola produciéndose el pardeamiento<sup>37,38,39</sup>.

La polifenoloxidasas no es la única que interviene en el pardeamiento del aguacate allí también se encuentra la peroxidasa, esta es capaz de oxidar los sustratos fenólicos a quinonas, encontrándose síntomas severos de pardeamiento de pulpa a mayor actividad de esta enzima<sup>40</sup>.

La inactivación de PPO aguacate es muy difícil lograr a causa de su alta actividad y resistencia a tratamientos<sup>41</sup>.

**Figura 5** Reacción catalizada por polifenoloxidasas <sup>42</sup>





### 3 ALTERNATIVAS PARA LA CONSERVACIÓN DE PULPA DE AGUACATE Y SU EFECTIVIDAD EN LA INHIBICIÓN DEL PARDEAMIENTO ENZIMÁTICO

El pardeamiento enzimático puede ser controlado a través del uso de métodos químicos y físicos, a menudo empleados en combinación<sup>43</sup>. Los métodos físicos comúnmente utilizados son: la reducción de la temperatura<sup>44</sup>(Lozano, Drudis & Ibarz, 1994), oxígeno<sup>45</sup> (Paulson, Vanderstoep & Porritt, 1980), , adición de químicos<sup>46,47</sup>(Robert, et al 2001; Lozano, Drudis, & Ibarz, 1994, ); ajuste de pH<sup>48</sup>(Siddiq, Sinha, & Cash, 1992) y el uso de atmósferas modificadas o películas de recubrimiento<sup>49</sup>. La utilización de los métodos físicos o químicos dependerá de lo que se desee inhibir, ya sea la enzima, el sustrato (oxígeno o compuestos fenólicos) o los productos<sup>50</sup>.

#### 3.1 Procesos de deshidratación

La deshidratación es el método industrial más confiable para conservar un alimento. Cada uno de los métodos de deshidratación ofrece diferentes ventajas, por ejemplo para matrices alimentarias mínimamente procesadas, la deshidratación osmótica es una alternativa de uso común; para el caso de pulpas y extractos, el secado por atomización es el método más rápido y rentable; pero cuando se trata de conservar los aromas en un producto deshidratado, la liofilización es una buena alternativa<sup>51</sup>. Así mismo, uno de los procesos de deshidratación más común es la utilización de corriente de aire para controlar la pérdida de agua<sup>52</sup>. Pero también se han propuesto otras formas de realizar este procedimiento, entre ellos la deshidratación en un microondas o en un horno eléctrico convencional<sup>53</sup>.

**Deshidratación osmótica.** Esta técnica consiste en aprovechar el comportamiento de las células en medios hipertónicos. Algunos de los parámetros que deben tenerse en cuenta en este proceso de deshidratación son principalmente la temperatura y la concentración del soluto a utilizar en el medio, generalmente se utiliza la sacarosa para que el producto a deshidratar adquiriera un sabor dulce<sup>54</sup>. Se han realizado estudios con respecto a estos parámetros y su relación con el daño celular que pueden sufrir las diferentes frutas. Se determinó que a altas temperaturas y a altas concentraciones de soluto, hay mayor nivel de lisis celular, lo que afecta las propiedades sensoriales de las frutas. Otra

característica que se analizó, es que la pérdida de agua es mayor a concentraciones medias del soluto en la solución y temperaturas promedios de 30°C<sup>55</sup>.

En estudios de aplicación del método de deshidratación osmótica en aguacate, se ha encontrado que al utilizar un medio de cloruro de sodio al 10% y maltodextrina al 50%, se logró perder un 30.3% de peso, un 39.4% de pérdida de agua, se ganó un 9,2% en sólidos ganados y una disminución del 6% en la actividad del agua. Además, no mostró cambios en el color<sup>56</sup>. En un estudio similar, se analizó el comportamiento del aguacate tras un proceso de congelación de 80 días a – 20°C, manteniendo sus características óptimas en este tiempo, incluso disminuyendo la actividad del agua. Al exponer estas muestras al aire, tras su descongelación, se conservan las características hasta por 14 horas<sup>57</sup>.

**Secado por aspersión.** Este método consiste en introducir el alimento por aspersión y someterlo a una corriente de aire caliente dentro de una torre o cámara. A medida que las gotas del alimento hacen contacto con el aire pierden su humedad instantáneamente, convirtiéndose en pequeñas partículas de forma esférica, no porosas con fase interna bien definida, que caen en el fondo de la torre de donde son recogidas. El secado por aspersión se ha utilizado durante décadas para encapsular ingredientes alimentarios, tales como esencias (Xiang, Yang, Wang, & Cheng, 1998)<sup>58</sup>, sabores (Shaikh, Bhosale, & Singhal, 2006)<sup>59</sup>, colorantes (Jung & Sung, 2000)<sup>60</sup> de diferente naturaleza química (hidrofílicos e hidrofóbicos) y física (viscosos, fluidos, volátiles) (Goubet, Leoure, & Vo, 1998)<sup>61</sup>. Durante este proceso de secado, la evaporación del disolvente, que comúnmente es agua, es rápida y la protección del compuesto de interés se produce casi instantáneamente. Esto obliga a realizar una revisión detallada de los materiales de encapsulación que se usan además de una optimización de las condiciones de funcionamiento. Asimismo, si el compuesto encapsulado es de naturaleza hidrófoba, debe considerarse la estabilidad de la emulsión antes del secado.(Gharsallaoui, et al, 2007)<sup>62</sup>

La tecnología de secado por aspersión ha sido empleada con éxito para evitar el fenómeno de pardeamiento enzimático en el aguacate a causa de la enzima polifenoloxidasasa (Schwartz et al, 2007)<sup>63</sup>. En la investigación se reportan condiciones de operación: temperatura del aire de salida 80°C y flujo de alimentación de 8-10 kg/ hr. Los resultados indicaron un rendimiento del 15% de producto en polvo respecto de la fruta entera, 30% respecto de la pulpa y un producto que se caracterizó por su color verde típico el cual no alteró significativamente su color por un periodo de 2 meses.

**Liofilización.** La liofilización también es conocida como secado por congelación, es una técnica en la que se elimina agua a alto vacío y bajas temperatura a través de un proceso de sublimación. Es ampliamente utilizada en la producción de biofármacos, y conservación de alimentos<sup>64</sup>, por la estabilización que le brinda a dichas sustancias al inhibir las reacciones de degradación física o química. El proceso se puede describir en tres pasos: el primero es la congelación, donde se

separa el agua de los otros componentes al disminuir la temperatura para que se forme hielo; segundo paso, un secado primario donde se retira el agua congelada por sublimación; el tercer paso, consiste en eliminar otras cantidad de agua que no se haya congelado, llamado secado secundario, esta parte del proceso se realiza a altas temperaturas y baja presión. La mayoría de las investigaciones que se han realizado, se han enfocado en el proceso de secado en primera instancia. Sin embargo, se ha reportado que el proceso de congelación tiene influencia en la calidad del producto final.

Una desventaja de este proceso es que es un proceso costoso y que requiere de mucho tiempo<sup>65</sup>. Pero como ventaja se tiene que no se pierden componentes volátiles, se puede reconstituir con facilidad el producto, aumenta el tiempo de vida útil del producto y facilita que se consigan diferentes frutas y verduras que no se encuentran en temporada.

Se han hecho investigaciones aplicando la liofilización en la obtención de pulpa de aguacate que cumpla con las mismas características del aguacate fresco al ser rehidratado, analizando la calidad del producto liofilizado en términos de la rapidez y facilidad con que es reconstituido, debido al alto contenido graso y a la oxidación que presenta el fruto, no hay buena aceptación sensorial por la generación de sabores desagradables al ser rehidratado, sin embargo su calidad final es mejor que la obtenida por procesos clásicos de secado (Derosier, 1980)<sup>66</sup>.

En el estudio realizado se determinó que para tener un producto con buena calidad, que conserve sus características sensoriales y tenga mayor facilidad, se deben liofilizar aguacates con una madurez media (definido como firme duro o firme suave), para temperaturas de inmersión de 25° C es recomendado tiempos de congelación largos, pero para tiempos cortos de congelación la temperatura de inmersión no es relevante<sup>67</sup>.

### **3.2 Métodos combinados**

Los métodos combinados han demostrado tener una alta eficiencia ya que se aprovechan las ventajas de diferentes métodos.

Un método propuesto disminuye hasta en un 99% el color marrón en el aguacate por un tiempo de 4 meses (mientras se mantenga refrigerado a 4°C), utilizando EDTA o ácido ascórbico como antioxidantes, y manteniendo una atmósfera de N<sub>2</sub> o vacío<sup>68</sup>.

Otra combinación propuesta por un grupo de estudio en Bélgica consistía en una combinación de adición química e hidrólisis de alta presión. Agregaron glutatión, 4 – hexilresorcinol (4 – HR), ácido benzoico, cloruro de sodio y EDTA, mostrando mayor efecto anti pardiamiento el glutatión y el 4 – HR. Al combinarlo con el proceso de presurización, se observó que el EDTA es la sustancia que inhibió en

mayor porcentaje la actividad de la PPO, junto a cualquiera de los otros antioxidantes mencionados, pero que se agregaron luego del HHP<sup>69</sup>.

En Nayarit, se realizó un estudio para conservar por mayor tiempo el aguacate de la variedad Hass con una combinación de adición de químico y almacenamiento de congelación. Se utilizó el 1 – metilciclopropileno (1 – MCP) y bajas temperaturas para mantener en buen estado, con sus valores nutricionales y sin cambios en sus características sensoriales un grupo de aguacates, mostrando una estabilidad de 25 días, es decir, sin maduración, pérdida del color o cambios en la textura de la fruta<sup>70</sup>.

### **3.3 Otras tecnologías**

Entre los desarrollos de nuevas tecnologías de conservación de alimentos, se ha experimentado con la radiación, ya sea rayos X, gamma o rayo de electrones<sup>71</sup>. El principal fin de este método de conservación es eliminar la vida bacteriana, y extender la vida útil de frutas, vegetales y carnes. También se ha reportado que puede disminuir la actividad de la PPO.

Los niveles de radiación a utilizar, varían de acuerdo al tipo de alimento que se esté tratando, aunque la OMS recomienda un nivel máximo de 10 kGy. Este método ha demostrado que tiene poco efecto en las características sensoriales de los alimentos que se tratan.

Otra nueva técnica es la aplicación de pulsos de luz intensa. Este método consiste en la aplicación de rayos con un espectro entre los 200 y los 1100 nm durante cortos instantes de tiempo (milisegundos). En un estudio realizado en España aplicando esta técnica en el aguacate, y utilizando aditivos (en particular la L – cisteína) pueden evitar los cambios de color en el aguacate, y se disminuye la cantidad de microorganismos existentes<sup>72</sup>.

#### **Extracción de aceite como método de conservación de pulpa de aguacate.**

Otra de las alternativas de conservación de aguacate reportada en la literatura es el procesamiento de su pulpa usando diferentes metodologías de secado hasta llegar a la extracción del aceite. Lo anterior se propone, debido a que el extracto etéreo es después del agua, el componente mayoritario. Dentro de las tecnologías utilizadas para la obtención del aceite de aguacate, se encuentran:

**Extracción por prensado en frío.** Este proceso inicia con la maceración y el batido de la pulpa hasta lograr una consistencia homogénea. Después se somete a la acción de prensas hidráulicas, generalmente, y se hace pasar a través de una serie de centrifugas. Con la extracción por prensado en frío se alcanzan rendimientos entre un 10 y 12% del total del contenido graso para la variedad Hass<sup>73</sup>.

**Extracción de aceite por centrifugación de su pulpa.** (Echeverry, 2010)<sup>74</sup> reporta las mejores condiciones de operación para la extracción del aceite cuando la relación peso de pulpa:agua fue 100:50, con 2000 rpm y un tiempo de centrifugación de 40 minutos. La caracterización fisicoquímica del aceite junto con el perfil de ácidos grasos le permitió concluir que el aceite de aguacate posee unas cualidades nutricionales comparables con las del aceite de oliva.

**Extracción con enzimas hidrolíticas.** En este proceso, las enzimas actúan como biocatalizadores, su acción en la extracción del aceite de aguacate es hidrolizar la estructura del tejido mesocarpio que es el depósito de lípidos en frutos como el aguacate. Es así como se libera el aceite extravirgen, sin alterar su calidad y manteniendo las propiedades nutricionales. Las enzimas que se utilizan para este fin son principalmente pectinasas, celulasas y hemicelulasas. La extracción con enzimas hidrolíticas permite recuperar hasta un 80% del total del contenido graso, y alcanzar así rendimientos del 95,58%, cuando se aplica agitación.

**Extracción con solventes orgánicos.** Consiste en separar los componentes de una solución debido a la distribución desigual de los componentes entre dos líquidos inmiscibles. En general, la sustancia que se va a tratar se pone en contacto íntimo con un líquido completamente inmiscible capaz de extraer por solubilidad uno o más componentes<sup>75</sup>.

Jimenez et al, 2001<sup>76</sup> analizó las características fisicoquímicas de aceite de aguacate extraído con solventes orgánicos (éter y hexano) y comparó la calidad del mismo cuando la pulpa previamente había sido deshidratada usando microondas y secado convectivo. Los resultados de esta investigación indicaron que el secado más conveniente fue el de microondas ya que se obtuvo un mayor rendimiento y calidad del aceite extraído. La principal preocupación del uso de solventes orgánicos ha sido las implicaciones de seguridad, por ser peligroso para la salud humana y por tener propiedades cancerígenas y tóxicas (Guan et al., 2007)<sup>77</sup>.

**Extracción por fluidos supercríticos (EFSC).** Es un proceso de separación que hace uso del aumento en el poder de solvatación de ciertos fluidos cuando estos se encuentran por encima de su presión y temperatura crítica. En estas condiciones, varias propiedades del líquido se ubican entre las de un gas y las de un líquido. Aunque la densidad de un fluido supercrítico es similar a un líquido y su viscosidad es similar a un gas, su difusividad es intermedia entre los dos estados. Debido a sus propiedades físico-químicas diferentes, la extracción con fluidos supercríticos ofrece varias ventajas operativas frente a los métodos de extracción tradicional. Debido a la baja viscosidad y relativa elevada difusividad, los fluidos supercríticos tienen mejores propiedades de transporte de líquidos y pueden difundir fácilmente a través de materiales sólidos, por lo que pueden dar mejores rendimientos de extracción. (Martínez, 2008)<sup>78</sup>. La EFSC, se presenta como una alternativa de extracción limpia, que se ha utilizado con éxito en la industria alimentaria para descafeinación de café y te, extracción de aceite esencial de especias, obtención de extracto de lúpulo, concentrado de aromas y fragancias

vegetales, extracción de pigmentos y antioxidantes de vegetales, extracción de plaguicidas naturales, y extracción y fraccionamiento de aceites y grasas (Guan, 2007)<sup>79</sup>

Botha (2004)<sup>80</sup> comparó la extracción de aceite usando Fluidos supercríticos (CO<sub>2</sub> de pureza 99,95%) y solventes orgánicos. Para lo cual retiró la humedad de la pasta de aguacate a 80°C durante 24 horas. Las extracciones con dióxido de carbono supercrítico se evaluaron de acuerdo a las siguientes condiciones: 37°C / 350 atm, 37°C/ 540 atm, 81°C/ 350 atm y 81°C/540 atm. Se encontró que las mejores condiciones para la extracción en términos de rendimiento son: 81°C y 540 atm en donde se completa el 95% de la extracción en 1 hora.

#### 4 CONCLUSIONES

Es evidente la necesidad de investigaciones encaminadas a establecer y controlar los factores principales involucrados en el pardeamiento del aguacate, y así lograr utilizar la pulpa de este fruto en la elaboración de productos con alto valor agregado. El conocimiento actual es débil y por consiguiente no existen en el mercado colombiano productos donde se estén ejecutando controles de conservación.

#### REFERENCIAS

1. KNIGHT, R. Capítulo 1: History, distribution and uses. En: The avocado, botany, production and uses. 1 ed. Londres : CABI Publishing, 2002. p. 13-24.
2. <http://encyclopedia.thefreedictionary.com/genus+Persea> Consultado Diciembre 13 de 2012
3. BERNAL, Jorge A. y Diaz, Cipriano A.; Generalidades del cultivo En: Tecnología para el cultivo del aguacate, Rionegro, Antioquia, CORPOICA, 2008, p. 11-80
4. NTC 1248: 1994, Productos Agrícolas. Aguacate
5. CODEX ALIMENTARIUS. Frutas y Hortalizas Frescas. 1 ed. Roma: Organización Mundial de la Salud-FAO, 2007. p. 1-6.
6. American Dietetic Association (1999). Position of The American Dietetic Association: Functional foods.
7. Kim OK, Murakami A, Nakamura Y, Takeda N, Yoshizumi H, and Ohigashi H. Novel Nitric Oxide and Superoxide Generation Inhibitors, Persenone A and B, from Avocado Fruit EN: J. Agric. Food chem. April 2000. Vol. 48, n° 5, p. 1557 - 1563.
8. Vinson JA, Su X, Zubik L, and Bose P. Phenol Antioxidant Quantity and Quality in Foods: Fruits EN: J. Agric. Food chem. October 2001. Vol. 49, n° 11, p. 5315 – 5321.

9. Heinonen MI, Ollilainen V, Linkola EK, Varo PT, Koivistoinen PE. Carotenoids in Finnish foods: vegetables, fruits, and berries. EN: J. Agric. Food chem. May 1989. Vol. 37 n°3, p. 655 – 659
10. DAUGUET, D. (2000). The beta-sitosterol reported to reduce the uptake of both testosterone and DHT. *Lipid Technology*, 12, 77-80.
11. Steven M. D'Ambrosio, Chunhua Han, Li Pan, A. Douglas Kinghorn, And Haiming Ding. Aliphatic acetogenic constituents of avocado fruits inhibit human oral cancer cell proliferation by targeting the EGFR/RAS/RAF/MEK/ERK1/2 pathway EN: Biochemical and biophysical research communications. June 2011. Vol. 409 n° 3, p. 465 – 469.
12. Horacio J. Adrogué, M.D., and Nicolaos E. Madias, M.D. Sodium and Potassium in the Pathogenesis of Hypertension. EN: Mechanisms of disease. May 2007. Vol. 356 n° 19, p. 1966 – 1978.
13. Alderman MH. Evidence Relating Dietary Sodium to Cardiovascular Disease EN: J. Am coll nutr. Jun 2006. Vol: 25 n°3, p. 256S – 261S.
14. M Martínez Pacheco, R Lopez Gomez, R Salgado Garciglia, M Raya Calderon, R E Martínez Muñoz Foliates and Persea americana Mill. (Avocado) *Emirates Journal of Food and Agriculture* 01/2011; 23(3):204-213.
15. DORANTES, L., Parada, L., & Ortiz, A. (2003). Avocado. En D. Mejía, & E. Parrucci, Post-Harvest Operation (pág. 27 p). Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations, FAO. [http://www.fao.org/fileadmin/user\\_upload/inpho/docs/Post\\_Harvest\\_Compendum - Avocado.pdf](http://www.fao.org/fileadmin/user_upload/inpho/docs/Post_Harvest_Compendum_-_Avocado.pdf)
16. Ruiz-Gutierrez V.; Muriana F.J.G.; Guerrero A.; Cert A.M.; And Villar J. Role of dietary oleic acid from two different sources on fatty acid composition of erythrocyte membrane and blood pressure in healthy subjects En: Journal of nutritional biochemistry. December 1997. Vol. 8 n°12, p. 689 695.
17. Qing-Yi Lu, James R. Arteaga, Qifeng Zhang, Sergio Huerta, Vay Liang W. Go, And David Heber Inhibition of prostate cancer cell growth by an avocado extract: role of lipid-soluble bioactive substances En: J. Nutritional biochemistry. January 2005. Vol. 16 n° 1, p. 23 – 30.
18. Dietary Guidelines for Americans, 2010. Chapter Four, Foods and Nutrients to Increase.  
<http://www.cnpp.usda.gov/Publications/DietaryGuidelines/2010/PolicyDoc/Chapter4.pdf>
19. Forero, Freddy., García, Jairo y Cárdenas, Julián. Situación y avances en la cosecha y procesamiento del aguacate (Persea americana Mill.) EN: Revista colombiana de ciencias hortícolas. 2007. Vol. 1 n° 2, p. 189 – 200.
20. Ariel R. Vicente, George A. Manganaris, Gabriel O. Sozzi, Carlos H. Crisosto Chapter 5\_Nutritional Quality of Fruits\_and Vegetables *Postharvest Handling (Second Edition), 2009, Pages 57-106*
21. Valery M. Dembitsky, Sumitra Poovarodom, Hanna Leontowicz, Maria Leontowicz, Suchada Veerasilp, Simon Trakhtenberg, And Shela Gorinstein The multiple nutrition properties of some exotic fruits: Biological activity and active metabolites. EN: Food research international. August 2011. Vol. 44 n° 7, p. 1671 – 1701.

22. <http://www.californiaavocado.com/avocado-nutrients/> consulta: Diciembre de 2012
23. USDA National Nutrient Database for Standard Reference, Release 23. <http://ndb.nal.usda.gov/ndb/foods/show/2175>; consulta: Diciembre 2012
24. FAO (2005). Segmentación de los productos y perspectivas de mercado en los mercados del aguacate de la CE y los Estados Unidos. Elaborado por el Grupo del Azúcar y las Bebidas Refrescantes Servicio de Materias Primas, Productos Tropicales y Hortícolas. [http://www.fao.org/es/esc/common/ecg/226/es/Avocado\\_TF\\_web\\_s.pdf](http://www.fao.org/es/esc/common/ecg/226/es/Avocado_TF_web_s.pdf), consulta: Diciembre de 2012
25. FAO. 2011. Estadísticas. En: FAO Statistics División, FAOSTAT, <http://faostat.fao.org/site/339/default.aspx>. 1 p.; consulta: Diciembre 2012
26. RIOS- CASTAÑO, D., Tafur-Reyes, R. (2003). Variedades de aguacate para el trópico: caso Colombia. Actas V Congreso Mundial del Aguacate, 143-147. [http://www.avocadosource.com/wac5/papers/wac5\\_p143.pdf](http://www.avocadosource.com/wac5/papers/wac5_p143.pdf) consulta: Diciembre de 2012
27. CAMERO, J. F. (2009). Aguacate Hass en Colombia, [http://www.avocadosource.com/international/colombia\\_papers/camerojose2009.pdf](http://www.avocadosource.com/international/colombia_papers/camerojose2009.pdf), consulta: Diciembre de 2012
28. OLAETA J.A. Industrialización del aguacate: estado actual y perspectivas futuras. Conferencia 5. EN: Proceedings World Avocado Congress (V: 2003: Valparaiso, Chile). Actas V Congreso Mundial del Aguacate. Chile: p. 749 -754.
29. CORPOICA "LA SELVA", RIONEGRO, ANTIOQUIA. *Acuerdo de priorización de demandas de investigación en aguacate* ACTA No. 01 de 2011 22 DE FEBRERO DE 2012
30. ALMEIDA, M. E. M., & NOGUEIRA, J. N. The control of polyphenol oxidase activity in fruits and vegetables. En: *Plant Foods for Human Nutrition* 1995. Vol. 47. p.245-256.
31. LEE, M. Inhibitory effect of banana polyphenol oxidase during ripening of banana by onion extract and Maillard reaction products. En: *Food Chemistry*. 2007. Vol. 102. p.146-149
32. MAYER, A.M., 2006. Polyphenol oxidases in plants and fungi: going places? A review. *Phytochemistry* 67, 2318e2331.
33. PÉREZ-GILBERT M, García Carmona F (2000) Characterization of catecholase and cresolase activities of eggplant polyphenoloxidase. *J Agric Food Chem* 48:695–700
34. MESQUITA, V. L. c. V.; Queiroz, C., Chapter 10 - Enzymatic Browning. In *Biochemistry of Foods (Third Edition)*, Academic Press: San Diego, pp 387-418.
35. MADINEZ MV, Whitaker JR (1995) The biochemistry and control of enzymatic browning. *Trends Food Sci Technol* 6:195–200
36. KAHN, V. (1977). Latency properties of polyphenol oxidase in two avocado cultivars differing in their rate of browning. *J. Sci. Food Agr*, 28, 233-239

37. KAHN, V.; Pomerantz, S. H., Monophenolase activity of avocado polyphenol oxidase. *Phytochemistry* 1980, 19, (3), 379-385.
38. ESPAÑA, J. C.; Trujano, M. a. F. I.; Tudela, J.; Garcia-Canovas, F., Monophenolase Activity of Polyphenol Oxidase from Haas Avocado. En *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 1997, 45, (4), 1091-1096
39. VAUGHN, K.C. y Duke, S.O. (1984). Function of polyphenol oxidase in higher plants. En *Physiologia Plantarum*, 60, 106–112.
40. VAN LELYVELD, L.J. y Bower, J.P. (1984). Enzyme reactions leading to avocado mesocarp discoloration. En *J. Hort. Sci*, 59, 257-263.
41. GOMEZ-LOPEZ, V. M., Some biochemical properties of polyphenol oxidase from two varieties of avocado. En *Food Chemistry* 2002, 77, (2), 163-169.
42. NEVIN-RIDLEY 2009 Enzyme Structures Database. Londres Disponible en <http://www.ebi.ac.uk/thornton-srv/databases/enzymes/> (Consultada en Diciembre 11 de 2012)
43. <http://www.bdigital.unal.edu.co/1820/1/98380674.2009.pdf>. Consultado el 15 de diciembre de 2012
44. LOZANO, J. E., DRUDIS, R., & IBARZ, A. 1994..Enzymatic browning in apple pulps. *Journal of Food Science* 59(3). 564-567.
45. PAULSON, A. T., VANDERSTOEP, J., & PORRITT, S. W. Enzymatic browning of peaches: effect of gibberellic acid and ethephon on phenolic compound and polyphenoloxidase activity. En: *Journal of Food Science*. 1980. Vol. 45(2). p. 341-45,.
46. SOLIVA, Robert C. *et al.* Evaluation of browning effect on avocado purée preserved by combined methods. En: *Innovative Food Science & Emerging Technologies*. 2001. vol. 1, p. 261 – 268.
47. LOZANO, J. E., DRUDIS, R., & IBARZ, A. Op. cit. p.565
48. SIDDIQ, N, SINHA, CASH J. N. Characterization of Polyphenoloxidase from Stanley Plums. En: *Journal of Food Science*. 1992. Vol. 57 (5). p. 1177–1179
49. [http://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/14465/TesinaMaster\\_ChristianGhidelli.pdf](http://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/14465/TesinaMaster_ChristianGhidelli.pdf). Consultada el 4 de diciembre de 2012
50. <http://www.bdigital.unal.edu.co/1820/1/98380674.2009.pdf>. Consultada el 2 de septiembre de 2012
51. <http://www.bdigital.unal.edu.co/1009/1/jorgemariomarulandaloaiza.2002.pdf> . Consultada el 12 de octubre de 2012
52. MESQUITA, V. L. c. V.; Queiroz, C., Chapter 10 - Enzymatic Browning. In *Biochemistry of Foods (Third Edition)*, Academic Press: San Diego, pp 387-418.
53. JIMENEZ, María Elena *et al.* Propiedades físicas y químicas del aceite de aguacate obtenido de puré deshidratado por microondas. En: *Revista de la Sociedad Química de México*. 2001. Vol. 45, no. 2, p. 89 – 92.
54. CORNEJO MENDOZA, Verónica. Deshidratación de rebanadas de aguacate variedad Hass por el método OSMO – VAC (osmótico – vacío) y evaluación de la calidad del producto. Título de Maestro en Ciencias con especialidad en Alimentos. México: Instituto Politécnico Nacional. Escuela Nacional de Ciencias Biológicas. México D.F., 2010, p. 19 – 24.

55. SEGUÍ, L.; FITO, P.J, Y FITO, P. Understanding osmotic dehydration – rehydration of tissue structured foods by means of a microstructural systematic approach. *Food Innova* 2010. En: International Conference on Food Innovation (1: 25 – 29, octubre: Valencia, España)
56. VI CONGRESO MUNDIAL DEL AGUACATE. Viña Del Mar, Chile. 12 – 16 Nov. 2007. New Products Of Avocado (Persea Americana Mill): Paste And Pieces Obtained By Osmotic Drying. ISBN No 978-956-17-0413-8.
57. V CONGRESO MUNDIAL DEL AGUACATE. Santiago de Chile 5: 19 – 24, octubre: Actas. Granada – Málaga, España: 2003, p. 755 – 760.
58. XIANG, Yong., *et al.* Microencapsulation of capsicum oleoresin. *En: Food Science China*. 1998., vol. 5 p. 27-30.
59. SHAIKH, Javed., BHOSALE, Rajesh., & SINGHAL, Rekha. Microencapsulation of black pepper oleoresin. *En: Food chemistry*. 2006, Vol. 94, p. 105-110.
60. JUNG, Jong-Min., & KANG Sung-Tae. A new method for analysis of capsaicinoids content in microcapsule. *En: Kor. J. Food Sci. Technol.* 2000 , Vol. 32 (1). p.42–49.
61. GOUBET *et al.*. Retention of aroma compounds by carbohydrates: influence of their physicochemical characteristics and their physical state. A review. *En: Journal of Agriculture and Food Chemistry*. 1998. Vol. 46 (5). p. 1981-1990
62. GHARSALLAOUI Adem *et al.* Applications of spray-drying in microencapsulation of food ingredients: An overview. 2007. *En: Food Research International*, Vol. 40 (9). p. 1107-1121.
63. VI Congreso Mundial del Aguacate) Viña Del Mar, Chile. 12 – 16 Nov. 2007. obtención y almacenamiento de palta (aguacate) en polvo. ISBN No 978-956-17-0413-8.
64. KASPER, Julia Christina y FRIESS, Wolfgang. The freezing step in lyophilization: Physico-chemical fundamentals, freezing methods and consequences on process performance and quality attributes of biopharmaceuticals. *En: European Journal of Pharmaceutics and Biopharmaceutics*. 2001. Vol. 78, p. 248 – 263.
65. MADRIGAL MEDINA, Xiomara Alejandra. Modelar y simular la liofilización del aguacate Hass. Título de Maestro en Ciencias en Ingeniería Química. México: Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Morelia, 2008, p. 5 – 13.
66. DESROSIER, Norman W., “Conservación de Alimentos”, Cía. Editorial Continental, 1991
67. ARRIOLA GUEVARA, E *et al.* Comportamiento del aguacate Hass liofilizado durante la operación de rehidratación. *En: Revista Mexicana de Ingeniería Química*. Noviembre, 2006. Vol. 5, suplemento, p. 51 – 56.
68. SOLIVA, Robert C. *et al.* Evaluation of browning effect on avocado purée preserved by combined methods. En: Innovative Food Science & Emerging Technologies. 2001. vol. 1, p. 261 – 268.
69. WEEMAES. C, *et al.* Kinetic Study of Antibrowning Agents and Pressure Inactivation of Avocado Polyphenoloxidase. En: Journal of Food Science. 1999. Vol. 64, no. 5, p. 823 – 827.

70. OSUNA – GARCÍA, J.A y BELTRÁN, J.A. Temperatura de refrigeración y 1-metilciclopropileno (1- MCP) para prolongar el tiempo de almacenamiento del aguacate Hass, en condiciones de Nayarit (México). En: V Congreso Mundial del Aguacate (5: 19 – 24, octubre: Nayarit). Resúmenes A – 95. Granada – Málaga, España: 2003, p. 240 – 241.
71. Nuevas Tecnologías de Procesamiento para la Extensión de Vida de Anaqueel [http://www.alimentariaonline.com/media/ma027\\_anaquel.pdf](http://www.alimentariaonline.com/media/ma027_anaquel.pdf) consultada el 12 de Diciembre de 2012
72. RAMOS-VILLARROEL, Ana Y, MARTÍN-BELLOSO, Olga y SOLIVA-FORTUNY, Robert. Using Antibrowning Agents to Enhance Quality and Safety of Fresh-Cut Avocado Treated with Intense Light Pulses. En: Journal of Food Science. 2001, vol. 76, no. 9, p. S528 – S534
73. <http://www.olivado.com/studies4.htm>. Consultada el 16 de agosto de 2012
74. ECHEVERRY Carlos Arturo. Extracción de Aceite De Aguacate de la Variedad Hass, Mediante la Centrifugación de la Pulpa. Tesis de Ingeniería. Colombia. Universidad Nacional de Colombia sede Medellín. Facultad de Minas. 2010. p. 21
75. ACOSTA, M.C. Evaluación y escalamiento del proceso de extracción de aceite de aguacate utilizando tratamiento enzimático. Tesis de maestría no publicada. Universidad Nacional de Colombia 2011, Bogotá, Colombia. p.40
76. JIMENEZ, María Elena *et al.* Op. Cit. p. 90
77. Guan et al.,. Comparison of essential oils of clove buds extracted with supercritical carbon dioxide and other three traditional extraction methods. En: *Food Chemistry*, 2007. Vol 101(4). p. 1558-156
78. MARTÍNEZ, J. L. *Supercritical fluid extraction of nutraceuticals and bioactive compounds* New York : Taylor & Francis Group .2008. p. 440. IS BN 978-0-8 493-7089-2.
79. Guan et al.,. Op. cit. p. 1559
80. BOTHA, B. «Supercritical fluid extraction of avocado oil.» *South African Avocado Grower's Association*. Vol. 27 (2004): Págs. 24-27.