



TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO  
Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez

**TRABAJO PROFESIONAL  
COMO REQUISITO PARA OBTENER EL TÍTULO DE:**

**INGENIERO BIOQUÍMICO**

**QUE PRESENTA:**

**YESENIA KARINA HERNÁNDEZ GALLARDO**

**CON EL TEMA:**

**“ENCAPSULACIÓN DE ACEITE DE AGUACATE  
MEDIANTE SECADO POR ASPERSIÓN”**

**MEDIANTE:  
OPCION III  
(PROYECTO DE INVESTIGACIÓN)**

**TUXTLA GUTIÉRREZ, CHIAPAS,**

**OCTUBRE DEL 2015**

## Resumen

El aceite de aguacate se ha demostrado que contiene un contenido elevado de ácidos grasos insaturados los cuales son susceptibles de oxidación y consecuentemente el deterioro de los mismos. Esta oxidación provoca pérdida de la calidad nutricia y el desarrollo de sabores y olores indeseables, afectando su vida de anaquel y propiedades sensoriales del aceite. La microencapsulación podría entonces ser un proceso que retarde la oxidación e incremente el rango de aplicaciones donde este aceite de aguacate podría ser utilizado. Si bien existen algunas publicaciones sobre la microencapsulación de aceite de aguacate, los polvos obtenidos presentan poca estabilidad. El objetivo del presente estudio fue evaluar el efecto del método de elaboración de la emulsión, la temperatura del aire de secado, contenido de sólidos totales en la emulsión y concentración de aceite con respecto al total de sólidos en la emulsión, sobre el rendimiento, eficiencia de encapsulación y oxidación del aceite de aguacate utilizando un diseño experimental ortogonal. Los datos fueron analizados mediante un análisis de varianza ( $p \leq 0.05$ ).

El efecto de la temperatura el contenido de sólidos totales así como el método de preparación de la emulsión fueron las variables que tuvieron efecto estadístico significativo ( $p < 0.05$ ) sobre el rendimiento del proceso con mayor rendimiento del proceso de 46% con una emulsión sometida a ultrasonido, secada a 150°C, con 10% de sólidos totales y 10% de contenido de aceite en la emulsión. La concentración de aceite y la temperatura del aire de entrada fueron las variables que tuvieron efecto estadístico significativo ( $p < 0.05$ ) sobre la encapsulación del aceite en el proceso obteniendo una máxima eficiencia de encapsulación de 32% con una emulsión que contiene 30% de sólidos totales, 10% de contenido de aceite secada a 120°C. Para obtener un mayor rendimiento del proceso de secado se debe usar una emulsión sometida a ultrasonido, aumentando la temperatura y la concentración de aceite en la emulsión y disminuyendo la cantidad de sólidos totales en la emulsión. No se observó efecto estadístico significativo entre los tratamientos con respecto a la estabilidad oxidativa antes y después del proceso. El mejor tratamiento que permite maximizar el rendimiento de proceso sin detrimento de los ácidos grasos es el realizando la emulsión, someterlos a ultrasonido con 30% de sólidos y 10% de aceite con respecto al total de sólidos, secada a 120°C.

# Índice

<b>lista de figuras</b>	<b>i</b>
<b>Lista de cuadros</b>	<b>ii</b>
<b>1. Introducción</b>	<b>1</b>
<b>2. Analisis de fundamentos</b>	<b>2</b>
2.1 <i>Generalidades del aguacate</i>	2
2.1.1 Taxonomía	2
2.1.2 Razas de aguacate	3
2.1.3 Clases de aguacate	5
2.1.3.1 Plagas del aguacatero y su fruto	6
2.1.3.2 Enfermedades más comunes	7
2.1.3.3 Cadena de Valor	9
2.1.3.4 Producción de aguacate a nivel nacional y mundial	9
2.1.4 Origen	10
2.1.5 Clima	11
2.1.6 Valor nutricional y funcional	11
2.1.7 Usos del aguacate	15
2.1.8 Aceite de la pulpa del aguacate	16
2.1.8.1 Ácidos grasos saturados	17
2.1.8.2 Ácidos grasos insaturados	19
2.1.8.3 Ácidos grasos mono-insaturados	20
2.1.8.4 Ácidos grasos poli-insaturados	21
2.1.8.5 Propiedades	23
2.1.8.6 Usos del aceite de aguacate	25
2.1.8.7 Estabilidad del aceite de aguacate	26
2.2. <i>Microencapsulación</i>	28
2.2.1. Agentes encapsulantes	28
2.2.1.1. Maltodextrina	30
2.2.1.2. Goma arábica	30
2.2.1.3. Otros agentes	31
2.2.2. Métodos de microencapsulamiento	32
2.2.2.1. Perlas de alginato	34
2.2.2.2. Liofilización	34
2.2.2.3. Liposomas	35
2.2.2.4. Coacervación	35
2.2.2.5. Secado por aspersión	36
2.3. <i>Avances en la microencapsulación de lípidos mediante secado por aspersión</i>	40
<b>3. métodos</b>	<b>42</b>
3.1 <i>Materiales</i>	42
3.2 <i>Preparación de la emulsión</i>	42
3.3 <i>Microencapsulación mediante secado por aspersión</i>	43
3.3.1 Rendimiento de proceso	44
3.3.2 Análisis del polvo	44
3.3.2.1 Composición de ácidos grasos del aceite encapsulado	45

3.3.2.3 Densidad aparente de los polvos	46
3.3.2.4 Actividad acuosa de los polvos	46
3.4 <i>Diseño experimental y análisis estadístico</i>	46
<b>4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN</b>	<b>48</b>
<i>4.1 Efecto del método de elaboración de la emulsión, la temperatura del aire de secado, contenido de sólidos totales en la emulsión y concentración de aceite con respecto al total de sólidos en la emulsión, sobre el rendimiento del proceso de secado.</i>	48
<i>4.2 Efecto del método de elaboración de la emulsión, la temperatura del aire de secado, contenido de sólidos totales en la emulsión y concentración de aceite con respecto al total de sólidos en la emulsión, sobre la eficiencia de encapsulación y composición del aceite de aguacate encapsulado.</i>	52
<b>5. Conclusiones</b>	<b>62</b>
<b>6. Recomendaciones</b>	<b>63</b>
<b>7. Referencias</b>	<b>64</b>

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Fruto del aguacate .....	2
Figura 2. Tipos de aguacates: a) Hass, b) Fuerte, c) Criollo, d) Bacón, e) Pinkerton, f) Gwen, g) Reed .....	6
Figura 3. Producción de aguacate por estado en enero del 2012 (SIAP). .....	9
Figura 4. Principales productores de aguacate a nivel mundial en 2010 (FAO). .....	10
Figura 5. Nutrientes que contiene el aguacate .....	12
Figura 6. Estructura del ácido graso palmítico .....	18
Figura 7. Estructura del ácido graso oleico .....	20
Figura 8. Estructura del ácido graso linoleico. ....	21
Figura 9. Morfología de distintos tipos de microcápsulas; A: matriz, B: microcápsula simple, C: microcápsula irregular, D: microcápsula de pared múltiple, E: microcápsula de núcleo múltiple, D: agregado de microcápsulas .....	33
Figura 10. Esquemática de los diferentes procesos de microencapsulación (Madene, Scher y Desobry, 2006). ....	33
Figura 11. Típica operación de desecación por atomización consistente en una cámara de desecación dotada de un atomizador, calentador de aire, ventilador o soplador y ciclón para la recuperación de producto (Rahman, 2003). ....	38
Figura 12. Preparación de la emulsión .....	43
Figura 13. Secado por aspersión .....	44
Figura 14. Efecto del método de preparación de la emulsión sobre el rendimiento de proceso de secado por aspersión de aceite de aguacate. ....	51
Figura 15. Diagrama de efectos principales para rendimiento del secado por aspersión de aceite de aguacate. ....	52
Figura 16. Efecto del contenido de aceite para la eficiencia de encapsulación en el proceso de secado por aspersión. ....	55
Figura 17. Efecto de la temperatura sobre la encapsulación del aceite de aguacate en el proceso de secado por aspersión. ....	57
Figura 18. Diagrama de efectos principales eficiencia de encapsulación en el secado por aspersión de aceite de aguacate. ....	58

## LISTA DE CUADROS

Cuadro 1. Clasificación taxonómica del género Persea .....	3
Cuadro 2. Características de las hojas, frutos, semillas y flores de las razas de aguacate mexicana, guatemalteca y antillana.....	4
Cuadro 3. Aporte nutricional en minerales en 100 g de pulpa de aguacate .....	13
Cuadro 4. Composición de aminoácidos por 100 g de pulpa de aguacate. ....	13
Cuadro 5. Composición química en vitaminas en 100 g de pulpa de aguacate.....	14
Cuadro 6. Descripción de algunos ácidos grasos saturados.....	18
Cuadro 7. Composición general de ácidos grasos en la pulpa de aguacate.....	22
Cuadro 8. Diseño experimental ortogonal L <sub>8</sub> .....	46
Cuadro 9. Porcentaje de rendimiento del proceso de secado .....	48
Cuadro 10. Valores de P para el rendimiento de proceso de secado por aspersión de aceite de aguacate.....	49
Cuadro 11. Prueba de múltiple rangos de la temperatura del aire de entrada para el rendimiento de proceso de secado por aspersión de aceite de aguacate. ....	49
Cuadro 12. Prueba de múltiple rangos de los sólidos totales para el rendimiento del proceso de secado por aspersión de aceite de aguacate. ....	50
Cuadro 13. Eficiencia de encapsulación por tratamiento.....	53
Cuadro 14. Valores de P para encapsulación de aceite de aguacate en proceso de secado por aspersión.....	54
Cuadro 15. Pruebas de Múltiple Rangos para aceite encapsulado por concentración aceite. ....	55
Cuadro 16. Prueba de Múltiple Rangos para aceite encapsulado por temperatura.....	57
Cuadro 17. Composición de ácidos grasos en el aceite de aguacate encapsulado .....	58
Cuadro 18. Análisis de varianza para ácido oleico .....	59
Cuadro 19. Análisis de varianza para ácido graso palmítico .....	59
Cuadro 20. Abundancia de ácidos grasos palmítico, oleico y linoleico en los distintos tratamiento	60
Cuadro 21. Análisis de varianza para ácido graso linoleico .....	60

## 1. INTRODUCCIÓN

El aceite de aguacate, obtenido de la pulpa del fruto del árbol de aguacate (*Persea americana*) ha recibido mucho interés en los últimos años por sus propiedades nutrimentales y otras aplicaciones como en la industria de los cosméticos (Swisher, 1988). Este árbol es nativo de México pero puede crecer en cualquier parte del mundo, lo anterior provoca que sea un árbol de interés mundial, aunado a que su contenido de aceite es bueno, aunque inferior al de la palma y de oliva (Werman y Neeman, 1987). Knothe (2013) reportó que el aceite de aguacate contiene un elevado contenido de ácido oleico (58.6%) comparable con el 64.6% del mismo ácido oleico en el aceite de oliva. Así mismo demostró, que el 80% de la fracción másica del aceite corresponde a ácidos grasos insaturados. Además, el aceite de aguacate contiene antioxidantes, vitaminas y fitoesteroles, por mencionar algunos el  $\alpha$ -tocopherol,  $\beta$ -caroteno, luteína y  $\beta$ -sitosterol (Requejo *et al.*, 2003). Los ácidos grasos también proveen varios efectos positivos en el ser humano específicamente sobre el colesterol en suero, enfermedades coronarias, cáncer, diabetes y próstata (Bae y Lee, 2008). Por lo anterior, además de su uso en alimentos, el aceite de aguacate se ha identificado como un aceite importante en la industria farmacéutica y cosmética debido a su adsorción y penetración elevada en la piel (Swisher, 1988). Todos los nutrientes arriba mencionados son muy susceptibles al deterioro y oxidación, especialmente cuando son expuestos al oxígeno, luz, humedad y temperatura. Esta oxidación provoca pérdida de la calidad nutricia y el desarrollo de sabores y olores indeseables, afectando su vida de anaquel y propiedades sensoriales (Velasco *et al.*, 2003). La microencapsulación podría entonces ser un proceso que retarde la oxidación e incremente el rango de aplicaciones donde este aceite podría ser utilizado (Calvo *et al.*, 2011). Además de transformar el líquido en sólido, el secado permitirá un mejor manejo, almacenamiento, transporte, así como permite obtener una mezcla y dispersión uniforme en la formulación de alimentos cuando se requieren utilizar en pequeñas cantidades (Bae y Lee, 2008).

## 2. ANALISIS DE FUNDAMENTOS

### 2.1 Generalidades del aguacate

El árbol de aguacate, pertenece al género *Persea* de la familia Lauraceae. Se conocen alrededor de 85 especies, entre las más conocidas se encuentran la mexicana, guatemalteca y antillana, actualmente estas tres especies se consideran dentro del género *Persea americana* Mill o *Persea gratissima* Gaertn. Existen muchas evidencias de que el aguacate es originario de México, en la región conocida como Mesoamérica (Ortega, 2003).



**Figura 1. Fruto del aguacate**

El aguacatero es un árbol perteneciente a la familia botánica de las Lauraceae, es un árbol de hojas persistentes que pertenece al género *Persea* (figura 1). Originario de la América tropical, más especialmente de América central. Se cultiva en casi todas las regiones tropicales y subtropicales del mundo. Los mayores productores son México, Estados Unidos, Brasil y Colombia. Se reconocen tres razas ecológicas (subespecies): mexicana, guatemalteca y antillana, las cuales se consideran subtropicales, semitropicales y tropicales respectivamente (Pino, 1997).

#### 2.1.1 Taxonomía

El aguacate pertenece a la familia de las Lauráceas que consta de 50 géneros y cerca de 3 000 especies. El aguacate es el producto más importante de esta familia (Chanderbali *et al.*, 2013). En el cuadro 1 se presenta la clasificación taxonómica del género *Persea*.



**Cuadro 1. Clasificación taxonómica del género Persea.**

<b>REINO</b>	Vegetal
<b>DIVISIÓN</b>	Spermatophyta
<b>SUBDIVISIÓN</b>	Angiospermae
<b>CLASE</b>	Dicotyledoneae
<b>SUBCLASE</b>	Dipétala
<b>ORDEN</b>	Ranales
<b>FAMILIA</b>	Lauraceae
<b>GÉNERO</b>	Persea
<b>ESPECIE</b>	Persea americana Miller, Persea gratissima Gaerth, Persea

(Bernal *et al.*, 2008)

### **2.1.2 Razas de aguacate**

Generalmente, se identifican tres razas de aguacate (cuadro 2): mexicana, guatemalteca y antillana. La raza Mexicana tiene como principal característica ser muy resistente al frío, así como también su alto contenido de aceite. El tamaño del fruto es variable, con tendencia a pequeño. La raza Guatemalteca posee un fruto de tamaño pequeño y forma redonda, cuya característica principal es su cáscara gruesa. La raza Antillana se adapta a clima tropical y es más tolerante a la salinidad, también tiene un lapso de flor a fruto bastante corto y el tamaño de su fruto es mayor que las otras razas.

**Cuadro 2. Características de las hojas, frutos, semillas y flores de las razas de aguacate mexicana, guatemalteca y antillana**

<b>CARACTERÍSTICA</b>		<b>MEXICANA</b> <i>Persea americana</i> var.	<b>GUATEMALTECA</b> <i>Persea</i> <i>nubigena</i> var.	<b>ANTILLANA</b> <i>Persea americana</i> var.	
<b>Clima</b>		Frío	Frío moderado a	Cálido	
<b>Temperatura min. (°C)</b>		2,2	4,0	4,0	
<b>Temperatura óptima (°C)</b>		8,0 a 15,0	12,0 a 22,0	18,0 a 26,0	
<b>Hojas</b>	<b>Olor a anís</b>	Si	No	No	
	<b>Color</b>	Verde oscuro	Verde oscuro	Verde claro opaco	
		Lustroso	Lustroso		
<b>Tamaño</b>	Pequeña	Mediana	Grande		
<b>Frutos</b>	<b>Tamaño</b>	Pequeño	Variable	Variable	
	<b>Peso (g)</b>	80 a 250	200 a 1500	250 a 2500	
	<b>Contenido de</b>	30	18 a 20	5 a 15	
	<b>Cáscara</b>	<b>Grosor</b>	Delgada	Gruesa	Mediana
		<b>Tamaño</b>	0.8	3.0 a 6.0	1.5 a 3.0
		<b>Textura</b>	Lisa	Áspera	Lisa
<b>Consistencia</b>		Suave	Leñosa quebradiza	Flexible	
<b>Semilla</b>	<b>Tamaño</b>	Grande	Pequeña	Grande	
	<b>Estado</b>	Adherida	Adherida	Suelta	
	<b>Cotiledones</b>	Rugoso	Liso	Rugoso	
<b>Floración a maduración</b>		5 a 8 meses	10 a 15 meses	5 a 9 meses	

(Bernal et al., 2008)

### 2.1.3 Clases de aguacate

Hass (el más popular en el mercado internacional): Cuando está maduro, su cáscara adquiere un tono oscuro, casi negro. Su piel pasa de verde oscuro a verde purpurino. Tiene un gran sabor a nuez y avellana, con textura suave-cremosa y una semilla de pequeña a mediana. Disponible durante todo el año. El aguacate Hass proviene de injerto, mezcla de diferentes variedades de aguacate, desarrollado por Rudolph Hass.

Fuerte: Su cáscara es gruesa, comparada con otras especies y no se oscurece con la maduración. Su piel es ligeramente áspera, con muchos pequeños puntos amarillos. Lo podemos encontrar desde finales de otoño hasta primavera. Tienen la forma de una pera, de gran sabor y pulpa cremosa.

Criollo: Se caracteriza por tener una cascara muy delgada y suave, que se aferra a la masa, además, un hueso muy grande. El color de su cascara es oscura y su pulpa al madurar adopta un color amarillo-limón. Tiene entre sus principales características ser resistente al frío.

Bacón: Fruta disponible durante otoño hasta primavera. El fruto es de forma ovalada, pulpa amarilla verdosa que tiene un gran sabor con textura suave. Es fácil de pelar y contiene un hueso mediano a grande. Al madurar, la piel de este fruto toma un color más oscuro.

Pinkerton: Tiene cosecha temprana, redondo, con cuello en forma de pera, de tamaño medio. Se trata de una fruta de apariencia larga, pulpa cremosa con excelente sabor. Tiene una cascara más gruesa que las diferentes clases de aguacate, además es muy fácil de pelar. Lo encontramos de invierno hasta primavera.

Gwen: Lo encontramos desde principios de primavera hasta finales de verano. Es una fruta redonda, la piel es delgada y granulada de color verde. El sabor de la pulpa es suave y cremoso.

Reed: Disponible en verano e inicios de otoño. Su piel permanece gruesa y verde, tienen buen sabor, presenta una suave presión cuando está madura. Es fácil de pelar y contiene una semilla mediana. (SAGARPA, 2011).

### 2.1.3.1 Plagas del aguacatero y su fruto

Gusano barrenador de hueso (*Heilipus lauris* Boheman): La hembra deposita sus huevecillos bajo la epidermis del fruto en desarrollo, la larva se introduce en la pulpa hasta llegar al hueso. El daño principal lo ocasiona al alimentarse del hueso, provocando la caída prematura del fruto, lo que puede provocar la pérdida total en la producción.

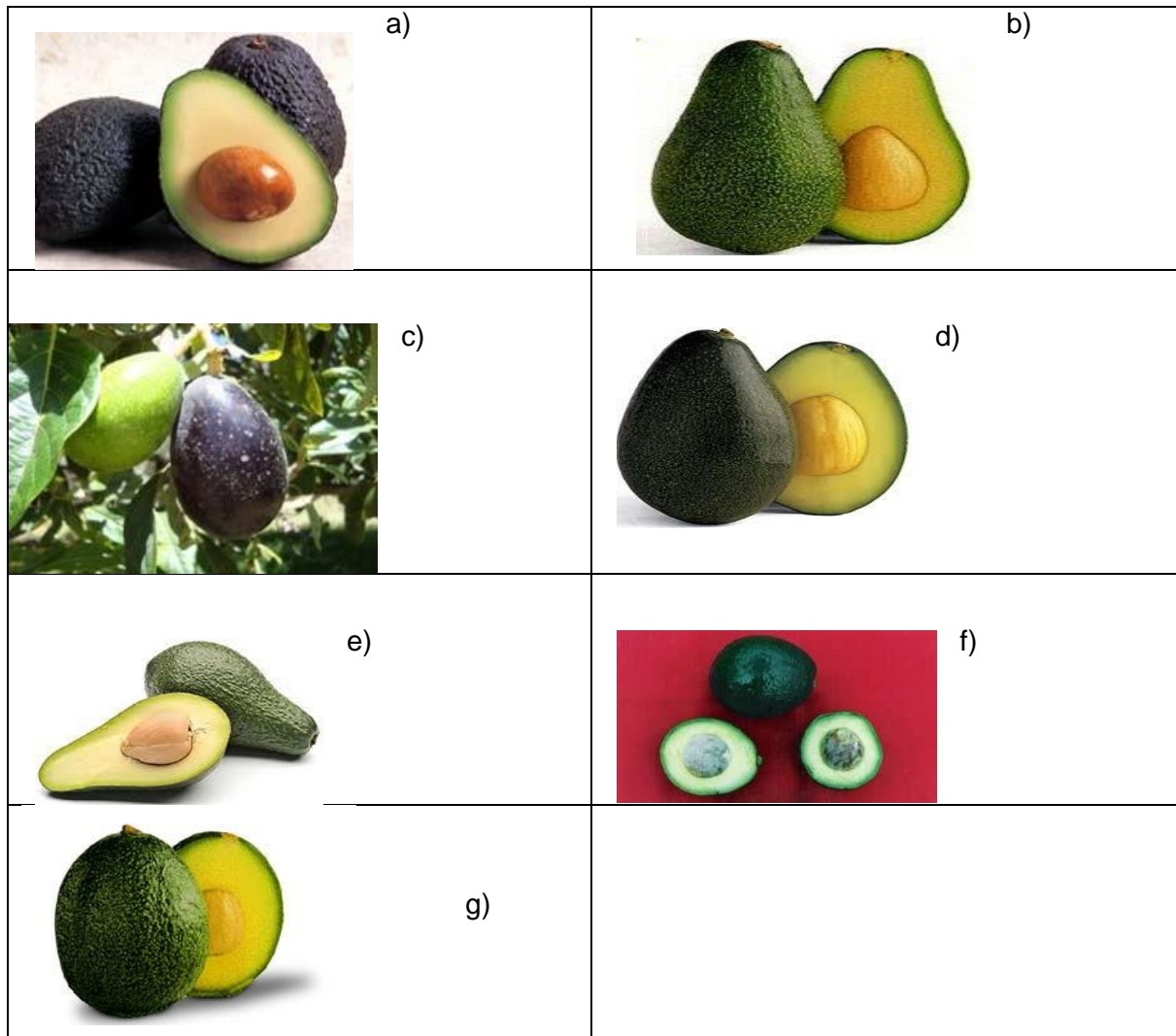


Figura 2. Tipos de aguacates: a) Hass, b) Fuerte, c) Criollo, d) Bacón, e) Pinkerton, f) Gwen, g) Reed

Trip del aguacate (*Heliethrips haemorrhoidalis*): Ocasiona daños en frutos y flores, ocasionándoles malformaciones; inhibe la fecundación de flores al lesionar los órganos sexuales; origina la caída de las mismas y deteriora mucho a los frutos recién formados por la aparición de alteraciones irregulares en la cáscara.

Araña de cristal (*Oligonychus*): Esta plaga se presenta en época seca, los adultos succionan los jugos de las hojas, produciendo manchas amarillentas en las mismas. En casos severos, los árboles se debilitan y tiran sus hojas.

Taladrador del tronco (*Copturomimus perseae gunther*): Esta plaga come la madera de troncos, ramas y nuevos brotes, ocasionando regularmente que las ramas se trocen por el peso de la fruta. Las zonas dañadas son fáciles de detectar por la presencia de aserrín en polvo.

Acaro de las agallas (*Eriophyes*): Su ataque provoca la paralización del desarrollo del fruto, produce daños severos formando protuberancias (agallas) en las hojas.

Perforador del fruto (*Stenomema catenifer*): Los huevecillos son depositados sobre los frutos o las ramas tiernas, en su etapa de desarrollo penetra la cascara y la fruta. Los desechos y las exuvias dejadas por las larvas dentro del fruto provocan su pudrición.

Gusano arrollador de la hoja (*Platynota*): Es una larva color verde claro, que al raspar la epidermis de las hojas las adhiere provocando su desecación (SENASICA, 2012).

### **2.1.3.2 Enfermedades más comunes**

Pudrición de la raíz (también conocida como tristeza del aguacatero): La pudrición de raíces es la enfermedad más importante del aguacate, es causada principalmente por el hongo *Phytophthora cinamomni*, aunque (*P. citrícola*, *P. cactorum*, *P. parasítica*, *P. palmivora*, *P. heveae*). El hongo causante ataca la base del tallo y lo coloniza totalmente, evita la absorción de agua y su transporte al follaje, produce marchitez, secamiento y muerte repentina del árbol.

Mancha negra o cercospora: Es ocasionada por el hongo *Cercospora purpurea* Cooke, la alta precipitación y la mala nutrición de las plantaciones agrava su severidad. Esta enfermedad ataca a las hojas y produce lesiones pequeñas color marrón oscuro, provocando la caída de todo el fruto del árbol. En postcosecha, ocasiona la llamada mancha negra en el fruto.

Polvillo o Mildiu Oidium sp: Esta enfermedad se manifiesta con la aparición de polvillo blanco sobre las inflorescencias, frutos y hojas, causando su caída. Además, las hojas afectadas se deforman y posteriormente aparecen en ellas manchas irregulares color negro. Este hongo requiere de poca humedad relativa para desarrollarse.

Antracnosis: Enfermedad causada por *Colletotrichum gloeosporioides*. Penetra en las lesiones ocasionadas por otros hongos, se desarrolla antes de la cosecha y se manifiesta en poscosecha, atacando a los frutos cuando casi están para cosechar. Inicialmente se manifiesta con manchas redondas color marrón, paralelamente, el hongo produce una pudrición en la pulpa de fruto, que ocasiona un sabor desagradable y avanza hasta colonizar el hueso.

Cancro del aguacate (*Phytophora bohemeriae* Sawad): Se encuentra en la base del tronco hasta la altura de un metro, su importancia radica en la velocidad de desarrollo y capacidad de daño alrededor del tronco. Reduce el vigor del árbol con producción de frutos pequeños y de mala calidad.

Fusariosis: Ataca directamente la raíz del árbol en cualquier estado de desarrollo, provocando pudrición y secamiento en las hojas. Es importante destruir los troncos viejos y quemarlos para eliminar la enfermedad.

Roña: El hongo *Sphaceloma perseae* afecta a la hojas, principalmente las nuevas, y daña a los frutos, deteriorando su calidad estética. En el fruto son lesiones irregulares color marrón de apariencia corchosa, estas lesiones no son superficiales y no afectan la pulpa. En ataques severos, los brotes y las hojas se necrosan, se enroscan hacia arriba y pueden llegar a morir (SENASICA, 2012).

### 2.1.3.3 Cadena de Valor

La cadena productiva engloba tres fases por las cuales atraviesa el aguacate hasta llegar al consumidor final. Estas son: fase primaria, fase industrialización y fase de comercialización.

Plantación: El aguacate se puede plantar por 2 métodos; el primero es plantar directamente la semilla al terreno; el segundo es por medio del injerto que se realiza en viveros. La planta injertada proporciona un mejor ciclo de vida al árbol, además auspicia que los rendimientos en la producción sean mayores y sea menos inmune a las enfermedades.

Varietades como el aguacate Hass puede llegar a producir de 1,000 a 1,500 frutos al año, aproximadamente, a los 10 años de vida del árbol. La recolección de los frutos se realiza unos días antes que maduren. El aguacate alcanza su madurez una vez que ya han sido recolectados para su venta.

Selección: Se procede al recorte de pedúnculos y a seleccionar el aguacate. Se califica para su exportación, aplicando los criterios de calidad y tamaño.

Empacado: Inicia con el proceso de pre-enfriamiento del fruto, esto significa que después de la cosecha, se deja en pallets por 24 horas, para disminuir la temperatura del producto. Después, se lava el fruto con agua y una solución fungicida, Seguido por el secado del fruto y una ligera cepillada, con lo que adquiere una apariencia brillante (SAGARPA, 2011).

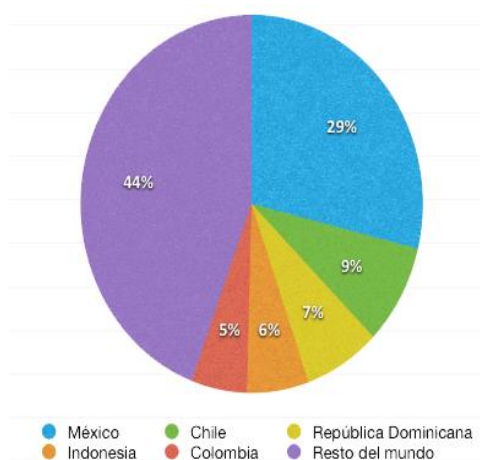
### 2.1.3.4 Producción de aguacate a nivel nacional y mundial

Estado	Aguacate producido (toneladas)
Guerrero	1,940
Jalisco	8
Michoacán	74,217
Oaxaca	744
Sinaloa	20
<b>Total</b>	<b>76,929</b>

Dentro de la República Mexicana, Michoacán es el estado que más aguacates produce, y son de excelente calidad, por lo que casi todos se destinan a la exportación (figura 3). Los países que más nos compran son Francia, Canadá, Japón y Estados Unidos.

Figura 3. Producción de aguacate por estado en enero del 2012 (SIAP).

México es uno de los países con una amplia diversidad de tipos de aguacate, las variedades que se cultivan son Hass, Fuerte, Rincón, Bacon, Boot 7, Boot 8, Lula, Choquette, Hall, Edranol, Grana, Zutano, Wurtz, Waldin, Criollo, San Miguel, entre otras, todas estas se agrupan como aguacate no especificado. México es el primer productor mundial de aguacate, su producción representa más del 30% de la cosecha mundial (figura 4).



**Figura 4. Principales productores de aguacate a nivel mundial en 2010 (FAO).**

### 2.1.4 Origen

El aguacate es un árbol originario de Mesoamérica, su origen tuvo lugar en la parte centro de México y en algunas partes altas de Guatemala, donde ya se cultivaba con anterioridad a la llegada de los españoles. Aunque hay discrepancias sobre el origen del aguacate, la evidencia más antigua de su consumo que se tiene hasta ahora está en una cueva de Coaxcatlán, Puebla, con una antigüedad de siete mil a ocho mil años (SIAP, 2011). El nombre del aguacate proviene del náhuatl (Ahuacatl), palabra que significa “testículos del árbol”. Su nombre científico es *Persea americana* y proviene de la familia laurácea. Regularmente, el árbol de aguacate puede alcanzar una altura de hasta 20 metros, sin embargo, cuando se cultiva no se deja crecer más de 5 metros, para facilitar las prácticas de control fitosanitario, cosecha, poda y fertilización foliar. Es de tronco grueso y con hojas alargadas que terminan en punta en la parte alta del tronco. Tiene varias ramificaciones, que generan un follaje denso. El aguacate es considerado un producto perenne debido a que se cultiva durante todo el año. El fruto es en forma de pera, de color verde claro a verde oscuro y de violeta a negro, cáscara rugosa con una pulpa verde amarillenta y un hueso central muy grande. Existen aproximadamente unas 400 variedades, por lo que podemos encontrar frutos de formas y pesos diferentes, que pueden llegar a pesar de 150 a 350 gramos. La distancia de siembra entre las plantas está determinado en función de factores como: variedad de aguacate, tipo de suelo, topografía y condiciones meteorológicas. En general, los árboles son plantados con una distancia entre ellos que va desde los 7 metros hasta los 12 metros de distancia entre sí. De esta manera se obtiene en una hectárea destinada a la plantación del aguacate, de



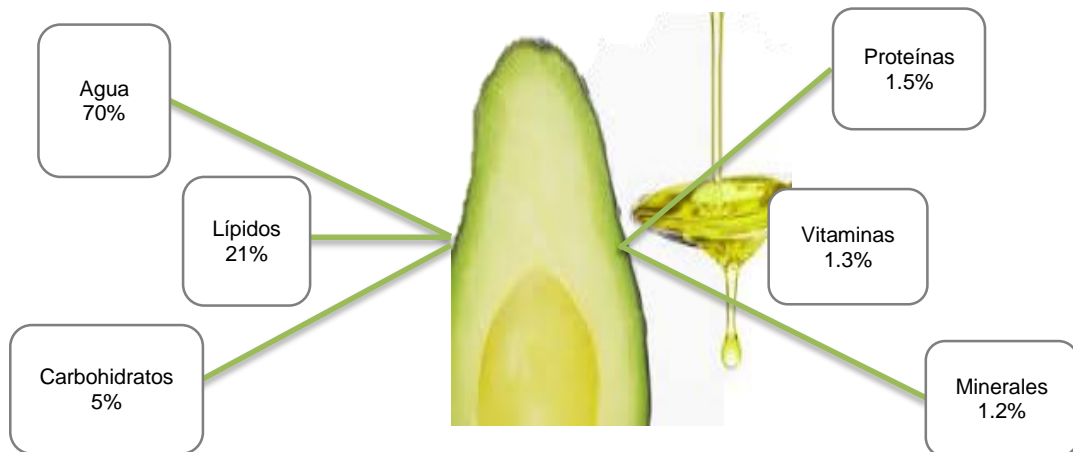
115 a 180 árboles. Recolección: En arboles injertados, la primera cosecha de la fruta se realiza al quinto año de vida del árbol, obteniendo por lo regular alrededor de 50 frutos en ese ciclo. Durante los siguientes años, alcanza 150 frutos en el sexto año (ciclo), 300 frutos al séptimo, llegando a 800 en el ciclo del octavo año (SAGARPA, 2011).

### **2.1.5 Clima**

El aguacate se siembra sobre todo en regiones templadas, libres de heladas y de vientos calurosos y secos. La temperatura para el cultivo del aguacate, va de los 17 a 24 °C, siendo la temperatura ideal en alrededor de 20°C, temperatura en la cual alcanza su óptimo desarrollo. El aguacate requiere regímenes pluviales de 1,000 a 2,000 milímetros de lluvia. Además, durante la época productiva, el riego localizado prolonga el periodo productivo, incrementando los rendimientos en alrededor del 30% y mejorando las cualidades organolépticas de los frutos. Para sembrar el aguacate, el suelo más recomendado son los de textura ligera y profundos bien drenados con un pH neutro o ligeramente ácidos de 5.5 a 7. También, se pueden cultivar en suelos arcillosos o franco arcillosos, siempre que exista un buen drenaje. El exceso de humedad es un medio que provoca enfermedades de la raíz, fisiológicas y fúngicas. El terreno destinado al cultivo debe contar con buena protección natural contra el viento, porque este puede producir daños como: rotura de ramas, raíz y caída del fruto, especialmente cuando están pequeños, además, el viento reduce la humedad, las flores se deshidratan e interfiere con la polinización. Alcántar *et al.* (1999) reportan que los requerimientos del cultivo del aguacate son: temperatura media anual 15 a 22 °C, precipitación 800 a 1600 mm, altitud 1400 a 2200 m, pendiente del suelo 0 a 25%, textura media y suelos con profundidad mayor de un metro.

### **2.1.6 Valor nutricional y funcional**

El aguacate tiene un contenido alto de grasas y dependiendo del grupo geográfico al que pertenezca, hay una gran variación en el nivel de lípidos. Las variedades de la India Occidental son las de contenido menor de grasa, 4 a 7%. Las frutas guatemaltecas varían de 10 a 13%, mientras que el grupo de las mexicanas rinden de 10 a 15% en México y de 15 a 30% en California. Hay excepciones de esta generalización, dependiendo del hábitat (Batista, 1993).



**Figura 5. Nutrientes que contiene el aguacate**

El aguacate contiene nutrientes presentes en la pulpa. En la figura 5 se puede observar que posee un alto contenido de agua, sin embargo el contenido de lípidos es considerable, lo que lo hace una fuente potencial de aceite. La pulpa se consume fresca, principalmente como parte de ensaladas, con sal y vinagre. La composición del aguacate difiere en dependencia de la variedad y el tiempo de maduración. Así, por ejemplo, el aguacate fresco tiene un contenido de aceite entre 5 y 30%; proteínas entre 1 y 5% y también niacina y otras vitaminas del complejo B. Algunas variedades contienen cantidades significativas de  $\beta$ -caroteno y vitamina C (Batista, 1993).

El aguacate, dependiendo de la variedad y madurez alcanza en la pulpa niveles de hasta 30% de aceite. Es un aceite verde intenso, se obtiene de la pulpa del aguacate, muy rico en nutrientes. Su composición y propiedades son similares a las del aceite de oliva. Es ampliamente usado en cosméticos y aceite para ensaladas (Willey, 1999).

Respecto a los otros nutrientes de la pulpa son destacables los minerales, los aminoácidos esenciales y algunas vitaminas, estos se muestran en los cuadros 3 a 5.

**Cuadro 3. Aporte nutricional en minerales en 100g de pulpa de aguacate**

<b>Minerales</b>	<b><sup>1</sup>(mg)</b>	<b><sup>2</sup>Valor Recomendado</b>
Potasio	340	340
Fósforo	38	42
Calcio	10	10
Sodio	3	3
Hierro	0.6	1

(<sup>1</sup>Batista *et al.*, 1993, <sup>2</sup>CENEXA, 1991)

**Cuadro 4. Composición de aminoácidos por 100g de pulpa de aguacate.**

<b>Aminoácidos</b>	<b><sup>1</sup>(mg)</b>	<b><sup>2</sup>Valor Recomendado (mg)</b>
Valina	63	50
Lisina	59	55
Fenilalanina	48	60
Isoleucina	47	40
Leucina	46	70
Treonina	40	40
Metionina	29	35
Triptófano	-	10

(<sup>1</sup>Ortega, 2003, <sup>2</sup>FAO/WHO, 1973)

**Cuadro 5. Composición química en vitaminas en 100 g de pulpa de aguacate.**

<b>Vitaminas</b>	<b><sup>1</sup>Pulpa de aguacate</b>	<b><sup>2</sup>Valor Recomendado</b>
Vitamina A	85 µg	900 µg
Vitamina D	10 µg	5 µg
Vitamina K	8 µg	110 µg
Vitamina E	3 µg	9 µg
Vitamina B1	0.1 mg	1.4 mg
Vitamina B2	0.2 mg	1.6 mg
Vitamina B6	0.4 mg	2.1 mg
Ácido pantoténico	1 mg	5.5 mg
Niacina	1.6 mg	16 mg
Biotina	10 µg	100 µg
Vitamina C	14 mg	60 mg
Ácido fólico	32 µg	200 µg

(<sup>1</sup>Ortega, 2003, <sup>2</sup>CENEXA, 1991).

En los cuadros anteriores se puede observar la composición química de la pulpa de aguacate por cada 100 g y su comparación recomendada de estos nutrientes reportada por diferentes Organizaciones enfocadas en la Nutrición humana.

En el cuadro 3 se puede observar que el contenido en minerales presenta un alto porcentaje de potasio y un mínimo de sodio, en cuanto a los aminoácidos (cuadro 4) se observa que la pulpa de aguacate presenta siete de los ocho aminoácidos esenciales, con respecto a vitaminas, se puede observar en el cuadro 5 la presencia de cantidades significativas de las vitaminas liposolubles e hidrosolubles, por ejemplo, la vitamina D que está presente en 100 g de pulpa de aguacate contiene el 100% o más del requerimiento diario, mientras que de las vitaminas E, B6, C, y B2, 100 g de pulpa proporcionan porcentajes importantes del requerimiento diario, todo esto hace que la pulpa de aguacate se considere una fuente de antioxidantes, y por lo tanto, un alimento con beneficios a la salud (Batista *et al.*, 1993, Hernández y Porrata, 1999, Kritchevsky *et al.*, 2003).

De acuerdo con estas características, se desprende que cada 100 gramos de aguacate, contiene 12 de las 13 vitaminas, puesto que la B12 está ausente por que solo se encuentra en el reino animal. Contiene cantidades significativas de todas las vitaminas liposolubles, poniéndose en situación de privilegio con respecto al resto de los alimentos vegetales que, en su mayoría poseen predominio de algunas y escasez de otras. Aporta vitaminas liposolubles sin colesterol y con mínima cantidad de ácidos grasos saturados. Proporciona vitaminas hidrosolubles en cantidades apreciables, destacándose su contenido de ácido ascórbico.

De la comparación del contenido por cada 100 gramos de aguacate con las recomendaciones nutricionales, surge que:

- Vitamina D, cubre más del 100% siendo apropiado como fuente de la misma especialidad, en zonas o épocas en donde por razones climáticas o del invierno, se reduce la síntesis de esta vitamina en la piel, debido a la escasa exposición del cuerpo a los rayos solares.
- Vitaminas E, B6 y C, el aguacate cubre más del 20% de la dosis diaria recomendada, lo cual le confiere excelentes propiedades antioxidantes.
- Vitamina B2, Niacina, Acido pantoténico, Biotina y Ácido fólico, el aguacate cubre más del 10% de los requerimientos diarios recomendados.

El aguacate presenta una relación favorable entre ácidos grasos insaturados y vitamina E, optimizando las funciones de los primeros, este análisis califica al aguacate como una excelente fuente de vitaminas, ya que las contiene en cantidad, calidad y armonía, maximizando su aprovechamiento en el organismo.

### **2.1.7 Usos del aguacate**

En las últimas dos décadas se ha comenzado a diversificar el fruto en productos como guacamole, pulpa y aceite para exportación, sin embargo, esta producción es mínima. En otros países, aprovechan sus nutrientes para elaborar productos cosmetológicos y farmacéuticos.

El aguacate ha sido objeto de un intenso y variado uso en el pasado, no sólo como alimento sino con propósitos medicinales. La pulpa se ha usado como pomada para estimular el crecimiento del cabello y acelerar el sanado de las heridas. La fruta también ha sido utilizada como afrodisíaco y emanagogo. Los indios americanos han utilizado la semilla para el tratamiento de la disentería y la diarrea. Hoy en día la fruta es consumida alrededor del mundo y el aceite es un componente de numerosas formulaciones cosméticas. En México, se emplean las hojas, la cáscara del fruto y la semilla. El aceite extraído de la semilla por compresión se usa desde hace siglos para el tratamiento del cabello reseco y otros males del cuero cabelludo; también como ungüento para aliviar el dolor y suavizar la piel de zonas lastimadas. La cáscara del fruto, seca y molida, se usa como antidisentérico, al igual que la infusión con base en sus hojas empleadas para lavar padecimientos infecciosos e inflamatorios de la piel. La misma infusión se utiliza en el tratamiento de diversas diarreas infecciosas y en caso de indigestión. Por último, y según la medicina tradicional mexicana, la infusión de cáscara de aguacate sería beneficiosa en el tratamiento de parasitosis intestinales (CIMED, 2002).

- ✓ La industria alimenticia utiliza el aceite de aguacate para preparar alimentos enlatados y en aderezos para ensaladas.
- ✓ La industria de los cosméticos, en la formulación de lociones, cremas y jabones para el tratamiento de la piel y cuidado del cabello.
- ✓ La industria farmacéutica, como base para pomadas, ungüentos y bálsamos. En la actualidad se estudian otras formas de utilizar el aceite de aguacate en medicamentos y nutracéuticos (ANIAME, 2002).

### **2.1.8 Aceite de la pulpa del aguacate**

Dentro de su composición nutrimental el aguacate también destaca por su contenido de lípidos, lo que lo hace que sea un excelente fruto al paladar, que resulta agradable y exquisito al consumidor. Además, el contenido de ácidos grasos saturados es muy bajo y el de ácidos grasos insaturados es alto, por lo que la pulpa de aguacate puede contribuir a combatir enfermedades cardiovasculares y a disminuir el colesterol (Anderson *et al.*, 2009).

El aguacate junto con la aceituna es uno de los frutos más ricos en grasa, contiene hasta un 25 % según las variedades. El aguacate tiene un contenido lipídico muy bajo en ácidos grasos saturados y muy rico en monoinsaturados, (80%) y poliinsaturados (11-15 %), contiene niveles más elevados de ácidos grasos poliinsaturados que el aceite de oliva o el de palma, su aceite es un poderoso antioxidante debido a la presencia de la vitamina E que reduce el riesgo de cáncer y evita el envejecimiento prematuro de las células (Pamplona, 2003; Pérez *et al.*, 2005). Es rico en potasio, magnesio, hierro, ácido ascórbico y vitamina D. El aguacate es un alimento rico en nutrientes que contiene una alta proporción de AGM, una baja cantidad de AGS y nada de colesterol. Según Duester (2000), cerca del 60 por ciento de los ácidos grasos son monoinsaturados, el 20 por ciento poliinsaturados y los demás, saturados. Cuando el fruto madura, disminuye el contenido de ácido palmítico (saturado) y aumenta el del ácido oleico (monoinsaturado).

Los lípidos se definen como un grupo de moléculas orgánicas de naturaleza heterogénea formados por C, H, O, N y P en menor proporción, su principal característica es la de ser insolubles en agua debido a su estructura hidrocarbonada y solubles en disolventes orgánicos. La principal fuente de lípidos son las grasas animales y los aceites en las semillas.

### **2.1.8.1 Ácidos grasos saturados**

Los ácidos grasos son moléculas formadas por una cadena larga hidrocarbonada con un número par de átomos de carbono (Fennema, 2000). Su nomenclatura está basada en poner al ácido graso con el nombre del hidrocarburo con el mismo número de átomos de carbono, substituyendo la *o* al final en el nombre del hidrocarburo por la terminación *oico* (IUPAC, 1990), por ejemplo los ácidos saturados terminan en *anoico* (ácido *pentanoico*). En el cuadro 6 se mencionan a algunos ácidos grasos saturados, su localización en la naturaleza, su notación común y científica.

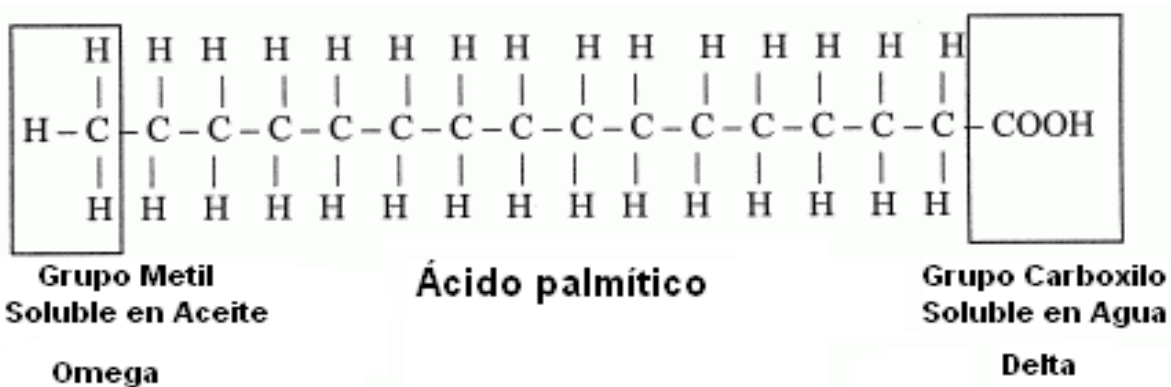
Diversos estudios relacionados en el consumo de ácidos grasos saturados, han indicado que una ingesta excesiva de grasas saturadas, ejerce un desequilibrio en la cantidad del colesterol que repercute en el aumento de presentar una enfermedad cardiovascular. Sin embargo, cuando estas grasas son sustituidas por ácidos grasos insaturados, disminuye la probabilidad y el riesgo de padecer estas enfermedades (Mozaffarian *et al.*, 2006).

**Cuadro 6. Descripción de algunos ácidos grasos saturados.**

Ácidos Grasos	Fórmula	IUPAC	Fuentes naturales
Acético	C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	Etanoico	Producto final de la fermentación y mantequilla
Butírico	C <sub>4</sub> H <sub>8</sub>	Butanoico	
Caproico	C <sub>6</sub> H <sub>12</sub>	Hexanoico	
Caprílico	C <sub>8</sub> H <sub>16</sub>	Octanoico	Cantidades mínimas en vegetales
Caprico	C <sub>10</sub> H <sub>20</sub>	Decanoico	
Laurico	C <sub>12</sub> H <sub>24</sub>	Dodecanoico	Coco, canela, palma, laurel nuez y mirto
Mirístico	C <sub>14</sub> H <sub>28</sub>	Tetradecanoico	
Palmítico	C <sub>16</sub> H <sub>32</sub>	Hexadecanoico	En plantas y animals
Estearico	C <sub>18</sub> H <sub>36</sub>	Octadecanoico	
Araquídico	C <sub>20</sub> H <sub>40</sub>	Eicosanoico	Cacahuete

(Meyer *et al.*, 1982)

En la **Figura 6** se muestra la estructura del ácido graso más abundante en los aceites y grasas.



**Figura 6. Estructura del ácido graso palmítico**

El aceite de aguacate sólo contiene una cantidad de AGS comparable al del aceite de girasol, de maíz, de oliva, de soya y de cacahuete, depende de la variedad y el estado de madurez (varía entre un 10 y 19 por ciento) (Ratovohery, *et al.*, 1988).



### 2.1.8.2 Ácidos grasos insaturados

Los ácidos grasos insaturados se diferencian de los ácidos grasos saturados, por la presencia de dobles enlaces en su estructura, en base a esto se clasifican en mono-insaturados o mono-enoicos y poli-insaturados o poli-enoicos, si presentan uno o más de un doble enlace en su estructura respectivamente.

La mayoría de los ácidos grasos mono-insaturados tienen su doble enlace entre los átomos de carbono 9 y 10, mientras que los poli-insaturados tienen el doble enlace entre los carbonos 9, 10 y los restantes están desplazados hacia el extremo metileno terminal de la cadena.

Para describir a los ácidos grasos insaturados se nombran con la terminación *enoico* por ejemplo ácido octadecadienoico (ácido linoleico), anteriormente se le designaba a partir de su procedencia (nombre común), actualmente para facilitar su nombre y clasificación se denotan científicamente de acuerdo a las normas de la IUPAC, por ejemplo, a los que contienen dos dobles enlaces en el ácido graso se llaman *dienoico*, si tiene tres *trienoico*, si posee cuatro *tetraenoico*, si contiene cinco *pentaenoico*, así sucesivamente (Fennema, 2000).

La manera más simple de especificar la posición del doble enlace es señalar el número del átomo de carbono en que se ubica, para ello se numera a partir del grupo carboxilo, (carbono número 1), al átomo del carbono adyacente al carbono carboxílico (número 2) se le conoce también como el carbono  $\alpha$ , al átomo de carbono número 3 es el carbono  $\beta$ . Otra posible numeración consiste en iniciar con el metilo de la cadena hidrocarbonada y el carbono metílico terminal denominado carbono  $\omega$  o carbono  $n$  e indicar el número de átomos de carbono entre éste y el que tiene el doble enlace. Asimismo, la nomenclatura sistemática utiliza el símbolo delta con el superíndice del número del átomo de carbono en donde se encuentra el doble enlace, por ejemplo:  $\Delta^9$  que indica que un doble enlace se encuentra entre los átomos de carbono 9 y 10 del ácido graso. En la **cuadro 7** se describen algunos de los principales ácidos grasos insaturados.





Por otra parte, el ácido linolénico es un ácido graso esencial de la serie omega 3, es requerido en la dieta de todos los mamíferos, es precursor para la síntesis de EPA y DHA en los humanos como se mencionó.

Diversas investigaciones sobre la ingesta de estos ácidos grasos han indicado que promueven la disminución de la concentración sanguínea de triacilglicéridos, presión arterial y la agregación plaquetaria, como lo reportó Mozaffarian (2008), éste investigador estudió estos ácidos grasos y concluyó que consumidos en una porción por semana (250 mg), reducen en un 36% de padecer una enfermedad cardiovascular, en comparación a no consumir ninguno de ellos.

En otro estudio de Mozaffarian y Clarke (2008), analizaron tres aceites con un alto contenido de omega 6, y concluyeron que sustituyendo un 10 y 25% de grasas saturadas por estos aceites, se reduce el efecto adverso del colesterol en el organismo.

El aceite de aguacate está en una posición intermedia entre los aceites vegetales respecto al contenido de los AGP (11-15 por ciento). Contiene niveles más elevados de AGP que el aceite de oliva o de palma, pero sus niveles de AGP son más bajos que el aceite de maíz, de algodón, de soya y de girasol (ISEO, 1999).

La diferencia entre grasas y aceites reside en la proporción de ácidos grasos presentes. En el cuadro 8 se muestra el contenido de lípidos del aguacate en relación a sus ácidos grasos.

**Cuadro 7. Composición general de ácidos grasos en la pulpa de aguacate.**

<b>Ácidos grasos</b>	<b>Contenido (%)</b>
Monoinsaturados	66-72
Saturados	16-22
Polinsaturados	8-11

(Ortiz *et al.*, 2003).

### 2.1.8.5 Propiedades

Los AGM son los componentes predominantes en la grasa del aguacate y se asocian con un corazón sano. Entre las dietas más empleadas para la prevención y tratamiento de la arteriosclerosis, la dieta rica en grasa monoinsaturada (ácido oleico) es la más benéfica para la población sana, desde el punto de vista del metabolismo hidrocarbonado y la presión arterial (Salas *et al.*, 1999). Una dieta rica en AGM puede reducir marcadamente la necesidad de usar medicamentos antihipertensivos (Pérez *et al.*, 2005).

Cuando se trata de individuos con altos niveles de TG, una dieta rica en AGM y AGP omega-3 es más eficaz para corregir el perfil lípido sanguíneo aterogénico que una dieta baja en grasas y alta en carbohidratos (ADA., 2001). De hecho, una serie de nuevos ensayos dietéticos indica que las dietas altas en grasa monoinsaturada disminuyen el riesgo de ECV, en algunos casos, con mayor eficacia que las dietas estándar bajas en grasa recomendadas por la American Heart Association (Raloff, 1998).

Se considera que la grasa monoinsaturada es una alternativa dietética en el tratamiento de la hipercolesterolemia (Pérez *et al.*, 2005). Una dieta enriquecida con aguacate (alta en AGM) puede mejorar el perfil de lípidos en pacientes con hipercolesterolemia moderada y en pacientes con DM no dependiente de la insulina, en quienes además mantiene un adecuado control glucémico (Lerman-Garber, 1994). Sin embargo, para obtener estos efectos benéficos es necesario disminuir las cantidades de carbohidratos y AGP (Carranza-Madrigal, 1997). Alvizouri-Muñoz *et al.* (1992) demostraron que el aguacate ayuda a evitar la hiperlipidemia sin los efectos indeseables que provocan las dietas bajas en grasa saturada sobre las concentraciones de colesterol LDL y TG. Colquhoun *et al.* (1992) concluyeron que una dieta enriquecida con aguacate es más efectiva que una dieta alta en carbohidratos complejos para disminuir el colesterol total. Colquhoun (2000), observó que una dieta con aguacate (entre 1/2 y 1-1/2 aguacates diarios) disminuyó significativamente el colesterol del plasma en un 8.2% ( $p < 0.05$ ), además de la LDL (10.3%) y la alipoproteína B (8.7%). En experimentos con conejos, Alvizouri-Muñoz *et al.*, (2003), observaron que el aceite de aguacate proporcionó una protección parcial, pero muy importante, en contra de la aterosclerosis.

En los últimos años, el desarrollo de las propiedades nutricionales de las grasas dietéticas ha creado un interés considerable no sólo en la medicina y el cuidado de la salud, sino también en la industria de los aceites vegetales. Algunos de estos desarrollos tienen implicaciones importantes para la industria del aguacate en el mundo. La fruta posee alto contenido de lípidos, la parte comestible es rica en ácidos grasos saturados como el oleico, palmítico, linoleico (Lu *et al.*, 2009). Ha sido reconocido como una buena fuente de energía, bajo en calorías y sodio (Ding *et al.*, 2007), con alto contenido de ácidos grasos insaturados, vitamina E, ácido ascórbico, vitamina B6,  $\beta$ -caroteno, y potasio (Ozdemir y Topuz, 2004). Estudios previos reportan el contenido de más de 20 nutrientes esenciales, algunos de ellos relacionados con la inhibición de tumores cancerígenos (Ding *et al.*, 2007). Recientemente se ha evaluado su capacidad antioxidante, el contenido de compuestos fenólicos y los principales fotoquímicos antioxidantes presentes tanto en la pulpa como en la semilla y la cáscara (Wang *et al.*, 2010). Otros estudios demuestran que el consumo de aguacate disminuye el colesterol sérico total, LDL colesterol y triglicéridos, y aumenta el colesterol HDL (Salazar *et al.*, 2005). Además, ha sido señalado que el aguacate podría ser usado como ingrediente en alimentos funcionales a causa de su alta concentración de ácido graso monoinsaturado (oleico) y compuestos fisiológicamente activos como vitaminas antioxidantes y fitoesteroles (Requejo *et al.*, 2003). Algunos autores reportan la aplicación de aceite de aguacate comercial y extractos obtenidos de subproductos de aguacate en la formulación de productos cárnicos con fines de reducir el riesgo de enfermedades cardiovasculares y problemas de obesidad (Rodríguez-Carpena, 2012). Knothe (2013) reportó que el aceite de aguacate contiene un elevado contenido de ácido oleico (58.6%) comparable con el 64.6% del mismo ácido oleico en el aceite de oliva. Así mismo demostró, que el 80% de la fracción másica del aceite corresponde a ácidos grasos insaturados. Además, el aceite de aguacate contiene antioxidantes, vitaminas y fitoesteroles, por mencionar algunos el  $\alpha$ -tocopherol,  $\beta$ -caroteno, luteína y  $\beta$ -sitosterol (Requejo *et al.*, 2003). Los ácidos grasos también proveen varios efectos positivos en el ser humano específicamente sobre el colesterol en suero, enfermedades coronarias, cáncer, diabetes y próstata (Bae y Lee, 2008).

Estudios llevados a cabo en el Hospital General de Morelia en México han demostrado que el consumo de aguacate tiene un efecto significativo en el descenso de colesterol en la sangre así como en una reducción del nivel plasmático de triglicéridos, sin embargo

para obtener estos beneficios es necesario disminuir la cantidad de carbohidratos y ácidos grasos poliinsaturados (Pérez *et al.*, 2005).

En la Unidad de Investigación del Hospital General Dr. Miguel Silva de la ciudad de Morelia, Michoacán, México se realizaron estudios en personas con diabetes, pacientes con hipercolesterolemia y en mujeres con sobrepeso, a quienes se les administró una dieta rica en ácidos grasos monoinsaturados mediante aguacate durante 4 semanas. Al final del estudio se observó que una dieta rica en ácido oleico y baja cantidad de grasa animal induce el incremento del HDL y el descenso del LDL y de triglicéridos.

En pacientes diabéticos se reportó un mejor perfil lipídico y control glucémico adecuado, mientras que las pacientes con sobrepeso bajaron 7 kg en dos meses (Alvizouri y Rodríguez, 2009).

#### **2.1.8.6 Usos del aceite de aguacate**

En México, la producción de aceite de aguacate ha presentado un aumento lento en respuesta a una demanda centrada en el mercado de la producción farmacéutica, de cosméticos y nutraceúticos, pero con un incremento en la industria alimenticia y como aceite para cocinar (ANIAME, 2002).

El aceite de aguacate se ha utilizado principalmente para uso cosmético, ya que contiene un esteroil llamado fitosterol, que posee las mismas habilidades que la lanolina. Esta particularidad es muy apropiada para la piel y cremas de masajes (Human, 1987; Valenzuela, 1986). Hoy, sin embargo, la tendencia es utilizar en forma creciente el aceite de aguacate para uso culinario, por tener entre otras cualidades: un alto punto de humo, excelente sabor y un color verde muy atractivo, siendo preferido por los chef de cocina de la alta gastronomía europea, sustituyendo al aceite de oliva. Reed (2001), comparó el aceite de oliva con el aceite de aguacate, determinando que este último presenta mayores niveles de: clorofila, Índice de Yodo, Vitamina E y un menor nivel de acidez libre, lo que constituye una mejor calidad. Es un aceite importante en la industria farmacéutica y cosmética debido a su adsorción y penetración elevada en la piel (Swisher, 1988).

Los principales atributos del aceite de aguacate en su uso cosmético son el contenido de vitaminas "A", "D" y "E", el grado de penetración trans-epidérmica (considerada como excelente para nutrir la piel) y un alto poder humectante y emoliente (para suavizar la piel); en consecuencia, cada día más empresas incorporan el aceite de aguacate en sus

formulaciones cosméticas y productos de belleza, aparentemente con buenos resultados. Hoy en día este aceite se usa principalmente en la producción de jabones, champús y tratamientos para la piel y/o el cabello. Adicionalmente se está empezado a usar en productos para bebé, por sus propiedades como humectante no agresivo.

También es ampliamente empleado en cosmetología para la preparación de cremas hidratantes, geles de baño, acondicionadores del cabello, lápices labiales, lociones bronceadoras y protectores solares (Human, 1987). Un dato relevante que confirma la importancia comercial de este aceite, es el hecho de que la FDA (“U.S. Food and Drugs Administration”) cataloga 240 productos que contienen entre sus componentes aceite de aguacate (Swisher, 1988).

En alimentación se usa como aceite tipo gourmet de delicado sabor para ensaladas, aderezos y alimentos fritos, además de ser auxiliar para el control de niveles de colesterol, así también como en la producción de margarina (García, 2008)

La industria alimenticia utiliza el aceite de aguacate para preparar alimentos enlatados y en aderezos para ensaladas (ANIAME, 2002).

Dentro del área de cosméticos, el aceite de aguacate, se utiliza en la preparación de cremas para manos y cuerpo, ungüentos, jabones, que se usan para el cuidado del cabello y de la piel. El aceite de aguacate es un componente ideal para la elaboración de ungüentos, bálsamos y lociones para el cuidado de la piel cuando se está bajo el sol. Los ácidos grasos monoinsaturados son los componentes predominantes en la grasa del aguacate y se asocian con un corazón sano. Entre las dietas más empleadas para la prevención y tratamiento de la arterosclerosis, la dieta rica en grasa monoinsaturada (ácido oleico) es la más benéfica desde el punto de vista del metabolismo hidrocarbonado y la presión arterial. Además una dieta rica en 21 ácidos grasos monoinsaturados puede reducir marcadamente la necesidad de usar medicamentos antihipertensivos (Pérez, 2005).

#### **2.1.8.7 Estabilidad del aceite de aguacate**

La estabilidad de un aceite se refiere a la capacidad para mantener su frescura, sabor y color durante su almacenamiento y uso. Esto está relacionado con la composición de los lípidos, su naturaleza y la presencia o ausencia de antioxidantes y de inhibidores que pueden ser naturales o artificiales; los aceites vegetales, a pesar de su insaturación,



tienden a ser más estables que las grasas animales debido a sus antioxidantes naturales. Los aceites se descomponen desde el momento en que son aislados de su ambiente natural, la presencia de ácidos grasos libres es un indicador de la actividad de la lipasa u otra acción hidrolítica. Durante el almacenamiento ocurren cambios en sabor y olor. La rancidez es acelerada por exposición al calor, luz, la humedad y por la presencia de trazas de metales de transición como cobre, níquel, fierro así como colorantes y pigmentos naturales residuales. La oxidación de las grasas o aceites es lenta y se conoce como periodo de inducción; al final de este periodo, se alcanza una cantidad de peróxido que provoca un aumento de la velocidad oxidativa, y el aceite empieza a tener un olor y sabor rancios. El índice de peróxido establece un grado de avance de la oxidación o rancidez (Braverman, 1988). Los altos niveles de clorofila en aceite de aguacate (40-60 ppm) pueden tener efectos adversos en la estabilidad oxidativa del aceite cuando se almacena bajo la luz. Esto causa rápida formación de productos de oxidación a través del proceso de fotosíntesis en contacto con el oxígeno (ANIAME, 2002), su valor de aceites grasos mucho más bajo lo hace más estable.

La oxidación de las grasas, generalmente conocida como rancidez, es causada por una reacción bioquímica entre las grasas y el oxígeno. Durante este proceso, los ácidos grasos de cadena larga son degradados, formándose compuestos de cadenas cortas. Uno de los productos de esta reacción es el ácido butírico, el cual produce el característico sabor a rancio (Nickerson y Karel, 1964). Uno de los factores que influye en el proceso de rancidez es la temperatura.

Es así que a bajas temperaturas, como en la refrigeradora, la reacción ocurre pero a muy baja velocidad. Por su alto contenido en ácidos grasos insaturados, el aguacate es muy susceptible a la rancidez oxidativa debido a la acción del oxígeno, reacciones que inducen aromas y sabores extraños que alteran los caracteres organolépticos del producto final (Nickerson y Karel, 1964). La rancidez oxidativa se produce cuando las grasas y aceites se dejan en contacto con el aire y la humedad durante cierto tiempo, sin tomar precauciones para evitar su descomposición, estas sufren cambios en sus caracteres organolépticos que reciben comúnmente el nombre de rancidez o enranciamiento. Aunque se considera a la rancidez de tipo oxidativa como la de mayor importancia, muchas veces es difícil la eliminación del oxígeno dentro del envase (Olaeta, 2003). El aceite de aguacate se deteriora durante el almacenaje, por lo que la temperatura de almacenaje no debe ser superior a 25°C, y el tipo de envase oscuro, para preservar por más tiempo la calidad del producto.

## **2.2. Microencapsulación**

La microencapsulación se define como la tecnología del empaquetado en miniatura de materiales sólidos, líquidos o gaseosos en cápsulas cerradas herméticamente capaces de liberar su contenido a velocidades controladas bajo condiciones específicas. Los paquetes miniaturizados, denominados microcápsulas, pueden variar de tamaño desde submicrómetros (nanocápsulas) hasta varios milímetros y tener multitud de formas diferentes, dependiendo de los materiales y métodos empleados para prepararlas. Hablando en términos generales la microcápsula tiene la capacidad de modificar y mejorar la forma aparente y propiedades de una sustancia. Más específicamente, la microcápsula es capaz de conservar una sustancia en estado finamente dividido, liberándolo cuando la ocasión demande. Balssa y Fanger (1971) consideran a las microcápsulas un medio para: proteger componentes alimentarios sensibles, asegurar que no se producen pérdidas nutritivas, usar ingredientes que de otra forma serían sensibles o lábiles, incorporar en la formulación mecanismos novedosos de liberación dependientes del tiempo, enmascarar o conservar aromas y de transformar líquidos en ingredientes sólidos fácilmente manipulables. La microencapsulación puede ofrecer numerosos beneficios potenciales a los materiales objeto de encapsulación. La encapsulación puede cambiar diversas propiedades de los materiales activos. Por ejemplo pueden mejorarse la manipulación y las propiedades de flujo convirtiendo un líquido en un sólido encapsulado. Los materiales higroscópicos pueden ser protegidos de la humedad, protección a los ingredientes volátiles sensibles al calor, luz u oxidación, prolongando de esta forma su vida útil. Hoy en día muchas sustancias pueden ser encapsuladas en partículas en polvo sólidas o ellas pueden ser microencapsuladas en emulsiones estructuradas (Palzer, 2009).

### **2.2.1. Agentes encapsulantes**

Al encapsular, la primera necesidad es seleccionar un material de revestimiento o cobertura adecuado, al que se denomina matriz encapsuladora. En la bibliografía científica muchos investigadores han llamado el material de cobertura como la corteza, material de pared o agente encapsulante (Bakan, 1978).

Las sustancias de cubierta, que básicamente son materiales en forma de película, se pueden elegir dentro de una amplia variedad de polímeros sintéticos o naturales, dependiendo del material a revestir y de las características deseadas en las microcápsulas finales. La composición de los materiales de cobertura es la principal

determinante de las propiedades funcionales de la microcápsula y de cómo puede usarse para mejorar el rendimiento de un ingrediente particular. El material ideal de revestimiento tiene que reunir las características siguientes:

1. Buenas propiedades reológicas a alta concentración y fácil manipulación durante la encapsulación.
2. Capacidad de dispersar o emulsionar el material activo y de estabilizar la emulsión producida.
3. Inactividad con el material a encapsular tanto durante el procesado como en el almacenamiento prolongado.
4. Capacidad de sellar herméticamente y contener el material activo dentro de la estructura durante el procesado y almacenamiento.
5. Capacidad para eliminar totalmente el disolvente u otros materiales usados durante el proceso de encapsulación mediante desecación o condiciones alternativas de volatilización del disolvente.
6. Capacidad para impartir la máxima protección al material activo frente a las condiciones ambientales (oxígeno, calor, luz, humedad).
7. Solubilidad en disolventes aceptables admitidos por la industria de alimento (agua, etanol).
8. Carencia de reactividad química con el material activo.
9. Que posea propiedades de solubilización deseables o específicas de las capsulas y de propiedades de liberación del material activo de la capsula.
10. De bajo costo y grado alimenticio.

Puesto que ningún material de revestimiento satisface todos los criterios citados, en la práctica los materiales de cobertura se emplean en combinaciones o con adición de modificadores como secuestradores de oxígeno, antioxidantes, agentes quelantes o agentes con actividad de superficie (surfactantes) (Pegg y Shahidi, 1999).

### **2.2.1.1. Maltodextrina**

Las maltodextrinas,  $(C_6H_{12}O_5)_n H_2O$ , son polisacáridos nutritivos no edulcorantes consistentes en unidades de D-glucosa unidas por enlace  $\alpha$ -[1-4]. No obstante para designar a las maltodextrinas, tienen que tener un contenido de azúcar reductor o “equivalencia de dextrosa” (ED) inferior a 20. Las maltodextrinas se preparan en forma de polvo blanco o disoluciones concentradas por hidrólisis parcial del almidón de maíz con enzimas o ácidos adecuados e inócuos (Rahman, 2003).

En la selección de materiales de pared para encapsular, la maltodextrina es una buena solución entre el costo y la efectividad; tiene baja viscosidad a alta proporción de sólidos, son inodoras, incoloras y de baja viscosidad a altas concentraciones, además permiten la formación de polvos de libre flujo sin enmascarar el sabor original, está disponible en diferentes pesos moleculares y son extensivamente utilizados en la industria de alimentos (Parra-Huertas, 2010).

### **2.2.1.2. Goma arábiga**

La goma arábiga, que es un coloide natural vegetal obtenido por exudación del tronco y ramas plantas leguminosas de la familia *Acacia*, principalmente *Acacia senegal*, es el material de cobertura más empleado en encapsulación (Thevenet, 1988 y 1995). La goma de acacia es una mezcla de polisacáridos estrechamente emparentados, con un peso molecular medio en el rango de 260-1160 kDs. La goma de acacia consta principalmente de ácido D-glucurónico, L-ramnosa, O-galactosa y L-arabinosa, con aproximadamente un 5% de proteína. Esta fracción proteica es responsable de las propiedades de emulsificación de la goma. La goma arábiga ha sido utilizada como una matriz para encapsular enzimas como la endogluconasa producida por la bacteria *Thermomonospora*. La endogluconasa mostró un cambio en la temperatura óptima (50-55 °C) y un incremento considerable en el pH y estabilidad comparado con la enzima libre, además también protegió la actividad de la enzima en presencia de detergentes realzando la vida útil. Mezclas de goma arábiga y maltodextrinas también han mostrado promesa como transportadores de sólidos, proporcionando viscosidad por ejemplo en la microencapsulación de aceite de cardamomo por secado por aspersión (Parra-Huertas, 2010).

### 2.2.1.3. Otros agentes

#### Goma xantana

La goma xantana es uno de los polisacáridos más extensamente investigados. La estructura principal consiste en unidades repetidas de pentasacáridos que consisten en dos unidades de D-glucopiranosil, dos unidades de D-manopiranosil y ácido D-glucopiranosil urónico. La estructura del polímero está conformada de unidades de (1→4) β-D-glucopiranosil., idénticos a los de la celulosa. Para alternar unidades de D-glucosil en la posición O-3, se agrega una cadena de trisacáridos que contiene una unidad de D-glucuronosil entre dos unidades de D-manosil. La unidad terminal β-D-manopiranosil esta glicosídicamente enlazada a la posición O-4 a la unidad del ácido glucopiranosilurónico, el cual a su vez está glicosídicamente enlazado a la posición O-2 de la unidad α-D-manopiranosil.

Aproximadamente la mitad de las unidades terminales de D-manosil contienen la mitad del ácido pirúvico como una acetal 4,6-cíclico. Finalmente, la unidad D-manosil no terminal es estequiométricamente sustituida en la posición O-6 con un grupo acetilo.

Se produce por la fermentación de un carbohidrato producido por la bacteria *Xanthomonas campestris*. Posteriormente se purifica y recupera con alcohol, se seca y muele. La goma xantana es un polvo de flujo libre de color blanco a crema, es completamente soluble en agua caliente o fría, se hidrata rápidamente una vez dispersa y facilita la retención de agua produciendo soluciones altamente viscosas a baja concentración (Sharma *et al.* 2011).

La excelente solubilidad y estabilidad de la goma xantana bajo condiciones ácidas o alcalinas, su estabilidad en presencia de sales y su resistencia a enzimas comunes la ha convertido en uno de los principales polímeros industriales y alimenticios (Sharma *et al.* 2011).

La goma xantana es compatible con varios materiales; se puede disolver directamente en varios sistemas altamente ácidos, alcalinos, alcohólicos y en varios sistemas que contienen diferentes compuestos. Sin embargo, la goma xantana es completamente biodegradable, por ejemplo está sujeta a la depolimerización por enzimas formadas por ciertos microorganismos bajo ciertas condiciones ambientales. También, en común con otras gomas, xantana se degrada con agentes oxidantes fuertes como los peróxidos y persulfatos (Sharma *et al.*, 2011). Se ha reportado el uso de esta goma en la microencapsulación de *Lactobacillus acidophilus* ha sido encapsulado en una mezcla de

alginato-inulina-goma xantana y sobrevivir 8 semanas de almacenamiento a 4 °C con exposición a condiciones gastrointestinales. Esta técnica ha protegido a *Lactobacillus acidophilus* al someterlo a estas condiciones de tiempo y almacenamiento obteniéndose alteraciones menores en viabilidad (Parra-Huertas, 2010).

### **Alginato de sodio**

Los alginatos, el agar y los carragenatos son extractos de algas rojas (*Rhodophyceae*) y marrones (*Phaeopyceae*) que se conocen colectivamente como algas marinas. Su uso en la encapsulación está bien documentado. La principal fuente de alginatos usada en la producción comercial es el alga gigante (*Macrocystis pyrifera*).

Las algas se extraen con álcali de algas marinas y el extracto normalmente se precipita de la disolución alcalina añadiendo ácidos o sales cálcicas. Los alginatos incluyen una diversidad de productos de ácidos  $\beta$ -D-manurónico y  $\alpha$ -L-glucurónico unidos por enlaces  $\alpha$  (1--4). Están dispuestos en regiones compuestas únicamente de una unidad o de la otra, denominadas bloques M o bloques G, o en regiones donde ambas unidades se alternan (Dziezak, 1991). Tanto la relación de ácido manurónico a glucurónico como a estructura del polímero determinan las propiedades de la disolución de alginato. Los alginatos son poderosos espesantes, estabilizantes y agentes formadores de geles, empleados con diversos alimentos. También se utilizan como agentes encapsulantes. Las propiedades gelificantes, la resistencia al calor de sus geles, el diferencial entre las temperaturas de gelificación y de fusión son las principales razones de la selección (Rahman, 2003).

### **2.2.2. Métodos de microencapsulamiento**

Investigaciones recientes mencionan que la encapsulación de microorganismos es un proceso en el cual las células se mantienen dentro de una membrana de encapsulado para reducir lesiones celulares o la pérdida de células (Lil *et al.*, 2009).

La microencapsulación ha tenido un gran impacto en la industria alimenticia, permite la incorporación de componentes naturales como polifenoles, aceites esenciales, ácidos grasos insaturados, enzimas, bacterias ácido lácticas y probióticos en pequeñas cápsulas que encierran el producto, lo protegen del medio externo y permiten su liberación controlada. El tamaño, estructura y forma de las microcápsulas depende mucho del material que se utilice como elemento de pared y del proceso de formación.

En la Figura 9, se observan varias de las formas que adquieren las microcápsulas. Dentro de las tecnologías disponibles para el proceso de microencapsulación se pueden encontrar procesos mecánicos y procesos químicos como se observa en la Figura 10. Las tecnologías más importantes son: coacervación, liofilización, atrapamiento en liposomas, el secado por atomización y el lecho fluidizado (Estevinho *et al.*, 2013).

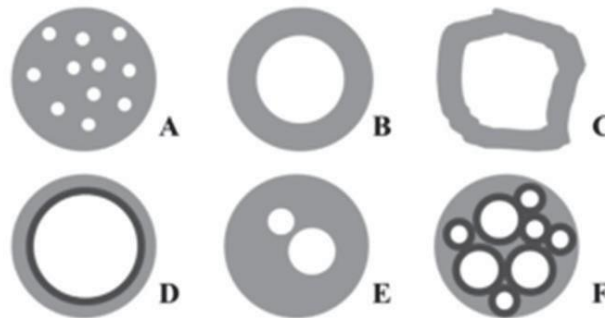


Figura 9. Morfología de distintos tipos de microcápsulas; A: matriz, B: microcápsula simple, C: microcápsula irregular, D: microcápsula de pared múltiple, E: microcápsula de núcleo múltiple, D: agregado de microcápsulas (Estevinho *et al.*, 2013)

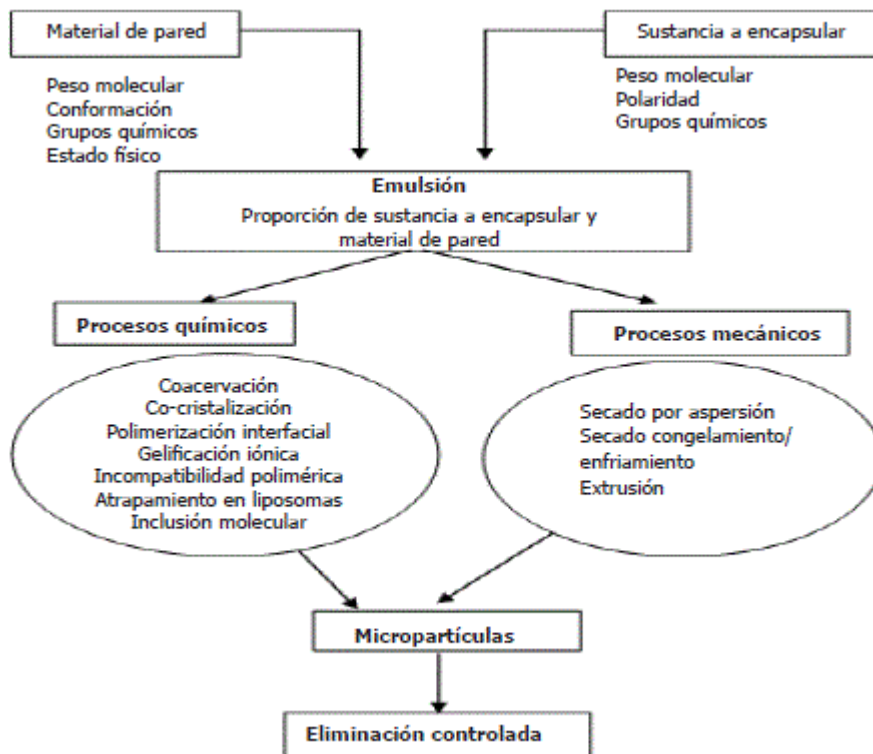


Figura 10. Esquemática de los diferentes procesos de microencapsulación (Madene, Scher y Desobry, 2006).

### **2.2.2.1. Perlas de alginato**

El alginato es un componente de la pared celular de las algas pardas, está formado por dos tipos de unidades monoméricas: el ácido  $\beta(1-4)$  D-manurónico y el ácido  $\alpha(1,4)$ -L-gulurónico. Cuando el alginato es expuesto a la presencia de iones calcio se forma una red de entrecruzamiento con los polímeros del ácido gulurónico, que permite la inmovilización de células. La inmovilización de microorganismos en alginato de calcio es el método más usado, debido a que en su preparación no se requieren condiciones de reacción extremas, es de bajo costo y de baja toxicidad. Ha sido considerado como un método promisorio para incrementar la degradación de compuestos tóxicos debido a que las células atrapadas en el interior de la matriz están protegidas contra ambientes adversos, lo cual no sucede cuando las células son retenidas en la superficie de un soporte. Adicionalmente, las células inmovilizadas son fácilmente liberadas al medio por la disolución del gel en presencia de agentes quelantes del calcio, tales como citrato de sodio y fosfato de potasio, lo cual permite cuantificar la biomasa formada. A pesar de sus características el uso del alginato de calcio se ha considerado adecuado solo para pruebas de laboratorio pero no para la aplicación en campo, debido a su baja resistencia mecánica, incompatibilidad con ciertos iones y su susceptibilidad a la biodegradación. No obstante, recientes investigaciones han sugerido que la resistencia mecánica de las perlas de alginato de calcio puede incrementarse mediante la adición de silica, logrando la inmovilización de células e incluso de biomoléculas (Coradin *et al.*, 2003); Otra alternativa para el uso exitoso de perlas de alginato se ha logrado usando 4.9% de alginato y 4% de solución de estronio en sistemas marinos (Moreira *et al.*, 2006).

### **2.2.2.2. Liofilización**

En la liofilización la solución que contiene al material de pared y al componente activo se lleva a congelamiento a temperaturas entre  $-90$  y  $-40$  °C para posteriormente trasladarse al liofilizador, el cual se encarga de evaporar el agua congelada mediante un proceso de sublimación a presión de vacío. El producto obtenido se muele y está listo para ser empacado (Zuidam y Shimoni, 2010). El proceso de liofilización tiene varias desventajas como son el elevado consumo



de energía, el tiempo de proceso y el costo, el cual es 30 a 50 veces más caro que el secado por atomización (Gharsallaoui *et al.*, 2007).

#### **2.2.2.3. Liposomas**

El atrapamiento por liposomas es la mejor técnica para proteger componentes hidrosolubles (Parra, 2010), ha sido ampliamente utilizado en la industria farmacéutica para microencapsular agentes capaces de detectar células cancerígenas y en la industria cosmética para la estabilización de nutrientes. Esta técnica consiste en la formación de vesículas formadas por una membrana, de una o varias capas, constituida por fosfolípidos. Estas vesículas se forman cuando los fosfolípidos se dispersan en un medio acuoso junto con el componente activo y son expuestos a elevadas velocidades de cizallamiento mediante métodos de microfluidización. El principio en el que se fundamentan los liposomas es básicamente la interacción hidrofílica – hidrofóbica entre los fosfolípidos y las moléculas de agua (Zuidam y Shimoni, 2010). La principal ventaja de las microcápsulas producidas mediante atrapamiento en liposomas es la estabilidad que poseen en medios con gran actividad de agua; las microcápsulas producidas por lecho fluidizado y mediante secado por atomización proporcionan una gran protección al componente activo en estado sólido pero lo liberan fácilmente en presencia de agua, por otro lado los liposomas proporcionan una protección adicional al poseer una membrana lipídica (Gouin, 2004).

#### **2.2.2.4. Coacervación**

Consiste en un soluto polimérico separado en forma de pequeñas gotas líquidas, que constituye el coacervado. La deposición de este coacervado alrededor de las partículas insolubles dispersas en un líquido forma cápsulas incipientes, que por una gelificación apropiada da las cápsulas finales (Madene *et al.*, 2006). Es un fenómeno que se presenta en soluciones coloidales y se considera como el método original de encapsulación.

Las estrategias para inducir la coacervación dependen principalmente de las características fisicoquímicas del polímero y del centro a recubrir. Durante la coacervación, la separación de fases es inducida por la adición lenta de un “no-solvente” sobre una solución del polímero formador de cubierta, conteniendo suspendido el material

que va a encapsularse. Se entiende por “no-solvente” aquel disolvente que es miscible con el disolvente del polímero y en el cual el polímero es insoluble. A medida que se adiciona el no-solvente se provoca la insolubilización del polímero, el cual, a su vez se va depositando alrededor de las partículas presentes en suspensión. Al final del proceso, se añade un volumen elevado del no-solvente con la finalidad de endurecer las microcápsulas. Generalmente, el material central utilizado en la coacervación debe ser compatible con el polímero del recipiente y ser insoluble (o apenas insoluble) en el medio de coacervación. Esta técnica puede ser simple o compleja. La técnica simple involucra solamente un tipo de polímero con la adición de agentes fuertemente hidrofílicos a la solución coloidal. La compleja se caracteriza por ser altamente inestable a agentes químicos, como glutaraldehído (Madene *et al.*, 2006).

Para la encapsulación este proceso ha sido extensivamente utilizado para la producción de microcápsulas de alcohol polivinilo, gelatina-acacia y varios otros polímeros (Maji *et al.*, 2007).

#### **2.2.2.5. Secado por aspersión**

Es el método de encapsulación más utilizado en la industria de los alimentos y es empleado típicamente para secar aditivos alimentarios y aromas. El proceso es económico, flexible en el sentido de que ofrece variación sustancial en la matriz de encapsulación, adaptable al equipo de procesado empleado rutinariamente y porque produce partículas de buena calidad (Rahman, 2003).

La microencapsulación por el método de secado por aspersión es el método más común de encapsulación de ingredientes alimenticios, como ejemplos se tienen: vitaminas (C, E), ácido fólico, aromas, orégano, citronela, aceite de cardamomo, bacterias probióticas, lípidos, ácido linoléico, aceites vegetales; minerales como hierro; pigmentos de antocianina y leche entre otros alimentos (Wandrey *et al.*, 2010).

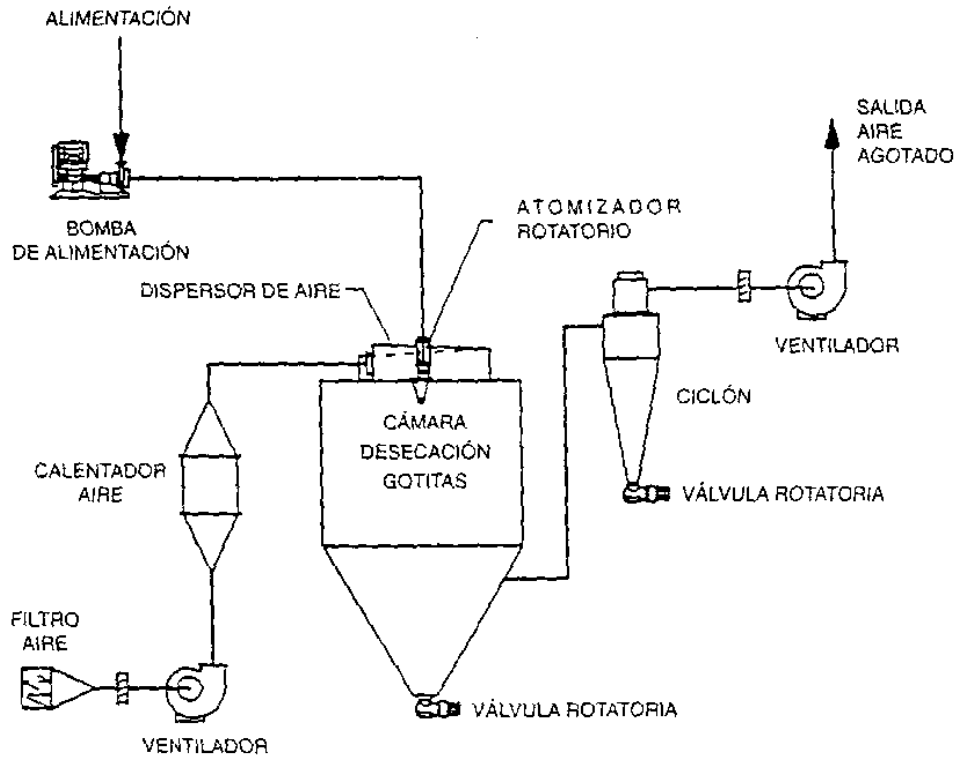
Este método es el más utilizado en la industria alimenticia por ser el más económico, conservar los nutrientes (Young *et al.*, 1992; García *et al.*, 2004; Parize *et al.*, 2008), disponibilidad fácil de equipamientos, costos de procesamiento bajo, buena estabilidad del producto final y flexible (Favaro *et al.*, 2010).

En comparación con otros métodos, el secado por aspersión proporciona una eficiencia de encapsulación relativamente alta. La mayor eficiencia de encapsulación que se alcanza con el secado por aspersión, se encuentra entre 96 y 100%, valores superiores en comparación con otros métodos.

Dentro de los parámetros más importantes a controlar durante el secado por aspersión se encuentran: las temperaturas de entrada y salida del aire de secado, el flujo de alimentación del producto a secar, el tiempo de residencia y el acondicionamiento de la materia prima (García *et al.*, 2004).

Al respecto, el proceso de secado por aspersión involucra tres etapas: preparación de la dispersión o emulsión, homogenización y atomización (Parize *et al.*, 2008). Este proceso consiste en atomizar el material que se encuentra en estado líquido, ya sea como solución o como dispersión, formándose al final finas gotas sobre una corriente de gas calentado, cuando las pequeñas gotas del líquido toman contacto con el gas, y a una mayor temperatura, se produce una rápida evaporación del solvente formándose una fina película del material de recubrimiento que se encuentra (Gharsallaoui *et al.*, 2007). En este método el componente ó sustancia a encapsular es rodeado por una matriz protectora, normalmente un polímero como goma acacia, maltodextrina, almidón y carbometilcelulosa (Gharsallaoui *et al.*, 2007; Parize *et al.*, 2008).

Esta técnica se puede aplicar a materiales hidrosolubles (Favaro *et al.*, 2010), aceites de pescado fijado sobre una matriz sólida de carbohidratos (almidón modificado, maltodextrina, ciclodextrina), pigmentos naturales, almidón como material de soporte (Fuchs *et al.*, 2006), concentrado de células probióticas y leche en polvo (Heidebach, *et al.*, 2010). Los méritos de este proceso son la disponibilidad de equipos, costo bajo de los procesos, buena retención de volátiles, buena estabilidad del producto final y producción a gran escala en modo continuo. El proceso se realiza en un secador por aspersión tal como el que se muestra en la figura 11.



**Figura 11. Típica operación de desecación por atomización consistente en una cámara de desecación dotada de un atomizador, calentador de aire, ventilador o soplador y ciclón para la recuperación de producto (Rahman, 2003).**

La etapa inicial en la atomización de un ingrediente alimentario encapsulado es la selección de un agente encapsulador o pared adecuada. La elección ideal debe tener propiedades emulsionantes convenientes, ser un buen formador de películas, tener baja viscosidad a elevados niveles de sólidos ( $< 500$  cps a  $\geq 45\%$  nivel de sólidos), exhibir baja higroscopicidad, liberar los ingredientes encapsulados al reconstituir el producto final, ser de bajo costo, de sabor suave y suministro estable y proporcionar buena protección a los ingredientes encapsulados (Rahman, 2003). Generalmente se emplean como agentes encapsuladores un hidrocoloide de calidad (grado) alimentaria como la gelatina, goma vegetal, almidón modificado, dextrina o proteína no gelificante (Balssa y Fanger, 1971).

Una vez seleccionado el material pared (barrera) o una combinación, esta debe ser hidratada. Es deseable que el nivel de sólidos del material particular a alimentar sea el óptimo para cada agente encapsulaste o la combinación elegida. Una vez que el agente

encapsulador o mezcla ha sido solubilizado (con o sin calentamiento), se añade a la mezcla el ingrediente a encapsular y a continuación se dispersa vigorosamente en el sistema. Una relación típica de agente encapsulante a núcleo es de 4:1. Los productos hidrosolubles también pueden encapsularse por el tratamiento de homogeneización. En vez de tener un núcleo y cobertura claramente definidos, el producto consiste de una matriz mezclada homogéneamente de polímero atrapante del núcleo. Estos productos a veces se conocen como partículas matrices o ingredientes atrapados. También se dice que están cubiertos por una película de revestimiento muy fina (Pegg y Shahidi, 1999).

La mezcla núcleo/cobertura alimenta al desecador donde es atomizada a través de una tobera aspersora o disco (rueda) giratorio. La tobera aspersora de fluido a alta presión y la rueda centrífuga son dos tipos de atomizadores ampliamente usados, igualmente usados a escala industrial. Aunque cada tipo de atomizador tendrá sus ventajas y defectos, la bibliografía nada dice de la superioridad de uno sobre otro. Los parámetros atomizadores ejercen un efecto significativo sobre la distribución del tamaño de partícula de los polvos resultantes (Pegg y Shahidi, 1999).

Con frecuencia es conveniente producir grandes partículas para favorecer la dispersión durante la reconstitución. Las partículas pequeñas suelen ser de difícil dispersión puesto que tienden a flotar sobre las superficies líquidas. Partículas grandes pueden obtenerse usando un orificio mayor, menores presiones de alimentación (sólo en la tobera de líquido a presión), alimentación rica en sólidos, baja velocidad de giro rotatorio del disco (sólo en la atomización con rueda centrífuga) o aplicando alguna técnica de aglomeración (Rahman, 2003).

Cuando el aire caliente contacta con las partículas atomizadas se evapora el agua formándose un producto seco consistente en la matriz encapsulante, conteniendo el material encapsulado en el núcleo. Puesto que las partículas atomizadas caen atravesando un medio gaseoso asumen forma esférica con el encapsulado en la fase acuosa. A esto se debe el que casi todas las partículas desecadas por atomización sean hidrosolubles. La rápida evaporación del agua de la superficie durante su solidificación mantiene la temperatura del núcleo por debajo de 100°C a pesar de las temperaturas elevadas durante el proceso de desecación (Brenner, 1983). La exposición de las partículas al calor es del orden de unos pocos segundos (Balssa y Fanger, 1971). De aquí que la principal ventaja de este método sea la viabilidad de operar con muchos productos

termolábiles. Las partículas desecadas caen al fondo del secador de donde pueden ser recogidas de forma continua o bien pueden ser separadas por una unidad de separación gas-sólido como un ciclón colector de polvo. Habitualmente, los ingredientes desecados por atomización tienen un tamaño de partícula pequeño (generalmente  $<100\ \mu\text{m}$ ) por lo que son altamente solubles aunque puedan presentar problemas de separación en mezclas secas. Esta separación puede prevenirse y evitarse, mediante una etapa adicional de aglomeración en la que las partículas encapsuladas se tratan con vapor para inducir su cohesión y formar grumos de mayor tamaño. Factores tales como la estructura de cobertura también pueden afectar a la solubilidad de las microcápsulas atomizadas (Rahman, 2003).

### **2.3. Avances en la microencapsulación de lípidos mediante secado por aspersión**

Los procesos de encapsulación fueron desarrollados entre los años 1930 y 1940 por la National Cash Register para la aplicación comercial de un tinte a partir de gelatina como agente encapsulante (Yañez *et al.*, 2002). Respecto al área de alimentos, las aplicaciones de esta técnica se han ido incrementando debido a la protección de los materiales encapsulados de factores como calor y humedad, permitiendo mantener su estabilidad y viabilidad. Las microcápsulas, ayudan a que los materiales alimenticios empleados resistan las condiciones de procesamiento y empaquetado mejorando sabor, aroma, estabilidad, valor nutritivo y apariencia de sus productos (Yañez *et al.*, 2002; Montes *et al.*, 2007).

En la actualidad ha aumentado el estudio de la microencapsulación de aceites debido a que existe la necesidad de incorporar aceites con propiedades funcionales como el de pescado, aguacate, oliva y otros aceites vegetales a los alimentos con la finalidad de incrementar su valor nutricional y darle un valor agregado. Estos aceites son bien vistos por el consumidor por su contenido de ácidos grasos monoinsaturados (AGM) y ácidos grasos poliinsaturados (AGP) que tienen efectos benéficos sobre el organismo, ya sea como aditivo en los alimentos o en la fabricación de fármacos y cosméticos. Distintos trabajos han reportado la microencapsulación de aceites por secado por aspersión por mencionar algunos: Aceite de palma (Habi *et al.*, 1996), aceite de hígado de bacalao (Pedroza *et al.*, 2002), Aceite de soya (Hoegger, 2002), Aceite de limón, fármacos

(Muthuselvi y Dhathathreyan, 2006), Aceite de pescado (Kolanowski *et al.*, 2007), Aceite de hígado de tiburón (García *et al.*, 2007), Aceite esencial de naranja (Chavez, 2007), Aceite de aguacate (Bae y Lee, 2008), lípidos, sabores volátiles (Fuchs *et al.*, 2006; Murúa *et al.*, 2009), Aceites (omega 3, pescado, oliva, nuez, girasol) (Chamorro y Quispe, 2011). La microencapsulación de aceites esenciales se constituye en una tecnología interesante al prevenir su volatilización y extender la vida útil de estos componentes biológicos (Parras Huertas, 2010).

### **3. MÉTODOS**

#### **3.1 Materiales**

##### **Materias primas**

Se utilizó el Aceite de aguacate comercial (Ahucatlán) para todos los experimentos, el cual se caracterizó en cuanto a su composición de ácidos grasos. La composición de ácidos grasos se determinó mediante cromatografía de gases.

El aceite de aguacate comercial (Ahucatlán) proviene de Nayarit de donde toma su nombre, se cosechan y seleccionan los mejores aguacates recibiendo un tratamiento natural de maceración en frío, siguiendo un proceso de decantación, centrifugado y filtrado de la pulpa se obtiene un aceite de pureza excepcional, su contenido en ácidos grasos saturados es bajo, tienen alto contenido en grasas insaturadas, no se quema, es un antioxidante poderoso, es inodoro, y su sabor es neutro. Este aceite fue conseguido en el centro comercial Walmart.

Así mismo se utilizó goma Arábica y maltodextrina grado alimenticio. Se realizaron soluciones madre de maltodextrina (MD) (INAMALT, IMSA Guadalajara Jalisco, México) y goma Arábica (GA) (HYCEL de México- CAS 9000-01-5, México D.F.) en concentraciones tales que después del mezclado en proporciones iguales 50/50% (v/v), se tuvieran contenido de sólidos de la emulsión al 10 y 30%. La emulsión al 10% contenía 1.5 g de GA y 8.5 g de MD, mientras que la emulsión al 30% contenía 1.5 g GA y 28.5 g MD.

#### **3.2 Preparación de la emulsión**

Los agentes encapsulantes fueron disueltos en agua destilada mantenido en agitación un día antes de realizar la emulsión. Las emulsiones fueron preparadas mediante dos procesos: el primero consistió en el mezclado del aceite de aguacate en el agente encapsulante utilizando un mezclador Ultra Turrax IKA a 15000 rpm durante 5 minutos. El otro proceso de preparación se realizó de la misma que el primero y posteriormente se sometió la emulsión a ultrasonido a 80% de amplitud durante 3 minutos, evitando que la temperatura de la muestra incremente (figura 12). Las emulsiones fueron secadas inmediatamente después de su preparación.





**Figura 12. Preparación de la emulsión**

### 3.3 Microencapsulación mediante secado por aspersion

El secado se llevó a cabo utilizando un secador por aspersion de laboratorio Bucchi considerando tres factores: la temperatura del aire de secado (120 y 150°C), contenido de sólidos totales en la emulsión (10 y 30% p/p) y concentración de aceite con respecto al total de sólidos (10 y 30% p/p). La presión de aire comprimido fue de 0.1 MPa, el flujo de aire de 0.43 m<sup>3</sup>/min y el flujo de alimentación del producto de 9 mL/min. Posteriormente las muestras secas se recolectaron a la salida del aspersor, se pesó el polvo obtenido, se selló al vacío en bolsas herméticas y se mantuvieron congeladas a -14°C para su posterior análisis (figura 13).

## Secado por aspersión

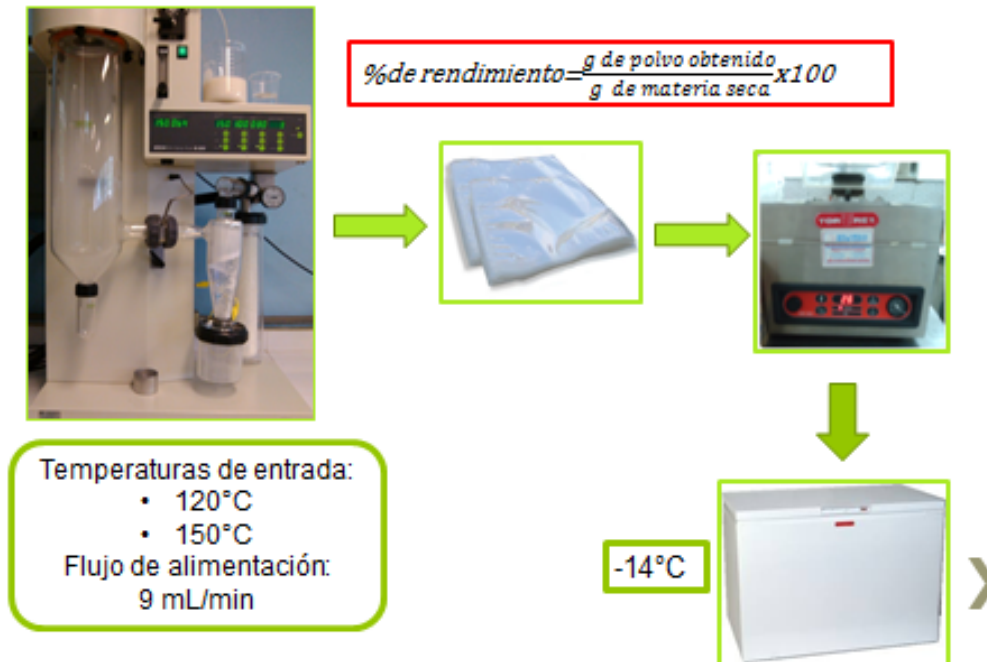


Figura 13. Secado por aspersión

### 3.3.1 Rendimiento de proceso

Se determinó el rendimiento del proceso, el cual se calculó utilizando la siguiente ecuación:

$$\%de\ rendimiento = \frac{g\ de\ polvo\ obtenido}{g\ de\ materia\ seca} \times 100$$

### 3.3.2 Análisis del polvo

La eficiencia de encapsulación se midió adicionando 15 mL de hexano a 2 g de polvo seguido de una agitación con vortex durante 2 min a temperatura ambiente. La mezcla obtenida fue filtrada a través de un filtro Whatman No. 1, y el polvo fue lavado 3 veces con 20 mL de hexano (Bae y Lee, 2008). La solución filtrada conteniendo el aceite extraído fue transferida a un frasco limpio, el cual fue evaporado y finalmente secador a 60°C hasta

peso constante. El aceite superficial es calculado como la diferencia entre el peso del frasco limpio inicial y el peso del frasco que contiene el aceite extraído residual (Jafari *et al.*, 2008). El aceite total es igual al aceite inicial.

La eficiencia de encapsulación se calculó utilizando la siguiente ecuación:

$$\% \text{de encapsulacion} = \frac{\text{g AT} - \text{AS}}{\text{g AT}} \times 100$$

Donde AT es el aceite total y AS el aceite superficial, en gramos

### **3.3.2.1 Composición de ácidos grasos del aceite encapsulado**

La composición de lípidos se realizó por cromatografía de gases cuantificando los ácidos grasos antes y después del encapsulamiento.

Se prepararon los ésteres metílicos de acuerdo con el método de Egan (1981). Se tomaron 100  $\mu\text{L}$  de aceite y se añadió 1 mL de NaOH al 2 M en metanol, se calentó a baño maría a 80°C durante 20 min con agitación constante. La muestra se enfrió y se mezcló con 1 ml de  $\text{BF}_3$  14% en metanol, y se calentó de nuevo a 80°C durante 20 min con agitación constante, más tarde, el metil ésteres se extrajeron usando 1 mL de hexano grado HPLC.

#### Determinación de la composición de ácidos grasos.

Los ácidos grasos se analizaron mediante cromatografía de gases acoplada a espectrometría de masas (GC-MS, Agilent Technologie, Estados Unidos). La columna fue (DB-WAXter, J & W Cientific-122-7362 de 60 m  $\times$  250  $\mu\text{m}$   $\times$  0,25  $\mu\text{m}$ ). Se utilizó Helio como gas acarreador (1 ml / min). 1 $\mu\text{L}$  de extracto de FAME's se inyectaron en modo dividido. Las temperaturas del inyector y del detector eran 250°C y 230°C respectivamente. El horno fue programado con temperatura del horno a 150 °C durante 5 minutos, a 30°C/min a 210°C, a 1°C/min a 213°C, y, finalmente, 20°C/ min a 225°C durante 12 min. La detección se realizó a través de una detector selectivo de masas (Agilent Technologies 975C).

Los compuestos en cada muestra se identificaron mediante la comparación con espectros de masas de la biblioteca (NIST).

### 3.3.2.3 Densidad aparente de los polvos

La densidad aparente se determinó utilizando 2 g de polvo transferido a una probeta graduada de 50 mL. La densidad aparente se calculó con del peso del polvo contenido en la probeta después de ser agitada 10 veces con la mano contra la mesa a una altura de 10 cm según reportado por (Goula y Adamopoulos, 2004).

### 3.3.2.4 Actividad acuosa de los polvos

La actividad acuosa de las microcápsulas secadas por aspersión se determinó utilizando un medidor de actividad de agua HigoPalm Rotronic.

## 3.4 Diseño experimental y análisis estadístico

Para lograr los objetivos propuestos, se utilizó un diseño experimental ortogonal L<sub>8</sub>. Los factores utilizados fueron: temperatura del aire de secado (120 y 150°C), método de emulsión, contenido de sólidos totales en la emulsión (10 y 30%) y concentración de aceite con respecto al total de sólidos en la emulsión (10 y 30%) (Cuadro 8).

**Cuadro 8. Diseño experimental ortogonal L<sub>8</sub>**

Tratamiento	Método de emulsión	Temperatura de entrada (°C).	% de solidos	% Concentración de aceite
1	1	120	10	10
2	1	120	10	30
3	1	150	30	10
4	1	150	30	30
5	2	120	30	10
6	2	120	30	30
7	2	150	10	10
8	2	150	10	30

Todos los tratamientos se realizaron por cuatuplicado. Los resultados se analizaron mediante un análisis de varianza con un nivel de significancia de 0.05 utilizando el Statgraphics Centurion XV.2.05.

## 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1 Efecto del método de elaboración de la emulsión, la temperatura del aire de secado, contenido de sólidos totales en la emulsión y concentración de aceite con respecto al total de sólidos en la emulsión, sobre el rendimiento del proceso de secado.

En el cuadro 9 se encuentran los datos del rendimiento del proceso por cada tratamiento, dichos datos se obtuvieron del total de polvo colectado a la salida del secador. Los rendimientos promedio variaron entre 33 y 41.7% para todos los experimentos.

**Cuadro 9. Porcentaje de rendimiento del proceso de secado**

Método de emulsión	Temperatura del aire de secado (°C).	Sólidos totales (%)	Aceite con respecto al total de sólidos en la emulsión (%)	Rendimiento (%)
1	120	10	10	34.29
1	120	10	30	39.18
1	150	30	10	32.75
1	150	30	30	32.32
2	120	30	10	34.47
2	120	30	30	35.77
2	150	10	10	46.89
2	150	10	30	46.43

Cuaspué Enriquez (2015) reportó valores similares obteniendo rendimientos en el rango de 34 a 36 % para las temperaturas de 150 y 180 °C, respectivamente para el secado de aceite de aguacate usando goma arábica y maltodextrina como material pared. Sin embargo, estos valores son inferiores a los reportados por Ocampo-Zaragosa (2014) para el caso del rendimiento de secado por aspersión de extracto de Stevia con valores de 70% para el secado de extractos conteniendo maltodextrina. Bermúdez Hernández (2013) reportó rendimientos entre 45 y 59% para el secado de jugo de zarzamora. La diferencia se debe principalmente al carácter hidrofóbico del aceite de aguacate con respecto a los extractos acuosos.

El análisis de varianza para el rendimiento (cuadro 10) mostró que la concentración de aceite fue la única variable que no tuvo efecto estadístico significativo ( $p < 0.05$ ), mientras que las demás variables, como fueron la preparación de la emulsión, el contenido de sólidos totales y la temperatura si mostraron efecto significativo sobre el rendimiento del proceso.

**Cuadro 10. Valores de P para el rendimiento de proceso de secado por aspersión de aceite de aguacate.**

Variables	Valor de P
Concentración de aceite	0.0899
Preparación de la emulsión	0.0000
Sólidos totales	0.0000
Temperatura del aire	0.0000

*Efecto de la temperatura para el rendimiento en el proceso de secado por aspersión*

La prueba de múltiples rango (cuadro 11) mostró que el aumento de la temperatura de entrada muestra un incremento en el porcentaje de rendimiento del proceso. Con medias de 35% para 120°C y 39% para 150°C.

**Cuadro 11. Prueba de múltiple rangos de la temperatura del aire de entrada para el rendimiento de proceso de secado por aspersión de aceite de aguacate.**

Temperatura del aire entrada (°C)	Rendimiento de proceso promedio (%)
120	35.93 a
150	39.60 b

Estos resultados coinciden con varios reportes quienes demostraron que la temperatura del aire de secado tuvo una influencia estadística significativa sobre el rendimiento de proceso de secado de extracto de *Stevia* (Ocampo-Zaragosa, 2014) y secado de jugo de zarzamora (Bermúdez Hernández, 2013). Cuaspué Enriquez (2015) reportó que altas temperaturas del aire de secado incrementan la velocidad de evaporación del agua, lo

que da como resultado un aumento de la cantidad de polvo seco producido, para el secado por aspersión del aceite de aguacate. Cuando la temperatura de entrada al secador es baja, la velocidad con que las partículas se secan disminuye, esto hace que se produzcan microcápsulas con una matriz densa, un alto contenido de agua, no fluyen con facilidad y tienden a aglomerarse (Gharsallaoui *et al.*, 2007) (citado por Cuaspué Enriquez, 2015). Masters (2002) (citado por Bermúdez Hernández, 2013) explica que a temperaturas de entrada elevadas habrá mayor rendimiento ya que se evita la eventual pegajosidad del producto, lo cual significa un mejor comportamiento en el secado.

*Efecto de los sólidos totales para el rendimiento en el proceso de secado por aspersión*

Para los sólidos totales, la prueba de múltiples rangos muestra que el rendimiento de proceso promedio es inversamente proporcional con el contenido de sólidos totales, obteniéndose mejores rendimientos con 10% de sólidos totales (cuadro 12).

**Cuadro 12. Prueba de múltiple rangos de los sólidos totales para el rendimiento del proceso de secado por aspersión de aceite de aguacate.**

Sólidos totales (%)	Rendimiento de proceso (%)
30	33.83 a
10	41.70 b

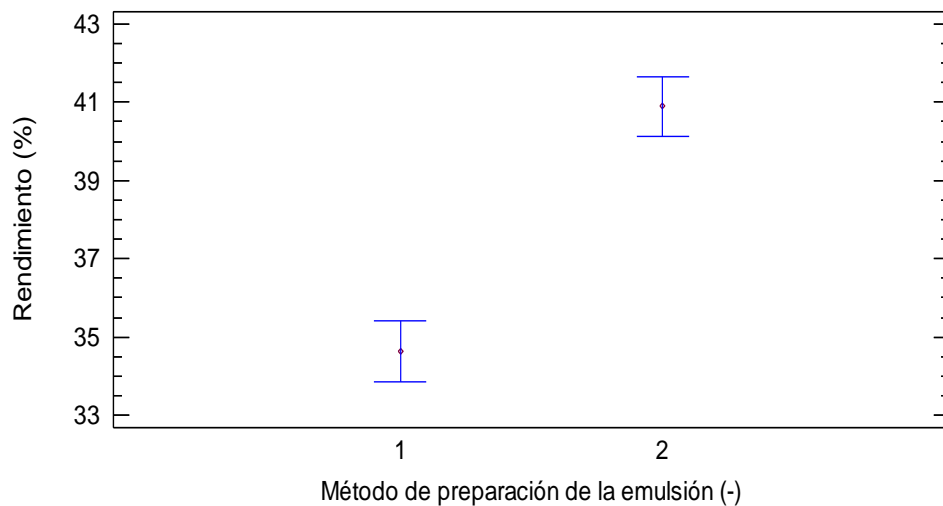
Oomah y Mazza (2001) observaron que el incremento del rendimiento está relacionado con un bajo contenido de sólidos lo que se refleja en la viscosidad del fluido alimentado para el caso del secado por aspersión de goma de linaza. Estos datos coinciden con los reportados por Barros Fernández (2014) para el caso de secado por aspersión de aceite de romero utilizando maltodextrina y almidón modificado como material pared. El autor reportó que un aumento excesivo en la concentración de sólidos en la emulsión de alimentación condujo a una reducción en el rendimiento de la encapsulación.



Efecto del método de preparación de la emulsión para el rendimiento en el proceso de secado por aspersión

La aplicación del ultrasonido permitió mejorar el rendimiento del proceso lo anterior por la disminución del tamaño de partícula provocando una mayor cantidad de microgotas de aceite que pueden ser encapsuladas por el material pared, incrementando la eficiencia de encapsulación y rendimiento de proceso.

La figura 14 muestra que existe diferencia estadística significativa entre los dos métodos de preparación de la emulsión sobre el rendimiento del proceso, esto al no traslaparse el par de intervalos. La aplicación de ultrasonido (método 2) permitió obtener mayor rendimiento.

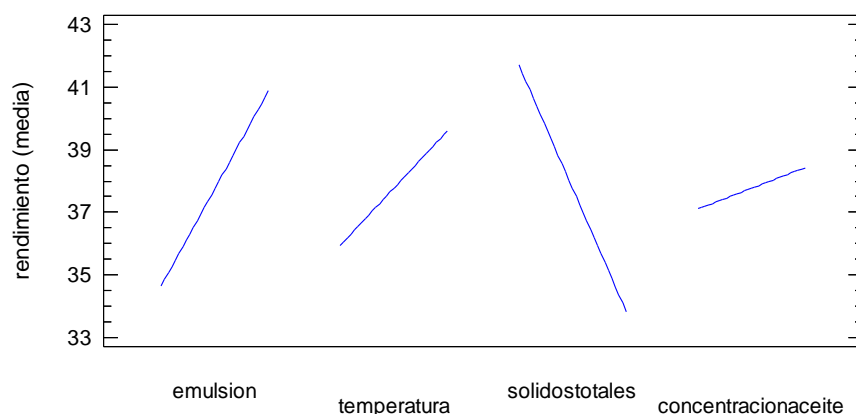


**Figura 14. Efecto del método de preparación de la emulsión sobre el rendimiento de proceso de secado por aspersión de aceite de aguacate.**

Silva *et al.* (2014) publicaron que el uso de presión de homogeneización en etapa de preparación de la emulsión permite una reducción del diámetro medio de la gotita provocando una ligera disminución de viscosidad en las emulsiones, obteniendo así micropartículas con alta eficiencia de encapsulación de aceite y buena estabilidad física, en el caso del secado por aspersión del aceite de café verde utilizando almidón modificado y maltodextrina como matriz encapsulante.

Cuaspud Enriquez (2015) reportó que al tener una emulsión menos viscosa se facilita su manejo y operación en el proceso de secado ya que el tamaño de gota es menor y por lo tanto se facilita su aspersión y el correcto proceso de secado por aspersión del aceite de aguacate.

El diagrama de efectos principales (figura 15) permite evidenciar que el rendimiento del proceso podría incrementar con el incremento de la temperatura y concentración de aceite. Sin embargo, se puede también observar que la disminución de los sólidos totales incrementará el rendimiento.



**Figura 15. Diagrama de efectos principales para rendimiento del secado por aspersión de aceite de aguacate.**

En cuanto a la densidad de los polvos se encontró que esta varió entre 300 y 347 kg/cm<sup>3</sup>.

#### **4.2 Efecto del método de elaboración de la emulsión, la temperatura del aire de secado, contenido de sólidos totales en la emulsión y concentración de aceite con respecto al total de sólidos en la emulsión, sobre la eficiencia de encapsulación y composición del aceite de aguacate encapsulado.**

En el cuadro 13 se encuentran las condiciones de cada tratamiento así también como el porcentaje de rendimiento del proceso y la eficiencia de encapsulación.

**Cuadro 13. Eficiencia de encapsulación por tratamiento**

Método de emulsión	Temperatura del aire de secado (°C).	Sólidos totales (%)	Aceite con respecto al total de sólidos en la emulsión (%)	Eficiencia de encapsulación (%)
1	120	10	10	30.25
1	120	10	30	1.64
1	150	30	10	6.48
1	150	30	30	6.71
2	120	30	10	32.00
2	120	30	30	9.13
2	150	10	10	12.49
2	150	10	30	10.73

Se observa un ligero incremento en la eficiencia de encapsulación usando el método de emulsión 2, esto se debe probablemente a que el uso del ultrasonido provocó una disminución de tamaño de gota, menor viscosidad y una emulsión más estable.

La eficiencia de encapsulación promedio varió entre 1.6 y 32%. Estos datos son inferiores a los reportados por Cuaspud Enriquez (2015) para el caso de la eficiencia de encapsulación del aceite de aguacate por secado por aspersion con valores de 46.4 % a 71.4 %. La eficiencia de la microencapsulación se ven influenciadas significativamente por la formulación de las emulsiones. En dicho estudio se demostró que la cantidad de goma arábica en la emulsión influye directamente sobre la cantidad de aceite superficial. Esto tuvo un efecto directo sobre el contenido de aceite superficial y la eficiencia de las microcápsulas, ya que glóbulos grasos de mayor tamaño retardan la formación de la capa protectora de la microcápsula y hacen que la difusión del aceite hacia la superficie sea más fácil y por ende se tiene mayor contenido de aceite superficial (Aghbashlo *et al.*, 2013).

La reducción del tamaño del glóbulo graso por la presencia de la goma arábica se debe a su vez a su composición química, su alto peso molecular y su estructura esférica ramificada, ya que tiende a formar una red densa que atrae a los glóbulos grasos, permite la fácil difusión del aceite en el agua y no permite que exista una separación lipídica, según menciona Vernon Carter *et al.* (1998) (citado en Rodea-González *et al.*, 2012). La disminución de la concentración de goma arábica puede resultar en una baja eficiencia en la formación de la emulsión y repercutir en las

características físicas de las microcápsulas. Bylaitë *et al.* (2001) observaron que la retención de aceite de alcaravea fue muy bajo cuando se utilizó maltodextrina como material de la pared, llegando a sólo el 25%. Por otro lado, Carneiro *et al.* (2013) demostraron que las emulsiones que están formadas por maltodextrina y goma arábica tienen mayor viscosidad que las formadas por maltodextrina y cualquier otro polímero debido a la presencia de la goma arábica que por su estructura ramificada tiende a formar soluciones espesas. La presencia de maltodextrina en la formulación hace que la emulsión sea menos viscosa, esto permite que se tenga una emulsión con el mismo contenido de sólidos pero con una viscosidad mucho más baja, al tener una emulsión menos viscosa se facilita su manejo y operación en el proceso de secado ya que el tamaño de gota es menor y por lo tanto se facilita su aspersion y el correcto proceso de secado.

El análisis de varianza para la encapsulación del aceite de aguacate (cuadro 14) mostró que la concentración de aceite y la temperatura del aire de entrada fueron las variables que tuvieron efecto estadístico significativo ( $p < 0.05$ ), mientras que las demás variables, como fue la preparación de la emulsión, el contenido de sólidos totales y la temperatura no mostraron efecto significativo sobre la encapsulación del aceite en el proceso.

**Cuadro 14. Valores de P para encapsulación de aceite de aguacate en proceso de secado por aspersion**

Variables	Valor de -P
Concentración de aceite	0.0002
Preparación de la emulsión	0.1261
Sólidos totales	0.9491
Temperatura del aire	0.0058

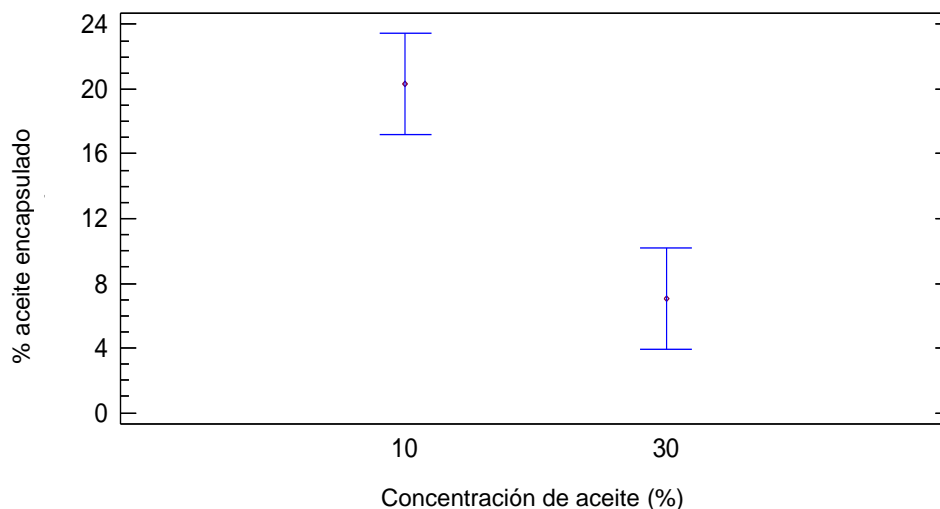
Efecto de concentración de aceite para la encapsulación el proceso de secado por aspersión

La prueba de múltiple rangos (cuadro 15) mostró que a menor concentración de aceite muestra un incremento en el porcentaje de encapsulación del proceso. Con medias de 20% de encapsulación para 10% de concentración de aceite con respecto al total de sólidos en la emulsión y de 7% de encapsulación para 30% respectivamente.

**Cuadro 15. Pruebas de Múltiple Rangos para aceite encapsulado por concentración aceite.**

Concentración de Aceite	Encapsulación del proceso promedio
30	7.05 a
10	20.30 b

En la figura 16 podemos observar claramente como la disminución de la concentración de aceite en la emulsión, aumenta significativamente la eficiencia de encapsulación en el proceso.



**Figura 16. Efecto del contenido de aceite para la eficiencia de encapsulación en el proceso de secado por aspersión.**

Estos datos coinciden con los reportados por Tonon *et al.* (2011), para aceite de linaza microencapsulado con una matriz de goma arábica mediante secado por atomización. Ellos observaron que la concentración de aceite fue el factor que más afectó la eficiencia, de encapsulación y que mostró un efecto negativo en esta respuesta. Cuanto mayor sea la concentración de aceite, menor será la eficiencia de encapsulación. El mismo comportamiento se observó por Huynh *et al.* (2008) (citados por Tonon, 2011) en la microencapsulación de aceite de limón mirto, utilizando almidón modificado maltodextrina y proteína de suero concentrado maltodextrina como material pared.

Tan *et al.* (2005) (citados por Tonon, 2011) también comprobaron que altos contenidos de aceite da lugar a menor rendimiento de proceso y menor eficiencia de encapsulación para el caso de aceite de pescado microencapsulado mediante secado por pulverización.

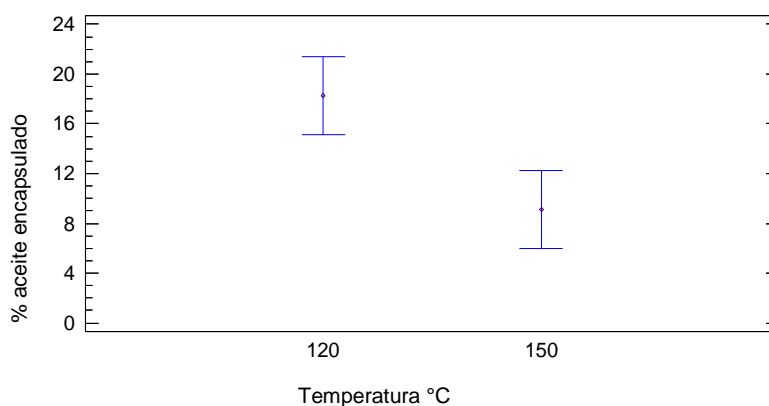
Según Jafari *et al.* (2008), la retención más pobre o más baja eficiencia de encapsulación está relacionada con altas cargas de aceite, y se puede atribuir a la mayor cantidad de material de núcleo cerca de la superficie de secado, la cual hace corta la longitud de la trayectoria de difusión para la interfase aire / partícula, por lo tanto se aumenta el contenido de aceite superficial. Minemoto *et al.* (2002) (citados por Tonon, 2011), trabajando con microencapsulación de ácido linoleico, también se observó que la eficiencia de encapsulación disminuye cuando la relación en peso de núcleo al material pared aumentó.

### *Efecto de la temperatura para la encapsulación el proceso de secado por aspersion*

El cuadro 16 muestra que la temperatura tuvo un efecto estadístico significativo en la eficiencia de microencapsulación del aceite obteniendo medias de 18% de encapsulación a una temperatura de 120°C y de 9% a una temperatura de 150°C, en la figura 17 podemos observar una mayor eficiencia de encapsulación de proceso a una temperatura menor (120°C).

**Cuadro 16. Prueba de Múltiple Rangos para aceite encapsulado por temperatura**

Temperatura °C	Eficiencia de encapsulación de aceite (%)
150	9.10 a
120	18.25 b

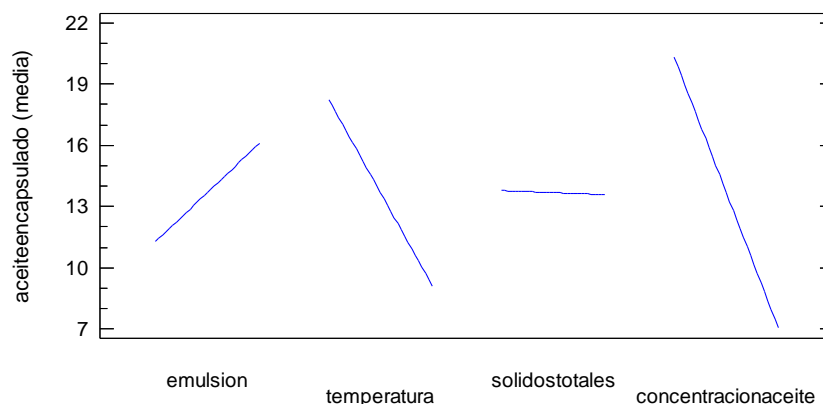


**Figura 17. Efecto de la temperatura sobre la encapsulación del aceite de aguacate en el proceso de secado por aspersión.**

Estos resultados coinciden con los reportados por Frascareli *et al.* (2012) quienes en el trabajo de secado por aspersión de aceite de café observaron que la disminución en la eficiencia de encapsulación con el aumento de la temperatura podría estar relacionada con el hecho de que a temperaturas del aire de entrada más altas afectan el equilibrio entre la tasa de evaporación del agua y la formación de la película, dando lugar a una ruptura de la capa protectora. En otras palabras, las altas temperaturas promueven un secado más rápido de la superficie exterior, en comparación con la interna, que crea grietas en la pared de partículas, lo que resulta en la liberación de aceite.

Velasco *et al.* (2003), mencionan que dentro de una microcápsula, la matriz que contiene al componente activo puede verse afectada ya sea por el contenido de agua o por efecto de la temperatura. Conforme se incrementa la temperatura del ambiente, el sólido alcanza su temperatura de transición vítrea, lo que hace que pierda sus propiedades como sólido cristalino formador de película y adquiera propiedades más plásticas que permiten mayor movilidad de los glóbulos grasos.

El diagrama de efectos principales (figura 18) permite evidenciar que la eficiencia de encapsulación del proceso podría incrementar con la disminución de la temperatura, sólidos totales, así como también menor contenido de aceite en la emulsión.



**Figura 18. Diagrama de efectos principales eficiencia de encapsulación en el secado por aspersión de aceite de aguacate.**

### Composición del aceite de aguacate encapsulado

La composición de ácidos grasos es presentada en el cuadro 17, los resultados fueron comparados con una muestra testigo (aceite sin ningún tratamiento).

**Cuadro 17. Composición de ácidos grasos en el aceite de aguacate encapsulado**

Tto.	Método de emulsión	Temp. (°C).	Sólidos totales (%)	Contenido de Aceite (%)	ABUNDANCIA EN EL ACEITE ENCAPSULADO (%)		
					Ac. Grasos Monoinsaturados	Ac. Grasos Saturados	Ac. Grasos Poliinsaturados
Testigo*					68.080	12.459	18.1865
1	1	120	10	10	66.502	13.697	15.973
2	1	120	10	30	65.217	13.207	18.853
3	1	150	30	10	65.250	19.277	20.131
4	1	150	30	30	60.802	15.817	21.748
5	2	120	30	10	66.411	15.108	19.831
6	2	120	30	30	N.D	N.D	N.D
7	2	150	10	10	66.874	13.381	19.60
8	2	150	10	30	60.665	17.650	21.094

\*Testigo es aceite de aguacate puro, sin ningún tratamiento. N.D.= No determinado.



En el cuadro 17 podemos observar que el aceite de aguacate contiene en promedio 68% de ácidos grasos monoinsaturados, 12% de saturados y 18% de poliinsaturados. Estos valores son similares a los reportados por Ortiz-Moreno *et al.* (2003), ellos reportaron valores de 66-72% para ácidos grasos monoinsaturados, 16-22% para ácidos grasos saturados y 8-11% para ácidos grasos poliinsaturados. El principal ácido graso monoinsaturado es el oleico (C18:1) con 67% de abundancia. En los ácidos grasos saturados encontramos en mayor cantidad el ácido palmítico (C16:0) con 8.7% de abundancia, mientras que entre los ácidos grasos poliinsaturados el principal es el ácido graso linoleico con 17.7% de abundancia. Este comportamiento se observó en el aceite sin ningún tratamiento de encapsulación.

El análisis de varianza ( $p < 0.10$ ) para el ácido oleico (ácido graso monoinsaturado) entre los distintos tratamientos (cuadro 18), muestra que el valor de P para la concentración de ácido oleico en los distintos tratamientos es menor a 0.10 obteniendo diferencia estadística significativa.

**Cuadro 18. Análisis de varianza para ácido oleico**

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Entre grupos	236.757	7	33.8224	3.38	0.0545
Intra grupos	79.9578	8	9.99472		
Total (Corr.)	316.714	15			

En el cuadro 19 se observa el análisis de varianza para el ácido palmítico, se observa que no existe una diferencia estadística significativa entre los distintos tratamientos y con el testigo.

**Cuadro 19. Análisis de varianza para ácido graso palmítico**

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Entre grupos	5.39503	7	0.770719	1.34	0.3435
Intra grupos	4.60437	8	0.575547		
Total (Corr.)	9.99941	15			

El cuadro 20 muestra la abundancia de ácidos grasos palmítico, oleico y linoleico de aceite de aguacate encapsulado y no encapsulado.

**Cuadro 20. Abundancia de ácidos grasos palmítico, oleico y linoleico en los distintos tratamiento**

Tratamiento	Abundancia (%)		
	A. palmítico	A. oleico	A. linoleico
Testigo	8.74 a	67.49 a	17.74 a
Trat. 1	8.99 a	66.08 ab	15.57 a
Trat. 2	8.14 a	64.32 ab	17.79 a
Trat. 3	9.53 a	64.34 ab	18.94 a
Trat. 4	8.44 a	59.84 c	20.18 a
Trat. 5	7.87 a	65.44 ab	18.52 a
Trat. 6	7.96 a	65.75 ab	18.17 a
Trat. 7	N.D	N.D	N.D
Trat. 8	7.89 a	59.93 bc	20.36 A

\*(p<0.10).

Igualmente en el análisis de varianza para el ácido linoleico (ácido graso poliinsaturado) se muestra que no existe una diferencia estadística significativa entre los tratamientos obteniendo un valor p de 0.3377 (cuadro 21).

**Cuadro 21. Análisis de varianza para ácido graso linoleico**

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Entre grupos	26.5128	7	3.78754	1.36	0.3377
Intra grupos	22.3583	8	2.79479		
Total (Corr.)	48.8711	15			

Aunque los resultados no presentan diferencia estadística significativa, en el cuadro 20 podemos observar un ligero incremento en los ácidos grasos poliinsaturados en el aceite encapsulado con respecto al aceite testigo, esto se puede deber a una buena eficiencia de encapsulación y estabilidad oxidativa, cabe mencionar que el polvo obtenido después del secado fue almacenado durante 7 meses sellado al vacío y a una temperatura de -14°C. Muchos autores mencionan que la selección de combinaciones de material de la

pared afecta tanto a las propiedades de emulsión y las características de las partículas después del secado y durante el almacenamiento. Jafari *et al.* (2008) mencionan que la característica de la emulsión tales como la estabilidad, viscosidad, tamaño de las gotitas, así como las propiedades del polvo tales como aceite superficial, tamaño de partícula, la densidad, la morfología y la estabilidad oxidativa, están influenciados por el tipo agente utilizado en la encapsulación. Cuaspuñ Enríquez (2015) señala que el uso de mayor cantidad de maltodextrina en combinación con goma arábiga como material pared disminuye la eficiencia de encapsulación y el rendimiento del proceso de secado por aspersión en el caso del aceite de aguacate. Sin embargo en este estudio se comprobó que el uso de maltodextrina en mayor cantidad que la goma arábiga aumenta la estabilidad oxidativa del aceite encapsulado.

Diversos estudios indican que la presencia de maltodextrina es favorable en una estabilidad oxidativa. Tonon *et al.* (2013) reportaron que la estabilidad oxidativa en los polvos fue fuertemente influenciado por la combinación de materiales pared usando la mezcla de MD: WPC (proteína de suero concentrado) para la encapsulación del aceite de linaza. Silva *et al.* (2014) mencionan que en el secado por aspersión de aceite de café verde los polvos con la combinación de Hi-Cap (almidón modificado derivado del maíz ceroso) / MD presentaron la más alta estabilidad oxidativa.

## 5. CONCLUSIONES

La preparación de la emulsión, el contenido de sólidos totales y la temperatura mostraron efecto estadístico significativo ( $p < 0.05$ ) sobre el rendimiento del proceso, mientras que la concentración de aceite y la temperatura del aire de entrada fueron las variables que tuvieron efecto estadístico significativo ( $p < 0.05$ ) sobre la encapsulación del aceite en el proceso.

Se podría tener un mayor rendimiento del proceso de secado usando una emulsión sometida a ultrasonido, aumentando la temperatura y la concentración de aceite en la emulsión y disminuyendo la cantidad de sólidos totales en la emulsión.

Por el contrario se podría maximizar la eficiencia de encapsulación del aceite disminuyendo la temperatura, el contenido de sólidos totales así como la concentración de aceite en la emulsión.

Al no haber efecto estadístico significativo entre los tratamientos con respecto a la estabilidad oxidativa, se observa que el mejor tratamiento en donde se maximiza el rendimiento de proceso y la eficiencia de microencapsulación corresponde al tratamiento 5, realizado con una emulsión sometida a ultrasonido con 30% de sólidos y 10% de aceite con respecto al total de sólidos, secada a 120°C. En este caso se podría elegir este tratamiento ya que la eficiencia de microencapsulación de aceite de aguacate fue más elevada comparada con los otros tratamientos.

## 6. RECOMENDACIONES

- A. Estudiar la estabilidad del aceite de aguacate microencapsulado así como la vida útil de un producto enriquecido con este aceite.
  
- B. Aumentar la concentración de goma arábica ya que a mayor cantidad de goma arábica se tiene un menor tamaño del glóbulo graso lo que permite la fácil difusión del aceite en el agua y no permite que exista una separación lipídica, obteniendo mayor rendimiento del proceso y mejor encapsulación del mismo.
  
- C. Realizar ensayos con distintos materiales pared de preferencia diferentes aislados de proteínas en diversas proporciones para incrementar el redimiendo y encapsulación del aceite.

## 7. REFERENCIAS

Aghbashlo, M., Mobli, H., Madadlou, A. y Rafiee, S. (2013). Fish oil microencapsulation as influenced by spray dryer operational variables. *International Journal of Food Science and Technology*, 48(1), 1707–1713. doi:10.1111/ijfs.12141.

ANIAME (2002). El aceite de Aguacate en México. Revista ANIAME Año XVI, 8(37):1-9.

Anderson V.H.E., Cabrera S., Lozano R. y González I.L.C. (2009). Efecto del consumo de aguacate (*Persea Americana Mill*) sobre el perfil lipídico en adultos con dislipidemia. *Anales Venezolanos de Nutrición*, 22 (2): 84-89.

Alcántar-Rocillo, J. Anguiano-Contreras; V. M. Coria-Avalos; G. y Hernández- Ruiz; J. A. Ruiz-Corral. (1999). Áreas potenciales para cultivo del aguacate (*Persea americana* cv. Hass) en el estado de Michoacán, México. Revista Chapingo Serie Horticultura 5: 151-154.

Alvizouri-Muñoz, M., Carranza-Madrigal, J., Herrera-Abarca, J.E., Chávez-Carbajal, F. y Amescua-Gastelum, J.L. (1992). Effects of avocado as a source of monounsaturated fatty acids on plasma lipid levels. *Arch. Med. Res.* 23(4):163-7.

Alvizouri-Muñoz, Corral-Cosío, A., Rodríguez-Barrón, A. y J.E.; Chávez-Carbajal. (2003). El aceite de aguacate en la prevención de aterosclerosis experimental inducida con colesterol. *Med Int Mex* 19(2):67-72.

Alvizouri Muñoz, M. y Rodríguez Barrón, A. (2009). Efectos médicos del aguacate. *Medicina Interna de México*, 25(5), 379–385.

Bae E.K. y Lee S.J. (2008). Microencapsulation of avocado oil by spray drying using whey protein and maltodextrin. *J Microencapsul.* 25(8):549-60.

Bakan J. A. (1978). Microencapsulation, Encyclopedia of Food, AVI Public Corporation Inc. Westport, CT, p-499.

Balssa L. L. y Fanger G. O. (1971). Microencapsulation in the food industry, *Critical Review Food Technology*, 2: 245.

Barros Fernandes R.V., Reginaldo Marques G., Vilela Borges S. y Alvarenga D. (2014). Effect of solids content and oil load on the microencapsulation process of rosemary essential oil. *Industrial Crops and Products* 58, 282–289.

Batista C.A., Cerezal M.P. y Fung L.V. (1993). El aguacate (*Persea americana*, M). Valor nutricional y composición. *Alimentaria*, 63: 63-69.

Bermúdez Hernández I.D. (2013). Microencapsulación de jugo de zarzamora (*rubus fruticosus*) mediante secado por aspersión. Tesis ingeniería bioquímica; Chiapas, México; Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez.

Bernal, J. A., Diaz, C. A. y Tamayo, A. (2008). *Tecnología para el Cultivo del Aguacate*, pp.15-23.

Braverman, J.S. (1988). Introducción a la bioquímica de los alimentos. El manual moderno. México.

Brenner J. (1983). The essence of spray-dried flavors: The state of the art *Perfile Flavour*, 8(20): 40

Bylaitė, E., Venskutonis, P.R., Maždpirienė, R. (2001). Properties of caraway (*Carumcarvi* L.) essential oil encapsulated into milk protein-based matrices. *Eur. Food Res. Technol.* 212, 661–670.

Calvo, P., Castaño, A. L., Hernández, T., y González-Gómez, D. (2011). Effects of microcapsule constitution into the quality of microencapsulated walnut oil. *European Journal of Lipid Science and Technology*, 113, 1273–1280.

Calvo, P., Castaño, A. L., Lozano, M., y González-Gómez, D. (2012). Influence of the microencapsulation on the quality parameters and shelf-life of extra-virgin olive oil encapsulated in the presence of BHT and different capsule wall components. *Food Research International*, 45, 256–261.

Carranza-Madriral, J.; Herrera-Abarca, J.E.; Alvizouri-Munoz, M.; Alvarado-Jimenez, M.R. y Chavez-Carbajal, F. (1997). Effects of a vegetarian diet vs. Vegetarian diet enriched with avocado in hypercolesterolemic patients. *Arch. Med. Res.* 28(4):537.

Carneiro H., Tonon R, Grosso C., y Hubinger M. (2013). Encapsulation efficiency and oxidative stability of flaxseed oil microencapsulated by spray drying using different combinations of wall materials. *Journal of Food Engineering* 115, 443–451.

CENEXA (1991). Centro de Endocrinología Experimental y Aplicada. Publicado en: <http://www.cenexa.org/>

Chanderbali, A.S., Soltis, D.E., Soltis, P.S. y Wolstenholme, B.N. (2002). Taxonomy and Botany. En Wiley, A. W., Schaffer, B. y Wolstenholme, B. N. (Ed). *The Avocado Botany, production and uses* (pp. 15-39).

Chavez B. E. y Ledebor A. M. (2007). Drying of Probiotics: Optimization of Formulation and Process to Enhance Storage Survival, *Drying Technology*, 25: 1193–1201.

Colin, J., C. Nolan y B. Holub. (2009). Bioequivalence of encapsulated and microencapsulated fish-oil supplementation. *Journal of Functional Foods* 1: 38 -43.

Colquhoun, D.M.; Moores, D.; Somerset, S.M. y Humphries, J.A. (1992). Comparison of the effects on lipoproteins and apolipoproteins of a diet high in monounsaturated fatty acids, enriched with avocado, and a high-carbohydrate diet. *Am. J. Clin. Nutr.* 56(4):671.

Colquhoun, D. (2000). The contribution of the avocado. The California Avocado Commission. *Nutr* [Online]: <http://www.avocado.org/>.

Corinne H.R. y Wagley S.E. (2002). Nutrición básica y dietoterapia, 1era. Ed. La prensa Médica Mexicana, 62-71.

Cuaspud Enriquez M.A. (2015). Obtención de aceite de aguacate microencapsulado mediante secado por atomización. Tesis ingeniería agroindustrial; Quito, Ecuador; Escuela Politécnica Nacional.

Ding W.K. y Shah N.P. (2007). Acid, Bile, and Heat Tolerance of Free and Microencapsulated Probiotic Bacteria; *Journal of Food Science*, 72(9).

Duester, K. C. (2000). Avocados. A Look Beyond Basic Nutrition For One Of Nature's Whole Foods. *Nutr Today*. [Online]: <http://www.findarticles.com>.

Dziezak J.D. (1988). Microencapsulation and encapsulated ingredients. *Food Technology*, 42, 136-151.

Egan, H., Kirk, R.S. y Sawyer R. (1981). Análisis de alimentos de Pearson. CECOSA. México.

Estevinho, B. N., Rocha, F., Santos, L. y Alves, A. (2013). Microencapsulation with chitosan by spray drying for industry applications – A review. *Trends in Food Science & Technology*, 31(2), 138–155.

FAO/WHO (1973). Food and Agriculture Organization of the United Nations/World Health Organization. *Necesidades de energía y de proteínas*. Colección FAO. Alimentación y nutrición, FAO: reuniones sobre nutrición, WHO: serie de informes técnicos. Roma.

Favaro, C., A. Santana, E. Monterrey, M. Trindade y F. Netto. (2010). The use of spray drying technology to reduce bitter taste of casein hydrolysate. *Food Hydrocolloids* 24(4): 336-340.

Fennema O.R. (2000). Química de los Alimentos, En: Lípidos. 2nd. Ed. Acribia, España. pp:532-553.



Fuchs, M., Turchiulli, C., Bohin, M., Cuvelier, M.E., Ordannaud, C., Peyrat-Maillard, M.N. y Dumoulin, E., (2006). Encapsulation of oil in powder using spray drying and fluidized bed agglomeration. *Journal of Food Engineering* 75 (1), 27–35.

Frascareli, E. C., Silva, V. M., Tonon, R. V., y Hubinger, M. D. (2012). Effect of process conditions on the microencapsulation of coffee oil by spray drying. *Food and Bioproducts Processing*, 90 (3), 413-424.

García Cañas P.A. (2008). Elaboración de margarinas a partir del aceite de aguacate. Medellín, Colombia.

García Gutiérrez C, González Maldonado M.B., Ochoa Martínez L.A. y Medrano Roldan. (2004). Microencapsulación de jugo de cebada verde mediante secado por aspersión. *Ciencia y tecnología alimentaria*, 4: 262-266.

García E., Gutiérrez S. y Nolasco H. (2007). Desarrollo de bebidas lácteas enriquecidas con ácidos grasos. *Tecnología Láctea Latinoamericana*.

Gharsallaoui, A., Roudaut, G., Chambin, O., Voilley, A. y Saurel, R. (2007). Applications of spray-drying in microencapsulation of food ingredients: An overview. *Food Research International*, 40(9), 1107–1121.

Goula, A. M., Adamopoulos, K. G., y Kazakis, N. A. (2004). Influence of spray drying conditions on tomato powder properties. *Drying Technology*, 22(5), 1129–1151.

Habi Mat D. L., Sudin N. y Yusoff M. (1996). Characteristics of Microencapsulated Palm-Based Oil as Affected by Type of Wall Material. *J Sci Food Agric*, 70:422-6.

Heidebach, T., P. Forst y U. Kulozik. (2010). Microencapsulation of probiotic cells by means of rennet-gelation of milk proteins. *Food Hydrocolloids*. 23(7): 1670-1677.

Hernández TM y Porrata CM. (1999). Calcio, Osteoporosis, Hipertensión arterial y Cáncer colorrectal. *Rev. Cubana Aliment Nutr.*, 13(1): 33-45.

Hoegger R. (2002). Büchi training papers spray drying. Büchi Labortechnik AG., 13-16.

Hougan, A.S., McNamee, F.B., O’Riordan, E.D y O’Sullivan, M. (2001). Microencapsulating properties of sodium caseinate. *Journal of Agriculture of Food Chemistry*. 49 1934-1938.

Human, T.R. (1987). Oil as byproduct of the avocado. *South African Avocado Grower’s Association*. 10: 165-166.

Huynh, T. V., Caffin, N., Dykes, G. A., y Bhandari, B. (2008). Optimization of the microencapsulation of lemon myrtle oil using response surface methodology. *Drying Technology*, 26(3), 357–368.

International Union of Pure and Applied Chemistry. (IUPAC,1990). Applied Chemistry division Commission on Oils, Fats and Derivatives. *In: Standard methods for the analysis of Oils, Fats and derivatives*. 6th ed. Section iii. Glycerines. A. Hautfenne. Université Catholique de Louvain Louvain- la-Neuve, Belgium. pp:13.

ISEO. (1999). *Food Fat and Oils*. Institute of Shortening and Edible Oils, Inc. Eighth edition. Washington, D.C. 40 p.

Jafari, S. M., Assadpoor, E., He, Y., y Bhandari, B. (2008). Encapsulation efficiency of food flavours and oils during spray drying. *Drying Technology*, 26(7), 816–835.

Knothe G. (2013). Avocado and olive oil methyl esters, *Biomass and bioenergy*, 58 143-148.

Kritchevsky D., Tepper S.A., Wright S., Czarnecki S.K., Wilson T. A. y Nicolosi R.J. (2003). Cholesterol vehicle in experimental Atherosclerosis 24: Avocado oil. *J. American College of Nutrition*. 22(1):52-55.

Kolanowski W., Jaworska D., Weißbrodt J., y Kunz B. (2007). Sensory Assessment of Microencapsulated Fish Oil Powder. *J Am Oil Chem Soc*. 84:37-45.

Lerman-Garber, I.; Ichazo-Cerro, S.; Zamora-Gonzalez, J.; Cardoso-Saldana, G. y Posadas-Romero, C. (1994). effect of a high-monounsaturated fat diet enriched with avocado in NIDDM patients. *Diab Care* 17(4): 311-5.

Lil X. Y., Chen X. G., Cha D. S, Park H. J. y Liu C. S. (2009). Microencapsulation of a probiotic bacteria with alginate–gelatin and its properties; *Journal of Microencapsulation*; 26(4): 315–324.

López Ledesma, R., Frati Munari, A.C., Hernández Domínguez, B.C., Cervantes Montalvo, S., Herandez Luna, M.H, Juárez, C. y Moran Lira, S. (1996). Monounsaturated fatty acid (avocado) rich diet for mild hipercolesterolemia. *Arch. Med. Res*. 27(4):519-23.

Lozano-Berna M. (2009). Obtención de microencapsulados funcionales de zumo de *Opuntia stricta* mediante secado por atomización. Universidad Politécnica de Cartagena. Escuela Técnica Superior de Ingeniería Industrial. España, 3-4, 21-24.

Lu Q., Zhang Y., Wang Y. y Lee R. (2009). *Journal of Agricultural and Food Chemistry*; 57: 10408-13.

Madene, A., Scher J. y Desobry S. (2006). Flavour encapsulation and controlled release a review. *International Journal of Food Science and Technology* 4(1):1-21.

Maji, T., I. Baruah, S. Dube y M. Hussain. (2007). Microencapsulation of *Zanthoxylum limonella* oil (ZLO) in glutaraldehyde crosslinked gelatin for mosquito repellent application. *Bioresource Technology* 98(4): 840-844.

Martín, L. (2007). Microencapsulación mediante la tecnología flow focusing para aplicaciones biotecnológicas y biomédicas. Facultad de farmacia. Universidad de Sevilla. España.

Masters, K. (2002). *Spray Drying in practice*. Ed. SprayDrayConsult International Aps, Charlottenlund, Denmark.

Matos Chamorro A.; Quispe Condori S. y Mas Chuquizuta K. J. (2011). Determinación de la Eficiencia de Microencapsulación de Aceite Esencial de Orégano (*Origanum vulgare*) en  $\beta$ -Ciclodextrina. I Congreso nacional de investigación Lima, Perú.

McNamee, F.B., O'Riordan, E.D. y O'Sullivan, M. (2001). Effect of partial replacement of gum arabic with carbohydrates on its microencapsulation properties. *Journal of Agriculture of food Chemistry*. 49, 3385-3388.

Meyer P, Martín W.D y Rodwell A.V. (1982). *Bioquímica de Harper (Antes el Manual de Química- Fisiología)*. El Manual Moderno, 197-302.

Minemoto Y., Hakamata K., Adachi S. y Matsuno R. (2002). Oxidation of linoleic acid encapsulated with gum arabic or maltodextrin by spray-drying. *J Microencapsul*. 19(1):181-9.

Montes E., De Paula C. A. y Ortega F. (2007). Determinación de las condiciones óptimas del encapsulamiento por co- cristalización de jugo de maracuyá (*Passiflora edulis*). *Temas agrarios*. 12: 5-12.

Moreira S.M., Moreira-Santos M., Guilhermino L. y Ribeiro R. (2006). Immobilization of the marine microalga *Phaeodactylum tricornutum* in alginate for in situ experiments: bead stability and suitability. *Enzyme Microbiology Technology* 38, 135-141.

Mozaffarian D. y Clarke R. (2008). Quantitative effects on cardiovascular risk factors and coronary heart disease risk of replacing partially hydrogenated vegetable oils with other fats and oils. *Eur J Clin Nutr*. 79:147-152.

Mozaffarian D., Katan M.B., Ascherio A., Stampfer M.J. y Willett W.C. (2006). *Trans fatty acids and cardiovascular disease*. *N Engl J Med*. 354:1601-1613.

Muthuselvi L. y Dhathathreyan A. (2006). Simple coacervates of zein to encapsulate gitoxin. *Colloids and Surfaces* 51(1): 39-43.

Nickerson J. y Karel M. (1964). Preservation of foods by freezing. In: Joslyn, Mand lteid, J. *Food Processing operations*. V3. Wesport Connecticut, the Avi. Publ.

Ocampo Zaragoza A.A. (2014). Secado por aspersion de extracto de Stevia. Tesis ingeniería bioquímica; Chiapas, México; Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez.

Olaeta, J.A. (2003). Industrialización del aguacate: estado actual y perspectivas futuras. Granada – Málaga, España. 749-754 p.

Oomah, B. D. y Mazza, G. (2001). Optimization of a spray drying process for flaxseed gum. *International Journal of Food Science and Technology*, 36, 135-143.

Ortega T.M.A. (2003). Actas del V Congreso Mundial del Aguacate. Valor nutrimental de la pulpa fresca de aguacate has, 741-748.

Ortiz, A., Mora R., Santiago T. y Dorantes L. (2003). Obtención de una pasta de aguacate mediante tratamiento térmico. Granada –Málaga, España, 761-768 p.

Ozdemir, F. y Topuz, A. (2004). Changes in dry matter, oil content and fatty acids composition of avocado during harvesting time and post-harvesting ripening period. En: *Food Chemistry*. 86, 79-83.

Palzer, S. (2009). Review: Food structures for nutrition, health and wellness. *Trends in Food Science and Technology*, 20(5): 194-200.

Pamplona J. (2003). El poder medicinal de los alimentos. (1ra ed). Buenos Aires, Argentina: Editorial Safeliz, S.L.

Parize A., Rozone T., Costa I., Fávere V., Laranjeira M., Spinelli A. y Longo E. (2008). Microencapsulation of the natural urucum pigment with chitosan by spray drying in different solvents. *African Journal of Biotechnology* 7(17): 3107-3114.

Parra-Huertas R. A. (2010). Microencapsulación de Alimentos.; *Food Microencapsulation: A Review*, Revista Facultad de Agropecuarias Medellín; 63(2):5669-5684.

Pedroza-Islas R. (2002). Alimentos Microencapsulados: Particularidades de los procesos para la microencapsulación de alimentos para larvas de especies acuícolas. Memorias del VI Simposium Internacional de Nutrición Acuícola realizado en Quintana Roo. México.

Pegg R.B. y Shahidi F. (1999). Encapsulación y liberación controlada en la conservación de alimentos, *Food Science and Technology*, 611-667.

Pérez R. R., Villanueva S. R. y Cosío R. R. (2005). El aceite de aguacate y sus propiedades nutricionales. *e-Gnosis*, 3(10), 1–11.

Pino, J. (1997). Los constituyentes volátiles de las frutas tropicales. En: *Alimentaria. Revista de tecnología e higiene de los alimentos*, 286, 51-54.

Rahman M.S. (2003). *Manual de conservación de los alimentos.*; Editorial Acribia.; 1ª Edición; España.

Raloff, J. (1998). Unsaturated fats play yin-yang cancer role. Research reveals cancer protection from monounsaturated fats and enhanced risk from polyunsaturated fats. *Sci News*.

Ratovohery J.V., Lozano Y.F. y Gaydou E.M. (1988). Fruit Development Effect on Fatty Acid composition of *Persea americana* Fruit Mesocarp. *J. Agric. Food Chem.*, 36: 287-293.

Reed. Avocados. (2001). The new wonder oil. En: *Food New Zealand*, 31(1), 20-25.

Requejo C., Wong M., McGhie T., Eyres L., Boyd L. y Woolf A. (2003). Cold pressed avocado oil—a healthy development. *The Orchardist* October 76:56–58.

Rivas Gil A., Lárez C., Amaro J.M. y Bahsas A. (2006). 2-Alquil-4-Hidroxi-Tetrahidrofuranos de la Pulpa del Aguacate. *Avances en Química*, . 35-37.

Rodríguez-Carpena J. G., Morcuende D. y Estévez, M. (2012). Avocado, sunflower and olive oils as replacers of pork back-fat in burger patties: effect on lipid composition, oxidative stability and quality traits. En: *Meat science*, 90(1), 06-115.

Rustrián-Castellanos I. E. (2012). Microencapsulación del consorcio microbiano de la “taberna” utilizando secado por aspersión. Tesis de maestría en ciencias en ingeniería bioquímica; Chiapas, México; Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez.

SAGARPA (2008). Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. En: *Anuario Estadístico de Producción Agrícola de los Estados Unidos Mexicanos*. <http://www.sagarpa.gob.mx>

Salas J., López-Miranda J., Jansen S., Zambrana J.L., Castro P., Paniagua J.A., Blanco, A., López-Segura F., Pérez-pérez, JA. y Pérez-Jiménez, F. (1999). La dieta rica en grasa monoinsaturada modifica de forma beneficiosa el metabolismo de los hidratos de carbono y la presión arterial. *Med Clin (Barc)*; 113(20):765-769.

Salazar, M. J. (2005). Effect of an avocado oil-rich diet over an angiotensin II-induced blood pressure response. *Journal of Ethnopharmacology*, 98(3), 335-338.

SENASICA (2014). Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria. Plagas reglamentadas del aguacatero. <http://www.senasica.gob.mx/?id=4518>.

SIAP (2010). Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. El aguacate; Joya Mexicana.

Silva, V.M., Vieira, G.S. y Hubinger M.D. (2014). Influence of different combinations of wall materials and homogenization pressure on the microencapsulation of green coffee oil by spray drying. *Food Research International*, 3, 43.

Sharma B.R., Narres L. y N.C. Dhuldhoya, S.U. Comerciante y U.C. Comerciante Lucid (2011). La Goma Xantana en la Industria Alimentaria; Mundo Alimentario.

Swisher H.E. (1988). Avocado oil e from food use to skin care. *J Am Oil Chem Soc*, 65(11):1704-1706.

Tan L. H., Chan W., y Heng W. S. (2005). Effect of oil loading on microspheres produced by spray drying. *Journal of Microencapsulation*, 22(3), 253–259.

Thevenet F. (1995). Acacia gums: Natural encapsulation agent for food ingredients, *Encapsulation and Controlled Release of Food Ingredients*; ACS Symposium Series No. 590, American Chemical Society; Washington, DC, p. 51.

Thevenet F. (1988). Acacia gums: Stabilizers for flavor encapsulation; *Flavor Encapsulation*, ACS Symposium Series No. 370; American Chemical Society; Washington, DC, p. 37

Tonon R., Grosso C. y Hubinger M. (2011). Influence of emulsion composition and inlet air temperature on the microencapsulation of flaxseed oil by spray drying, *Food Research International* 44, 282–289.

Valenzuela, A.M. (1986). Extracción y caracterización del aceite de aguacate. Tesis Ing. Bioquímica. Valparaíso, Universidad Católica de Valparaíso, Facultad de Ingeniería.

Velasco J., Dobarganes C. y Márquez-Ruiz G. (2003). Variables affecting lipid oxidation in dried microencapsulated oils. *Grasas y Aceites*, 54, 304–314

Wandrey, C., A. Bartkowiak, y S. Harding. (2010). Encapsulation technologies for active food ingredients and food processing.

Wand, W., Bostic T. R. y Gu L. (2010). Antioxidant capacities, procyanidins and pigments in avocados of different strains and cultivars. *Food Chemistry*. 122(4), 1193-1198.

Werman M.J. y Neeman I. (1987). Avocado oil production and chemical characteristics. *J Am Oil Chem Soc*, 64(2):229-232.

Wiley, R. C. (1997). *Frutas y hortalizas mínimamente procesadas y refrigeradas*, Ed. Acribia, España, 74-75.

Yáñez-Fernández C., Salazar Montoya J.A., Chaires Martínez L., Hernández J., Márquez Robles M. y Ramos Ramírez E.G. (2005). Aplicaciones Biotecnológicas de la Microencapsulación. *Mundo alimentario*: 24-26.

Young, S., Sarda X. y Rosenberg M. (1992). Microencapsulating properties of whey proteins with carbohydrates. *Journal Dairy Science* 76(10): 2878-2885.

Zuidam, N. J. y Shimoni, E. (2010). Overview of Microencapsulates for Use in Food Products or Processes and Methods to Make Them. En N. J. Zuidam & V. A. Nedović (Eds.), *Encapsulation Technologies for Active Food Ingredients and Food Processing* (pp. 3–30). Springer Science+Business Media. doi:10.1007/978-1-4419-1008-0\_2.