



**UNIVERSIDAD VERACRUZANA**



**INSTITUTO DE CIENCIAS BÁSICAS**

**EFFECTO DEL PROCESO DE EXTRACCIÓN DE ACEITE DE  
AGUACATE EN LA CALIDAD DE UN ADEREZO DE  
MAYONESA ELABORADO APLICANDO ULTRASONIDO**

**TESIS**

Que para obtener el grado de Maestro en Ciencias Alimentarias

Presenta:

I.Q. Rosa Carmina Ayala Tirado

Director:

Dra. Rosa Isela Guzmán Gerónimo

Xalapa, Veracruz

Octubre, 2017



La presente tesis titulada

**Efecto del proceso de extracción de aceite de aguacate en la  
calidad de un aderezo de mayonesa elaborado aplicando  
ultrasonido**

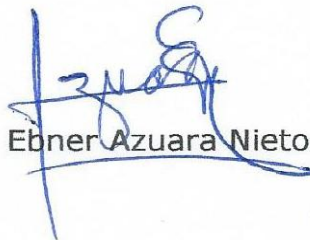
Realizada por la

**I.Q. ROSA CARMINA AYALA TIRADO**

Ha sido aprobada por el comité de evaluación de tesis, y aceptada como  
requisito parcial para la obtención del grado de:

**Maestro en Ciencias Alimentarias**

Otorgando su autorización como jurado para ser presentada y defendida  
oralmente el 11 de octubre de 2017.



Dr. Ebner Azuara Nieto



Dr. Oscar García Barradas



Dra. Yolanda Cocotle Ronzón

## **DEDICATORIAS**

*A mi familia, por su apoyo, sus consejos durante este trayecto de maestría y por cuidar a Lulú cuando no me era posible para que pudiera cumplir con mi trabajo de tesis.*

*A todos quienes que me brindaron su amistad, su apoyo, sus consejos y que de alguna manera contribuyeron para que este trabajo siguiera adelante.*

## **AGRADECIMIENTOS**

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por la beca otorgada para poder sustentar mis estudios de maestría.

A mi directora de tesis la Dra. Rosa Isela Guzmán Gerónimo por asesorarme y apoyarme a lo largo de este trabajo de investigación.

A la Dra. Yolanda Cocotle Ronzón por permitirme trabajar en el laboratorio No. 5 en la Facultad de Ciencias de Químicas de la Universidad Veracruzana donde se llevó a cabo parte de este trabajo.

A la Dra. María Remedios Mendoza López por su apoyo para el análisis de los perfiles de ácidos grasos de los aceites estudiados en esta investigación.

A mis sinodales el Dr. Ebner Azuara Nieto, el Dr. Oscar García Barradas y la Dra. Yolanda Cocotle Ronzón por sus observaciones y sugerencias a mi trabajo.

A Monse por compartirme de sus conocimientos de microbiología y apoyarme durante mi estancia en el laboratorio No. 5 en la Facultad de Ciencias Químicas.

## ÍNDICE

ÍNDICE DE TABLAS .....	iv
ÍNDICE DE FIGURAS .....	v
RESUMEN .....	viii
SUMMARY .....	ix
1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. MARCO TEÓRICO .....	3
2.1 El aguacate .....	3
2.1.1 Aguacate: orígenes.....	3
2.1.2 Clasificación botánica .....	3
2.1.3 Cosecha y poscosecha.....	5
2.1.4 Composición .....	6
2.1.5 Producción mundial y nacional .....	9
2.1.6 Usos y aplicaciones .....	12
2.2 Aceites .....	15
2.2.1 Grasas y aceites: definición y clasificación .....	15
2.2.2 Extracción de los aceites .....	16
2.2.3 Extracción del aceite de aguacate .....	17
2.2.4 Estabilidad de los aceites .....	18
2.3 Mayonesa .....	19
2.3.1 Origen.....	19
2.3.2 Definición .....	20
2.3.3 Aderezos con mayonesa .....	20
2.3.4 Emulsiones .....	21
2.3.5 Estabilidad de las emulsiones.....	23
2.3.6 Estabilidad de las mayonesas .....	24
2.3.7 Emulsificantes.....	26
2.3.8 Elaboración de mayonesa: Proceso convencional.....	28
2.3.9 Composición nutrimental de la mayonesa .....	31
2.3.10 Innovaciones en la industria .....	33

2.4 Ultrasonido .....	34
2.4.1 Principios .....	34
2.4.2 Aplicaciones.....	36
2.4.3 Impacto en la calidad del producto .....	41
3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	43
4. JUSTIFICACIÓN.....	44
5. OBJETIVOS.....	45
5.1 Objetivo general .....	45
5.2 Objetivos específicos .....	45
6. HIPÓTESIS.....	45
7. METODOLOGÍA .....	46
7.1 Materia prima .....	46
7.2 Elaboración y caracterización de los aderezos de mayonesa con aguacate .....	47
7.2.1 Elaboración del aderezo de mayonesa por tecnología convencional .....	47
7.2.2 Elaboración del aderezo de mayonesa por la tecnología del ultrasonido .....	47
7.2.3 Determinación de color en los aderezos .....	48
7.2.4 Pruebas químicas .....	49
7.2.5 Estabilidad de la emulsión .....	49
7.2.6 Pruebas microbiológicas.....	50
7.2.7 Pruebas sensoriales .....	50
7.3 Extracción y caracterización de los aceites de aguacate .....	51
7.3.1 Extracción del aceite por ultrasonido más centrifugación .....	51
7.3.2 Cálculo del rendimiento de extracción del aceite .....	51
7.3.3 Análisis químico de los aceites .....	52
7.3.4 Determinación del perfil de ácidos grasos a los aceites .....	52
7.3.5 Determinación del color en los aceites .....	53
7.3.6 Prueba sensorial a los aceites .....	53
7.4 Análisis de oxidación del aderezo de mayonesa elaborado con aceite extraído con ultrasonido .....	53
7.5 Prueba sensorial a los aderezos elaborados mediante ultrasonido .....	54
7.6 Análisis estadístico.....	54

8. RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	55
8.1 Elaboración y caracterización de los aderezos de mayonesa elaborados con aceite comercial de aguacate .....	55
8.1.1 Análisis de pH y color de los aderezos de mayonesa con aguacate .....	55
8.1.2 Procesamiento del aderezo de mayonesa con ultrasonido.....	58
8.1.3 Selección de los aderezos de mayonesa elaborados con aceite comercial ...	58
8.1.4 Determinaciones químicas a los aderezos de mayonesa con aguacate elaborados con aceite comercial .....	59
8.1.5 Estabilidad de la emulsión en los aderezos .....	60
8.1.6 Determinaciones microbiológicas a los aderezos de mayonesa con aguacate elaborados con aceite comercial .....	60
8.1.7 Evaluación sensorial para los aderezos elaborados por proceso convencional y ultrasonido con aceite comercial.....	62
8.2 Extracción y caracterización del aceite de aguacate.....	68
8.2.1 Extracción del aceite de aguacate mediante ultrasonido más centrifugación .	68
8.2.2 Evaluación sensorial de los aceites de aguacate .....	70
8.2.3 Color en los aceites de aguacate.....	72
8.2.4 Caracterización química a los aceites comercial y extraído por ultrasonido más centrifugación .....	74
8.2.5 Perfil de ácidos grasos.....	76
8.3 Elaboración de aderezo de mayonesa de aguacate mediante ultrasonido con el aceite extraído por medio de ultrasonido más centrifugación .....	80
8.3.1 Determinaciones químicas al aderezo de mayonesa de aguacate elaborado mediante ultrasonido con el aceite extraído.....	80
8.3.2 Color CIE L* a* b* en los aderezos elaborados mediante ultrasonido .....	80
8.3.3 Calidad microbiológica del aderezo de mayonesa elaborado mediante ultrasonido con aceite extraído por ultrasonido y centrifugación .....	82
8.3.4 Estabilidad del color en el aderezo de mayonesa elaborado con ultrasonido.	83
8.3.5 Evaluación sensorial a los aderezos elaborados con ultrasonido .....	85
9. CONCLUSIONES .....	90
10. RECOMENDACIONES .....	91

11. BIBLIOGRAFÍA .....	92
12. ANEXO 1.....	102
13. ANEXO 2.....	104
14. ANEXO 3.....	106

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Razas de aguacate, tipo de corteza, comparación entre el contenido de aceite y peso. ....	5
Tabla 2. Composición general de los ácidos grasos en la pulpa de aguacate variedad Hass. ....	6
Tabla 3. Contenido de vitaminas y composición de la pulpa de aguacate .....	8
Tabla 4. Contenido de minerales y composición de la fruta fresca de aguacate.....	8
Tabla 5. Principales países productores de aguacate en toneladas/año. ....	10
Tabla 6. Producción de aguacate a nivel nacional por estado, expresada en toneladas/año.....	11
Tabla 7. Formulaciones típicas de mayonesa .....	22
Tabla 8. Composición nutricional de la mayonesa .....	32
Tabla 9. Parámetros L*a*b* para los aderezos de mayonesa con aceite comercial .....	56
Tabla 10. Valores de cromaticidad X, Y, Z para los aderezos de mayonesa con aceite comercial.....	57
Tabla 11. Análisis químico para los aderezos de mayonesa con aceite comercial .....	59
Tabla 12. Estabilidad de la emulsión de los aderezos de mayonesa con aguacate elaborados con aceite comercial.....	60
Tabla 13. Comparación de análisis microbiológicos para el aderezo de mayonesa convencional y con ultrasonido elaborados con aceite comercial en el tiempo 0.....	61
Tabla 14. Comparación de análisis microbiológicos para el aderezo de mayonesa convencional y con ultrasonido a los 15 días de almacenamiento.....	62
Tabla 15. Condiciones que proporcionaron el mayor rendimiento de extracción de aceite de aguacate.....	69
Tabla 16. Parámetros de color en los aceites comercial y extraído por ultrasonido.....	73



Tabla 17. Caracterización química del aceite de aguacate comercial.....	75
Tabla 18. Caracterización química del aceite extraído por ultrasonido .....	76
Tabla 19. Perfil de ácidos grasos para los aceites comercial y extraído por ultrasonido	77
Tabla 20. Composición de ácidos grasos de aceite de aguacate ( <i>Persea americana</i> Mill) .....	79
Tabla 21. Análisis químico del aderezo de mayonesa elaborado mediante ultrasonido con aceite extraído por ultrasonido más centrifugación .....	80
Tabla 22. Parámetros de color en los aderezos elaborados con aceite comercial y extraído con ultrasonido .....	81
Tabla 23. Determinaciones microbiológicas al aderezo elaborado con el aceite extraído .....	83
Tabla 24. Estabilidad del color en el aderezo de mayonesa elaborado con el aceite extraído con ultrasonido .....	84

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Composición general de la pulpa de aguacate .....	7
Figura 2. Proceso de elaboración de mayonesa en lotes.....	29
Figura 3. Proceso continuo de elaboración de mayonesa.....	30
Figura 4. Diagrama experimental de trabajo .....	46
Figura 5. Proceso de elaboración del aderezo de mayonesa con ultrasonido .....	48
Figura 6. Diagrama de cromaticidad CIE 1931 (x,y).....	49
Figura 7. Aderezos de mayonesa con aguacate elaborados por proceso convencional y ultrasonido a diferentes amplitudes de onda.....	55
Figura 8. Color en los aderezos en el diagrama de cromaticidad.....	57
Figura 9. Aderezo de mayonesa tratado con ultrasonido .....	58
Figura 10. Aderezos de mayonesa con aguacate elaborados con aceite comercial por proceso convencional y ultrasonido al 60% de amplitud .....	59
Figura 11. Frecuencia en el consumo de mayonesas y aderezos por los 25 panelistas encuestados .....	63
Figura 12. Olor en el aderezo de mayonesa convencional .....	64

Figura 13. Olor en el aderezo de mayonesa con ultrasonido .....	64
Figura 14. Color en el aderezo de mayonesa convencional.....	65
Figura 15. Color en el aderezo de mayonesa con ultrasonido .....	65
Figura 16. Textura en el aderezo de mayonesa convencional .....	66
Figura 17. Textura en el aderezo de mayonesa con ultrasonido.....	66
Figura 18. Sabor en el aderezo de mayonesa convencional.....	67
Figura 19. Sabor en el aderezo de mayonesa con ultrasonido .....	67
Figura 20. Aderezo de mayonesa con aguacate preferido por los consumidores .....	68
Figura 21. Aceite de aguacate obtenido por ultrasonido más centrifugación .....	69
Figura 22. Comparación visual de aceites de aguacate.....	70
Figura 23. (a) Olor en el aceite comercial y (b) olor en el aceite extraído con ultrasonido .....	71
Figura 24. (a) Color en el aceite comercial y (b) Color en el aceite extraído con ultrasonido .....	71
Figura 25. (a) Sabor en el aceite comercial y (b) Sabor en el aceite extraído con ultrasonido.....	72
Figura 26. Color en los aceites de acuerdo al sistema CIE.....	73
Figura 27. Comparación de color entre (a) aceite comercial y (b) extraído por ultrasonido .....	74
Figura 28. Cromatograma de iones totales para el aceite comercial.....	78
Figura 29. Cromatograma de iones totales para el aceite extraído por ultrasonido .....	78
Figura 30. Comparación visual de los aderezos de mayonesa con aceite de aguacate sin adicionar la pulpa, (a) Aderezo de mayonesa con aceite comercial y (b) Aderezo de mayonesa con aceite extraído por ultrasonido más centrifugación.....	79
Figura 31. Color en los aderezos elaborados mediante ultrasonido (a) con aceite comercial) y (b) con aceite extraído con ultrasonido .....	81
Figura 32. Aderezo de mayonesa con aguacate elaborado mediante ultrasonido con el aceite extraído por ultrasonido y centrifugación .....	82
Figura 33. Color en el aderezo elaborado mediante ultrasonido con el aceite extraído con ultrasonido.....	84
Figura 34. Olor en el aderezo de mayonesa con aceite comercial.....	85

Figura 35. Olor en el aderezo de mayonesa con aceite extraído por ultrasonido.....	85
Figura 36. Color en el aderezo de mayonesa con aceite comercial .....	86
Figura 37. Color en el aderezo de mayonesa con el aceite extraído por ultrasonido .....	86
Figura 38. Textura en el aderezo de mayonesa con aceite comercial .....	87
Figura 39. Textura en el aderezo de mayonesa con aceite extraído por ultrasonido .....	87
Figura 40. Sabor en el aderezo de mayonesa con aceite comercial .....	88
Figura 41. Sabor en el aderezo de mayonesa con aceite extraído por ultrasonido .....	88
Figura 42. Aderezo elaborado con ultrasonido de mayor preferencia .....	89

## RESUMEN

México es el principal productor de aguacate a nivel mundial. Actualmente se ha incrementado la producción de este fruto, hecho que ha llevado al sector productivo a buscar alternativas de industrialización; pero se ha encontrado con un gran reto tecnológico, la pulpa del aguacate es muy susceptible a ser oxidada por la enzima polifenoloxidasas lo que hace más difícil el desarrollo de nuevos productos y por otra parte hay una creciente demanda por el consumo de alimentos menos procesados con mayor valor nutricional. Ahí el interés de estudiar el uso de tecnologías no convencionales como el caso del ultrasonido. Por lo cual el objetivo del presente trabajo fue estudiar el efecto del proceso de extracción de aceite de aguacate en la calidad de un aderezo de mayonesa con aguacate aplicando ultrasonido. Para lo cual se elaboraron cuatro aderezos: uno con el proceso convencional y tres aplicando ultrasonido y usando aceite de aguacate comercial. Se seleccionó uno de los tres aderezos procesados con ultrasonido para su comparación con el elaborado de forma convencional, se determinó pH, acidez, color y estabilidad de la emulsión. Así mismo se realizó el análisis microbiológico de acuerdo a la normatividad mexicana y su nivel de agrado y preferencia mediante pruebas sensoriales. Por otra parte, se extrajo un aceite de aguacate y se elaboró un aderezo con este aceite, ambos procesos aplicando ultrasonido, a los cuales se les realizó una evaluación química y microbiológica de acuerdo a la normatividad mexicana, así como pruebas sensoriales. Los aderezos elaborados con ultrasonido presentaron una menor degradación del color y mayor aceptabilidad en cuanto al color y sabor, cumplen con lo establecido en la normatividad mexicana en cuanto a acidez y pH. El aderezo elaborado con el aceite extraído con ultrasonido presentó un color verde más llamativo con mayor aceptabilidad. Esta tecnología redujo la carga microbiana sin la necesidad de pasteurización y cumplió con la normatividad mexicana. Así mismo el ultrasonido permitió la extracción del aceite de aguacate con una mayor aceptación del olor, color y sabor y un olor característico a aguacate, en comparación con una muestra comercial, cumplió con los parámetros establecidos por la normatividad mexicana y presentó un perfil de ácidos grasos dentro de los parámetros para un aceite de aguacate.

Palabras clave: pulpa de aguacate, aceite de aguacate, ultrasonido, aderezo de mayonesa.

## SUMMARY

Mexico is the number one producer of avocado in the world. Actually the production of this fruit has been increased, which has led to the productive sector to look for alternatives of industrialization, but the avocado pulp is very susceptible to be oxidized by the enzyme polyphenoloxidase which makes the development of new products more difficult and on the other there is a growing demand for less processed foods with higher nutritional value. From there the interest of studying non-conventional technologies such as the case of ultrasound. This work was aimed at to study the effect of the extraction process of avocado oil on the quality of a mayonnaise dressing with avocado applying ultrasound. For which they were elaborated four dressings, a conventional and three ultrasonic process with a commercial avocado oil, one of the three dressings processed with ultrasound was selected for comparison with the one prepared in a conventional form, measured pH, acidity, color and stability of the emulsion. Likewise, the microbiological analysis were realized according to Mexican regulations and its level of liking and preference through sensory tests. On the other hand the extract an avocado oil and a dressing was made with this oil, both applying this technology, one of which was made a chemical and microbiological evaluation according to Mexican regulations, as well as sensory tests. Ultrasonic dressings showed less color degradation and more acceptance in terms of color and taste; comply with Mexican regulations in terms of acidity and pH. The dressing made with the oil extracted with ultrasound shows a more striking green color with the mayor acceptability. This technology reduced the microbial load without the need of pasteurization and complied with Mexican regulations. In addition, the ultrasound allowed the extraction of the avocado oil with a greater acceptance of the smell, the color and the flavor and a characteristic smell an avocado, in comparison with a commercial sample, fulfilled with the parameters set by the Mexican normativity and presented a profile of fatty acids within the parameters for an avocado oil.

Key words: avocado pulp, avocado oil, ultrasound, mayonnaise dressing.

## 1. INTRODUCCIÓN

El aguacate (*Persea americana* Mill), fue considerado la cuarta fruta tropical más importante en el mundo por la FAO en 2009, posee valiosas propiedades nutrimentales principalmente por su alto contenido de aceite, alrededor del 15 al 19% (Schwartz *et al.* 2001), en su mayoría ácidos grasos insaturados (Ortega, 2003), además contiene hidratos de carbono, vitaminas y minerales, principalmente vitaminas A, C, E, B<sub>1</sub>, B<sub>2</sub> y B<sub>6</sub>, potasio, magnesio, fósforo, calcio y otros minerales (Cowan y Wolstenholme, 2016). Estas características le confieren grandes posibilidades para aumentar su consumo en la dieta humana (Rodríguez, 1992).

Por otra parte, México es el principal productor de aguacate a nivel mundial, tan sólo en 2016 de acuerdo a estadísticas de los Servicios de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP) la producción fue de 1,878,599 toneladas, su producción representa más del 40% de la cosecha mundial y casi todo es destinado a la exportación por su excelente calidad, principalmente a Estados Unidos, Francia, Japón y Canadá. A nivel nacional, Michoacán es el estado donde más se produce con aproximadamente 1,456,748 toneladas en 2016 según datos de los Servicios de información agroalimentaria y Pesquera (SIAP, 2016).

Una alternativa para la comercialización de estos grandes volúmenes es la industrialización del fruto del aguacate, el cual se comercializa principalmente como pulpa fresca, refrigerada o congelada; rebanadas, salsas, polvos y aceite, tradicionalmente utilizado para fines cosméticos y se ha incrementado su uso para fines culinarios (Secretaría de Economía, 2012; Restrepo *et al.* 2012; Cowan y Wolstenholme, 2016). La pulpa es la que mayormente se produce al ser la base del guacamole que es muy popular en México donde se tienen el mayor consumo de aguacate del mundo y ahora también en Estados Unidos, el principal importador de aguacate mexicano, según la Asociación de Productores y Empacadores Exportadores de Aguacate de México A.C. en 2016.

Otra posibilidad para el aprovechamiento de este fruto es la elaboración de un aderezo de mayonesa con aceite y pulpa de aguacate considerando que la mayonesa es un producto que se ha colocado en el gusto de muchas personas y es ampliamente utilizado hoy en día como aderezo de diversos alimentos, además de considerar los beneficios que la pulpa y aceite de aguacate pueden aportar a la salud.

Así mismo la tendencia de los consumidores de alimentarse con productos saludables, ha llevado a buscar tecnologías no convencionales que no modifiquen los componentes intrínsecos de los alimentos (Hoover, 2000) como es el caso del ultrasonido, que es útil para obtener un procesamiento mínimo de los alimentos, sin afectar sus características sensoriales, funcionales y nutrimentales, esto se debe a que la transferencia de energía acústica al producto alimenticio es instantánea y en todo el volumen del producto (Chemat, *et al.* 2004).

El ultrasonido ofrece ventajas en términos de productividad, rendimiento y selectividad, ya que se obtienen mejores tiempos de proceso, mejora la calidad, reduce riesgos químicos y físicos. Actualmente es considerada una tecnología de procesamiento sustentable, debido a que emplea menos tiempo, agua y energía. Entre sus diversas aplicaciones, esta tecnología ha demostrado tener mejores resultados en comparación con las formas convencionales de emulsificación al disminuir el tamaño de partícula por el efecto de la cavitación, por lo que se considera una tecnología atractiva en la producción de diversos productos como es el caso de la mayonesa. Además de ser utilizado en procesos de extracción al favorecer la liberación de compuestos a extraer por el rompimiento de la pared celular a causa de la cavitación, lo cual hace que esta tecnología sea atractiva para la extracción de aceite (Chemat *et al.* 2011).

La elaboración de un aderezo de mayonesa de aguacate tiene varios retos tecnológicos, ya que al ser rico en lípidos, su procesamiento térmico puede conducir a la oxidación de estos compuestos, afectando la calidad sensorial del producto en cuanto al sabor, mientras que el oscurecimiento enzimático puede afectar el color. Ante ello, tecnologías no convencionales como el ultrasonido ofrece ventajas debido a que el fenómeno de cavitación inactiva enzimas y microorganismos, minimiza la degradación de macrocomponentes como los lípidos y mantiene en mayor grado la calidad sensorial. Por lo que, en el presente trabajo se evaluó el efecto del procesamiento con ultrasonido en la calidad de un aderezo de mayonesa de aguacate en comparación con uno elaborado de forma convencional, así mismo con la finalidad de lograr un producto de calidad aceptable para el consumidor en cuanto al color y sabor se evaluó el efecto del empleo de un aceite extraído con ultrasonido y comercial en la elaboración del aderezo.

## 2. MARCO TEÓRICO

### 2.1 El aguacate

#### 2.1.1 Aguacate: orígenes

El aguacate, como se le conoce en Centroamérica y México, y como palta en Perú y otros países más al sur, es originario de Mesoamérica, de la parte centro de México y algunas partes altas de Guatemala. A partir de pruebas arqueológicas encontradas en Tehuacán, Puebla, se determinó que México es el centro de origen y de expansión de este producto distribuyéndose hacia el centro y sur de América y posteriormente con la colonización española llegó a otros puntos fuera del continente (Rodríguez, 1992). Su nombre nativo deriva del náhuatl “ahuacatl” o “aoacatl”, que significa testículos (Calabrese, 1992).

Esta fruta era consumida por las poblaciones indígenas y fue muy importante para las civilizaciones azteca y maya (Garbanzo, 2011). Los aztecas llamaban al árbol Ahuacaquahuitl (quahuitl significa árbol) y representaban sus zonas con abundantes plantaciones de aguacate (Calabrese, 1992). Era muy apreciado para los pueblos indígenas por sus propiedades desde lo nutritivo, lo curativo, hasta lo cosmetológico y religioso (Restrepo *et al*, 2012). Los aztecas, creían que el fruto del aguacate era un afrodisíaco y lo vinculaban con los dioses de la fertilidad, por esta razón desempeñó un papel sagrado y lo prohibieron durante las fiestas religiosas prehispánicas en las que debían guardar castidad (Villanueva y Verti, 2007). Dada su importancia y la diversidad de usos que ha tenido a través de los años se ha convertido en un producto con un amplio potencial en diversos usos alimenticios e industriales, que lo han convertido en un producto demandado a nivel internacional (Barrientos, 2010).

#### 2.1.2 Clasificación botánica

El aguacate es una dicotiledónea perteneciente al orden de las Ramales y a la familia de las Lauráceas. Fue clasificada por Gaertner como *Persea gratissima* y como *Persea americana* por Miller. Su nombre (*Persea gratissima* Gaert. f. = *Persea americana* Mill) deriva de la palabra nativa “aoacatl” o “ahuacatl” (Rodríguez, 1992). Los frutos de aguacate tienen una coloración verdosa o amarillenta con una consistencia cremosa y un sabor a nuez (Encyclopedia Britannica, 2012). Se cree que el aguacate proviene de una



especie única que fue adquiriendo diferentes características por los efectos de los diversos climas donde se cultivaba. Sin embargo, hay quienes sostienen que este árbol proviene de tres razas diferentes (Villanueva y Verti, 2007).

En México nuestros antepasados tenían un conocimiento respecto al aguacate y a sus variantes, esto se muestra en el Códice Florentino, ahí se mencionan tres tipos de aguacate, que de acuerdo a su descripción en ese tiempo; “aoacatl” podría tratarse de *Persea americana* variedad *Drymifolia* (raza mexicana) “tlacacolaocatl” a *Persea americana* variedad Americana (raza antillana) y “quilaocatl” a *Persea americana* variedad Guatemalensis (raza guatemalteca) (Barrientos, 2010).

Las diversas variedades de aguacate se agrupan en tres razas, las cuales son:

**Mexicana:** Su principal característica es que las hojas despiden un olor a anís al triturarlas (Garbanzo, 2011), es muy resistente al frío, así como también tiene un alto contenido de aceite. El tamaño del fruto es variable, con tendencia a pequeño (SFA, 2011), es de cáscara delgada, lisa y suave, la semilla puede estar adherida o suelta, es común que lleguen a presentar fibra en la pulpa, aunque ésta no se encuentra en la mayoría de las especies cultivadas (Barrientos y López, 2002).

**Guatemalteca:** Su principal característica es su cáscara bastante gruesa (SFA, 2011) si se compara con las otras razas, lo que le permite la resistencia del fruto al transporte, Otra característica es el tamaño pequeño y forma redonda de la semilla (Barrientos y López, 2002).

**Antillana:** Se adapta a clima tropical y es más tolerante a la salinidad, tiene un lapso de flor a fruto bastante corto y el tamaño de su fruto es mayor que las otras razas (Barrientos y López, 2002).

Las diferencias de cada una de estas tres razas pueden ser observadas más claramente en la Tabla 1, donde se expresa el tipo de corteza, el contenido de aceite y el peso para cada una de ellas.

Para conseguir el mayor aprovechamiento de este fruto en el procesamiento, es necesario una selección apropiada de la variedad; por lo que se deben de tomar en cuenta varios factores como son el rendimiento de la variedad, el estado de madurez, la aceptación por parte del consumidor, el mercado, el manejo poscosecha, entre otros (Garbanzo, 2011).

Tabla 1. Razas de aguacate, tipo de corteza, comparación entre el contenido de aceite y peso.

Fruto	Mexicana	Antillana	Guatemalteca
Corteza	Delgada y lisa	Coriácea y lisa	Gruesa y dura
Contenido de aceite	Mediano-alto	Bajo	Mediano-Alto
Peso	Menor de 250 g	Entre 250 g y 2.5 kg	Entre 100 g y 2.5 kg (mayor variación)

Fuente: (Rodríguez, 1992)

Actualmente existen más de 400 variedades de aguacate en el mundo según el clima en el que se cultiven; éstas dan frutos con formas, sabores, texturas, colores y olores de gran diversidad (Secretaría de Economía, 2016). Tanto para zonas de altura media (Simpson, Hall, Booth 7, Booth 8, Kajalú) como para zonas altas (Ettinguer, Nabal, Fujikawa, Fuerte, Reed, Pinkerton, Hass), entre otras (Garbanzo, 2011).

El aguacate Hass es la variedad que más se consume en el mundo, es la más popular en el mercado internacional y la preferida de los consumidores por su sabor, color y textura de la pulpa (Secretaría de Economía, 2016). Cuando está maduro, su cascara adquiere un tono oscuro, casi negro. Su piel cambia de verde oscuro a purpurino. Su pulpa es abundante y de color verde claro, tiene un gran sabor a nuez y avellana, con textura suave cremosa y una semilla de pequeña a mediana. Está disponible durante todo el año. El aguacate Hass proviene de injerto, mezcla de diferentes variedades de aguacate, desarrollado por Rudolph Hass, es un híbrido de las razas mexicana y guatemalteca (Villanueva y Verti, 2007; SFA, 2011). Es muy diferente de las demás variedades, denominadas “verdes” que suelen ser más grandes y entre las más comunes se encuentran: Fuerte, Ettinger y Pinkerton. La mayoría de las variedades verdes se destinan al consumo interno de los países productores (Secretaría de Economía, 2011).

### 2.1.3 Cosecha y poscosecha

El aguacate pertenece al grupo de las frutas que no son comestibles al momento de la cosecha. Es un fruto climatérico, que completa su maduración después de cosechado (Vieira y Viegas, 1994), presenta intensos cambios fisiológicos y bioquímicos y una alta producción de dióxido de carbono y etileno que desencadenan el proceso de maduración

(Martínez et al., 2003) porque mientras el fruto permanezca en el árbol este proceso no comienza y se deben someter a condiciones favorables para que alcancen su sabor característico (Orduz y Rangel, 2002). Además, presenta gran susceptibilidad al daño por frío. La temperatura de almacenamiento recomendada para la variedad antillana es de 12 °C, para la guatemalteca 4 °C y para la mexicana 8 °C. La humedad relativa debe ser entre 80 y 90%, pero en general una temperatura entre 19 y 21 °C permite que madure totalmente de los 6 a 8 días. La medida del punto óptimo de cosecha se hace determinando el porcentaje de aceite en el fruto o midiendo el contenido de enzima pectinmetilesterasa (Orduz y Rangel, 2002).

#### 2.1.4 Composición

El aguacate contiene una alta proporción de ácidos grasos monoinsaturados y una baja cantidad de ácidos grasos saturados (Bergh, 1992) (Tabla 2). Diversos estudios relacionados en el consumo de ácidos grasos saturados, han indicado que una ingesta excesiva de grasas saturadas es un factor para el desarrollo de enfermedades cardiovasculares. 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).

Tabla 2. Composición general de los ácidos grasos en la pulpa de aguacate variedad Hass.

Ácidos grasos	Porcentaje (%)
Monoinsaturados	66-72
Saturados	16-22
Polinsaturados	8-11

Fuente: (Ortiz *et al.* 2003)

El aguacate hoy en día, es conocido por ser una fruta nutritiva que contiene mayores cantidades de fibra soluble e insoluble y proteína que muchos otros frutos carnosos. Es también rico en minerales como el potasio y vitaminas E, C y  $\beta$ -caroteno (provitamina A) (Tablas 3 y 4) (Cowan y Wolstenholme, 2016). También están presentes esteroides, alcoholes, tocoferoles, y carotenoides (Salgado, 2005). Pese a que contiene todos los aminoácidos esenciales, no se considera generalmente como rico en nutrientes para

proteínas, por ejemplo, en comparación con carne o huevos. Una mezcla de fibra soluble e insoluble es ideal en la dieta, y el aguacate contiene cantidades apreciables de las dos (2.1 y 2.7%, respectivamente). Los cambios en el contenido de aceite están asociados con cambios en el contenido de agua, fibra y proteína. Por lo tanto, el valor energético de aguacate es casi en su totalidad debido a su contenido de aceite, y cualquier variación se debe exclusivamente a los cambios en el porcentaje de este (Figura 1) (Cowan y Wolstenholme, 2016).



Figura 1. Composición general de la pulpa de aguacate (Ortiz *et al.* 2003)

Los lípidos del aguacate se pueden dividir en: (1) lípidos neutros, (2) fosfolípidos, (3) glucolípidos, y (4) ácidos grasos libres. La fracción de lípidos neutros constituye el 96% del contenido de lípidos total del aguacate, y la mayoría de estos son triacilgliceroles. Los principales ácidos grasos presentes son ácido oleico (C18:1), ácido linoleico (C18:2), ácido palmítico (C16: 0), ácido palmitoleico (C16:1). La concentración relativa (porcentaje de lípido total) de cada uno se encuentra en el intervalo de 59 a 81% (C18:1), 7-14% (C18: 2), 7-22% (C16: 0), y 3 a 11% (C16: 1). Estos valores son comparables con las del aceite de oliva y hacen que el aguacate se digiera fácilmente (Cowan y Wolstenholme, 2016).

Tabla 3. Contenido de vitaminas y composición de la pulpa de aguacate

Componente (por 100 g peso fresco)	Intervalo de concentración
β-Caroteno (provitamina A) (IU)	370 - 750
α-Tocoferol (vitamina E) (IU)	1.6 - 2.4
Ácido ascórbico (vitamina C) (mg)	1.6 - 30.0
Biotina (mg)	3.2 - 10.0
Colina (mg)	17 - 22
Folacina (mg)	30 - 62
Niacina (mg)	1.4 - 3.5
Ácido pantoténico (mg)	0.25 - 1.14
Piridoxina (vitamina B <sub>6</sub> ) (mg)	0.22 - 0.62
Riboflavina (vitamina B <sub>2</sub> ) (mg)	95 - 230
Tiamina-HCl (vitamina B <sub>1</sub> ) (mg)	60 - 240
Menaquinona (vitamina K) (mg)	0 - 8

<sup>a</sup>La concentración varía dependiendo del cultivar y estado de madurez. Fuente: (Cowan y Wolstenholme, 2016). Encyclopedia of Food and Health. Avocado.

Tabla 4. Contenido de minerales y composición de la fruta fresca de aguacate

Minerales	Concentración <sup>a</sup> (mg por 100 g peso fresco)
Potasio	340 – 723
Magnesio	40 – 60
Fosforo	20 – 80
Calcio	10 – 15
Sodio	5 – 15
Hierro	0.5 – 2
Boro	1 – 3

<sup>a</sup>La concentración depende del tipo de suelo, cultivar y prácticas culturales. Fuente: (Cowan y Wolstenholme, 2016). Encyclopedia of Food and Health. Avocado.

Vinha *et al.* (2013) estudiaron las propiedades físicas, químicas y nutricionales del aguacate variedad Hass producidas en la región del Algarve en Portugal, comparando las partes comestibles y no comestibles de las frutas (pulpa, semillas y cáscara) teniendo

en cuenta su posible contribución a mejorar la sostenibilidad de las industrias alimentarias y farmacéuticas. También evaluaron el contenido de compuestos bioactivos (fenólicos, flavonoides, carotenoides, ácido ascórbico y vitamina E) y su influencia en la actividad antioxidante exhibida por el material de la fruta.

La pulpa del aguacate es rica en carotenoides ( $0.815 \pm 0.201$  mg/100 g), compuestos fenólicos ( $410 \pm 69.0$  mg/100g) y flavonoides ( $21.9 \pm 1,0$  mg/100g), sin embargo, el contenido estos compuestos es superior en la cáscara de este fruto, con valores de  $2.585 \pm 0.117$  mg/100 g de carotenoides;  $679 \pm 117$  mg/100 g de fenoles totales y  $44.3 \pm 3.1$  mg/100 g de flavonoides. La semilla es la parte de la fruta con el más alto contenido de fenoles totales ( $704 \pm 130$  mg/100 g) y flavonoides ( $47.9 \pm 2.69$  mg/100 g). En cuanto a la concentración de las vitaminas C y E, los valores más altos se encuentran en la pulpa ( $5.36 \pm 1.77$  mg /100 g de vitamina E) y la cáscara ( $4.1 \pm 2.7$  mg /100 g de vitamina C). Los extractos obtenidos a partir de las semillas demuestran mayor actividad antioxidante (43%) que los de la cáscara (35%) y la pulpa (23%) (Vinha *et al.* 2013).

El contenido de carotenoides, compuestos fenólicos y flavonoides que se encuentran en las partes no comestibles del aguacate podrían ser una materia prima barata e interesante para la industria alimentaria y cosmética (Vinha *et al.* 2013). Los compuestos fenólicos y flavonoides son compuestos bioactivos que se han relacionado con una disminución de los diferentes procesos de deterioro en el cuerpo del ser humano debido a su capacidad para reducir la formación y para eliminar los radicales libres (Hidalgo *et al.* 2010).

### **2.1.5 Producción mundial y nacional**

El aguacate se produce en 66 países, destacando México como líder mundial en producción ya que aporta alrededor del 41% de la producción mundial (FAO, 2017). México en el ciclo 1997-1998 alcanzó a Israel como primer exportador de aguacate a nivel mundial y se ha mantenido como el primer exportador de fruta fresca y de pulpa industrializada, cuyo valor rebasa los 513 millones de dólares americanos (Barrientos, 2010). Además, México es el principal exportador y el de mayor consumo per cápita, con 7 kg al año (Sagarpa, 2015). En la Tabla 5 se muestra la producción de aguacate a nivel mundial de 2010 a 2014 en toneladas por año.

Tabla 5. Principales países productores de aguacate en toneladas/año

País	2010	2011	2012	2013	2014
México	1,107,135	1,264,141	1,316,104	1,467,873	1,520,695
República dominicana	288,684	295,081	290,011	387,546	428,301
Perú	184,370	213,662	268,525	288,387	359,317
Indonesia	224,278	275,953	294,200	276,311	307,326
Colombia	205,443	215,089	255,207	303,340	288,739
Kenya	202,294	201,478	186,292	191,505	218,692
Estados Unidos	158,150	205,432	238,495	175,226	179,124
Rwanda	129,732	143,281	145,000	148,823	161,519
Chile	166,382	156,247	160,000	164,750	160,000
Brasil	153,189	160,376	159,903	157,482	156,699

FAOSTAT. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura

Estados Unidos es el principal importador de aguacate mexicano, seguido por Francia, Japón y Canadá (Secretaría de Economía, 2016). En la República Mexicana, Michoacán es el principal estado productor de aguacate, con la mayor parte de la producción del país, aporta cuatro quintas partes del total nacional de la producción de este fruto, como se muestra en la Tabla 6 la producción por estado durante los últimos 5 años de 2012 a 2016.

Las bondades atribuidas al fruto de aguacate propiciaron la siembra masiva, que se ve reflejada con un incremento notable de la producción en los últimos años, hecho que ha obligado al sector productivo, a buscar alternativas de comercialización del producto en fresco, semiprocado y procesados para consumo nacional y de exportación (Restrepo *et al.* 2012).

Un incremento progresivo en los volúmenes de producción también aumenta los productos de menor calibre, que normalmente se comercializan en los mercados locales a menor precio, para los que se requiere encontrar alternativas de industrialización.

Tabla 6. Producción de aguacate a nivel nacional por estado, expresada en toneladas/año

Estado	2012	2013	2014	2015	2016
Aguascalientes	182	186	186	207	216
Baja California	94	86	136	238	223
Baja California Sur	626	629	239	548	545
Campeche	541	535	534	651	648
Colima	1,152	2,946	3,810	6,695	6,750
Chiapas	6,149	7,085	7,548	10,933	10,963
Durango	3,492	3,622	3,443	4,006	3,956
Guanajuato	889	666	682	1,082	925
Guerrero	14,799	14,231	15,279	20,423	21,581
Hidalgo	2,588	2,360	3,040	3,261	3,228
Jalisco	40,850	87,593	100,249	128,494	146,141
México	28,751	56,674	67,671	90,528	115,423
Michoacán	1,148,998	1,193,571	1,210,720	1,455,856	1,456,748
Morelos	35,557	27,294	28,523	32,664	32,430
Nayarit	32,263	34,290	36,691	41,581	32,311
Nuevo León	2,062	2,065	3,466	2,862	2,860
Oaxaca	4,161	4,799	5,484	7,905	7,740
Puebla	11,214	12,586	11,758	18,273	17,823
Querétaro	282	321	247	218	221
Quintana Roo	37	-	-	396	400
San Luis Potosí	72	85	94	183	167
Sinaloa	270	94	517	135	145
Sonora	368	350	366	405	405
Tabasco	455	265	226	289	225
Tamaulipas	-	-	-	-	-
Tlaxcala	-	-	-	130	130
Veracruz	1,717	3,565	4,062	5,796	5,688
Yucatán	11,119	11,478	10,953	12,304	10,410
Zacatecas	428	387	428	324	296
Total	1,349,116	1,467,763	1,516,352	1,846,387	1,878,599

Fuente: Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP), con información de las Delegaciones de la SAGARPA.

Asimismo, un volumen de producción apreciable se pierde por sobremaduración, golpes y daños causados por insectos, hongos y bacterias, además de los defectos de calidad como maduración desigual, pulpa fibrosa, entre otros. Estas pérdidas son constantes y proporcionales al aguacate fresco disponible para la comercialización. La exportación de productos procesados de aguacate podría ser una excelente alternativa para su comercialización (Restrepo *et al.* 2012). Para el procesamiento, la variedad Hass



es la más preferida debido a su sabor, el color de su pulpa, la calidad y disponibilidad todo el año. Las frutas con un contenido de materia seca del 25% o aceite de 13% se consideran ideales para su procesamiento (Cowan y Wolstenholme, 2016).

### **2.1.6 Usos y aplicaciones**

El aguacate presenta una variedad de usos como productos industrializados, lo que permite aprovechar los remanentes y reducir las pérdidas poscosecha, entre estos productos se encuentran pulpas para productos untables, puré congelado que se utiliza como materia prima de diversos procesos, tanto cosméticos como comestibles (Secretaría de Economía, 2012), rebanadas congeladas, salsas, guacamole, deshidratados en polvo y aceite (Cowan y Wolstenholme, 2016), tradicionalmente utilizado para fines cosméticos, aunque se ha incrementado la producción de aceite extra virgen para usos culinarios, con gran potencial futuro debido a sus valiosas propiedades que pueden sustituir al aceite de oliva (Restrepo *et al.* 2012).

El aceite de aguacate podría ser utilizado como ingrediente en alimentos funcionales a causa de su alta concentración de ácido graso monoinsaturado (ácido oleico) alrededor del 66 al 72% y compuestos fisiológicamente activos como vitaminas, antioxidantes y fitoesteroles (Requejo *et al.* 2003).

A pesar del liderazgo que México tiene en este producto solo el 16% de la producción se destina a la industria (Secretaría de Economía, 2012) y tiene dos principales subproductos: la pulpa y el aceite de aguacate (SFA, 2011), los cuales se mencionan a continuación:

#### **a) Pulpa**

La pulpa de aguacate es de color verde crema y se utiliza para el consumo en crudo con adición de algunos saborizantes como sal, vinagre o jugo de limón. Se consume en ensaladas, salsas, cócteles, aderezos o como sustituto de la mayonesa (SFA, 2011). En muchas partes del mundo se consume como postre (Encyclopedia Britannica, 2012).

Existen varios procesos de conservación de la pulpa de aguacate. El método de conservación que mejores resultados ofrece es la congelación, la cual es la base para obtener productos como salsas o condimentos para alimentos como papas y galletas saladas. Las pulpas almacenadas a temperatura de -18 °C conservan durante más tiempo sus características, sin embargo su calidad comienza a decrecer después de los

tres meses en almacenamiento, otro de los inconvenientes es que hay una pérdida significativa de textura que ocurre después de la descongelación debido a la formación de cristales que provocan la destrucción celular (SFA, 2011).

Por otra parte, algunas pulpas que se comercializan en la actualidad, agregan gran cantidad de aditivos y estabilizantes como: gomas, alginatos, polifosfatos y otros más que reducen el crecimiento microbiano, como son el sorbatato y benzoato de sodio o potasio. En conjunto, en los productos de aguacate estos aditivos pueden alcanzar niveles superiores al 20% reduciendo el porcentaje de aguacate en la mezcla y por lo tanto bajando la calidad del producto final (Oleata, 2003).

El uso de aditivos en las pulpas debe ser paulatinamente reducida, ya que la tendencia de los consumidores es a consumir cada vez más productos con aspecto fresco sin aditivos o con un nivel bajo de ellos. Una buena pulpa para ser comercializada no debe contener menos de un 98 o 99% de aguacate (Oleata, 2003).

El guacamole es el producto de la pulpa de aguacate con mayor aceptación, el cual consiste en un puré de aguacate, la cual puede ser totalmente molida o contener pequeños trozos de aguacate. La formulación del guacamole se basa en la pulpa procesada con un tratamiento que incluye la adición de antioxidantes y conservadores, adicionándose especias en diferentes proporciones (SFA, 2011). En México se le agrega cebolla, chile picado, tomate, cilantro, entre otros ingredientes.

El guacamole tiene una amplia aceptación alrededor del mundo, en la cocina mexicana se utiliza como salsa para todo tipo de alimentos, mientras en cocinas internacionales, se sirve como aderezo para platos principales, es el caso de los Estados Unidos se come con totopos o se usa como salsa para guisos de carne, es ampliamente difundido por la comida llamada Tex-Mex. Además, en países donde el aguacate es muy costoso, el guacamole es considerado como una exquisitez (SFA, 2011).

Uno de los beneficios del consumo de pulpa de aguacate, lo reportan Díaz y Toro en 2004, quienes demostraron que una dieta que contenía de 20 a 35% de calorías provenientes de grasa del aguacate, era más efectiva para disminuir el nivel total de colesterol que una dieta baja en grasas y con un alto contenido de carbohidratos complejos.

## **b) Aceite de aguacate**

El ser humano por la carencia de sistemas enzimáticos específicos no puede llevar a cabo la síntesis de los ácidos grasos poliinsaturados. Los ácidos grasos monoinsaturados se encuentran principalmente en aceites vegetales (aceite de oliva, ajonjolí, soya, girasol, algodón y aguacate) (Valenzuela *et al.* 2005).

Las frutas con altos niveles de lípidos en la pulpa pueden ser una fuente importante de materia prima para la extracción de aceite (Tango *et al.* 1992), como el caso del aguacate que dependiendo de la variedad y madurez alcanza en la pulpa valores promedios de 15-19% de aceite (SFA, 2011). El aceite de aguacate es muy valioso por su alta concentración de ácidos grasos monoinsaturados (ácido oleico), antioxidantes, vitaminas y fitosteroles (Berastegi *et al.* 2012). Con un total de 70.5 g/100 g de pulpa de ácidos grasos monoinsaturados; 13.4 g/100 g de pulpa de ácidos grasos poliinsaturados y 11.5 g/100 g de pulpa de ácidos grasos saturados (USDA, 2016). Su calidad nutricional se ha comparado con el aceite de oliva (SFA, 2011).

Se utiliza de muy distintas formas:

- En la industria cosmética, se utiliza como rehidratante para la piel seca y combatir arrugas, mejorar el cutis entre otros usos.
- El aceite en la industria alimentaria se oferta al consumidor como un aceite tipo gourmet.
- Gracias a su contenido de vitaminas A, D y E se incorporan en fórmulas cosméticas y para productos de belleza.
- El aceite tiene un uso farmacéutico como transportador de diferentes omegas 3, 6 y 9 (SFA, 2011).

Entre otras cualidades el aceite de aguacate tiene un alto punto de humo hasta 271 °C para un aceite refinado y 204 °C para un aceite sin refinar, excelente sabor y un color verde muy atractivo. Además, se ha reportado que el aceite de aguacate presenta mayores niveles de clorofila, índice de yodo, vitamina E y un menor nivel de acidez que el aceite de oliva, lo que indica una mejor calidad (Reed 2001). Nueva Zelanda, Sudáfrica, México y otros países, se encuentran produciendo este aceite de aguacate “Extra Virgen”, el cual se obtiene a partir del fruto sin piel y sin semilla, con un tratamiento de macerado en frío, y luego filtrado y embotellado. Con ello, el aceite mantiene todas las propiedades

originales que lo hacen ser muy aceptable para la salud humana, ya que al no contener colesterol previene enfermedades cardiovasculares. Sin embargo, el aceite de aguacate se deteriora durante el almacenamiento, por lo que la temperatura de exposición no debe ser superior a 25 °C, y el tipo de envase oscuro, para preservar por más tiempo la calidad del producto (Olaeta, 2003).

De acuerdo a estudios realizados en el aceite de aguacate se encontró que posee la efectividad de reducir el colesterol total, colesterol LDL (lipoproteína de baja densidad) y triglicéridos del plasma, además eleva el porcentaje de colesterol HDL (lipoproteína de alta densidad) y tiene un bajo nivel de aterogenicidad comparable al aceite de maíz o de oliva, (Pérez *et al.* (2005). Por lo tanto, disminuye el riesgo de desarrollar aterosclerosis (SFA, 2011).

## **2.2 Aceites**

### **2.2.1 Grasas y aceites: definición y clasificación**

Las grasas y los aceites son los principales lípidos que se encuentran en los alimentos, algunos consideran que las grasas son de origen animal y los aceites de origen vegetal, o que las grasas son sólidas a temperatura ambiente, mientras que los aceites son líquidos, pero no hay una distinción clara entre estos (Badui, 2006).

Los aceites y grasas se componen principalmente de ciertos ácidos grasos unidos químicamente con el glicerol (glicerina) alcohol, conocido como (C<sub>3</sub>H<sub>5</sub>OH). Los ácidos grasos de los ésteres del glicerol son principalmente palmítico, esteárico y oleico o sus derivados linoleico y linolénico (Badui, 2006).

Las principales fuentes de lípidos son las semillas oleaginosas y los tejidos animales, ya que las frutas y las hortalizas normalmente tienen concentraciones muy bajas con excepciones como el aguacate, las aceitunas y algunos tipos de nueces. La soya es la oleaginosa que contiene la mayor cantidad de aceite en el mundo, seguida de la palma y de la canola y, en menor grado, la aceituna, el ajonjolí, el algodón, el cacahuate, el cacao, el cártamo, el coco, el girasol, el maíz y el palmiste. Por su parte, de origen animal, la manteca de cerdo ocupa el primer lugar, después el sebo de res y el aceite de pescado (Badui, 2006).

Para fines comestibles las grasas y los aceites pueden dividirse en dos clases: 1) aceites líquidos, como el aceite de oliva y 2) grasas sólidas, como la mantequilla y la

manteca de cerdo. Aunque en la preparación de algunos alimentos, no tiene importancia que el producto usado sea líquido o sólido, pero en otros, la consistencia del producto es de la mayor importancia (Alton, 1984).

Los aceites para mesa y cocina suponen un porcentaje importante del gasto básico en alimentos de todos los niveles socioeconómicos (Horvilleur, 2008), estos aceites son productos de origen vegetal. Los únicos aceites líquidos de origen animal proceden de especies marinas (principalmente aceite de ballena y aceites de pescado); y por su alto grado de insaturación en su forma natural se consideran como no comestibles, en casi todo el mundo se hacen comestibles por hidrogenación y desodorización, pero entonces se transforman en grasas sólidas (Alton, 1984).

Las grasas y los aceites forman una parte importante en nuestra dieta diaria. Durante la digestión las grasas son escindidas por enzimas (lipasas) segregadas por el páncreas; a partir de los ácidos grasos y del glicerol (glicerina) que las constituyen, el organismo humano elabora su propio tipo de grasa. También se forman grasas a partir de los carbohidratos ingeridos (azúcar y almidón) (Coenders, 1996).

### **2.2.2 Extracción de los aceites**

Todos los procesos de extracción de aceite buscan: 1) extraer el aceite sin oxidación y lo más libre de impurezas indeseables, 2) obtener el aceite con un rendimiento que sea compatible con la economía del proceso (Allen *et al.* 1982).

Para extraer la grasa o aceite de una muestra, la elección de la técnica de extracción estará determinada por la naturaleza de la sustancia a extraer, el sustrato sobre el que se adsorbe, los análisis realizados posteriormente, el trabajo implicado y los costos (Stauffer, 2005).

Para aumentar el rendimiento en la extracción de los aceites, se han utilizado disolventes (Allen *et al.* 1982). La eficiencia de la extracción con disolvente se debe a que los aceites están constituidos por lípidos, que son solubles en disolventes no polares orgánicos. Hay muchas técnicas de extracción con disolvente que se han desarrollado para extraer los aceites de diferentes sustratos y que se han utilizado en la industria alimentaria durante muchos años, la más conocida es la extracción con equipo Soxhlet, en donde el disolvente se coloca en un matraz de bola, se calienta y se volatiliza hasta

un condensador de reflujo, el disolvente se enfría, se condensa y cae sobre un recipiente que contiene la muestra en su interior (Stauffer, 2005).

Sin embargo, hay estudios que reportan que durante la extracción de aceites con disolventes hay mayor generación de ácidos grasos *trans*, tal como lo demuestran Ortiz *et al.* (2003) quienes encontraron que durante la extracción del aceite de aguacate utilizando disolventes como el hexano y la acetona se generan mayor cantidad de estos ácidos grasos en comparación con la extracción combinando disolventes y microondas.

Los ácidos grasos *trans* en la dieta aumentan el nivel de lipoproteínas de baja densidad (LDL o colesterol malo), pero en un grado menor que los ácidos grasos saturados. También disminuyen las lipoproteínas de alta densidad (el colesterol HDL). Por estos efectos desfavorables de los lípidos en sangre pueden favorecer al desarrollo de enfermedades cardiovasculares (Penderson *et al.* 1998).

### **2.2.3 Extracción del aceite de aguacate**

En el caso del aceite de aguacate existen varios métodos para su extracción, entre ellos la extracción por solventes y fluidos súper críticos utilizados en la industria cosmética; extracción por centrifugación y prensado en frío, con microondas, combinados con pre-tratamientos enzimáticos o secado de la pulpa como tal; los cuales son utilizados en la industria alimenticia (Sandoval, *et al.* 2010).

En la extracción de aceite por prensado en frío el proceso se lleva a cabo a partir de láminas de pulpa de aguacate, las cuales se deshidratan en un secador manteniendo la temperatura por debajo de los 45 °C, para evitar la degradación de los compuestos bioactivos en el fruto. Posteriormente la muestra seca se somete a un prensado en frío para la obtención del aceite (Restrepo *et al.*, 2012).

Los estudios de extracción enzimática emplean diferentes condiciones de extracción, tales como pH, temperatura, tiempo de incubación de la enzima, composición del sustrato, velocidad de agitación y métodos de separación del aceite (Gómez, 2000).

Por otra parte, en México para la obtención de aceite de aguacate uno de los métodos más empleados es la maxalación, que consiste en la adición de agua o soluciones reguladoras a la pulpa antes de la extracción del aceite, generando desechos, además que el aceite obtenido requiere de un proceso de refinamiento.

Por todo esto se han buscado tecnologías alternativas para extraer el aceite de aguacate y encontrar rendimientos parecidos a las tecnologías ya existentes pero sin riesgos a la salud como implica el uso de disolventes, uno de estos estudios fue realizado por Restrepo *et al.* en 2012 quienes compararon en términos de calidad el aceite de aguacate de la variedad Hass obtenido por fluidos supercríticos, prensado en frío y por Soxhlet, encontraron que la extracción por fluidos supercríticos es la técnica más adecuada para la producción de aceite de aguacate, que les permitió alcanzar el máximo rendimiento (18.9%), el menor índice de acidez, baja oxidación de los ácidos grasos insaturados y mayor índice de yodo, cuando lo compararon con métodos de extracción convencionales, de esta forma demostraron que la temperatura elevada que se aplicaron en los métodos de extracción convencionales provocaba el deterioro químico del aceite (Restrepo *et al.* 2012).

Para la obtención de aceite de aguacate, también se ha explorado la aplicación de campos magnéticos reportándose un rendimiento del 38.8% y la ausencia de ácidos grasos *trans* (Ariza, 2010).

Dentro de las tecnologías no convencionales que tienen potencial de aplicación para la obtención de aceite de aguacate se encuentra el ultrasonido, la cual se empleó en el presente estudio y cuyos fundamentos se mencionan en el inciso 2.4.

#### **2.2.4 Estabilidad de los aceites**

La estabilidad de un aceite se refiere a la capacidad para mantener sus características físicas y químicas, ya sea durante su almacenamiento o uso. Lo cual está en relación con la composición de los lípidos, su naturaleza, la presencia o ausencia de antioxidantes, así como de inhibidores que pueden ser naturales o artificiales (Braveman, 1988).

Los aceites son mezclas de ésteres de glicerina y ácidos insaturados como el oleico y linoleico (Coenders, 1996) a pesar de su insaturación, tienden a ser estables debido a sus antioxidantes naturales (Braveman, 1988), como son tocoferol (vitamina E), lectina (como en el aceite de germen de trigo) y ciertos aminoácidos como algunos aceites esenciales, por ejemplo, el de romero y salvia. Generalmente su acción conservadora aumenta al adicionarles sustancias naturales y otras artificiales (Coenders, 1996). Sin embargo, estos sufren transformaciones químicas, conocidas comúnmente como

rancidez, que además de reducir su valor nutritivo, producen compuestos volátiles que imparten olores y sabores desagradables (Badui, 2006).

Los aceites se descomponen desde el momento en que son aislados de su ambiente natural. Tanto los insaturados como saturados, con el tiempo sufren un proceso de degradación que afecta su estabilidad, el cual se conoce como oxidación. El aire, la luz, el calor, la humedad, la presencia de trazas de metales de transición como cobre, níquel, hierro así como colorantes y pigmentos naturales residuales, la acción de los microorganismos y enzimas que los degradan con el tiempo en mayor o menor proporción, lo que depende de su estabilidad.

El proceso de oxidación de las grasas o aceites es lenta, se describe en tres fases, iniciación, propagación y terminación. Durante la fase de iniciación la luz actúa sobre grasa insaturada en presencia de catalizadores tales como iones de metales pesados, para producir radicales libres. Durante la fase de propagación, los radicales libres reaccionan con el oxígeno para formar radicales peróxido. Estos pueden catalizar la formación de más radicales libres o descomponerse en aldehídos, cetonas y alcoholes. Una vez que la concentración de compuestos reactivos alcanza un nivel suficiente reaccionan entre sí para formar compuestos como los ácidos butírico, caproico y caprílico que son responsables de que el aceite empiece a tener un olor y sabor rancio. Esta última etapa se conoce como terminación. El grado de avance de la oxidación o rancidez se puede determinar mediante el índice de peróxido. (Braveman, 1988; Coender, 1996; Depree y Savage, 2001).

## **2.3 Mayonesa**

### **2.3.1 Origen**

Se cree que la mayonesa se originó a mediados del siglo XVIII, cuando fue llevado el concepto original de regreso a Francia en 1756 a partir de Mahon, una ciudad en Menorca. Fue creada para un banquete para celebrar la victoria por la captura de Mahón por fuerzas bajo el mando de Louis Francois Armand de Vignerot du Plessis, Duque de Richelieu (1696-1788), un mariscal de Francia y un sobrino del cardenal Richelieu. La nueva salsa (mahonnaise), hecha con aceite de oliva en lugar de crema, fue nombrada en honor de la victoria. La palabra evolucionó a mayonesa, probablemente se deriva de las viejas palabras francesas para la yema de huevo y agitar o mezclar (*moyen* y *manier*).



Más tarde, el chef francés Marie Antoine Careme (1784-1833) aligeró la receta original mezclando el aceite vegetal y la yema de huevo en una emulsión. Este producto, que contiene agua como parte de la emulsión, se convirtió en la base para el producto de mayonesa que conocemos hoy en día. El primer y más conocido producto comercial fue introducido por Richard Hellmann a principios del siglo XX. Hellmann emigró a la ciudad de Nueva York desde Alemania en 1903, y en 1905, abrió una tienda de delicatessen, que vendía ensaladas que contenían la receta de su esposa para la mayonesa. La demanda era tal que Hellmann comenzó a vender la mayonesa en “botes de madera” que eran utilizados para pesar mantequilla. La mayonesa en última instancia la hizo en frascos, y en 1912 incorpora un diseño de “cinta azul” a la etiqueta para identificar la receta preferida. La cinta azul prevalece hasta nuestros días. La mayonesa Hellmann es ahora propiedad de Unilever y se produce y se consume en todo el mundo (Morley, 2016).

### **2.3.2 Definición**

Según la norma mexicana NMX-F-021-S-1979 se entiende por mayonesa el producto alimenticio obtenido por la emulsión cremosa que se obtiene con aceites vegetales comestibles, yema de huevo líquido o su equivalente en cualquiera de sus formas, vinagre, adicionado o no de jugo de limón, sal, edulcorantes nutritivos, acidulantes permitidos, mostaza, paprica u otras especias o extractos y aceites esenciales de las mismas con excepción de azafrán y cúrcuma. El contenido de aceite vegetal comestible no será menor de 65% en peso y de yema de huevo líquida de 6% o su equivalente en yema de huevo deshidratada, o su equivalente de huevo entero líquido o deshidratado.

En los Estados Unidos, la FDA " Requirements for Specific Standardized Food Dressings and Flavorings "Sec. 169.140 de 2013, cita un contenido de aceite vegetal mínimo de 65%, ácido acético (mínimo 2,5%, de vinagre) y ácido cítrico (mínimo 2,5%, de limón y /o jugo de limón) uno o ambos y yema de huevo.

### **2.3.3 Aderezos con mayonesa**

La norma mexicana NMX-F-021-S-1979 establece que la mayonesa no debe contener menos del 65% en peso de aceite y si fuera así se considera como un aderezo de mayonesa y estos pueden variar en su contenido de aceite.

De acuerdo a la norma mexicana NMX-F-341-S-1979 un aderezo con mayonesa es definido como el producto alimenticio elaborado con mayonesa y otros ingredientes, que sirve para impartir sabor o aroma a otros alimentos que no debe contener menos del 50% de mayonesa o de la cantidad correspondiente de aceites vegetales comestibles y de yema de huevo líquida o su equivalente en cualquiera de sus formas pudiendo estar adicionado de otros ingredientes opcionales y aditivos alimentarios. El contenido de aceite vegetal comestible no será menor del 33.0% en peso y de yema de huevo líquido de 4% o su equivalente en yema de huevo deshidratada, o su equivalente de huevo entero, líquido o deshidratado.

#### **2.3.4 Emulsiones**

Una emulsión se define como una suspensión o dispersión de un líquido en otro, en la cual los dos líquidos son inmiscibles (Charley, 1991). Estos sistemas de dispersión están constituidos por una fase dispersa y una fase continua; en los que la fase dispersa se encuentra en forma de pequeñas gotas, entre 0.1 y 10  $\mu\text{m}$  distribuidas en la fase continua o dispersante; son inestables, y si se dejan reposar por algún tiempo, las moléculas de la fase dispersa tienden a asociarse para constituir una capa que puede precipitar o migrar a la superficie, según la diferencia de densidades entre las dos fases (Badui, 1999).

Básicamente en alimentos hay dos tipos de emulsiones las de aceite en agua y las de agua en aceite. La mayoría de las emulsiones en los alimentos están compuestas por aceite en agua que son las más comunes, pero pueden contener otros compuestos que no necesariamente se encuentran emulsionados. Según las concentraciones del aceite y del agua, las emulsiones sencillas son de aceite en agua (mayonesas y aderezos) o de agua en aceite (margarina o mantequilla) (Badui, 1999).

Una emulsión de aceite en agua es aquella en la que el aceite se encuentra en forma de pequeñas gotas como fase dispersa y el agua en la fase continua como agente dispersante (Badui, 1999).

La mayonesa es una emulsión de aceite en agua (O/W) de consistencia semisólida, variable desde pasta a crema. El aceite, a pesar de ser el ingrediente mayoritario, se encuentra en forma de fase dispersa mientras que la fase continua la forman el agua y el resto de ingredientes solubles en ella (ácidos, azúcares, sal, proteínas, entre otros.)

(Boatella *et al.*, 2004). Considerando los ingredientes de estas formulaciones, el emulsionante seleccionado tiene un papel esencial en estos productos, dado que confiere a las emulsiones la estabilidad requerida, mediante la formación de una barrera protectora alrededor de las gotas de aceite (Dickinson, 1994), determinando las propiedades de la película interfacial de la que forman parte. Además, cuando se encuentran en exceso, puede dar lugar a diversas estructuras en el medio continuo y sus interacciones con otros componentes son un factor determinante de las propiedades generales de la emulsión (Dickinson *et al.* 1990; Madeka y Kokini, 1992).

La consistencia de la emulsión depende de la relación entre los volúmenes de la fase acuosa y oleosa, y resulta difícil producir mayonesa con cuerpo suficientemente firme, con un contenido en aceite inferior al 70-80%. Por otra parte, el uso de un bajo porcentaje de aceite necesita el uso de una proporción relativamente elevada de yemas de huevo, (Alton, 1984). En la Tabla 7 se muestran dos formulaciones para la mayonesa en donde todos los ingredientes se expresan en porcentajes en peso.

El color de la mayonesa es amarillo, crema pálido, dependiendo más de la yema de huevo usada en su manufactura, que del aceite (Alton, 1984).

Físicamente, la mayonesa consiste en una fase interna, discontinua, de gotitas de aceite dispersas en una fase acuosa externa, continua, de vinagre, yema de huevo y otros ingredientes. El vinagre, el azúcar, la sal y las especias determinan el sabor del producto. La yema de huevo contribuye también al sabor, pero su principal función es la de agente emulsionante (Alton, 1984).

Tabla 7. Formulaciones típicas de mayonesa

Ingredientes	Fórmula A	Fórmula B
Aceite	75.00	80.00
Vinagre (4.5% de ácido acético)	10.80	9.40
Yema de huevo	9.00	7.00
Azúcar	2.50	1.50
Sal	1.50	1.50
Mostaza	1.00	0.50
Pimienta blanca	0.20	0.10

Al preparar una mayonesa se debe obtener una emulsión lo más consistente posible. La consistencia de dicha emulsión viene determinada, principalmente, por el grado de subdivisión alcanzado por las gotas de aceite. En una buena emulsión de mayonesa las gotas de aceite no deben tener un diámetro mayor de 6 a 8 micrones y la mayoría de 2 a 4; en una emulsión deficiente, la mayor parte de las gotas tienen diámetros de 10 micrones o más. Normalmente durante el proceso de mezclado se incorpora de un 10 a 12%, en volumen, de aire (Alton, 1984).

### **2.3.5 Estabilidad de las emulsiones**

Generalmente las emulsiones contienen agentes emulsificantes para estabilizar las dos fases miscibles (Lissant, 1984), sin la presencia de estos agentes las fases de una emulsión (aceite, agua) se separan inmediatamente (Friberg y Larson, 1997).

La estabilidad de las emulsiones puede ser afectada por factores como el tamaño de partícula y la viscosidad de la fase dispersante. Por esta razón las operaciones y los procedimientos para aumentar la estabilidad se basan en disminuir el tamaño de partícula durante la homogeneización o en aumentar la viscosidad por medio del uso de estabilizantes y gomas (Badui, 1999).

El modo de preparación de una emulsión es determinante tanto en su tipo como en su estabilidad. Además, el agente emulsionante debe adicionarse al líquido que formará la fase dispersante, y posteriormente debe adicionarse el líquido que formará la fase dispersa, aplicando agitación mecánica para formar las pequeñas gotas de esta última. Por lo general, se ha observado que si la fase dispersante se adiciona gradualmente en lugar de toda a la vez, el tiempo requerido para formar la emulsión será menor. Por esta cuestión en la elaboración de algunas mayonesas el aceite es adicionado lentamente al contenedor que contiene el resto de los ingredientes para formar una emulsión más estable. También se ha reportado que existe, una relación directa entre el tiempo requerido para la formación de una emulsión y la cantidad de fase dispersa a añadir. Entre más pequeños sean los glóbulos de la fase dispersa, mayor será la estabilidad de la emulsión formada (Badui, 2006).

En cuanto a la inestabilidad de las emulsiones, éste es un proceso que implica diferentes mecanismos que pueden contribuir a la separación de fases en una emulsión

uniformemente dispersada. Existen diversos mecanismos que originan la inestabilidad de las emulsiones entre los que se encuentran (Friberg y Larson, 1997).

- **“creaming”/sedimentación:** Se trata de un proceso causado por la acción de la gravedad y produce un gradiente vertical de concentración de las gotas sin variar la distribución del tamaño de las mismas. Para las emulsiones aceite en agua, al ser menos densas las gotas de aceite que la fase continua ocurre principalmente el “creaming” (Aranberri *et al.*, 2006) que es una separación causada por el movimiento hacia arriba de las gotas que tienen una menor densidad (Lissant, 1984).
- **Floculación:** se origina cuando la energía cinética liberada durante las coaliciones lleva a las gotas a través de una barrera de fuerzas repulsivas y dentro de una región donde las fuerzas de atracción operan (Lissant, 1984) y causa la adhesión de las gotas sin fusionarse (Aranberri *et al.*, 2006).
- **Coalescencia:** lo cual significa que cuando dos gotas chocan, pierden su identidad y forman una sola gota de mayor tamaño. En una emulsión, entre mayor sea el tamaño de partícula mayor es la tendencia a la coalescencia. De tal forma que partículas finas generalmente proveen buena estabilidad (Lissant, 1984). Este cambio irreversible requeriría un aporte extra de energía para restablecer la distribución de tamaño de partícula original (Aranberri *et al.*, 2006).
- **Engrosamiento de gotas (Ostwald ripening):** ocurre cuando se presenta el crecimiento de gotas más grandes a costa de las más pequeñas hasta que éstas últimas prácticamente desaparecen (Aranberri *et al.*, 2006).

### 2.3.6 Estabilidad de las mayonesas

La estabilidad de una mayonesa depende de varios factores, tales como la relación aceite-agua, la cantidad de yema de huevo, la viscosidad, el volumen relativo de la fase oleosa a fase acuosa, así como también el método de mezcla, calidad del agua y temperatura de almacenamiento (Liu *et al.* 2007). Por otra parte, un aumento de la velocidad de agitación durante el proceso de elaboración da lugar a una disminución continua del tamaño de la gota y a un aumento de las funciones viscoelásticas (Ruíz *et al.*, 2010).

La mayonesa tiende a ser más inestable que muchas otras emulsiones alimentarias debido a la gran cantidad de aceite en relación a la cantidad de agua relativamente pequeña (García *et al.* 1988). A diferencia de la margarina y la mantequilla, la mayonesa puede contener una alta proporción de aceite hasta 80%. La estabilidad de esta gran cantidad de fase lipídica discontinua en tan poca fase acuosa continua, implica muchos cuidados en la formulación, en la emulsificación y en las condiciones de procesamiento (Badui, 2006). Su elevado contenido de aceite hace que el número de gotas emulsionadas sea muy elevado y que estén relativamente cerca una de otras. La distancia de separación entre las gotas depende de las fuerzas de atracción de Van der Waals y fuerzas de repulsión tanto electrostáticas como estéricas. El compacto empaquetamiento de las gotas de aceite hace su consistencia (Gallegos *et al.* 1988).

Todas las mayonesas disminuyen gradualmente la consistencia con el tiempo, debido a la unión gradual de las partículas de aceite; y manteniéndolas por un tiempo suficientemente largo, se separan más o menos completamente en dos fases. El aligeramiento y la separación de la mayonesa son acelerados por choque mecánico o por vibraciones, tal como ocurre en el transporte del producto. La emulsión también puede romperse sometiéndola a temperaturas suficientemente bajas, para causar la cristalización del aceite. Sin embargo, es poco frecuente, en la actualidad, encontrar en el mercado mayonesas con la emulsión rota (Alton, 1984).

Se puede clasificar como un producto semiperecedero. Es suficientemente estable para mantenerse durante un tiempo razonable, sin refrigeración; pero no permite un almacenamiento indefinido. La mayonesa se deteriora más bien por la rotura de la emulsión por oxidación, que por acción de los microorganismos, cuyo crecimiento es inhibido por la acidez del producto (Alton, 1984).

Como es el caso con todos los alimentos que contienen grasa, la mayonesa es susceptible a la descomposición a través de la oxidación de las grasas insaturadas y poliinsaturadas en el aceite. Esto se debe a que el aceite se expone en una fase acuosa en un área muy grande que puede contener oxígeno disuelto. Además, durante el mezclado se introducen burbujas de aire, que quedan atrapadas dentro de la emulsión. (Depree y Savage 2001).

### 2.3.7 Emulsificantes

Para mantener las gotas de un líquido suspendido en otro, en el cual no se puede mezclar, se requiere de una tercera sustancia, cuyas moléculas tengan cierta afinidad por ambos líquidos. La afinidad debe ser parcial y desigual. Dicha sustancia se denomina emulsificante. Los emulsificantes pertenecen a un grupo de compuestos denominados surfactantes (Charley, 1991), que tienen la capacidad de reducir la tensión interfacial entre dos líquidos inmiscibles. En el campo de la alimentación, este término se puede reducir específicamente para hacer referencia a los efectos entre el agua y la grasa (Baltes, 2007).

El líquido con menor tensión superficial, se esparce más fácilmente y forma la fase continua. Al mismo tiempo las moléculas del emulsificante se deben acumular en la interfase aceite/agua, para evitar la coalescencia de la fase dispersa (Charley, 1991).

Los emulsificantes son sustancias cuyas moléculas contienen una parte no polar que se disuelve en el aceite y otra polar que tiene la capacidad para unirse al agua (Charley, 1991; Badui, 1999). Dependiendo del predominio de una de las partes de la molécula sobre otra, el emulsionante tendrá un carácter lipófilo o lipófilo y por consiguiente, presentará una mayor afinidad por el agua o por los aceites; esta característica se conoce como balance hidrófilo-lipófilo, o BHL (HLB, en inglés) y es una propiedad importante que debe tomarse en cuenta al seleccionar un emulsionante. Si se requiere elaborar una emulsión de aceite en agua es preferible un emulsionante lipófilo mientras que para las emulsiones de agua en aceite es recomendable uno hidrófilo (Badui, 2006).

En la formulación de una emulsión alimentaria de tipo mayonesa o salsas para ensaladas, se ha empleado tradicionalmente yema de huevo como emulsionante (Rao, 1992), que disminuye la tensión interfacial entre el agua y el aceite. Esto es porque la yema de huevo contiene lecitina que ayuda a unir las moléculas del aceite con las moléculas de agua favoreciendo la formación de las micelas y las micelas parecen ser los agentes tensoactivos de superficie más activos (Charley, 1991).

Los emulsificantes pueden ser naturales ó sintéticos:

*Naturales:* Los emulsificantes naturales incluyen los fosfolípidos, lecitina (fosfatidil colina) y fosfatidil etanolamina. Los fosfolípidos son derivados de la grasa, en la cual, en lugar de un ácido graso, se esterifica el ácido fosfórico con glicerol en uno de los átomos

de carbono terminales. Los radicales de los ácidos grasos particularmente unidos a los otros dos átomos de carbono del glicerol, dependen de la fuente del fosfolípido. Generalmente uno de los dos ácidos grasos se encuentra insaturado (Charley, 1991).

Las moléculas de los fosfolípidos contienen radicales de ácidos grasos no polares y el radical de ácido fosfórico polar con el fragmento que contiene el nitrógeno. El ácido esteárico predomina en los fosfolípidos de origen animal y el palmítico en los fosfolípidos de origen vegetal.

La gelatina y la clara de huevo, son buenos emulsificantes, pero la yema de huevo es superior al tener aproximadamente una tercera parte de grasa y a su contenido de lipoproteínas. La importancia de la yema de huevo como fuente de un emulsificante está indicada por las proporciones de huevo y grasa (Charley, 1991).

También los esteroides pueden ser usados como emulsificantes, puesto que están dotados de una gran capacidad para fijar agua y, sin embargo, tienen una moderada actividad de superficie. Los monoglicéridos y diglicéridos naturales igualmente presentan propiedades emulgentes. Se sintetizan con relativa facilidad y se pueden adaptar sus propiedades mediante el bloqueo adicional de los grupos hidroxilos libres (Baltes, 2007).

*Surfactantes manufacturados:* Algunos son ésteres de ácidos orgánicos (acético, cítrico, láctico y tartárico) de monoglicéridos. El gliceril lactilpalmitato se utiliza ampliamente en pasteles y mezclas preparadas; y un éster del ácido cítrico es utilizado en la margarina como agente para prevenir la salpicadura de grasa. Otros surfactantes son los ésteres de ácidos grasos de alcoholes diferentes del glicerol, es decir, propilen glicol y sorbitán. Los surfactantes de este grupo incluyen los ésteres grasos del sorbitán conocidos como spans, los cuales forman emulsiones de agua en aceite y los ésteres grasos del polioxietileno sorbitán conocidos como tweens, los cuales forman emulsiones de aceite en agua. Otra sustancia manufacturada aprobada en 1959 por la Food and Drug Administration como estabilizador en los aderezos para ensalada es la carboximetil celulosa (Charley, 1991).

Los emulsificantes tienen muchas aplicaciones en la tecnología alimentaria ya que pueden influir positivamente las propiedades de un alimento. Del mismo modo, pueden contribuir a la incorporación del aire en sistemas semisólidos, pero sobre todo mejoran la humectabilidad de partículas con contenido de grasas (Baltes, 2007).



Una posibilidad para aumentar la estabilidad de la mayonesa es la de aumentar la viscosidad de la fase continua, y existen varios productos con este propósito como proteínas, dextrinas y gomas. Gran parte de la particular sensación en boca de la mayonesa deriva de su estructura como una red de gotas de aceite, por ello es importante que el agente gelificante utilizado forme un gel lo suficientemente fuerte como para estabilizar el producto, pero sin crear una textura desagradable (McClements y Demetriades, 1998).

### **2.3.8 Elaboración de mayonesa: Proceso convencional**

El proceso puede comprender cuatro etapas (Franco, 2011):

- Preparación de materias primas
- Dosificación
- Emulsificación
- Almacenamiento de producto terminado

La elaboración de los productos de mayonesa utiliza tres tipos básicos de proceso, es decir, por lotes, continuo y por lotes-continuo.

**El procesamiento por lotes:** es probablemente el más simple en la fabricación de lotes individuales de producto seguido de un llenado directo. El recipiente de proceso por lotes varía en tamaño de 50 a 500 kg o más, la adición de ingredientes y la salida del producto funcionan bajo vacío para reducir la incorporación de aire. Aquí primero se añade el huevo, seguido del agua con él azúcar, posteriormente empieza a trabajar el agitador del depósito donde está la mezcla y se añade el aceite poco a poco hasta formar una pre-emulsión con un impulsor de alto cizallamiento, de ahí se añade el vinagre junto con la sal, el jugo de limón y las especias y el producto circula a través de un dispositivo de molino coloidal en la parte inferior del recipiente a través de un bucle por el que retorna de nuevo al recipiente. La mayonesa se hace recircular y se emulsiona hasta que se ha alcanzado la consistencia adecuada que permita tener un producto estable, tal como se puede observar en la Figura 2. El procesamiento por lotes requiere un control cuidadoso, la consistencia en la adición de los ingredientes y los tiempos son clave con el fin de conseguir una calidad aceptable del producto para cada uno de los lotes (Inoxpa, 2015; Morley, 2016).

**El procesamiento continuo:** En este proceso todos los ingredientes son adicionados al mismo tiempo mediante bombas dosificadoras que toman los ingredientes y los mezclan de una manera continua inmediatamente antes de la emulsificación. Puede haber cuatro o seis corrientes diferentes y el reto es asegurar un caudal constante de cada uno de tal manera que la mayonesa se forma en una sola pasada y al final tiene la composición correcta. Esto puede resultar difícil ya que las cantidades de los ingredientes corrientes pueden ser muy diferentes, y pueden tener diferentes viscosidades. Por ejemplo, en el caso de mayonesa con toda su grasa, la cantidad de aceite será mucho mayor que cualquiera de los otros flujos de ingredientes, y para la mayonesa light, la corriente de almidón/agua tendrá la viscosidad más alta. Se pueden presentar dificultades con la mayonesa baja en grasa con un contenido de aceite muy bajo y una corriente de agua/ almidón muy viscosa, como se observa en la figura 3 (Inoxpa, 2015; Morley, 2016).

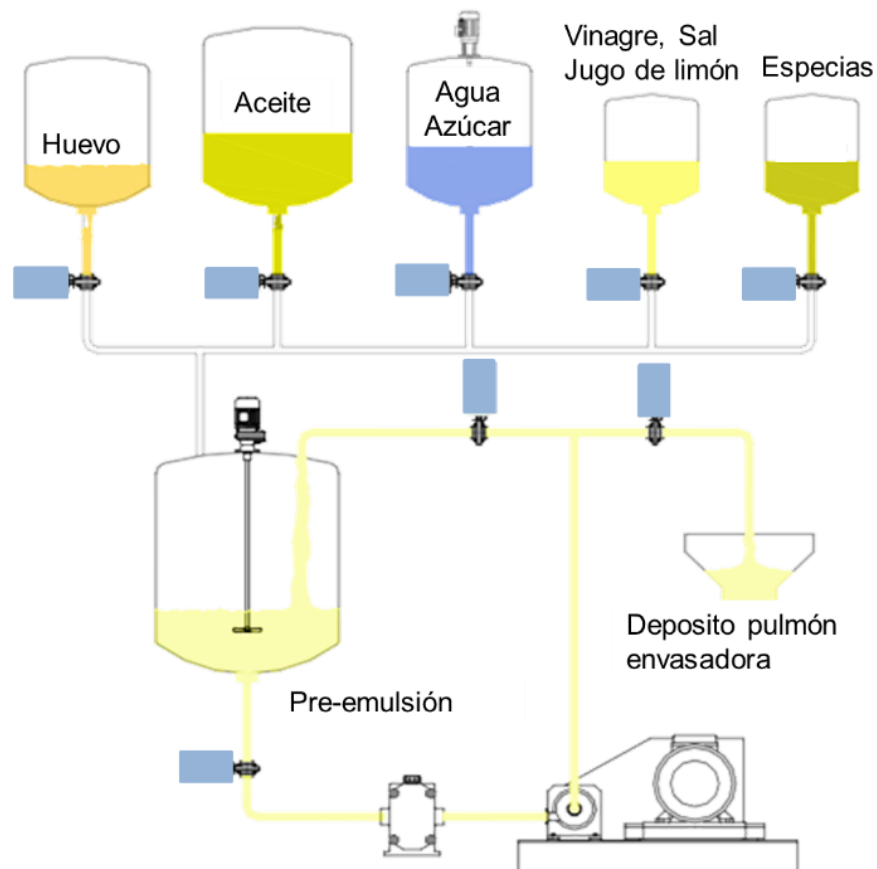


Figura 2. Proceso de elaboración de mayonesa en lotes

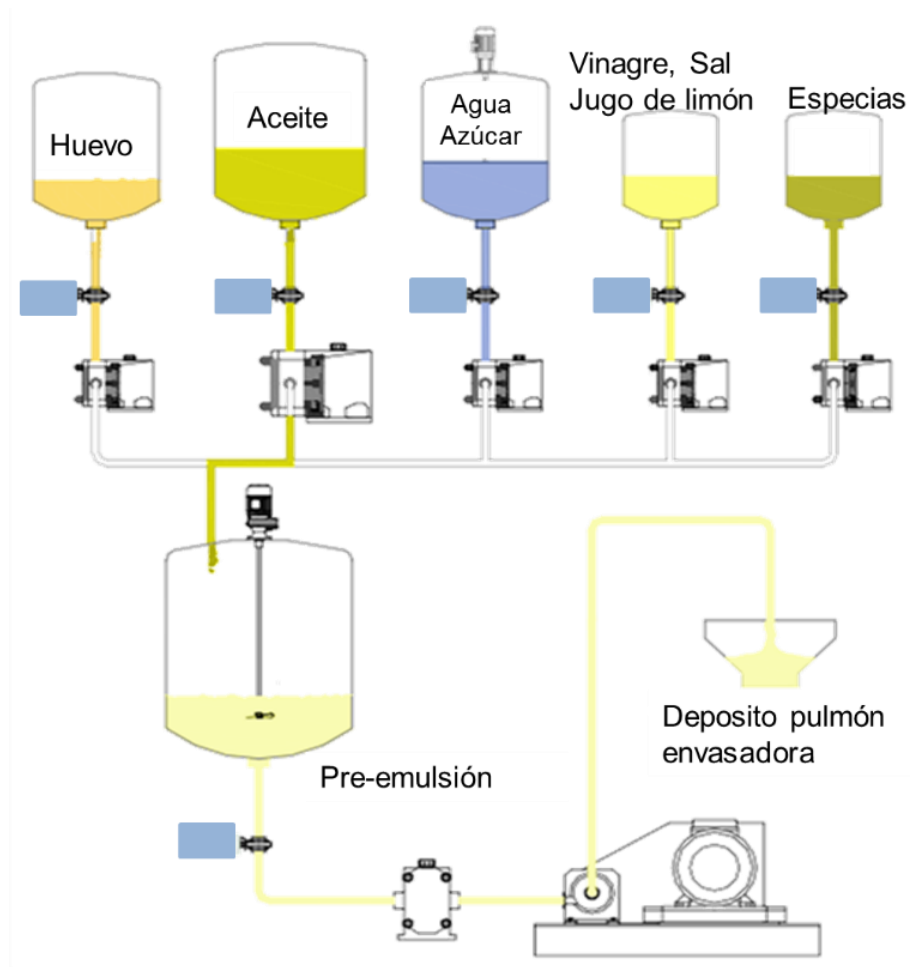


Figura 3. Proceso continuo de elaboración de mayonesa

**El procesamiento por lotes-continuo:** combina los dos procesos con el fin de lograr un producto de calidad consistente en un alto rendimiento. En este caso, se producen lotes relativamente pequeños, por ejemplo, 250 kg, de pre-emulsión y luego se bombean a los tanques de almacenamiento. Con ello se consigue una alimentación consistente para el molino coloidal en la última etapa de emulsión. Los lotes combinados de pre-emulsión se procesan de forma continua a través del molino coloidal y después a la carga. Esta combinación de pre-emulsión tiene un tiempo de ejecución larga para el molino coloidal significa que el producto final de mayonesa está optimizado para la calidad y la eficiencia de fabricación. Esta metodología se puede aplicar a todo tipo de productos con diferentes niveles y viscosidades de las corrientes de ingredientes (Morley, 2016).

En lo referente a las mayonesas light estas se pueden preparar ya sea por un proceso en lotes o por un proceso continuo, pero antes es necesario preparar una mezcla de agua/almidón que será necesaria para que el producto alcance una viscosidad adecuada que le permita mantenerse estable. Se parte de un depósito de agua y se dispersa el almidón mediante un mezclador en línea, con una bomba el almidón es bombeado hasta un intercambiador donde se calienta hasta 90 °C y se enfría a 10 °C con el objetivo de hidratar el almidón hasta que alcanza una viscosidad importante y se pasa a un depósito a partir del cual se va a preparar la mayonesa (Inoxpa, 2015).

### **2.3.9 Composición nutrimental de la mayonesa**

La relación entre la grasa de la dieta y el desarrollo de enfermedades cardiovasculares y la hipertensión ha llevado a los consumidores a ser más conscientes de la cantidad de grasa en su alimentación. Por lo tanto, los fabricantes de alimentos han respondido a la de las demandas del consumidor, lo que resulta en un rápido crecimiento del mercado de productos con una imagen saludable. Sin embargo, como un importante componente de la comida, la grasa contribuye a las propiedades sensoriales y fisicoquímicas de los productos haciéndolos más palatables. Estas propiedades podrían estar relacionadas con el sabor, la sensación en la boca, textura, y la estabilidad del producto a base de grasa tal como una emulsión. La modificación de este producto mediante el uso de los sustitutos de la grasa suele verse como una forma efectiva para evitar problemas debido a la reducción de grasa (Thaiudom y Khantaram 2012).

La mayoría de las mayonesas comerciales están elaboradas a base de aceite vegetal (soya), agua, yema de huevo, vinagre, sal yodada, especias, jugo de limón, mostaza, almidón de maíz modificado, goma xantana, goma guar, maltodextrina, carboximetilcelulosa, ácido sorbico, benzoato de sodio, sorbato de potasio, ácido fosfórico, ácido cítrico, EDTA disódico y colorantes. Su composición nutrimental puede ser observada en la Tabla 8.

Tabla 8. Composición nutricional de la mayonesa

Composición nutricional	Por 100 g de porción comestible
Energía (Kcal)	718
Proteínas (g)	1.8
Lípidos totales (g)	78.9
AG saturados (g)	11.4
AG monoinsaturados (g)	53.4
AG poliinsaturados (g)	8.69
$\omega$ -3 (g)*	0.529
C18:2 Linoleico ( $\omega$ -6) (g)	8.14
Colesterol (mg/1000 Kcal)	260
Hidratos de carbono (g)	0.1
Fibra (g)	0
Agua (g)	19.2
Calcio (mg)	1.6
Hierro (mg)	0.1
Yodo ( $\mu$ g)	35
Magnesio (mg)	7
Zinc (mg)	0.4
Sodio (mg)	450
Potasio (mg)	16
Fósforo (mg)	83
Selenio ( $\mu$ g)	0
Tiamina (mg)	0.06
Riboflavina (mg)	0.11
Equivalentes niacina (mg)	1
Vitamina B <sub>6</sub> (mg)	0.1
Folatos ( $\mu$ g)	14
Vitamina B <sub>12</sub> ( $\mu$ g)	1
Vitamina C (mg)	-
Vitamina A: Eq Retinol ( $\mu$ g)	80
Vitamina D ( $\mu$ g)	1
Vitamina E (mg)	49

Fuente: Tablas de composición de Alimentos. Moreiras *et al.* (2013) (Mayonesa Comercial). \*Datos incompletos, - datos no disponibles.

### 2.3.10 Innovaciones en la industria

Actualmente existe una variedad de marcas de mayonesas y aderezos de mayonesas, tanto nacionales como importadas, que van desde las tradicionales, las reducidas en grasa, los aderezos de mayonesa adicionados con chipotles, chile jalapeño, queso, mezcla de pimentón, pepinillos dulces, chile habanero, así como libres de colesterol, entre otras, buscando adaptarse a las preferencias de los consumidores, algunos ejemplos de estas se mencionan a continuación:

- *Aderezo de mayonesa con chipotles McCormick*: aderezo con chiles chipotles reducido en grasa
- *Aderezo de mayonesa con chile jalapeño McCormick*: aderezo bajo en calorías y con chiles jalapeños
- *Aderezo de mayonesa para Tortas y Sándwiches McCormick*: mezcla de pimentón y pepinillos dulces
- *Aderezo de mayonesa para ensaladas McCormick*
- *Mayonesa reducida en grasa McCormick*: mayonesa con más jugo de limones
- *Mayonesa con queso McCormick*: mayonesa con queso cheddar reducida en grasa.
- *Mayonesa sabor tocino McCormick*: mayonesa reducida en grasa sabor tocino.
- *Mayonesa con chile habanero McCormick*: mayonesa reducida en grasa con chile habanero.
- *Mayonesa tipo casero Kraft*: mayonesa reducida en grasa.
- *Mayonesa con aceite de oliva Kraft*: mayonesa reducida en grasa.
- *Aderezo de mayonesa para ensaladas la costeña*
- *Mayonesa con chipotle la costeña*
- *Mayonesa con chile jalapeño la costeña*: aderezo para ensaladas con chile jalapeño.
- *Mayonesa con aceite de oliva Hellmann's Clásica*
- *Pesto mayo Marks & Spencer*: Mayonesa con base en pesto.
- *Miracle Whip de Kraft*: especie de salsa como la mayonesa pero que no es mayonesa. Su textura es mucho más ligera y contiene la mitad de grasa.

- *Aderezo de mayonesa con aceite de oliva Best Foods*: hecha a base de aceite de oliva, huevos de gallina libre y vinagre.
- *Mayonesa orgánica Best Foods*: mayonesa hecha con ingredientes orgánicos, No contiene sabores artificiales ni conservadores.
- *Mayonesa orgánica con ajo asado Best Foods*: elaborada con un toque de ajo asado, con ingredientes orgánicos, no contiene saborizantes artificiales ni conservadores.
- *Mayonesa orgánica con chile chipotle Best Foods*: elaborada con ingredientes orgánicos, no contiene saborizantes artificiales ni conservadores.
- *Aderezo de mayonesa de canola libre de colesterol Best Foods*: elaborado con aceite de canola, libre de colesterol.

La industria de las mayonesas continúa innovando y constantemente encontramos en los supermercados una diversidad de estos productos, variando desde su composición hasta su empaque y etiquetado.

## **2.4 Ultrasonido**

### **2.4.1 Principios**

El ultrasonido se define como la energía generada por las ondas de sonido de 20 kHz o más vibraciones por segundo (Hoover, 2000) que van más allá del límite del permisible por el oído humano (Awad, 2012). Algunos animales los utilizan para navegar (delfines) o para la caza (murciélagos), utilizando la información transportada por las ondas de sonido de retrodispersión (Knorr, 2011).

Los ultrasonidos (US) se aplican en diferentes modalidades de alta y baja intensidad así como alta y baja frecuencia (Robles y Ochoa, 2012), es decir, de baja frecuencia/alta potencia (<16 a 100 kHz y la potencia de 10 a 1000 W cm<sup>2</sup>) y alta frecuencia/baja potencia (100 kHz a 10 MHz y la potencia <1 W cm<sup>2</sup>) (Soria y Villamiel, 2010). El ultrasonido de baja potencia es utilizado principalmente en el diagnóstico médico, mientras que el ultrasonido de alta potencia se utiliza en alimentos (Shirsath *et al.* 2012).

El procesamiento ultrasónico es una novedosa y prometedora tecnología en la industria alimentaria. En un medio que hace uso de fenómenos físicos y químicos que son diferentes a los que se aplican en las técnicas convencionales de extracción,

procesamiento y conservación y que han sido aprovechados para mejorar la eficiencia de las diversas operaciones de procesamiento de alimentos (Cheng *et al.* 2015).

El ultrasonido se fundamenta en la aceleración de la transferencia de masa y calor, de manera que interaccionan con el material alterando sus propiedades físicas y químicas y está establecido que el efecto de la cavitación gaseosa es el que produce el efecto conservador de esta tecnología, ya que de esta manera se promueve la implosión de microburbujas las cuales liberan energía (Robles y Ochoa, 2012).

Durante el proceso de cavitación se dan ciclos de compresión y de expansión que promueven el crecimiento de burbujas, cuando estas burbujas ya no pueden absorber más energía implosionan. Esto permite aumentos de temperatura que producen los diferentes cambios físicos, químicos y bioquímicos en el micro entorno de las células de los diferentes productos procesados, es por esto que favorece la liberación de los compuestos a extraer y mejora el transporte de masa debido al rompimiento de la pared celular. El uso de la tecnología del ultrasonido se ha reportado como más ventajosa que el emplear procesos como extracción con fluidos supercríticos, microondas y extracción acelerada con solventes (Robles y Ochoa, 2012).

En procesos industriales, el empleo de ondas ultrasónicas de elevada intensidad se basa generalmente en una explotación adecuada de los diversos mecanismos que son activados por la energía ultrasónica tales como la transferencia de calor, agitación, difusión, inestabilidad en las interfaces, fricción, rotura mecánica, efectos químicos, entre otros (Joice y Mason, 2008). Una característica de estas ondas ultrasónicas de elevada intensidad es su capacidad para trabajar de manera que actúan en sinergia con otras formas de energía, estimulando, acelerando o mejorando muchos procesos. Esta es la razón por la que varias aplicaciones prácticas de los ultrasonidos no son exclusivamente procesos ultrasónicos sino procesos asistidos ultrasónicamente. Tal situación es particularmente importante en aquellos procesos relacionados con la industria alimentaria donde la aplicación de las ondas ultrasónicas impone la utilización de una energía limpia, no contaminante (Mason *et al.* 1996, Knorr *et al.* 2004, Chemat *et al.* 2011;).

Se consideran como efectos ventajosos de esta tecnología los siguientes, (Knorr *et al.* 2004 y Chemat *et al.* 2011):



- Efectiva contra células vegetativas, esporas y enzimas
- Reducción de los tiempos y temperaturas de proceso
- Pocos requerimientos de adaptación en plantas ya establecidas
- Incrementos de los fenómenos de transferencia de calor
- Posible modificación de la estructura y textura en alimentos
- Puede emplearse en procesos continuos o intermitentes
- Efecto sobre la actividad enzimática
- Ofrece ventajas en términos de productividad, rendimiento y selectividad
- Reduce el costo de procesamiento
- Simplifica la manipulación y elaboración, dando mayor pureza del producto final
- La eliminación de post-tratamiento de aguas residuales
- Consumo de sólo una fracción del tiempo y la energía que normalmente se necesitan para los procesos convencionales
- Mejora la calidad de los productos alimenticios
- Reduce riesgos químicos y físicos
- Se considera ambientalmente amigable
- Se considera una técnica de procesamiento sustentable, debido a que típicamente emplea menos tiempo, agua y energía, que los que normalmente se utilizan en los procesos convencionales
- Mejora la vida útil

#### **2.4.2 Aplicaciones**

El aumento en el mercado global de alimentos ha promovido incrementos de productividad y estos deben de ir acompañados de calidad en los diferentes productos, los cuales demandan menores tiempos de procesado. Esto ha dado las bases para que surjan innovaciones en las técnicas actuales de procesamiento, de empaque, así como un incremento en la calidad en cuanto a componentes nutritivos, sabor y normas de seguridad. Es en estos rubros donde la técnica del ultrasonido ha generado importancia por su versatilidad de uso (Pingret *et al.* 2011).

Las limitaciones actuales relacionadas con los altos costos de inversión, el control total de las variables asociadas con la operación del proceso, la falta de aprobación regulatoria y la aceptación por parte del consumidor han estado retrasando una aplicación más

amplia de estas tecnologías no convencionales a escala industrial. El ultrasonido (US) en la industria alimentaria ha sido un tema de investigación y desarrollo. Hay un gran interés en esta tecnología debido al hecho de que las industrias pueden estar provistas de práctica y un equipo ultrasónico fiable. Hoy en día, su aparición como una tecnología novedosa ha atraído la atención sobre su papel en la sostenibilidad del medio ambiente (Chemat *et al.* 2011).

Sus aplicaciones están basadas en tres métodos diferentes (Chemat *et al.* 2011)

- Aplicación directa al producto
- Acoplada a un dispositivo
- Sumergido en un baño ultrasónico

Es una de las tecnologías emergentes que se puede utilizar en muchas aplicaciones industriales, incluyendo los alimentos, para minimizar el procesamiento, maximizar la calidad y garantizar la seguridad de los productos alimenticios. Se aplica para impartir efectos positivos en la elaboración de alimentos, tales como la mejora en la transferencia de masa, la conservación, la asistencia de los tratamientos térmicos, la manipulación de la textura, el análisis, entre otros (Knorr, 2011 y Awad, 2012).

Entre sus diversas aplicaciones cabe mencionar las siguientes: (Knorr, 2011, Awad, 2012, Chemat *et al.* 2012 y Delgado, 2012).

**Filtración:** Generalmente la separación de un líquido de un sólido es un procedimiento importante para obtener un sólido libre de líquido o sólido aislado. Sin embargo, la deposición de los sólidos sobre la superficie de la membrana de filtración es un problema muy complejo. Cuando se aplica energía sónica es factible incrementar los flujos y de esta manera se rompe la alta concentración de partículas polarizadas en la superficie de la membrana, de esta forma no se afecta la permeabilidad de la membrana, ya que el líquido a alta presión limpia la membrana, ya que el líquido a alta presión limpia la membrana. Se ha observado que debido al mecanismo de cavitación se liberan las partículas cuando las membranas se han tapado (Killön *et al.* 2005).

**Coccimiento:** se ha comprobado que la aplicación de ultrasonido en el proceso de cocción genera una mayor retención de la humedad de los productos tratados, así como una mayor eficiencia energética, lo que optimiza los tratamientos convencionales solo con temperatura. Esta combinación de tecnologías podría considerarse como una técnica

nueva, rápida y eficiente, que puede mejorar los atributos de textura de productos como la carne cocida (Yalgadard, 2008).

**Cortado:** el corte de productos alimenticios mediante la aplicación de ondas de vibración ultrasónica, se ha convertido en un procedimiento de gran impacto en la industria, el cual compite directamente con las tecnologías tradicionales como son el corte de alta velocidad y el uso de sierras y cuchillos (Vilkhu, 2001). Se ha comprobado que mediante el proceso ultrasónico se obtiene mayor precisión en los cortes y se produce un menor porcentaje de desperdicios. La aplicación más difundida se encuentra en el corte de alimentos frágiles como tartas, pasteles y otros productos de panadería, así como en productos grasos (quesos) o viscosos como las gelatinas (Arnold, 2009).

**Congelado y cristalización:** Un factor muy importante en el congelado de alimentos es la formación de cristales de hielo a partir del agua presente en el material. Los problemas asociados al congelado convencional se basan en la formación de cristales no uniformes, la destrucción de la estructura del alimento y su baja calidad sensorial (Lakshmisha *et al.* 2008).

En el congelado con ultrasonido, el enfriamiento se logra mediante la mejora de la transferencia de calor la cual protege en una mayor proporción la estructura del alimento tratado (Li *et al.* 2004).

Sun y Li (2003) reportan que bajo la influencia del US, el congelado convencional es mucho más rápido, debido al gran número de núcleos.

**Descongelado:** para la descongelación de carnes y pescados, los métodos ultrasónicos son más eficientes que los métodos comunes, ya que se logra disminuir el tiempo de este, lo que, a su vez, reduce las pérdidas por goteo y genera una mejora de la calidad del producto final ya que el daño durante el descongelado es menor (Sun y Li. 2003, Floros *et al.* 1994)

**Secado:** La tecnología ultrasónica de deshidratación osmótica utiliza temperaturas más bajas, y evita una mayor pérdida de agua y las tasas de ganancia de soluto (Zbigniew *et al.* 2007). Debido a las bajas temperaturas durante la deshidratación y los tiempos de tratamiento más cortos, las cualidades de los alimentos, tales como sabor, color y valor nutritivo, se mantienen inalteradas (Delgado, 2011).

**Elaboración de conservas y marinado:** El procesamiento de este tipo de productos, en algunas ocasiones involucra el empleo de etapas posteriores al proceso principal, como en el caso de la elaboración de conservas de salmuera, en donde es preciso desalar el producto para disminuir la cantidad de cloruro de sodio en el producto. Además, en procesos de fermentación se presentan efectos adversos al proceso, debido a la fermentación de levaduras ajenas a las empleadas, adicionalmente las etapas de remojo provocan ablandamiento enzimático y daños estructurales e hinchazón (Robles y Ochoa, 2012).

**Procesos de esterilización y pasteurización:** El procesamiento actual de esterilización y pasteurización involucra calentamiento que generalmente va acompañado de bajas en el contenido nutricional, sabores indeseables y deterioro de las propiedades funcionales del alimento. Se ha reportado que el uso del ultrasonido mejora este tipo de procesos en función del efecto de cavitación. Específicamente ha sido de gran interés la aplicación del US durante la pasteurización de productos lácteos, ya se ha probado su eficacia para inactivar *E. coli*, *Pseudomonas fluorescens* y *Listeria monocytogenes* sin presentar efectos adversos en el contenido de proteína total o en la caseína de leche pasteurizada (Cameron et al., 2009). Generalmente las ventajas del uso de US sobre la pasteurización tradicional es debido a que existe una mínima baja de sabores, mayor homogeneidad del tratamiento y un significativo ahorro de energía (Vercet et al. 2001).

**Emulsificación:** es una de las aplicaciones bien establecidas del ultrasonido en la elaboración de alimentos. La emulsificación es el proceso por el cual un sistema que comprende de dos líquidos inmiscibles (por lo general aceite y agua), con ayuda de un agente tensoactivo (emulsionante) forma una dispersión homogénea. El proceso requiere de energía por medio de la agitación mecánica o ultrasonicación para facilitar la formación de pequeñas gotitas de una fase que se dispersa en otra. Dependiendo del tamaño de las gotitas de la fase dispersa, las emulsiones se pueden dividir en micro (10-100 nm), nano (100 a 1000 nm) y macro-emulsiones (0,5 a 100  $\mu\text{m}$ ) (Thompson y Doraiswamy, 1999; Windhab, 2005). Pero cuando dos líquidos inmiscibles se irradian con ultrasonidos, no siempre es posible mezclarlos y crear una emulsión, ya que una de las fases debe cavitarse y de este modo poder hacer miscibles las dos fases (Parada et al., 2012).

Los sistemas de emulsificación con ultrasonido son económicos, fáciles de usar e integrar en líneas industriales existentes para mejorar la calidad de los productos emulsionados (Soria y Villamiel, 2010).

**Extracción:** La extracción asistida por ultrasonido es una aplicación para facilitar el proceso de extracción de una variedad de componentes alimenticios (por ejemplo, extracto de hierbas, aceite, proteína, polisacáridos) Así como ingredientes bioactivos (por ejemplo, antioxidantes) a partir de recursos vegetales y animales. El mejoramiento en la extracción de compuestos debido al uso del ultrasonido se atribuye a la presión de las ondas que resultan en el fenómeno de cavitación (Jian-Bing *et al.* 2006), que genera fuertes fuerzas de corte y microburbujas que mejoran la erosión superficial, la fragmentación y la transferencia de masa, dando como resultado un alto rendimiento de los materiales extraídos y una rápida velocidad de extracción. Las principales ventajas del US son el efecto mínimo sobre los materiales extraíbles, evitar el uso de los disolventes orgánicos, la reducción del tiempo de extracción, que puede potenciar la extracción de componentes bioactivos sensibles al calor, al trabajar a menores temperaturas de procesamiento y tiene potencial en escalas industriales (Vilkhu *et al.* 2008). Su aplicación para la extracción asistida de aceite de aceite oliva antes o después del proceso de maxalación fue recientemente evaluada por Juliano *et al.* (2017), quienes reportan que el proceso de extracción mejoró un 1%.

**Inactivación enzimática y de microorganismos:** El efecto bactericida del ultrasonido se atribuye al efecto de cavitación, que provoca choques micro-mecánicos por la continua formación y ruptura de burbujas microscópicas, inducidas por presiones que fluctúan en el proceso de ultrasonicación, estos choques interrumpen componentes estructurales y funciones celulares hasta el punto de lisis o muerte celular (Hoover, 2000).

Ciertos microorganismos pueden ser más susceptibles que otros al tratamiento con ultrasonido, se ha visto que las células largas o más grandes son más sensibles, por otro lado las esporas son más resistentes que las células vegetativas, los cocos son más resistentes que los bacilos (Guerrero *et al.*, 2000) y las células Gram-positivas al tener una pared más gruesa son más resistentes que las Gram-negativas (Mason *et al.*, 2005). En base a lo anterior hay que tomar en cuenta diversos factores en la inactivación de microorganismos cuando se emplea el ultrasonido, como son la naturaleza de las ondas

ultrasónicas, el tiempo de exposición a los microorganismos, el tipo de microorganismos, el volumen de alimentos procesados, la composición de la comida, y la temperatura. Los efectos, sin embargo, no son lo suficientemente graves como para una destrucción suficiente de microorganismos cuando se utiliza el ultrasonido solo (Bultz y Tausher, 2002). Esto puede ser logrado mediante la combinación de ultrasonido con calor o presión, o ambos. Las aplicaciones que utilizan combinación con otros métodos de conservación son:

1. Manosonicación: combinación de ultrasonido y presión (MS)
2. Termosonicación: combinación de ultrasonido y calor (TS)
3. Manotermosonicación: combinación de ultrasonidos, presión y el calor (MTS)

La combinación de calor y el ultrasonido es mucho más eficiente con respecto al tiempo de tratamiento y el consumo de energía en comparación con cualquiera de los tratamientos utilizados individualmente (Chemat *et al.* 2011).

Mediante el tratamiento por ultrasonido durante un tiempo de 10 minutos, han encontrado una reducción de aproximadamente 4 y 0.8 ciclos logarítmicos para *Salmonella* en agua de peptona y leche chocolatada. (Hunter, 2008).

**Desgasificación de líquidos:** Se hace con el objetivo de quitar el aire en la superficie de los líquidos para evitar daños organolépticos al producto debido a las bacterias y el oxígeno (Delgado, 2011). Como es el método conocido como “airbone” que consiste en aplicar ondas ultrasónicas por medio de aire con el propósito de eliminar la espuma en bebidas carbonatadas, procesos de fermentación y otros en que las espumas afectan la calidad del producto (Roberts, 1993).

**Homogenización:** Durante la cavitación, las burbujas generadas colapsan cerca a la interface existente entre los dos líquidos y este choque resulta en la mezcla eficiente de las dos fases (Parada *et al.* 2012).

En la industria de los alimentos sus principales aplicaciones son: inactivación enzimática, filtración, emulsificación, desgasificación de líquidos y homogenización (Delgado, 2012).

### **2.4.3 Impacto en la calidad del producto**

Los productos alimenticios, tales como frutas, verduras, grasas, aceites, azúcar, productos lácteos, carne, café, cacao y harinas, son mezclas complejas de vitaminas,

azúcares, proteínas, lípidos, fibras, aromas, pigmentos, antioxidantes y otros compuestos orgánicos y minerales. Antes de que tales productos puedan ser comercializados, tienen que ser procesados y conservados (Ashokkumar, 2015).

Se pueden utilizar diferentes métodos de procesamiento y conservación, sin embargo, muchos alimentos, ingredientes y productos son conocidos por ser sensibles térmicamente y ser vulnerables a los cambios químicos, físicos y microbiológicos. Las pérdidas de algunos compuestos, la baja eficiencia de la producción, y el tiempo de los procedimientos (calentamiento prolongado y agitación que consume energía y el uso de grandes volúmenes de agua) pueden darse por el uso de estos métodos de procesamiento convencionales de alimentos. Estas deficiencias han llevado a la utilización de las nuevas técnicas de procesamiento que normalmente emplean menos tiempo, agua y energía, como el procesamiento asistido por ultrasonido (Ashokkumar, 2015).

La mejora de la calidad y aspectos nutricionales de los alimentos es una de las cuestiones clave para la vida saludable de los seres humanos. La estabilidad durante el almacenamiento es un parámetro importante que debe ser considerado en la garantía de calidad de los productos alimenticios. Varias técnicas de procesamiento, tales como altas presiones, campo eléctrico, pulsos eléctricos y microondas han sido utilizadas para prolongar la vida útil de los productos alimenticios. En los últimos años, la tecnología de ultrasonido se ha encontrado para ser una técnica potencial de procesamiento de alimentos (Ashokkumar, 2015).

El ultrasonido puede ser muy útil para el procesamiento mínimo, debido a que la transferencia de energía acústica al producto alimenticio es instantánea y en todo el volumen del producto (Chemat *et al.* 2004). Está basado en la ventaja que representa sobre los procesos tradicionales, al disminuir los tiempos de procesamiento y mejorar los atributos de calidad sensorial, funcional y nutrimental, por lo tanto se obtienen mejores beneficios para el consumidor. (Robles y Ochoa 2012). En muchos casos la combinación de tecnologías convencionales con ultrasonido permite obtener mejores resultados (Chemat *et al.* 2004).

### 3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

México es el principal productor de aguacate a nivel mundial, sin embargo solo el 16% de esa producción se destina a la industria, la mayor parte se emplea para la exportación y venta del producto en forma cruda. Cabe mencionar que la comercialización de grandes volúmenes del fruto es muy difícil, puesto que se deben cumplir con ciertas especificaciones, su transporte requiere de mucho cuidado, es muy susceptible a daños por frío y un volumen de producción apreciable se pierde por sobre maduración, golpes y daños causados por insectos, hongos y bacterias. Debido a lo anterior el sector productivo tiene especial interés en buscar alternativas de comercialización, sin embargo el desarrollo de nuevos productos de aguacate comprende retos tecnológicos como es el alto contenido de lípidos de la pulpa, la cual también es muy susceptible a ser oxidada por la actividad de la enzima polifenoloxidasas. Estos retos deben ser considerados en la elaboración de productos como es el aceite extra virgen de aguacate ante la demanda de los consumidores de un producto que sea mínimamente procesado con un color y olor característico al aguacate, así como aderezos y mayonesas que contengan aceite y pulpa de aguacate, los cuales representen un nicho de oportunidad para diversificar el uso de la pulpa del aguacate.

Por otro lado, el alto consumo de mayonesas y aderezos en México es un factor que puede contribuir al desarrollo de enfermedades cardiovasculares, problemas de salud pública en México, por la gran cantidad de grasa que contienen (hasta un 85%), por lo que los productos reducidos en grasa (light) han ido ganando terreno; sin embargo, las mayonesas light agregan espesantes como el almidón, es decir son ricas en carbohidratos. Por lo que el desarrollo de un aderezo de mayonesa con aguacate, en el que se empleen tanto el aceite como la pulpa de este fruto considerando los beneficios que ambos poseen, significa una buena opción para diversificar la industria del llamado oro verde mexicano, así como una alternativa saludable para el mercado de los aderezos.



#### **4. JUSTIFICACIÓN**

Siendo México el principal productor de aguacate Hass a nivel mundial, cuya producción y consumo se ha incrementado en los últimos años, la industrialización se torna como una alternativa cada vez más importante para tener una mayor competitividad. Por lo que es necesario proporcionar alternativas de producción a la industria del aguacate que involucren el uso de nuevas tecnologías que minimicen los efectos del procesamiento en un fruto que presenta diversos retos tecnológicos, como son, el oscurecimiento enzimático y su alto contenido de lípidos. En el presente trabajo se propone elaborar un aderezo de mayonesa con aceite y pulpa de aguacate utilizando ultrasonido, con la finalidad de maximizar el aprovechamiento de este fruto, y considerando los beneficios que la pulpa y el aceite de aguacate pueden aportar a la salud, de esta manera proporcionar a la industria aguacatera y a las empresas que producen aceites y aderezos nuevos productos que sean del agrado de los consumidores quienes demandan alimentos menos procesados, reducidos en grasa y con mejor aporte nutrimental.

## **5. OBJETIVOS**

### **5.1 Objetivo general**

Estudiar el efecto del proceso de extracción de aceite de aguacate en la calidad de un aderezo de mayonesa con aguacate elaborado aplicando ultrasonido.

### **5.2 Objetivos específicos**

- ❖ Desarrollar la formulación para elaborar el aderezo de mayonesa con base a pruebas sensoriales.
- ❖ Determinar las condiciones de procesamiento con ultrasonido del aderezo de mayonesa.
- ❖ Evaluar la calidad física y química del aceite de aguacate obtenido por ultrasonido en comparación con un aceite comercial.
- ❖ Comparar la calidad química, microbiológica y sensorial de un aderezo de mayonesa con aguacate elaborado por proceso convencional y otro aplicando ultrasonido, de acuerdo a la normatividad mexicana.
- ❖ Evaluar la calidad química, microbiológica y sensorial de un aderezo elaborado aplicando ultrasonido con el aceite extraído por ultrasonido.

## **6. HIPÓTESIS**

La aplicación de ultrasonido en el proceso de extracción del aceite de aguacate influye en las características químicas y sensoriales de un aderezo de mayonesa con aguacate.

## 7. METODOLOGÍA

En la Figura 4 se muestra el diagrama experimental del trabajo de tesis, el cual comprende la selección de la formulación del aderezo de mayonesa con aceite comercial elaborado en forma convencional y con ultrasonido mediante pruebas sensoriales, así como la evaluación del efecto del procesamiento con ultrasonido en la carga microbiana del aderezo. Posteriormente, se establecieron las condiciones de extracción del aceite de aguacate con ultrasonido y se evaluó la calidad química y microbiológica del aderezo de mayonesa elaborada con el aceite extraído con ultrasonido.

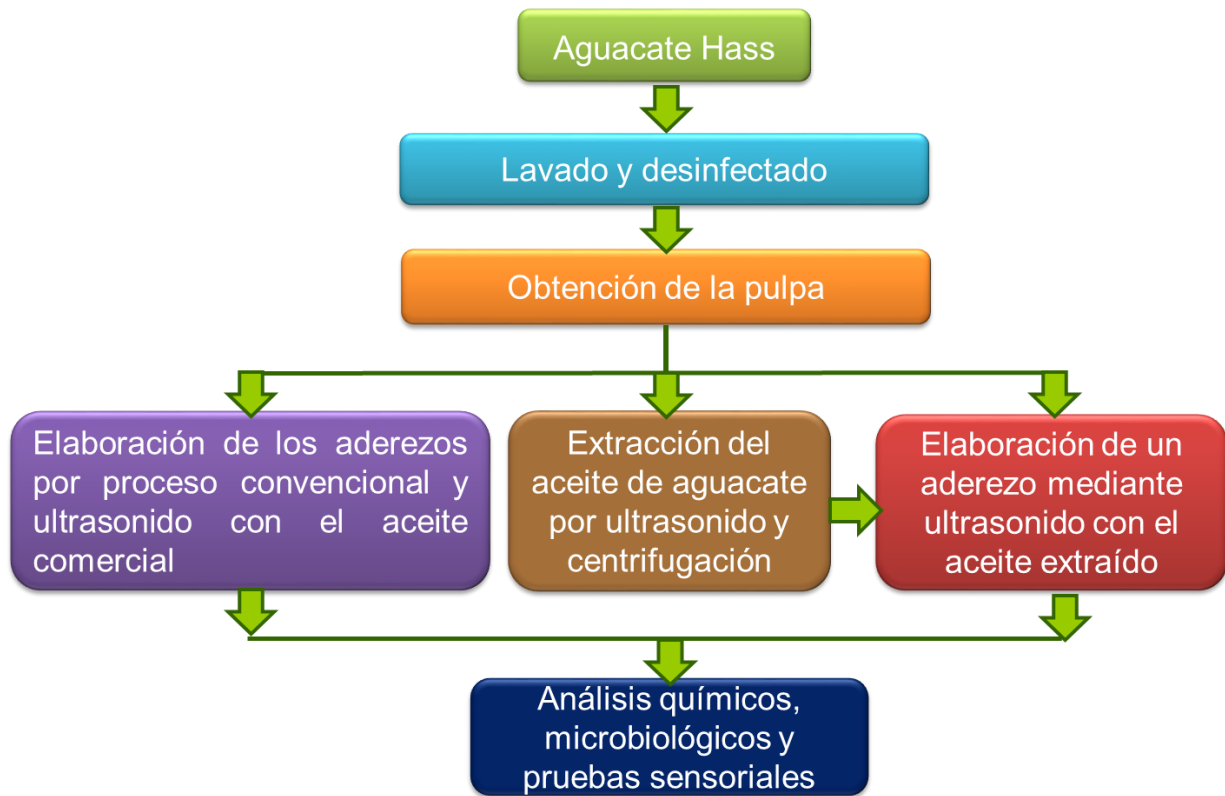


Figura 4. Diagrama experimental de trabajo

### 7.1 Materia prima

Se empleó aguacate variedad Hass con un 16% de extracto etéreo adquirido en un mercado local de la ciudad de Xalapa, Veracruz. El fruto de aguacate se lavó y se desinfectó en una solución de hipoclorito de sodio al 0.1%.

Para la formulación del aderezo de mayonesa de aguacate se empleó huevo, limón, vinagre, mostaza, sal, azúcar y especias que igualmente fueron adquiridos en un mercado local de la ciudad de Xalapa, Veracruz. Así como aceite comercial de aguacate que fue adquirido directamente en la empresa productora.

## **7.2 Elaboración y caracterización de los aderezos de mayonesa con aguacate**

### **7.2.1 Elaboración del aderezo de mayonesa por tecnología convencional**

Para la elaboración del aderezo primero se colocó en un recipiente de vidrio el huevo junto con la sal, el azúcar, el limón, la mostaza, el vinagre y el aceite comercial, que fueron homogenizados con un procesador de alimentos marca Braun hasta lograr una emulsión. Posteriormente a esta mezcla se le añadió la pulpa de aguacate y las especias, finalmente se homogenizó nuevamente con el procesador de alimentos observando una mezcla totalmente homogénea. El producto resultante se almacenó en frascos de vidrio previamente esterilizados.

### **7.2.2 Elaboración del aderezo de mayonesa por la tecnología del ultrasonido**

Este proceso de elaboración se realizó para ambos aceites tanto el comercial como el extraído con ultrasonido más centrifugación. Los ingredientes mencionados anteriormente para formular el aderezo de mayonesa se mezclaron y homogeneizaron utilizando un homogeneizador ultrasónico (Cole-Palmer Instrumental Company, VCX-750, E.E.U.U.) a una frecuencia de 20 kHz y una potencia de 750 W, variando las condiciones en 40, 60 y 80% de amplitud durante 5 a 10 minutos de procesamiento, adicionando vitamina E como antioxidante, posteriormente los aderezos se almacenaron en frascos de vidrio previamente esterilizados.

Para el caso del aderezo elaborado con el aceite extraído con ultrasonido se adicionó EDTA para ver el efecto en la calidad microbiológica durante el tiempo de almacenamiento (Figura 5).

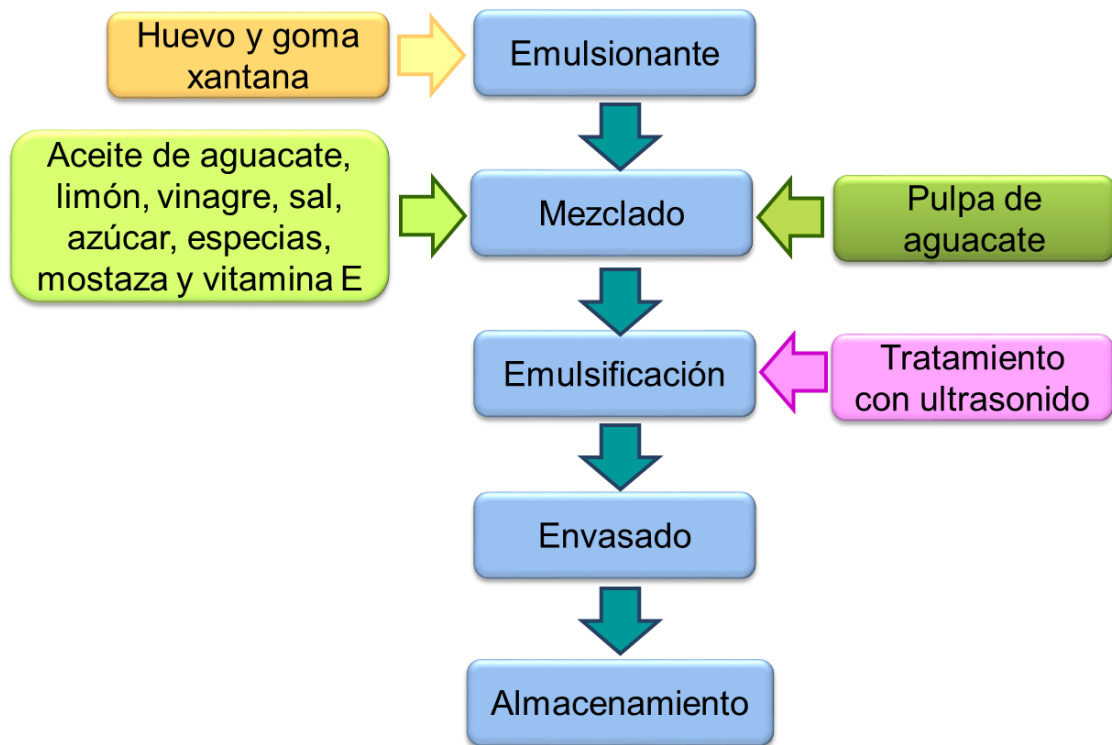


Figura 5. Proceso de elaboración del aderezo de mayonesa con ultrasonido

### 7.2.3 Determinación de color en los aderezos

Para este análisis se utilizó un colorímetro (Color Flex V1-72SNHCX s/n Cx1115 Hunter Lab) que proporciona los valores CIE  $L^*$   $a^*$   $b^*$ . Para lo cual se colocó una muestra de cada uno de los aderezos en una placa Petri de 5 cm de diámetro la cual se llevó al equipo previamente calibrado para realizar la lectura, obteniendo los valores de  $L^*$   $a^*$   $b^*$  y los valores de triestimulares X, Y, Z.

En donde:

$L^*$  es la luminosidad y define la claridad. Los colores pueden ser clasificados como tenues u oscuros al comparar sus valores. Valores cercanos a cero indican negro y valores cercanos a 100 blanco.

$a^*$  denota el valor rojo/verde (+ $a$ =rojo, - $a$ =verde)

$b^*$  denota el valor amarillo/azul (+ $b$ =amarillo, - $b$ =azul)

X Y Z son los valores de cromaticidad que representan los porcentajes de los componentes en una mezcla aditiva de tres colores necesaria para igualar un color. Se utilizan para obtener las coordenadas (x y) de cromaticidad mediante las siguientes fórmulas:

$$x = \frac{X}{X+Y+Z} \quad y = \frac{Y}{X+Y+Z}$$

Estas coordenadas se usan para formar el diagrama de cromaticidad en la Figura 6 y el color correspondiente a los aderezos se ve en el diagrama (x,y).

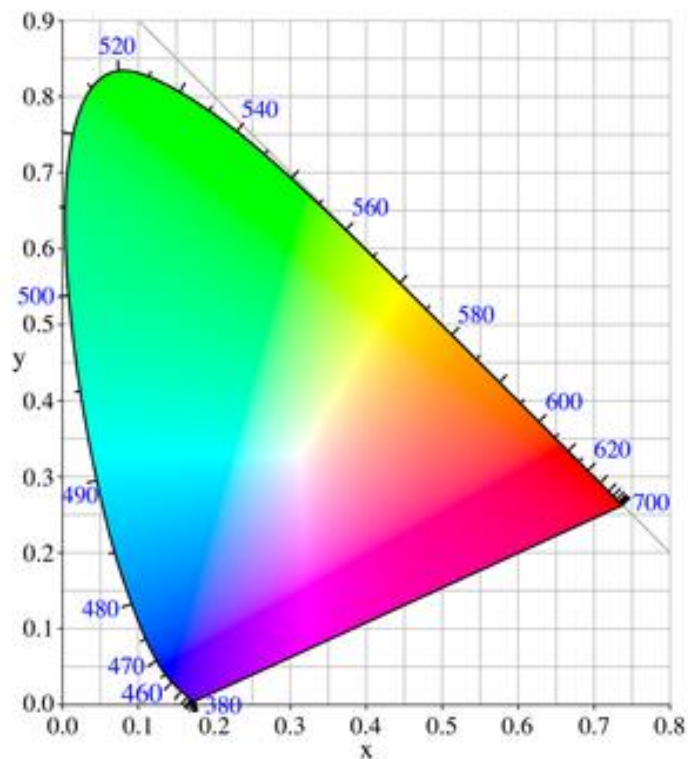


Figura 6. Diagrama de cromaticidad CIE 1931 (x,y)

#### 7.2.4 Pruebas químicas

A los aderezos elaborados por tecnología convencional y ultrasonido se les determinó: acidez total como ácido acético (%) de acuerdo a la norma mexicana NMX-F-341-S-1979. Aderezo con mayonesa, considerando las siguientes normas mexicanas:

- NMX-F-317. Determinación de pH en alimentos
- NMX-F-102. Determinación de la acidez titulable

#### 7.2.5 Estabilidad de la emulsión

Fue evaluada de acuerdo al método reportado por Ghazaei (2015) mediante centrifugación y sometiendo el producto a altas temperaturas. Para lo cual los aderezos de mayonesa elaborados tanto por tecnología convencional como por ultrasonido se almacenaron en condiciones de refrigeración a 4 °C y a temperatura ambiente por 6

semanas. Cada 14 días se tomaron muestras, con un peso de 15 g cada una, se calentaron en un tubo de centrífuga a 80 °C durante 30 min y después se centrifugaron a 5000 rpm durante 30 min en una centrífuga 5804 R eppendorf. El porcentaje estabilidad de la emulsión fue calculado aplicando la siguiente fórmula:

$$\text{Estabilidad de la emulsión (\%)} = (F1 / F0) \times 100$$

Donde:

F0 = peso original de cada muestra

F1 = peso de la fracción precipitada

### **7.2.6 Pruebas microbiológicas**

Con el objetivo de determinar la calidad microbiológica de los aderezos de mayonesa con aguacate; el contenido de mesófilos aerobios, coliformes, hongos, Levaduras, *Salmonella* y *E. coli* fueron evaluados de acuerdo a la norma mexicana NMX-F-341-S-1979. Aderezo con mayonesa, considerando las siguientes normas:

- NMX-F-253-1977 Cuenta de bacterias mesofílicas aerobias
- NMX-F-254-1977 Cuenta de organismos coliformes
- NMX-F-255. Cuenta de hongos y levaduras
- NMX-F-304. Método general de investigación de *Salmonella* en alimentos
- NMX-F-308. Cuenta de organismos coliformes fecales

Una vez obtenidos los resultados para los aderezos elaborados de manera convencional y por medio de ultrasonido, se procedió a calcular la reducción de microorganismos en ciclos logarítmicos después de aplicar el tratamiento ultrasónico, de acuerdo a la siguiente fórmula:

$$\text{Reducción en ciclos logarítmicos} = \text{Log (carga inicial)} - \text{Log (carga final)}$$

### **7.2.7 Pruebas sensoriales**

Para poder establecer la formulación del aderezo de mayonesa se aplicaron pruebas bench top a consumidores ajenos a la misma, las cuales establecen una degustación del producto mínimo a 20 personas. Para esta evaluación se elaboraron dos aderezos con aceite comercial utilizando la misma formulación mencionada en el inciso 7.2.1 para ambos, pero diferente tecnología (uno de forma convencional y otro por ultrasonido).

Se empleó una prueba hedónica de 7 puntos para evaluar olor, color, textura, sabor y aceptabilidad en general (Pedrero y Pangborn, 1989). El cuestionario aplicado se puede ver en el Anexo 1.

La evaluación sensorial se llevó a cabo a 25 panelistas no entrenados entre 21 y 60 años en el Instituto de Ciencias Básicas de la Universidad Veracruzana.

Para esto se presentaron dos aderezos sobre un totopo sin sal, cada uno marcado con una clave de tres dígitos aleatoria con el fin de disminuir el sesgo. Antes de iniciar se pidió a los participantes tomaran un sorbo de agua para limpiar el paladar. El orden en que se pidió que los probaran fue de izquierda a derecha y tomando otro sorbo de agua antes de probar el segundo aderezo con el fin de eliminar el residuo de sabor del primero.

La evaluación consistió en marcar el nivel de agrado para cada muestra y se pidió a los participantes ordenar de izquierda a derecha cual fue el aderezo de su preferencia.

Así mismo se aplicó una prueba de preferencia en donde se pidió a los participantes ordenaran de izquierda a derecha cual fue el aderezo preferido.

### **7.3 Extracción y caracterización de los aceites de aguacate**

#### **7.3.1 Extracción del aceite por ultrasonido más centrifugación**

Para la extracción del aceite se pesaron 100 g de pulpa la cual se homogenizó con un procesador de alimentos marca Braun. Posteriormente la extracción se llevó a cabo aplicando la tecnología del ultrasonido, con un homogeneizador ultrasónico a una frecuencia de 20 kHz y una potencia de 750 Watts (Cole-Palmer Instrumental Company, VCX-750, E.E.U.U.) variando las condiciones de amplitud al 40, 60 y 80%, el tiempo de tratamiento entre 10 y 60 minutos. Después del tratamiento con ultrasonido, se centrifugó a 40 °C, 8228 g, por 10, 20, 30 y 40 minutos, con la finalidad de encontrar las mejores condiciones para su extracción y obtener los mejores rendimientos. Se adiciono vitamina E como antioxidante en un 0.03% como lo establece la normatividad mexicana.

#### **7.3.2 Cálculo del rendimiento de extracción del aceite**

Para determinar el rendimiento de extracción y encontrar las mejores condiciones se aplicó la siguiente fórmula:

$$\text{Rendimiento} = (\text{kg aceite obtenido} / \text{kg carga vegetal}) \times 100$$



### 7.3.3 Análisis químico de los aceites

El aceite comercial y el extraído mediante ultrasonido más centrifugación fueron caracterizados de acuerdo a la norma mexicana NMX-F-052-SCFI-2008 ACEITES Y GRASAS-ACEITE DE AGUACATE-ESPECIFICACIONES. Mediante los análisis de: ácidos grasos libres (como ácido oleico) en %; humedad y materia volátil en %, color, densidad relativa a 25 °C (agua), índice de peróxido en meq/Kg, impurezas insolubles en %, materia insaponificable en %, índice de refracción, índice de yodo  $\text{cgl}_2/\text{g}$  e índice de saponificación mg KOH/g. Considerando las siguientes normas mexicanas:

- NMX-F-101-SCFI-2012: Determinación de ácidos grasos libres
- NMX-F-211-SCFI-2012: Determinación de humedad y materia volátil
- NMX-F-075-SCFI-2012: Determinación de la densidad relativa
- NMX-F-215-SCFI-2016: Impurezas insolubles
- NMX-F-154-SCFI-2010: Determinación del valor de peróxido
- NMX-F-174-SCFI-2014: Determinación del índice de saponificación
- NMX-F-048-SCFI-2012: Determinación del punto de humeo

### 7.3.4 Determinación del perfil de ácidos grasos a los aceites

Para la esterificación de los ácidos grasos, se prepararon los ésteres metílicos, mediante la técnica propuesta por Egan *et al.*, (1981), utilizando  $\text{BF}_3$  en metanol al 14%. Se realizó la extracción de los ésteres metílicos utilizando 1.0 mL de hexano grado HPLC, el extracto hexánico fue secado con sulfato de sodio anhidro ( $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ) y filtrado, para su posterior inyección al cromatógrafo de gases.

El análisis de los ésteres metílicos mediante cromatografía de gases (GC) acoplado a masas (MS) se realizó utilizando un cromatógrafo de gases marca Agilent Technologies, modelo 6890N (Net Work GC system), equipado con una columna DB-5, 5%-fenilmetilpolisiloxano (Agilent Technologies) de 60 metros de longitud, 0.25 mm de diámetro interno y 0.25  $\mu\text{m}$  de espesor de película. La temperatura de inicio fue 150 °C, la cual se mantuvo durante 5 min, posteriormente la temperatura se elevó hasta 210 °C usando una rampa de calentamiento de 30 °C/min. De 210 °C pasó a 213 °C a una velocidad de 1 °C/min; finalmente, de esta temperatura pasó a 225 °C a una velocidad de 20 °C /min, durante 40 min haciendo un total de 50.6 min por corrida para cada muestra. Se usó helio como gas acarreador a un flujo de 1 mL/min, la temperatura del inyector fue 250 °C,

inyección split, con una relación de split de 50:1. Una vez obtenido el cromatograma, la identificación de cada uno de los picos se llevó a cabo mediante espectrometría de masas empleando un espectrómetro de masas marca Agilent Technologies modelo 5975 inert XL. Los espectros de masas se obtuvieron mediante ionización por impacto electrónico a 70 eV, para la identificación se compararon los espectros de masas obtenidos para cada compuesto, con una base de datos (HP Chemstation-NIST 05 Mass Spectral search program, versión 2.0d), además de la comparación con un estándar (FAME mix, C8:C22, No. de catálogo 18920-1AMP, Sigma-Aldrich) analizado bajo las mismas condiciones

### **7.3.5 Determinación del color en los aceites**

Para esto se midió el color CIE tanto en el aceite comercial como en el aceite extraído por ultrasonido empleando un colorímetro (Color Flex V1-72SNHCX s/n Cx1115 Hunter Lab). La muestra de cada uno de los aceites se colocó en una placa Petri de 5 cm de diámetro la cual se llevó al equipo previamente calibrado para realizar la lectura. Obteniendo los valores de  $L^*$   $a^*$   $b^*$  y los valores de triestimulares X, Y, Z. Mismos que se mencionan en el inciso 7.2.4, para posteriormente poder obtener las coordenadas (x,y) y observar el diagrama de cromaticidad CIE (Figura 6) el color que presentan dichos aceites.

### **7.3.6 Prueba sensorial a los aceites**

Para realizar estas pruebas se empleó aceite de aguacate comercial y aceite de aguacate extraído mediante ultrasonido más centrifugación con la finalidad de evaluar el nivel de agrado del aceite extraído por una tecnología no convencional en comparación con uno de marca comercial. Estos aceites fueron evaluados mediante una prueba bench top, en donde 20 panelistas no entrenados calificaron el nivel de grado en una escala de 7 puntos que va de me gusta mucho a me disgusta mucho evaluando olor, color y sabor (Anexo 2).

## **7.4 Análisis de oxidación del aderezo de mayonesa elaborado con aceite extraído con ultrasonido**

Este análisis se llevó a cabo observando los cambios en el color, para lo cual el aderezo de mayonesa se almacenó en frascos de vidrio cerrados en condiciones de refrigeración a 4 °C, los cuales previamente fueron esterilizados, posteriormente se

realizó un muestreo a intervalos de tiempo (cada 14 días) por 6 semanas para identificar la progresión del cambio de color. Se monitoreó mediante la medición de los parámetros  $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$  y X, Y, Z utilizando un colorímetro Color Flex V1-72SNHCX s/n Cx1115 Hunter Lab.

### **7.5 Prueba sensorial a los aderezos elaborados mediante ultrasonido**

Se llevó a cabo una prueba sensorial bench top para los dos aderezos elaborados con ultrasonido, partiendo de la misma formulación, pero con diferente aceite, a uno de los aderezos se le adicionó el aceite extraído por medio de esta misma tecnología y al otro aderezo el aceite de marca comercial. Los parámetros evaluados fueron olor, color, sabor y textura en una escala de 7 puntos que va de me gusta mucho a me disgusta mucho (Pedrero y Pangborn, 1989). También se aplicó una prueba de preferencia, en donde los participantes indicaron cuál de los dos aderezos prefirieron. El cuestionario aplicado se puede observar en el Anexo 3.

Los dos aderezos elaborados por medio de la tecnología del ultrasonido pero con diferente aceite se sometieron a una evaluación sensorial entre 25 panelistas no entrenados de 21 a 60 años, en el Instituto de Ciencias Básicas de la Universidad Veracruzana. En donde se evaluó olor, color, sabor y textura, marcando cada aderezo con una clave de tres dígitos aleatoria. Antes de iniciar la evaluación se pidió a los participantes tomar un sorbo de agua para limpiar el paladar y entre cada muestra para eliminar cualquier residuo de sabor de la muestra anterior. El aderezo se dio a probar sobre un totopo sin sal. Así mismo se aplicó una prueba de preferencia en donde se pidió a los participantes ordenar de izquierda a derecha el aderezo de mayor preferencia en cuanto al sabor.

### **7.6 Análisis estadístico**

Los datos fueron analizados empleando un modelo lineal de análisis de varianza (ANOVA) y una prueba de comparación de medias Tukey ( $p \leq 0.05$ ). Los análisis fueron realizados en el programa estadístico Minitab 16.

## 8. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 8.1 Elaboración y caracterización de los aderezos de mayonesa elaborados con aceite comercial de aguacate

#### 8.1.1 Análisis de pH y color de los aderezos de mayonesa con aguacate

Con base a la formulación mencionada previamente en la metodología (inciso 7.2.1) se elaboraron 4 aderezos (Figura 7), uno por método convencional y tres por ultrasonido variando amplitud en 40, 60 y 80%. Con el tiempo de tratamiento de 10 minutos, se encontró que el pH disminuye al aumentar la amplitud de un pH de 4.2 hasta un pH de 3.9 a una amplitud del 80%. Se observó que el aderezo elaborado a una amplitud del 60% presentó una buena formación de la emulsión, un pH aceptable dentro de la normatividad y sin degradación aparente de color, en cambio en el aderezo elaborado a una amplitud del 40% no hubo una buena formación de la emulsión y en el aderezo al que se aplicó una amplitud del 80% se observaba más viscoso, incluso con formación de grumos aunque el pH también se encontraba dentro de la normatividad.



Proceso convencional pH = $4.276 \pm 0.011$	Ultrasonido Amplitud 40% pH = $4.125 \pm 0.009$	Ultrasonido Amplitud 60% pH = $4.000 \pm 0.000$	Ultrasonido Amplitud 80% pH = $3.978 \pm 0.002$
---	---	---	---

Figura 7. Aderezos de mayonesa con aguacate elaborados por proceso convencional y ultrasonido a diferentes amplitudes de onda

Se determinaron los parámetros  $L^* a^* b^*$  para los cuatro aderezos, encontrando que en cuanto a luminosidad los cuatro presentan valores más cercanos a 100 que corresponden a un color claro. En cuanto al parámetro “a” en donde valores positivos indican color rojo y valores negativos indican color verde, se encontró que los cuatro aderezos presentaron valores negativos que indican color verde, así mismo se encontraron diferencias significativas entre el aderezo convencional y los aderezos elaborados con ultrasonido que presenta valores más negativos en “a”, es decir con más tendencia a verde, lo cual sugiere una menor degradación de las clorofilas (Guzmán *et al.* 2001) y respecto al parámetro “b” que expresa el color de amarillo a azul, siendo positivo para amarillo y negativo para azul, todos los aderezos presentaron valores positivos en “b” que indican color amarillo, de la misma forma se encontraron diferencias significativas entre el aderezo convencional y los elaborados con ultrasonido. Estos resultados se pueden ver en la Tabla 9.

Tabla 9. Parámetros  $L^*a^*b^*$  para los aderezos de mayonesa con aceite comercial

Parámetros	Convencional	Ultrasonido 40%	Ultrasonido 60%	Ultrasonido 80%
$L^* \pm DE$	$75.2^a \pm 0.33$	$68.7^c \pm 0.18$	$69.0^c \pm 0.14$	$71.1^b \pm 0.16$
$a^* \pm DE$	$-11.7^a \pm 0.26$	$-12.9^b \pm 0.27$	$-13.2^b \pm 0.20$	$-13.2^b \pm 0.22$
$b^* \pm DE$	$29.2^c \pm 0.34$	$35.9^b \pm 0.37$	$36.9^a \pm 0.28$	$36.0^b \pm 0.53$

DE: Desviación estándar

a, b, c: Letras diferentes entre filas indican diferencias significativas ( $p \leq 0.05$ )

L = Luminosidad

a = rojo-verde (+a = rojo, -a = verde)

b = amarillo-azul (+b = amarillo, -b = azul)

Con la finalidad de establecer la longitud de onda (nm), se determinaron los valores de cromaticidad X, Y, Z en los cuatro aderezos, para calcular las coordenadas (x, y) y de esta manera obtener en el sistema CIE la percepción del color por el ojo humano. Estos parámetros se presentan en la Tabla 10 para cada uno de los aderezos elaborados tanto por proceso convencional como por ultrasonido al 40, 60 y 80% de amplitud, así como también las coordenadas (x,y) obtenidas de acuerdo a esos parámetros.

Tabla 10. Valores de cromaticidad X, Y, Z para los aderezos de mayonesa con aceite comercial.

Parámetros	Convencional	Ultrasonido 40%	Ultrasonido 60%	Ultrasonido 80%
X ± DE	42.7±0.68	34.3 ±1.33	33.9±0.10	36.5±0.12
Y ± DE	47.5±0.08	37.8±0.22	38.1±0.13	40.9±0.17
Z ± DE	27.7±0.06	17.4±0.02	17.3±0.02	19.5±0.03
Coordenadas (x,y)	0.36,0.40	0.38,0.42	0.38,0.43	0.38,0.42

DE: Desviación estándar

Posteriormente los puntos correspondientes a las coordenadas (x,y) se identificaron en el sistema de cromaticidad CIE (Figura 8). Encontrando que los cuatro aderezos presentan un color verde amarillento con una longitud de onda entre 568 y 570 nm, que esta representado por los puntos verdes en dicho diagrama.

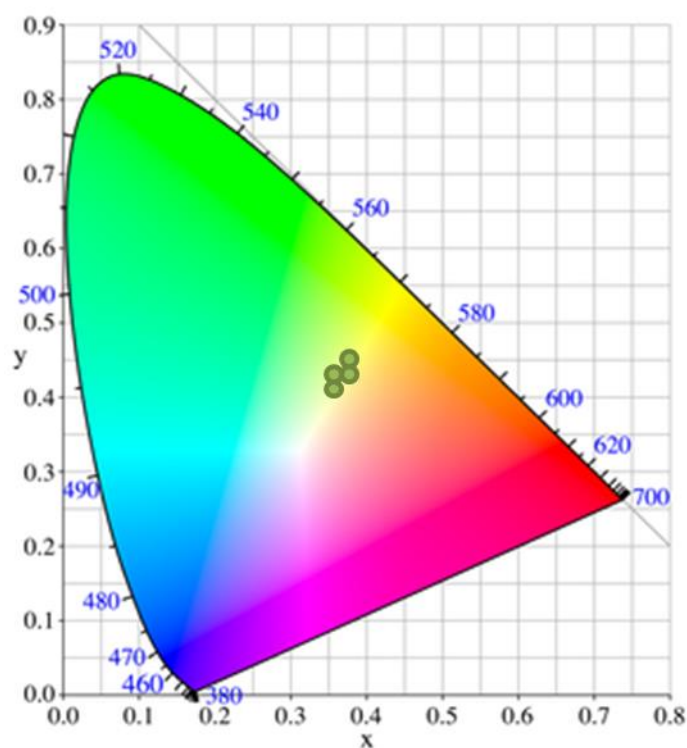


Figura 8. Color en los aderezos en el diagrama de cromaticidad (CIE, 1931)

### 8.1.2 Procesamiento del aderezo de mayonesa con ultrasonido

Considerando los análisis anteriores, es decir, en donde se observó una buena formación de la emulsión, un pH aceptable, así como un buen color, se establecieron las condiciones de procesamiento con ultrasonido para los aderezos, el procesamiento puede ser observado en la Figura 9. Estableciendo como condiciones las siguientes:

- ✓ Tiempo de 10 minutos
- ✓ Frecuencia de 20 kHz
- ✓ Potencia de 750 W
- ✓ Amplitud del 60%
- ✓ Temperatura ambiente



Figura 9. Aderezo de mayonesa tratado con ultrasonido

### 8.1.3 Selección de los aderezos de mayonesa elaborados con aceite comercial

Con base a los análisis de pH, color y en base condiciones establecidas se seleccionó el aderezo elaborado mediante ultrasonido con amplitud del 60% y el aderezo elaborado de forma convencional, para efectos de comparación entre ambas tecnologías, posteriormente a estos dos aderezos se les realizaron los análisis correspondientes de acuerdo a la normatividad mexicana, así como pruebas sensoriales. Estos aderezos pueden ser apreciados en la Figura 10.



Aderezo convencional      Aderezo con ultrasonido al 60% de amplitud

Figura 10. Aderezos de mayonesa con aguacate elaborados con aceite comercial por proceso convencional y ultrasonido al 60% de amplitud

#### 8.1.4 Determinaciones químicas a los aderezos de mayonesa con aguacate elaborados con aceite comercial

Una vez seleccionados los aderezos se procedió con el análisis químico determinando pH y acidez total como porcentaje de ácido acético, el aderezo de mayonesa elaborado mediante ultrasonido presentó un pH de 4, mientras el aderezo que se elaboró por tecnología convencional presentó un pH de 4.2 excediéndose de acuerdo a la normatividad mexicana que permite un mínimo de 3.2 y un máximo de 4.

En cuanto acidez total ambos aderezos presentaron 0.5%, que se encuentra dentro de lo establecido por la norma mexicana NMX-F-102 que permite un mínimo de 0.25 y un máximo de 0.5. Estos datos se pueden visualizar en la Tabla 11.

Tabla 11. Análisis químico para los aderezos de mayonesa con aceite comercial

Determinaciones	Norma Mínimo - Máximo	Aderezo Convencional	Aderezo con Ultrasonido
pH	3.2 – 4.0	4.27 ± 0.01	4.0 ± 0.00
Acidez total como ácido acético (%)	0.25 – 0.5	0.5 ± 0.01	0.5 ± 0.01



### 8.1.5 Estabilidad de la emulsión en los aderezos

Se llevó a cabo un análisis de estabilidad de la emulsión de los aderezos elaborados con aceite comercial, de forma convencional y por la tecnología del ultrasonido, para lo cual se almacenaron cuatro muestras, dos en condiciones de refrigeración a 4 °C y dos a temperatura ambiente. Se encontró, que los aderezos almacenados en condiciones de refrigeración se mantuvieron más estables, tal como se puede observar en la Tabla 12. En el día 1, no se encontraron diferencias significativas entre los porcentajes de estabilidad siendo del 99.9% para el aderezo convencional y de 99.5% para el elaborado con ultrasonido, sin embargo a partir del día 14 al día 42 se observan diferencias significativas entre cada uno de ellos manteniéndose un poco más estable el aderezo elaborado de forma convencional, por otra parte en general no se observan diferencias significativas entre ambos aderezos a lo largo de todo el proceso de almacenamiento, esto se puede observar más claramente en la Tabla 12.

Tabla 12. Estabilidad de la emulsión de los aderezos de mayonesa con aguacate elaborados con aceite comercial

Días	Refrigeración		Temperatura ambiente	
	Aderezo convencional <sup>a</sup>	Aderezo con ultrasonido <sup>a</sup>	Aderezo convencional <sup>a</sup>	Aderezo con ultrasonido <sup>a</sup>
	% Estabilidad de la emulsión ± DE		% Estabilidad de la emulsión ± DE	
1	99.9 <sup>a</sup> ± 0.00	99.5 <sup>a</sup> ± 0.16	99.9 <sup>a</sup> ± 0.00	99.5 <sup>a</sup> ± 0.16
14	99.9 <sup>a</sup> ± 0.00	98.8 <sup>b</sup> ± 0.03	99.8 <sup>a</sup> ± 0.02	97.9 <sup>b</sup> ± 0.17
28	98.8 <sup>a</sup> ± 0.06	97.7 <sup>b</sup> ± 0.24	96.7 <sup>a</sup> ± 0.30	94.3 <sup>b</sup> ± 0.20
42	97.7 <sup>a</sup> ± 0.07	96.3 <sup>b</sup> ± 0.25	88.4 <sup>a</sup> ± 0.31	86.0 <sup>b</sup> ± 0.18

DE: Desviación estándar

<sup>a, b</sup>: Letras diferentes entre filas indican diferencias significativas  $p \leq 0.05$

### 8.1.6 Determinaciones microbiológicas a los aderezos de mayonesa con aguacate elaborados con aceite comercial

Los aderezos de mayonesa se sometieron a pruebas microbiológicas con la finalidad de demostrar que el aderezo elaborado por ultrasonido presenta mejor calidad microbiana en comparación con uno elaborado de forma convencional, sin la necesidad de pasteurizar.

Para tal propósito en ambos aderezos se determinaron mesófilos aerobios en donde la norma permite hasta un máximo de 3000 UFC/g; el aderezo por proceso convencional presentó un valor de 9500 UFC/g y el aderezo con ultrasonido 120 UFC/g, con una reducción de carga microbiana de 1.9 ciclos logarítmicos. Con respecto al contenido de grupos coliformes, se encontró que en ambos aderezos no hubo crecimientos cumpliendo con lo establecido por la norma la cual establece menos de 10 UFC/g. Para el caso de mohos, la norma permite hasta 20 UFC/g y en este caso también no hubo crecimiento en ambos aderezos. En relación al contenido de levaduras, la norma permite hasta 50 UFC/g, es así que el aderezo convencional presentó 7000 UFC/g y con ultrasonido 15 UFC/g con una reducción de carga microbiana de 2.7 ciclos logarítmicos. Por último, la evaluación de *Salmonella* y *E coli* dio negativa en ambos aderezos y cumple con lo que establece la norma (Tabla 13). Con base a estos análisis efectivamente se demostró que el aderezo con ultrasonido presenta una mejor calidad microbiana en comparación con el convencional, además de que cumplió con los valores establecidos por la norma NMX-F-341-S-1979.

Tabla 13. Comparación de análisis microbiológicos para el aderezo de mayonesa convencional y con ultrasonido elaborados con aceite comercial en el tiempo 0

Determinaciones	Norma NMX-F-341-S-1979	Método convencional	Método con ultrasonido	Reducción en ciclos logarítmicos
Mesófilos aerobios (Max.)	3000 UFC/g	9,500 UFC/g	120 UFC/g	1.9
Grupos coliformes	Menos de 10 UFC/g	0 UFC/g	0 UFC/g	-
Mohos (Max.)	20 UFC/g	0 UFC/g	0 UFC/g	-
Levaduras (Max.)	50 UFC/g	7,000 UFC/g	15 UFC/g	2.7
<i>Salmonella</i> en 25 g	Negativa	Negativa	Negativa	-
<i>E. coli</i> en 1 g	Negativa	Negativa	Negativa	-

Estos aderezos se almacenaron por un periodo de 15 días en refrigeración a 4°C y transcurrido este lapso de tiempo se hicieron nuevamente los análisis microbiológicos, se encontró que para el aderezo convencional hubo un incremento en mesófilos aerobios llegando a 10,800 UFC/g y en levaduras se incrementó hasta 7950 UFC/g sobrepasando aún más los límites permitidos por la normatividad. En el caso del aderezo elaborado con ultrasonido, los mesófilos aerobios llegaron a 400 UFC/g aun estando dentro de lo establecido por la normatividad mexicana, mientras que las levaduras aumentaron a 70 UFC/g sobrepasando en 20 UFC/g lo establecido por la normatividad. Este crecimiento microbiano se atribuye a que a los aderezos no se les agregó ningún antimicrobiano y no se envasaron al vacío. Por otra parte, cabe destacar que para ambos aderezos no hubo crecimiento de grupos coliformes y mohos y en cuanto a *Salmonella* y *E. coli* los resultados fueron negativos. Lo cual puede ser observado en la Tabla 14.

Tabla 14. Comparación de análisis microbiológicos para el aderezo de mayonesa convencional y con ultrasonido a los 15 días de almacenamiento

Determinaciones	Norma NMX-f-341-S-1979	Método convencional	Método con ultrasonido	Reducción en ciclos logarítmicos
Mesófilos aerobios (Max.)	3000 UFC/g	10,800 UFC/g	400 UFC/g	1.4
Grupos coliformes	Menos de 10 UFC/g	0 UFC/g	0 UFC/g	-
Mohos (Max.)	20 UFC/g	0 UFC/g	0 UFC/g	-
Levaduras (Max.)	50 UFC/g	7,950 UFC/g	70 UFC/g	2.05
<i>Salmonella</i> en 25g	Negativa	Negativa	Negativa	-
<i>E. coli</i> en 1 g	Negativa	Negativa	Negativa	-

### 8.1.7 Evaluación sensorial para los aderezos elaborados por proceso convencional y ultrasonido con aceite comercial

En relación a la evaluación sensorial realizada a jueces no entrenados, la mayoría dijo consumir mayonesas o aderezos principalmente con pan, seguido de ensaladas y por último para acompañar carnes, pescados y mariscos. El 48% siendo la mayoría dijo

consumir mayonesas o aderezos de 3 a 4 veces por semana, seguido de un 20% de 1 a 2 veces por semana, un 12% que los consume una vez a la quincena, en otro 8% se encuentran quienes consumen estos productos todos los días y el mismo caso para quienes los consumen de 5 a 6 veces por semana y por último un 4% que solo los consumen una vez al mes estos resultados pueden ser observados en la Figura 11.

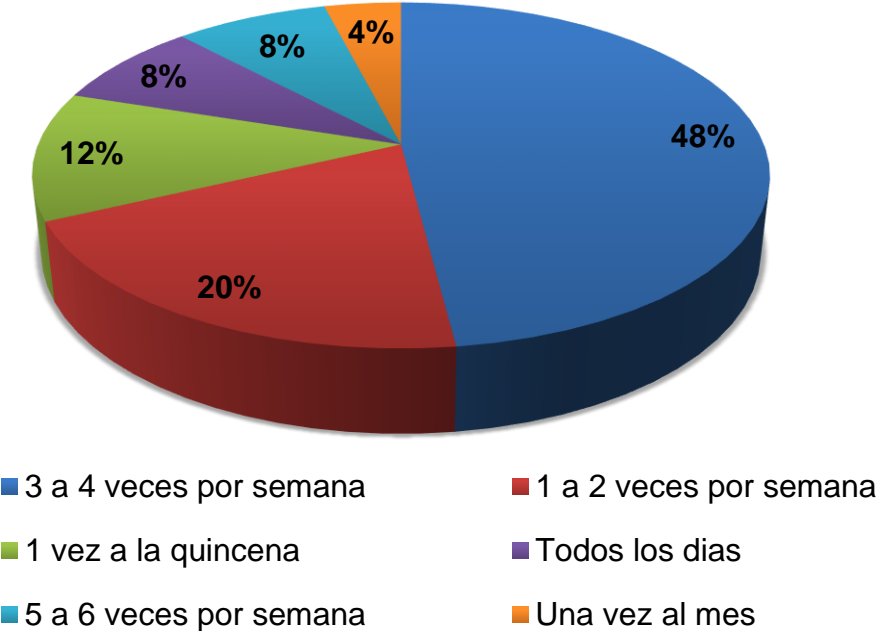


Figura 11. Frecuencia en el consumo de mayonesas y aderezos por los 25 panelistas encuestados

De acuerdo a los parámetros sensoriales evaluados, el olor en el aderezo convencional fue calificado por el 48% de los panelistas como me gusta moderadamente (Figura 12), mientras que en el caso del olor en el aderezo con ultrasonido un 45% indico gustarle moderadamente (Figura 13).

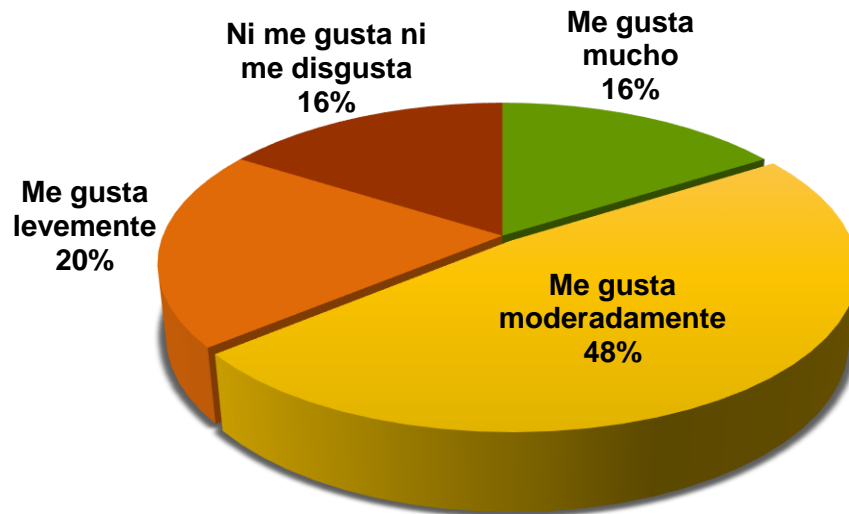


Figura 12. Olor en el aderezo de mayonesa convencional

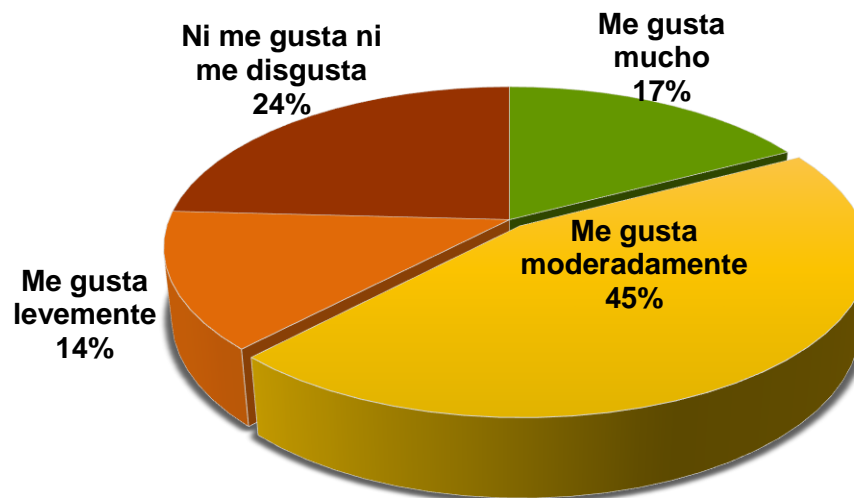


Figura 13. Olor en el aderezo de mayonesa con ultrasonido

Respecto al color, el aderezo convencional fue calificado como me gusta moderadamente por un 48% de los panelistas, en cambio para el aderezo elaborado con ultrasonido el 50% de los jueces no entrenados indicó que le gustó mucho,

superando al aderezo convencional en cuanto agrado de color, esto se puede apreciar mejor en las Figuras 14 y 15.

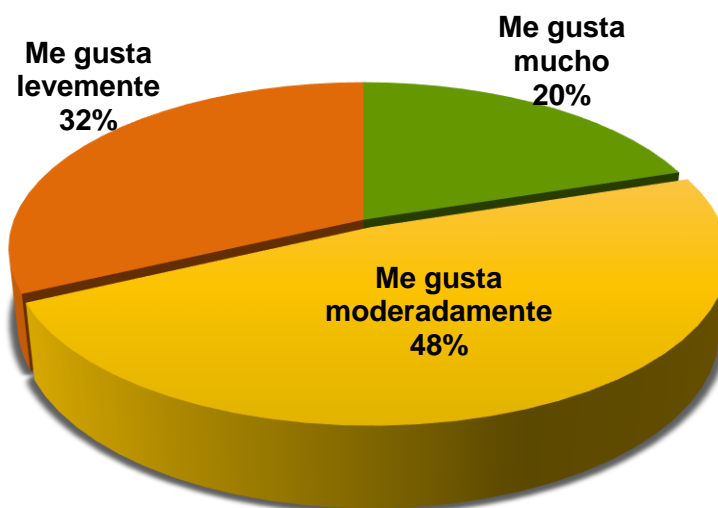


Figura 14. Color en el aderezo de mayonesa convencional



Figura 15. Color en el aderezo de mayonesa con ultrasonido

En lo que respecta a la textura, en el aderezo convencional un 56% de los panalistas indicó gustarle mucho, mientras que un 48% calificó como me gusta mucho al aderezo con ultrasonido, tal como se representa en las Figuras 16 y 17.



Figura 16. Textura en el aderezo de mayonesa convencional



Figura 17. Textura en el aderezo de mayonesa con ultrasonido

Por otra parte, el sabor en el aderezo convencional fue calificado como me gusta moderadamente por un 48% de los panelistas como se observa en la Figura 18; mientras que el aderezo con ultrasonido fue calificado como me gusta mucho, por un 56%, esto se puede observar en la Figura 19.

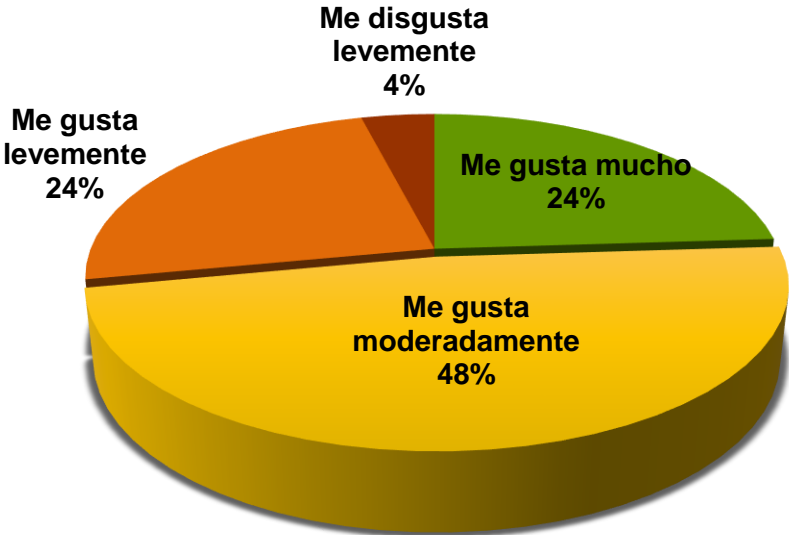


Figura 18. Sabor en el aderezo de mayonesa convencional



Figura 19. Sabor en el aderezo de mayonesa con ultrasonido



Como se pudo observar en las gráficas anteriores el aderezo de mayonesa elaborado con ultrasonido superó al aderezo convencional en cuanto al color y sabor.

Por último en la prueba de preferencia, que se puede apreciar en la Figura 20, el 60% siendo la mayoría prefirió el aderezo elaborado con ultrasonido contra un 40% que prefirió el aderezo convencional.

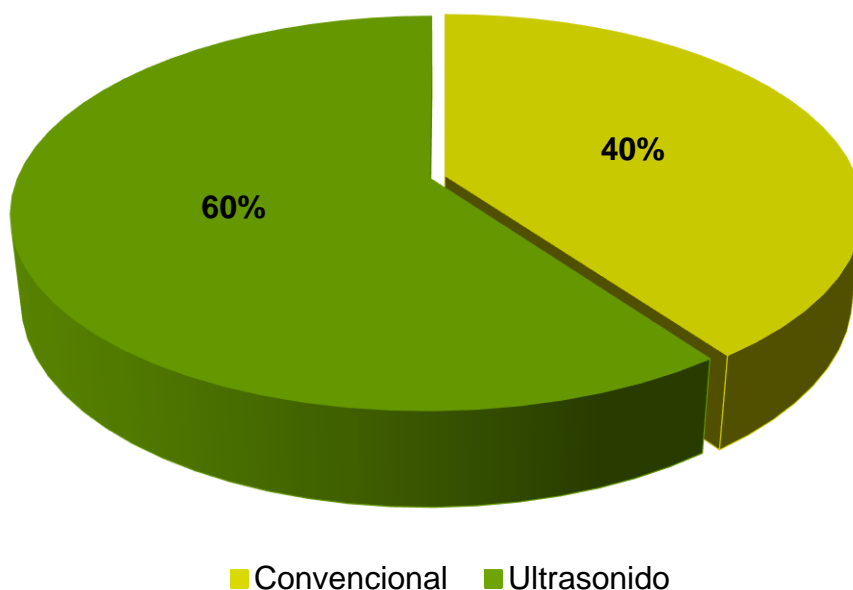


Figura 20. Aderezo de mayonesa con aguacate preferido por los consumidores

## 8.2 Extracción y caracterización del aceite de aguacate

### 8.2.1 Extracción del aceite de aguacate mediante ultrasonido más centrifugación

Posteriormente se procedió con la extracción del aceite de aguacate mediante la aplicación de tratamiento con ultrasonido seguido de un centrifugado, en donde después de probar las distintas condiciones establecidas al inicio de este trabajo, se encontró que las mejores fueron un tratamiento ultrasónico de 1 hora a una amplitud del 80%, que permitió obtener el mayor rendimiento del 64.8%, esto puede ser observado en la Tabla 15 que presenta las mejores condiciones encontradas durante el proceso de extracción.

Ariza (2010) investigó la extracción de aceite de aguacate por una tecnología no convencional, mediante la aplicación de campos magnéticos, seguido del secado de la pulpa y por último un centrifugado aplicando calor, lo que le permitió obtener un rendimiento del 38.3%.

Tabla 15. Condiciones que proporcionaron el mayor rendimiento de extracción de aceite de aguacate

Tratamiento ultrasónico	Amplitud	Centrifugado a 8228 g, 40 °C por 40 min
1 hora	80%	64.78%

El aceite extraído mediante esta tecnología puede observarse en las Figuras 21 y 22 en donde se presenta una comparación visual con dos aceites de marcas comerciales, en donde se puede apreciar las diferencias en cuanto al color. El aceite extraído por ultrasonido presenta un color verde intenso en comparación con el aceite comercial 1 que presenta un color amarillo claro y el aceite comercial 2 un color ambar, cabe destacar que la intensidad del color verde puede variar dependiendo del estado de madurez, época del año y la variedad de aguacate.

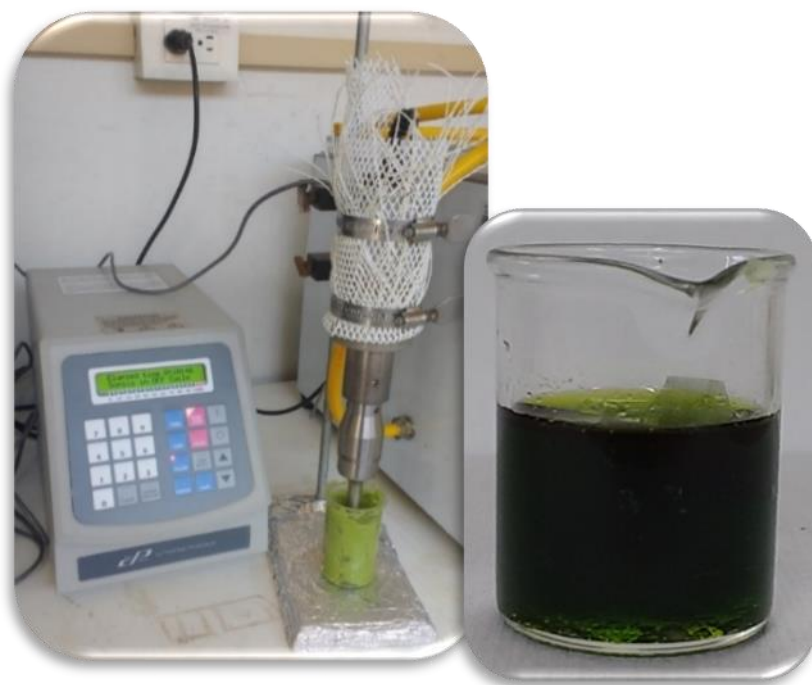
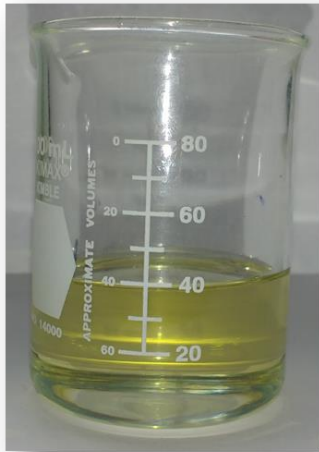
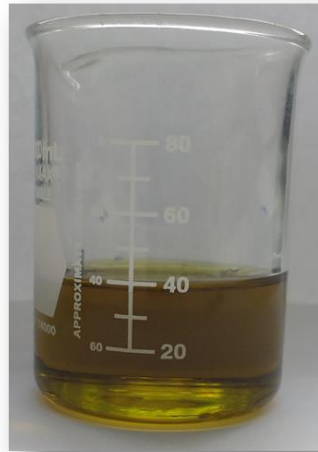


Figura 21. Aceite de aguacate obtenido por ultrasonido más centrifugación



Aceite comercial 1



Aceite comercial 2



Aceite extraído con ultrasonido más centrifugación

Figura 22. Comparación visual de aceites de aguacate

El Aceite comercial 1 fue seleccionado por tener un mejor sabor para evaluar junto con el aceite extraído por ultrasonido y hacer los análisis propios para su comparación en cuanto a calidad y como ingrediente para la elaboración de los aderezos de mayonesa con aguacate.

### 8.2.2 Evaluación sensorial de los aceites de aguacate

Dicha prueba se aplicó a 20 panelistas no entrenados en el Instituto de Ciencias Básicas de la Universidad Veracruzana, en donde se evaluó olor, color y sabor. Los resultados de estos análisis se pueden apreciar en las Figuras 23, 24 y 25.

En la evaluación del olor un 60% de los participantes calificó el aceite comercial como ni me gusta ni me disgusta. Por otro lado el aceite extraído mediante ultrasonido fue calificado como me gusta moderadamente por el 35% de los panelistas (Figura 23).

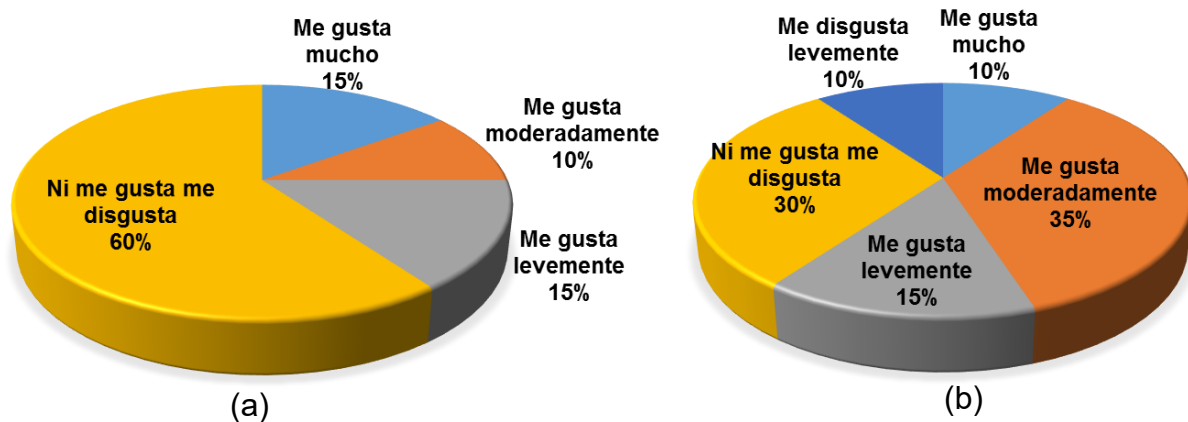


Figura 23. (a) Olor en el aceite comercial y (b) olor en el aceite extraído con ultrasonido

En cuanto a color el 45% de los jueces no entrenados indicó que el aceite comercial de aguacate le gusta moderadamente y en cambio el color en el aceite extraído por ultrasonido el 45% indicó gustarle mucho con una notable diferencia en relación al aceite comercial (Figura 24). Los panelistas indicaron que el aceite tiene un olor característico a aguacate, y que el color es agradable. Estudios realizados sobre la aplicación del ultrasonido en la obtención de aceite de oliva como un paso previo a la maxalación indican que tiene un mejor color (Clodoveo *et al.* 2013).

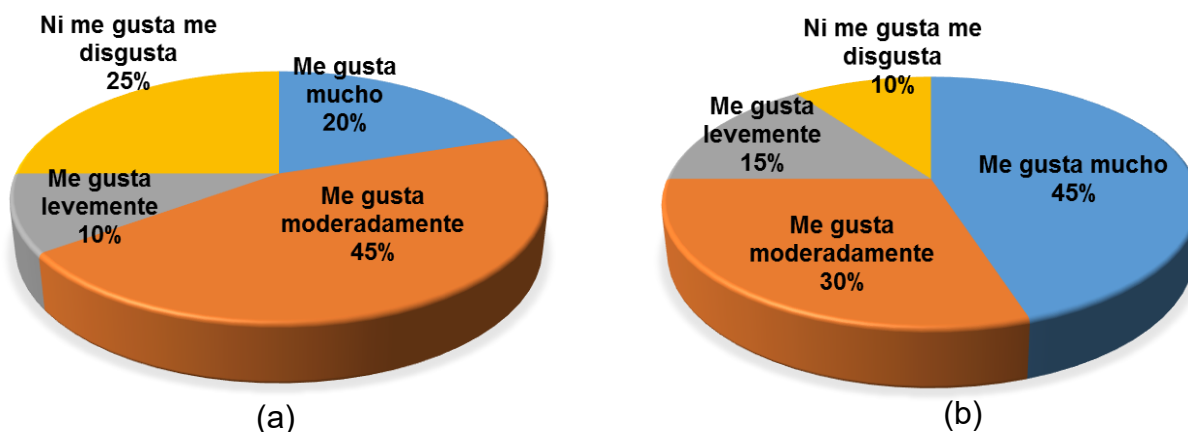


Figura 24. (a) Color en el aceite comercial y (b) Color en el aceite extraído con ultrasonido

Respecto a la evaluación del sabor el aceite comercial fue calificado por el 30% de los panelistas como me gusta levemente, mientras que en el aceite extraído por ultrasonido el 35% de los panelistas lo calificó como me gusta moderadamente (Figura 25).

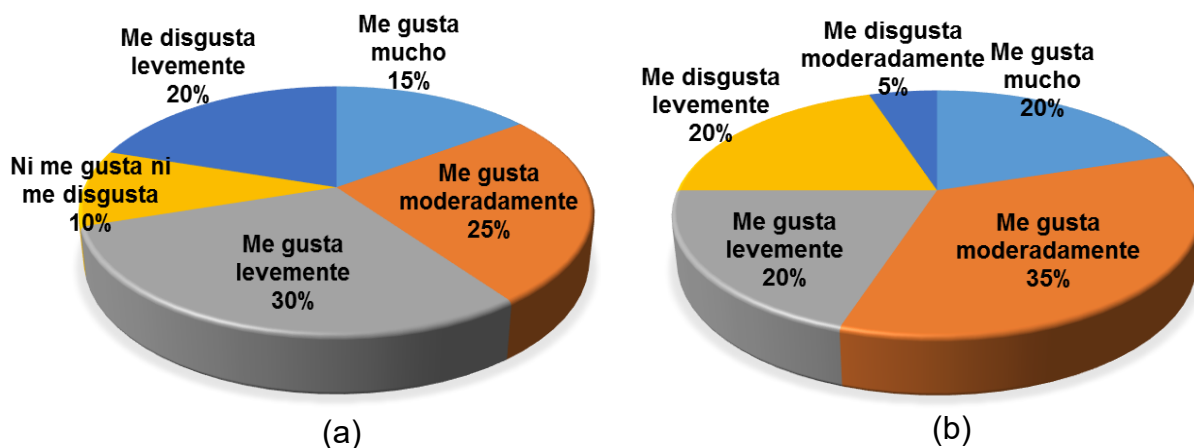


Figura 25. (a) Sabor en el aceite comercial y (b) Sabor en el aceite extraído con ultrasonido

Como se puede observar en las gráficas anteriores se encontró que el aceite de aguacate extraído mediante la aplicación de ultrasonido resultó ser del agrado por parte de los consumidores y superó en olor, color y sabor al aceite comercial utilizado para efectos de comparación en este estudio.

### 8.2.3 Color en los aceites de aguacate

Tanto al aceite extraído por medio de ultrasonido más centrifugación como al aceite comercial se le determinaron los parámetros de color  $L^*$   $a^*$   $b^*$  y los valores de cromaticidad X, Y, Z, (Tabla 16). En el aceite extraído por ultrasonido, el parámetro  $a^*$  presentó valores menores que en el aceite comercial lo cual indica un mayor color verde. En lo que respecta al parámetro  $b^*$ , el aceite extraído por ultrasonido mostró valores positivos que indican un color amarillo, sin embargo ambos aceites presentaron una luminosidad baja, que está representada por el parámetro  $L^*$ .

A partir de los valores de cromaticidad X, Y, Z se determinaron las coordenadas (x,y), que permitieron determinar en el sistema CIE que el color del aceite comercial tiene una longitud de onda de 470 nm y el aceite extraído por ultrasonido un color verde amarillo con una longitud de onda de 568 nm (Figura 26), así mismo se encontraron diferencias

significativas que son muy notorias para ambos aceites tal como se pueden observar las variaciones del color en la Figura 27.

Tabla 16. Parámetros de color en los aceites comercial y extraído por ultrasonido

Parámetros	Aceite comercial	Aceite ultrasonido
L* ± DE	1.12 <sup>b</sup> ± 0.09	9.19 <sup>a</sup> ± 0.14
a* ± DE	-0.15 <sup>a</sup> ± 0.04	-3.64 <sup>b</sup> ± 0.11
b* ± DE	-0.59 <sup>b</sup> ± 0.05	12.1 <sup>a</sup> ± 0.43
X ± DE	0.12 <sup>b</sup> ± 0.01	0.85 <sup>a</sup> ± 0.01
Y ± DE	0.13 <sup>b</sup> ± 0.02	0.95 <sup>a</sup> ± 0.01
Z ± DE	0.19 <sup>b</sup> ± 0.01	0.27 <sup>a</sup> ± 0.01
Coordenadas (x,y)	0.27,0.30	0.41, 0.46

\*DE: desviación estándar

<sup>a,b</sup>: Letras diferentes entre filas indican diferencias significativas  $p \leq 0.05$

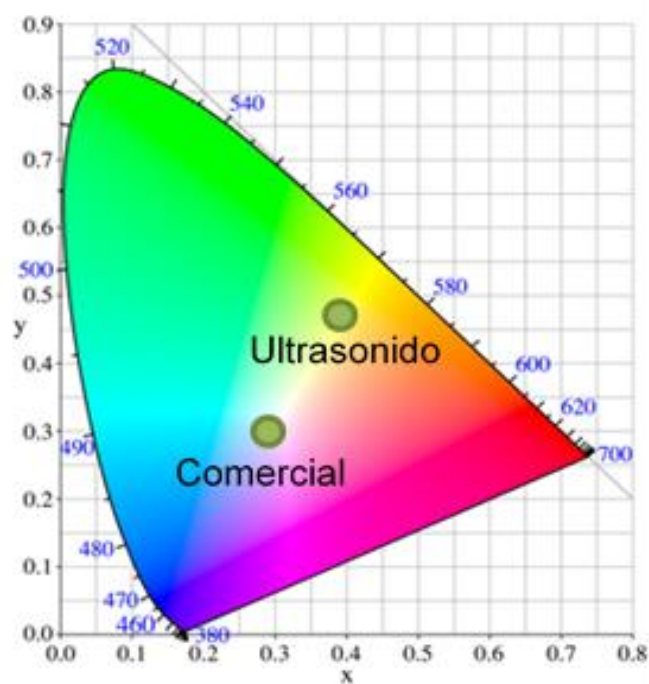


Figura 26. Color en los aceites de acuerdo al sistema CIE

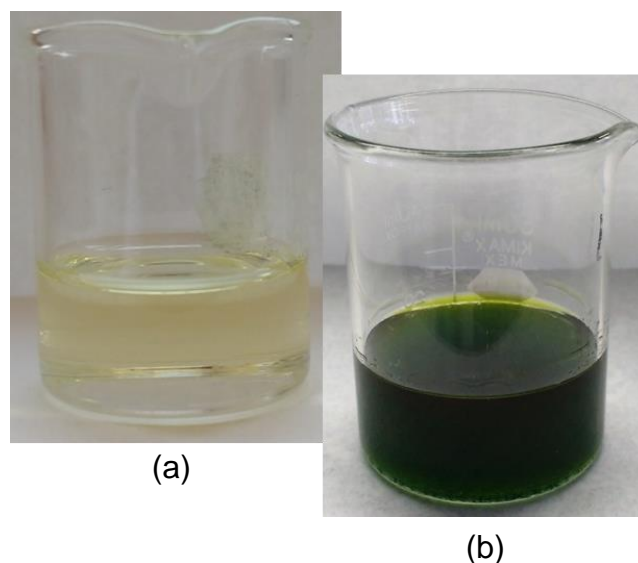


Figura 27. Comparación de color entre (a) aceite comercial y (b) extraído por ultrasonido

#### **8.2.4 Caracterización química a los aceites comercial y extraído por ultrasonido más centrifugación**

Con base a lo mencionado en el inciso 7.3.4 se realizó la caracterización química a los aceites de aguacate, en donde para el aceite comercial se consideraron los valores mínimos y máximos establecidos por la normatividad mexicana para un aceite puro de aguacate (refinado) y para el aceite extraído con ultrasonido los parámetros establecidos para un aceite de aguacate sin refinar. Con base a estas determinaciones se encontró que el aceite comercial excede el contenido de ácidos grasos libres que son los ácidos causantes del enranciamiento, presentando un valor de 0.14% sobrepasando el máximo permitido por la norma mexicana F-052-SCFI-2008 que permite hasta 0.1%. En cuanto a humedad y materia volátil así como densidad relativa e impurezas insoluble, se encontró que el aceite comercial cumple con lo establecido por dicha norma, del valor de peróxidos que está relacionado con el grado de oxidación la norma permite hasta 2 meq/kg y el aceite comercial presentó 11.8 meq/kg muy por arriba de los valores permitidos por la norma mexicana y esto se puede atribuir al tiempo de almacenamiento que dicho aceite lleve en la empresa o durante su traslado. En relación al índice de saponificación fue de 192 mg KOH/g, un índice de saponificación alto indica una alta pureza del aceite y presentó un alto punto de humo de 261 °C, la literatura menciona que los aceites refinados de aguacate presentan un punto de humo hasta de 271 °C (Tabla 17).

Para el caso del aceite extraído por ultrasonido el porcentaje de acidez total fue de 0.38 cabe resaltar que se encuentra muy por debajo del máximo permitido por la normatividad mexicana para aceite de aguacate sin refinar, que en este caso admite un máximo de 1.5%. Respecto al porcentaje de humedad y materia volátil también presentó un porcentaje bajo de 0.12, siendo permitido hasta un máximo de 0.5% para este tipo de aceites. Con relación a los demás parámetros evaluados, el aceite extraído con ultrasonido cumple con los parámetros establecidos por la normatividad mexicana, en comparación con el aceite comercial, el aceite extraído con ultrasonido presentó un valor de peróxidos de 9.96 meq/kg la norma mexicana NMX-F-052-SCFI-2008 permite hasta 10 meq/kg para un aceite de aguacate sin refinar, el índice de saponificación fue alto con un valor de 190 mg KOH/g lo cual indica la pureza del aceite. Así mismo presentó un alto punto de humo de 206 °C, según lo reportado por la literatura un aceite de aguacate sin refinar tiene un punto de humo alrededor de los 204 °C (Tabla 18).

Tabla 17. Caracterización química del aceite de aguacate comercial

PARAMETROS	Aceite puro de aguacate (refinado) NMX-F-052-SCFI-2008		Aceite de aguacate comercial
	MÍNIMO	MÁXIMO	VALORES ± DE*
Ácidos grasos libres (como ácido oleico), en %		0.1	0.14 ± 0.00
Humedad y materia volátil, en %		0.1	0.01 ± 0.00
Densidad relativa a 25°C	0.91	0.92	0.91 ± 0.00
Índice de peróxido, en meq/Kg		2.0	11.8 ± 0.03
Impurezas insolubles, en %		0.1	0.02 ± 0.00
Índice de saponificación mg KOH/g	177	198	192 ± 0.66
Punto de humo		271 °C	260 ± 1 °C

\*DE: Desviación estándar



Tabla 18. Caracterización química del aceite extraído por ultrasonido

PARAMETROS	Aceite de Aguacate Norma mexicana		Aceite de aguacate extraído con ultrasonido
	MÍNIMO	MÁXIMO	VALORES ± DE*
Ácidos grasos libres (como ácido oleico), en %		1.5	0.39 ± 0.00
Humedad y materia volátil, en %		0.5	0.12 ± 0.00
Densidad relativa a 25 °C	0.91	0.92	0.92 ± 0.00
Índice de peróxido, en meq/Kg		10.0	9.96 ± 0.04
Impurezas insolubles, en %		0.2	0.09 ± 0.01
Índice de saponificación mg KOH/g	177	198	190 ± 0.75
Punto de humo		204 °C	206 ± 1 °C

\*DE: Desviación estándar

### 8.2.5 Perfil de ácidos grasos

Con respecto al perfil de ácidos grasos se encontró que el componente mayoritario tanto en el aceite comercial como extraído con ultrasonido es el ácido oleico, un ácido graso monoinsaturado, que pertenece a los omega 9, lo cual coincide con lo reportado en la literatura (Ortiz *et al.* 2003). Los ácidos grasos encontrados para el aceite comercial fueron, oleico, linoleico, palmítico, esteárico, laúrico, mirístico y arquídico, con ausencia de ácido palmitoleico y linolénico; para el aceite extraído por ultrasonido, los ácidos grasos presentes fueron, oleico, palmítico, palmitoleico, linoleico y esteárico con ausencia de ácido linolénico, debido a que los aceites de aguacate pueden no contener este ácido y encontrarse hasta un 2%, los valores obtenidos están expresados en porcentaje y pueden observarse en la Tabla 19.

Tabla 19. Perfil de ácidos grasos para los aceites comercial y extraído por ultrasonido

Ácidos grasos	Tiempo de retención (min)	Aceite de aguacate comercial (%)	Aceite de aguacate ultrasonido (%)
Ácido láurico (12:0)	8.566	0.286	-
Ácido mirístico (14:0)	10.721	0.144	-
Ácido palmitoleico (16:1)	12.965	-	6.318
Ácido palmítico (16:0)	13.220	3.329	14.583
Ácido linoleico (18:2)	16.330	8.786	4.194
Ácido oleico (18:1)	16.508	85.855	69.856
Ácido linolénico (18:3)	16.505	-	-
No identificado	16.573	0.918	4.808
Ácido esteárico (18:0)	16.917	0.525	0.243
Ácido araquídico (20:0)	23.167	0.156	-

Los perfiles de ácidos grasos de los aceites de aguacate pueden observarse en las Figuras 28 y 29, en donde se puede apreciar para el aceite comercial (Figura 28), que el pico mayoritario corresponde al ácido oleico (18:1) con un 85.8%, seguido del ácido linoleico (18:2), en un 8.78%, ácido palmítico (16:0) en 3.32% y en menor proporción el ácido esteárico (18:2) en 0.52%. Además, el aceite comercial, presentó un porcentaje bajo de ácido palmítico y no cumple con el porcentaje de ácido palmitoleico que comúnmente se encuentra en un aceite de aguacate de acuerdo a los parámetros de la Sociedad Americana de Químicos de Aceite. Para el caso del aceite extraído por ultrasonido la figura 29 muestra el cromatograma donde al igual que el aceite comercial, el pico mayoritario corresponde al ácido oleico (18:1) con un 69.85%, seguido del ácido palmítico con 15.58%, ácido palmitoleico 6.31% y ácido linoleico 4.19%, mostrando los ácidos grasos encontrados en mayor proporción para este aceite, los cuales se encuentran dentro de los parámetros comunes de un aceite de aguacate según los datos reportados por la Sociedad Americana de Químicos de Aceite (AOCS), por otra parte cabe mencionar que el porcentaje de ácido esteárico y linoleico fue bajo, de acuerdo a estos mismo parámetros de la AOCS, como se puede visualizar en la Tabla 20.

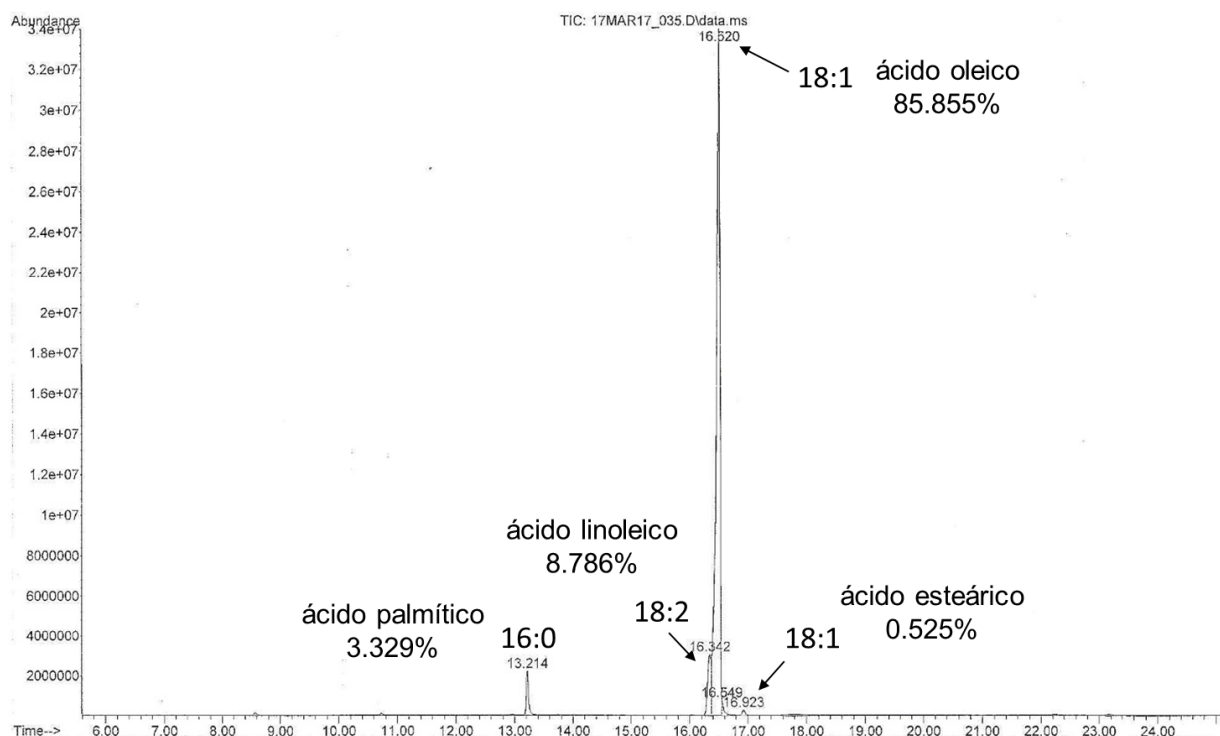


Figura 28. Cromatograma de iones totales para el aceite comercial

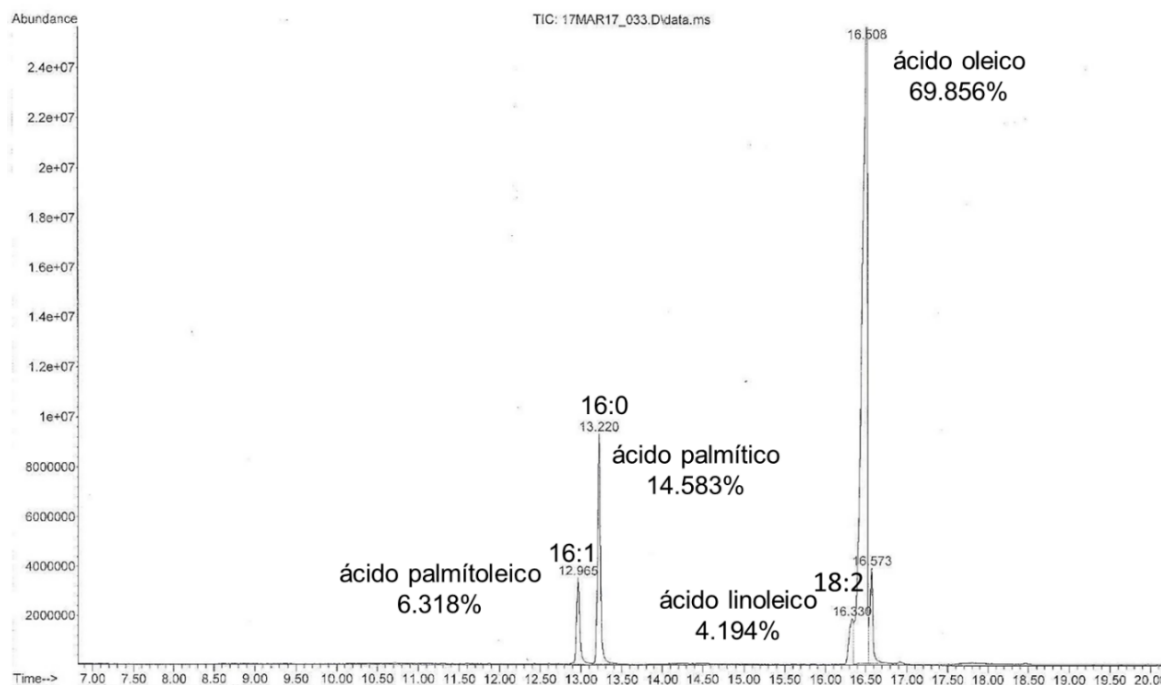


Figura 29. Cromatograma de iones totales para el aceite extraído por ultrasonido

Tabla 20. Composición de ácidos grasos de aceite de aguacate (*Persea americana* Mill)

Ácidos grasos	Mínimo-Máximo AOCS, 1999	Aceite de aguacate comercial (%)	Aceite de aguacate ultrasonido (%)
Ácido palmítico (16:0)	9 – 18	3.329	14.583
Ácido palmitoleico (16:1)	3 – 9	-	6.318
Ácido esteárico (18:0)	0.4 - 1.0	0.525	0.243
Ácido oleico (18:1)	56 – 74	85.855	69.856
Ácido linoleico (18:2)	10 – 17	8.786	4.194
Ácido linolénico (18:3)	0 – 2	-	-

### 8.2.5 Comparación visual de los aderezos elaborados con aceite comercial y con aceite extraído por ultrasonido más centrifugación

La Figura 30 proporciona una comparación visual de los aderezos elaborados a partir de la misma formulación sin adicionar la pulpa de aguacate, pudiendo apreciar que el aceite extraído por la tecnología del ultrasonido le confiere el color verde al producto sin la necesidad de añadir colorantes.

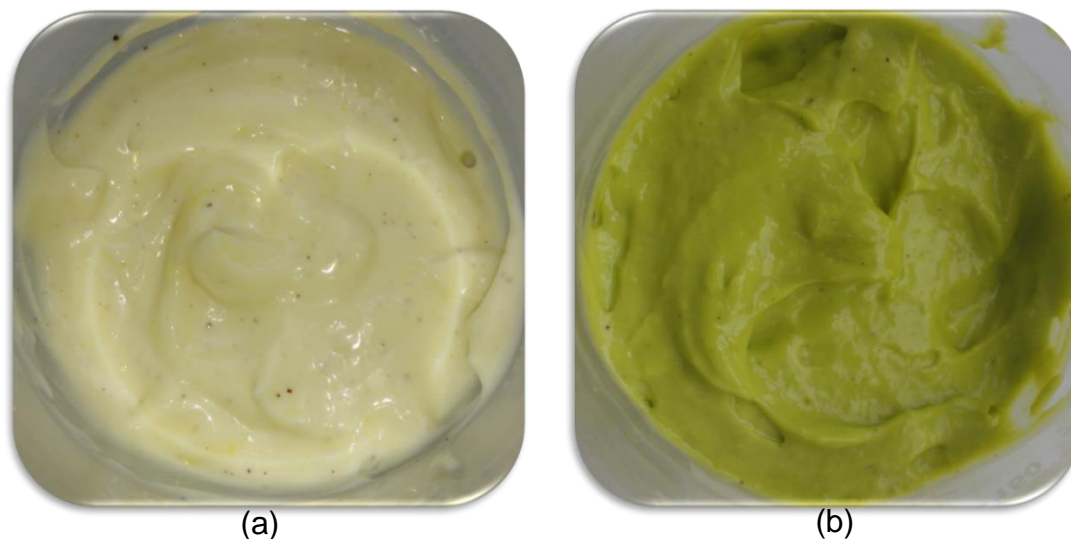


Figura 30. Comparación visual de los aderezos de mayonesa con aceite de aguacate sin adicionar la pulpa, (a) Aderezo de mayonesa con aceite comercial y (b) Aderezo de mayonesa con aceite extraído por ultrasonido más centrifugación.

### 8.3 Elaboración de aderezo de mayonesa de aguacate mediante ultrasonido con el aceite extraído por medio de ultrasonido más centrifugación

#### 8.3.1 Determinaciones químicas al aderezo de mayonesa de aguacate elaborado mediante ultrasonido con el aceite extraído

Con base a la formulación establecida anteriormente se elaboró el aderezo mediante la tecnología del ultrasonido pero esta vez adicionando el aceite que se extrajo por medio de esta misma tecnología más centrifugación. De acuerdo al análisis químico (Tabla 21), este aderezo presentó un pH de 3.94 y un porcentaje de acidez total de 0.49 que se encuentran dentro de los valores permitidos por la normatividad mexicana.

Tabla 21. Análisis químico del aderezo de mayonesa elaborado mediante ultrasonido con aceite extraído por ultrasonido más centrifugación

Determinaciones	Norma Mínimo-Máximo	Aderezo elaborado mediante ultrasonido con el aceite extraído por ultrasonido más centrifugación
pH	3.2 – 4.0	3.94 ± 0.01
Acidez total como ácido acético (%)	0.25 – 0.5	0.49 ± 0.00

#### 8.3.2 Color CIE L\* a\* b\* en los aderezos elaborados mediante ultrasonido

En este análisis los parámetros de color fueron determinados para ambos aderezos elaborados mediante ultrasonido, partiendo de la misma formulación pero con diferente aceite. En la Tabla 22 se observa que ambos aderezos presentaron valores negativos en a\*, siendo menor el valor para el aderezo elaborado con el aceite extraído con ultrasonido, lo que indica que el color es más verde. De la misma forma para el aderezo elaborado con el aceite extraído por ultrasonido presentó un mayor valor del parámetro colorimétrico b\*, indicando un valor amarillo. Ambos aderezos presentaron un color verde amarillo, siendo más verde para el aderezo al que se le adicionó el aceite extraído (Figura 31 y Figura 32).

Tabla 22. Parámetros de color en los aderezos elaborados con aceite comercial y extraído con ultrasonido

Parámetros	Aderezo con aceite comercial	Aderezo con aceite ultrasonido
L* ± DE	69.0 <sup>b</sup> ± 0.14	71.9 <sup>a</sup> ± 0.10
a* ± DE	-13.2 <sup>a</sup> ± 0.20	-14.8 <sup>b</sup> ± 0.13
b* ± DE	36.9 <sup>b</sup> ± 0.28	46.0 <sup>a</sup> ± 0.21
X ± DE	33.9 <sup>b</sup> ± 0.10	37.1 <sup>a</sup> ± 0.21
Y ± DE	38.1 <sup>b</sup> ± 0.13	41.9 <sup>a</sup> ± 0.28
Z ± DE	17.3 <sup>a</sup> ± 0.02	15.4 <sup>b</sup> ± 0.03
Coordenadas (x,y)	0.38,0.43	0.39, 0.44

DE: Desviación estándar

<sup>a, b</sup>: Letras diferentes entre filas indican diferencias significativas p ≤ 0.05

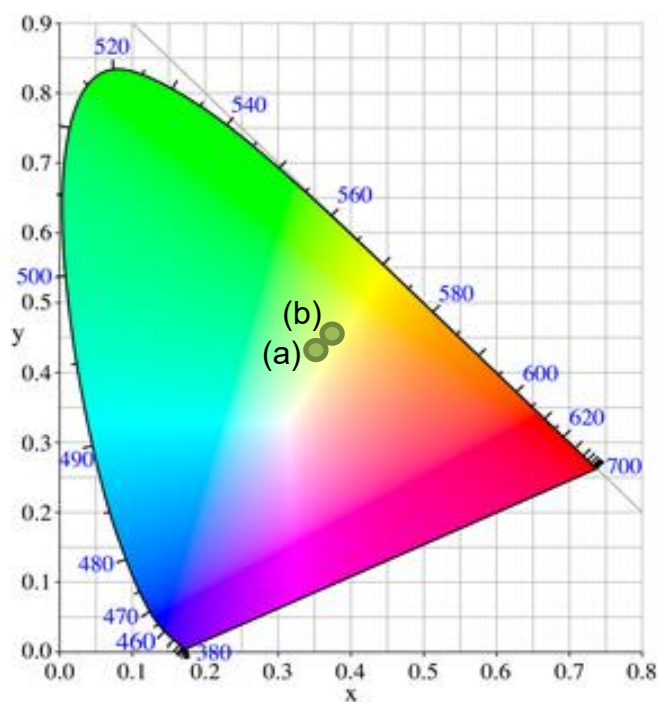


Figura 31. Color en los aderezos elaborados mediante ultrasonido (a) con aceite comercial) y (b) con aceite extraído con ultrasonido



Figura 32. Aderezo de mayonesa con aguacate elaborado mediante ultrasonido con el aceite extraído por ultrasonido y centrifugación

### **8.3.3 Calidad microbiológica del aderezo de mayonesa elaborado mediante ultrasonido con aceite extraído por ultrasonido y centrifugación**

Para este análisis se elaboró únicamente el aderezo mediante ultrasonido con el aceite extraído por esta misma tecnología, considerando los análisis microbiológicos efectuados anteriormente, en los cuales se demostró que el aderezo elaborado mediante ultrasonido presentó una menor carga microbiana y cumplió con los parámetros establecidos por las normas mexicanas sin la necesidad de pasteurización.

Además de vitamina E, se agregó EDTA con la finalidad de controlar el crecimiento microbiano que se presentó anteriormente en los aderezos, se envasó inmediatamente después de su elaboración en frascos de vidrio esterilizados, no se aplicó vacío y se mantuvieron almacenados en condiciones de refrigeración a 4 °C.

Las pruebas se realizaron al día 1, 15 y 30 de su elaboración. Se encontró que el EDTA ayudó a controlar el crecimiento de levaduras, sin embargo a los 30 días de almacenamiento el producto presentó un incremento de mesófilos aerobios superando la normatividad mexicana (Tabla 23), esto se le atribuye a que el producto no fue envasado al vacío, por lo que se recomienda un envasado al vacío con la mínima manipulación para evitar la proliferación de microorganismos y mantener la baja carga microbiana, también

es necesario considerar que todo el proceso debe ser llevado a cabo en condiciones asépticas para asegurar la estabilidad y seguridad microbiana del producto final de esta manera alargar su vida de anaquel y obtener un producto saludable y seguro para el consumidor.

Tabla 23. Determinaciones microbiológicas al aderezo elaborado con el aceite extraído

Determinaciones	Norma NMX-F-341-S- 1979	Aderezo de mayonesa con aguacate elaborado con ultrasonido y aceite extraído mediante ultrasonido más centrifugación		
		Día 1	Día 15	Día 30
Mesófilos aerobios (máx)	3000 UFC/g	1,500 UFC/g	2,250 UFC/g	3,500 UFC/g
Grupos coliformes	Menos de 10 UFC/g	0 UFC/g	0 UFC/g	0 UFC/g
Mohos (máx)	20 UFC/g	0 UFC/g	0 UFC/g	0 UFC/g
Levaduras (máx)	50 UFC/g	10 UFC/g	15 UFC/g	25 UFC/g
<i>Salmonella</i> en 25 g	Negativa	Negativa	Negativa	Negativa
<i>E. coli</i> en 1 g	Negativa	Negativa	Negativa	Negativa

#### 8.3.4 Estabilidad del color en el aderezo de mayonesa elaborado con ultrasonido

Para estos análisis al aderezo elaborado con ultrasonido únicamente se adicionó vitamina E como antioxidante. Al día 1 presentó una luminosidad con un valor de 71.8 lo cual indica una mayor brillantez con valores cercanos a 100. En el parámetro colorimétrico a\* presentó un valor de -14.8 indicando color verde y en b\* tuvo un valor positivo que indica color amarillo. Con base a los parámetros de cromaticidad X, Y, Z, el aderezo presentó un color verde amarillo (Figura 33), siendo más intenso que el aderezo elaborado anteriormente con el aceite comercial. Presentó una disminución del color verde a lo largo de los 42 días de almacenamiento, mostrándose más amarillo tal como se puede observar en la Tabla 24 las diferencias significativas. Por lo cual se recomienda adicionar EDTA que actúa como antioxidante además de antimicrobiano para mantener más estable el color.



Tabla 24. Estabilidad del color en el aderezo de mayonesa elaborado con el aceite extraído con ultrasonido

Parámetros de color	Día 1	Día 14	Día 28	Día 42
L* ± DE	71.9 <sup>a</sup> ± 0.10	69.3 <sup>b</sup> ± 0.20	67.1 <sup>c</sup> ± 0.12	65.4 <sup>d</sup> ± 0.15
a* ± DE	-14.8 <sup>d</sup> ± 0.13	-11.1 <sup>c</sup> ± 0.16	-9.3 <sup>b</sup> ± 0.15	-8.2 <sup>a</sup> ± 0.15
b* ± DE	46.0 <sup>a</sup> ± 0.21	43.8 <sup>b</sup> ± 0.24	41.5 <sup>d</sup> ± 0.21	42.8 <sup>c</sup> ± 0.30
X ± DE	37.1 <sup>a</sup> ± 0.21	34.8 <sup>b</sup> ± 0.20	32.4 <sup>c</sup> ± 0.11	30.1 <sup>d</sup> ± 0.07
Y ± DE	41.9 <sup>a</sup> ± 0.28	38.4 <sup>b</sup> ± 0.39	35.2 <sup>c</sup> ± 0.13	33.1 <sup>d</sup> ± 0.09
Z ± DE	15.4 <sup>a</sup> ± 0.03	14.4 <sup>b</sup> ± 0.09	13.9 <sup>c</sup> ± 0.02	12.1 <sup>d</sup> ± 0.06
x,y	0.393, 0.444	0.397, 0.438	0.397, 0.432	0.400, 0.440

DE: Desviación estándar

a, b, c, d: letras diferentes entre filas indican diferencias significativas ( $p \leq 0.05$ ).

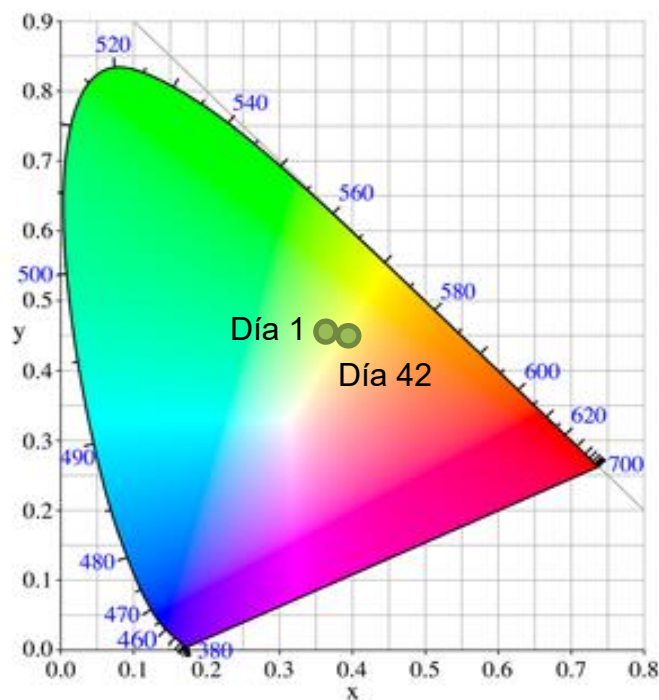


Figura 33. Color en el aderezo elaborado mediante ultrasonido con el aceite extraído con ultrasonido

### 8.3.5 Evaluación sensorial a los aderezos elaborados con ultrasonido

En esta prueba sensorial en lo que respecta a la evaluación en el olor, ambos aderezos fueron calificados por un 44% de los panelistas como me gusta mucho que fue donde se obtuvo el mayor porcentaje, seguido de un 20% que calificó al aderezo elaborado con aceite comercial como me gusta moderadamente y un 24% también para me gusta moderadamente pero en el aderezo elaborado con el aceite extraído, estos valores se pueden apreciar gráficamente en las Figuras 34 y 35.



Figura 34. Olor en el aderezo de mayonesa con aceite comercial



Figura 35. Olor en el aderezo de mayonesa con aceite extraído por ultrasonido

En el color, el aderezo con aceite comercial fue calificado como me gusta levemente con un 44%, mientras que en el aderezo con aceite extraído con ultrasonido el 72% de los panelistas lo calificó como me gusta mucho, manifestando que presentó un color verde que lo hace visualmente más atractivo para su consumo, superando en este aspecto con una gran diferencia al aderezo con aceite comercial.



Figura 36. Color en el aderezo de mayonesa con aceite comercial



Figura 37. Color en el aderezo de mayonesa con el aceite extraído por ultrasonido

En la evaluación de textura el aderezo con aceite comercial fue calificado por el 56% de los participantes como me gusta moderadamente, seguido de un 36% que lo calificó como me gusta mucho. Mientras que el aderezo con aceite extraído por la tecnología no convencional fue calificado por el 48% como me gusta moderadamente y seguido de un 36% que indicó gustarle mucho. En este caso el aderezo con aceite comercial obtuvo la mayor calificación, pero el aderezo con aceite extraído por ultrasonido fue aceptable con buena calificación por la mayoría de los evaluadores (Figuras 38 y 39).



Figura 38. Textura en el aderezo de mayonesa con aceite comercial

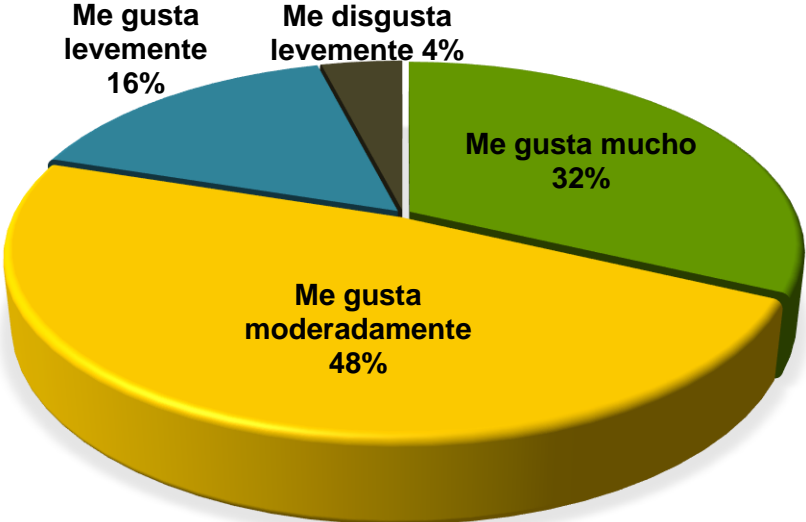


Figura 39. Textura en el aderezo de mayonesa con aceite extraído por ultrasonido

Por último en sabor, el 48% de los panelistas indico gustarle mucho el aderezo con aceite comercial. Por otra parte el aderezo elaborado con aceite extraído por ultrasonido fue calificado por el 32% de los panelistas como me gusta mucho. Esto puede ser observado en las Figuras 40 y 41.



Figura 40. Sabor en el aderezo de mayonesa con aceite comercial

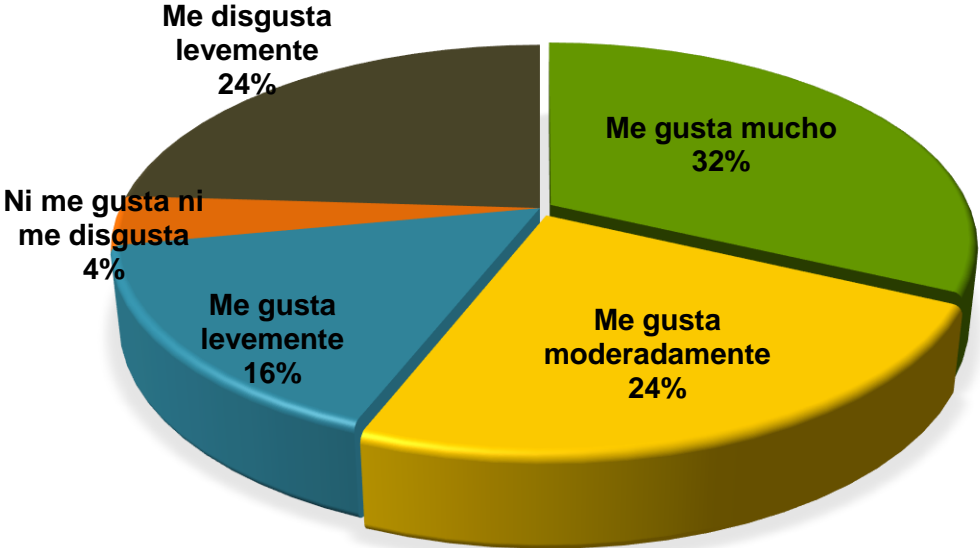


Figura 41. Sabor en el aderezo de mayonesa con aceite extraído por ultrasonido

De la prueba de preferencia, donde se pidió a los participantes indicar cuál fue el aderezo de su mayor preferencia. El 56% de los evaluadores prefirió el sabor en el aderezo elaborado con aceite comercial manifestando que el otro aderezo presentaba un sabor más intenso, por lo contrario el 44% que prefirió el aderezo con aceite extraído con ultrasonido mencionando que les agradó más al percibir un mayor sabor del aguacate, menos sensación de mayonesa y con el aceite comercial más sabor a mayonesa (Figura 42).

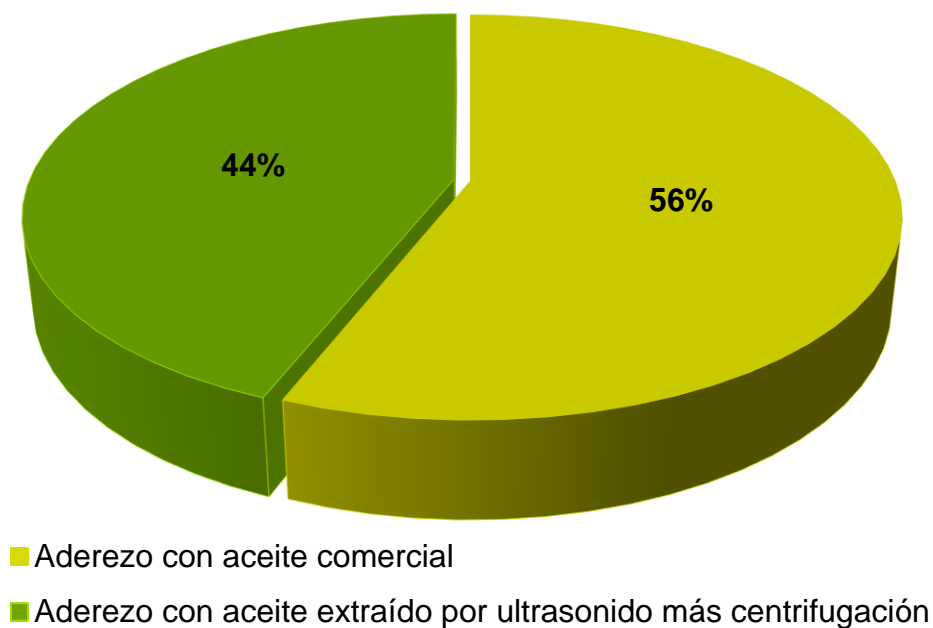


Figura 42. Aderezo elaborado con ultrasonido de mayor preferencia

Ambos aderezos elaborados utilizando ultrasonido fueron aceptados por los consumidores. Sin embargo a pesar de que el aderezo preferido fue el elaborado con el aceite comercial; de acuerdo a los estudios realizados, el aceite extraído por ultrasonido presentó mejores características en comparación con el comercial y por lo tanto esto influye en la calidad del aderezo elaborado con este aceite, proporcionándole mejores características químicas y nutrimentales, que se traducen en mayor beneficios para los consumidores y una forma de diversificar los productos de aguacate. Por lo tanto se esperaba que los beneficios obtenidos sean tanto a nivel de producción al diversificar los productos de aguacate, como industrial por medio de una nueva tecnología con un producto innovador y de salud como una alternativa mas sana para los consumidores.

## 9. CONCLUSIONES

La tecnología de ultrasonido demostró tener potencial de aplicación en la industria del aguacate mostrando versatilidad para la obtención de diversos productos como son aceite y un aderezo.

Esta tecnología permitió obtener un aderezo con una mayor aceptabilidad en cuanto al color y sabor y una menor degradación del color en comparación con uno elaborado de forma convencional, además de obtener un producto seguro para el consumidor al reducir la carga microbiana sin la necesidad de pasteurización.

Aunado a esto, esta tecnología permitió la extracción de un aceite de aguacate extra virgen que cumple con los parámetros de calidad establecidos por la normatividad mexicana, con una mayor aceptación del olor, color y sabor en comparación con una muestra comercial. Además, mantuvo en mayor grado el color permitiendo obtener un aceite de color verde esmeralda y un olor característico a aguacate.

Lo anterior sugiere el potencial de aplicación del ultrasonido a nivel industrial por la diversificación de usos que tiene el mismo equipo ultrasónico, lo cual contribuye a reducir tiempos de procesamiento, ahorro de agua, energía y por tanto menores costos.

## **10. RECOMENDACIONES**

Para estudios posteriores se recomienda realizar análisis microbiológicos, del grado de oxidación y color durante el almacenamiento del aceite extraído por ultrasonido.

Es necesario, que al aderezo además de adicionar vitamina E y EDTA, sea envasado al vacío para alargar su vida útil. Así mismo también se recomienda evaluar la estabilidad del producto a lo largo de su almacenamiento.

Se recomiendan modificaciones en la formulación del aderezo elaborado aplicando ultrasonido con el aceite extraído por esta misma tecnología, ya que los consumidores manifestaron que presentó un sabor más intenso a aguacate.



## 11. BIBLIOGRAFÍA

- Allen R.R., M.W Formo, R.G. Krishnamurthy, G.N Mcdermont, A.F Norris, and O.V. Sonntag. 1982.** Citado en Ariza O.J.A. 2010. Estudio del efecto del campo eléctrico sobre la isomería de los ácidos grasos del aguacate. Tesis doctoral. Instituto Politécnico Nacional, Tlaxcala, México. 136 p
- Alton E.B. 1984.** Aceites y Grasas Industriales. Reverté, S.A. España. 743 p.
- APEAM A.C (Asociación de Productores y Empacadores Exportadores de Aguacate de México A.C.)** <http://www.apeamac.com/2016/01/la-epoca-oro-del-aguacate/> (Consulta: 08 de febrero de 2016).
- Aranberri, I., B.P. Binks, J.H. Clint y P.D.I Fletcher. 2006.** Elaboración y caracterización de emulsiones estabilizadas por polímeros tensioactivos. Revista Iberoamericana de Polímeros. 7(3).
- Ariza O.J.A. 2010.** Estudio del efecto del campo eléctrico sobre la isomería de los ácidos grasos del aguacate. Tesis doctoral. Instituto Politécnico Nacional, Tlaxcala, México. 136 p.
- Arnold G., L. Leiteritz, S. Zahn and H. Rohm. 2009.** Ultrasonic cutting of cheese: composition affects cutting work reduction and energy demand. International Dairy Journal 19: 314–320.
- Ashokkumar M. 2015.** Applications of ultrasound in food and bioprocessing. Ultrasonics sonochemistry 25:17-23.
- Awad T. S., H.A. Moharram, O.E. Shaltout, D. Asker and M.M. Youssef. 2012.** Applications of ultrasound in analysis, processing and quality control of food: A review. Food Research International 48(2): 410-427.
- Azadmard-Damirchi S, F. Habibi-Nodeh, J. Hesari, M. Nemati and B. Achachlouei. 2010.** Effect of pretreatment with microwaves on oxidative stability and nutraceuticals content of oil from rapeseed. Food Chemistry 12(4): 1211-1215.
- Badui D.S. 1999.** Química de los alimentos. Addison Wesley y Longman de México S.A de C.V. México.
- Badui D.S. 2006.** Química de los alimentos. Addison Wesley y Longman de México S.A de C.V. México. 712 p
- Baltes, W. 2007.** Química de los alimentos. Acribia, S.A. Zaragoza, España.

- Barrientos P.A. 2010.** Manual Gráfico para la descripción del aguacate. Primera edición en español. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, Texcoco, Edo de México.
- Barrientos-Priego A, L López-López 2002.** Historia y genética del aguacate. Memoria de la Fundación Salvador Sánchez Colín. Centro de Investigaciones Científicas y Tecnológicas del Aguacate en el Estado de México. Coatepec de Harinas, México. pp:100-121.
- Berasategi I., B. Barriuso, D. Ansorena and I. Astiasaran. 2012.** Stability of avocado oil during heating: comparative study to olive oil. *Food Chemistry* 132: 439-446.
- Bergh B. 1992.** Nutritious value of avocado. California: Avocado Society Book pp.123-135.
- Bi X., Y. Hemar, M. Balaban and X. Liao. 2015.** The effect of ultrasound on particle size, color, viscosity and polyphenol oxidase activity of diluted avocado puree. *Ultrasonics sonochemistry* 27: 567-575.
- Buelvas S.G.A., J.H. Patiño G. y J.A. Cano S. 2012.** Evaluación del proceso de extracción de aceite de aguacate Hass (*Persea americana* Mill) utilizando tratamiento enzimático. *Revista Lasallista de Investigación* 9(2): 138-150.
- Butz P. and B. Tauscher. 2002.** Emerging technologies: chemical aspects, *Food Research International* 35(2002): 279–284
- Boatella R.J. R. Codony S. y P. López A. 2004.** Química y Bioquímica de los Alimentos II. Universidad de Barcelona, España. 155 p.
- Calabrese F. 1992.** El aguacate. Mundi-Prensa. Madrid, España. 249 p.
- Cameron M., L.D McMaster and T.J. Britz. 2009.** Impact of ultrasound on dairy spoilage microbes and milk components. *Dairy Science and Technology*. 89(1): 83-98.
- Charley H. 1991.** Tecnología de los alimentos. Procesos químicos y físicos en la preparación de alimentos. Limusa, México.
- Cheng X., M. Zhang, B. Xu, B. Adhikari and J. Sun. 2015.** The principles of ultrasound and its application in freezing related processes of food materials: A review. *Ultrasonics sonochemistry*. 27: 576-585.
- Chemat F., I. Grondin, P. Costes, L. Moutoussamy, S.C. Sing A. and J. Smadja. 2004.** High power ultrasound effectson lipid oxidation of refined sunflower oil. *Ultrasonics Sonochemistry* 11:281-285.

- Chemat, F., Zill-e-Huma and M. Kamran K. 2011.** Applications of ultrasound in food technology. Processing, preservation and extraction. *Ultrasonic Sonochemistry* 18:813-835.
- Clodoveo, M. L., V. Durante, D. La Notte, R. Punzi, G. and Gambacorta. 2013.** Ultrasound-assisted extraction of virgin olive oil to improve the process efficiency. *European Journal of Lipid Science and Technology.*, 115:1062-1069.
- Coenders A. 1996.** Química culinaria. Estudio de lo que sucede en los alimentos antes, durante y después de cocinados. Acribia, S.A. Zaragoza, España.
- Cowan, A.K and B.N Wolstenholme. 2016.** Encyclopedia of Food and Health. Avocado. South África. Pp 294-300.
- Delgado J.O. 2012.** Aplicación del ultrasonido en la industria de los alimentos. *Revista Especializada en Ingeniería de Procesos en Alimentos y Biomateriales* 6:142-149.
- Delgado J.O. 2015.** Aplicación del Ultrasonido en la Industria de los Alimentos. *Publicaciones e Investigación* 6:141-152.
- Depree J. A. and G.P. Savage. 2001.** Physical and flavour stability of mayonnaise. *Trends in Food Science and Technology* 12(5): 157-163.
- Díaz P.M. y A. Toro, C. 2004.** Efecto de la adición de aguacate a la alimentación habitual sobre los niveles de lípidos en personas con dislipidemia. *Universitas Scientiarum* 9(2): 49-58.
- Dickinson E. 1994.** Interactions in proteinstabilized emulsions. In: Gallegos C (ed) *Progress and trends in rheology, IV.* Steinkopff, Darmstadt. Pp 227–229.
- Ding H, Y.W. Chin and A.D. Kinghorn. 2007.** Chemopreventive characteristics of avocado fruit. In: *Seminars in Cancer Biology* 17(5):386-394.
- Dolatowski, Z.J. Stadnik and D. Stasiak. 2007.** Applications of ultrasound in food technology 6(3):89-99.
- Egan, H., R. Kirk and R. Sawyer.1981.** *Pearsons Chemical Analysis of food.* Churchill Livingstone 8a Ed. Edinburgh London Melbourne N.Y.
- Encyclopedia Britannica. 2012.** “Avocado”. *Encyclopedia Britannica Online.* Disponible en: <https://www.britannica.com/plant/avocado>

**FAOSTAT (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura) 2016.** [http://faostat3.fao.org/browse/rankings/countries\\_by\\_commodity/S](http://faostat3.fao.org/browse/rankings/countries_by_commodity/S) (Consulta: el 06 de marzo de 2017)

**Floros, J. D., and H. Liang. 1994.** Acoustically assisted diffusion through membranes and biomaterials: High-intensity ultrasound accelerates diffusion and can be used to improve food processes, *Food Technology*. pp 79.

**Franco D. 2011.** Mayonesa y ketchup. *Alimentos Argentinos* 50:46-51. [http://www.alimentosargentinos.gob.ar/contenido/revista/ediciones/50/productos/r50\\_07\\_MayoKetchup.pdf](http://www.alimentosargentinos.gob.ar/contenido/revista/ediciones/50/productos/r50_07_MayoKetchup.pdf) (Consulta: 27 de febrero de 2016).

**Friberg S.E. and K. Larson. 1997.** *Food Emulsions* MerceL Dekker, Inc. Nueva York. E.U.

**Garbanzo M.S. 2011.** Manual de Aguacate: Buenas prácticas de cultivo. Variedad Hass. Ministerio de Agricultura y Ganadería, San José, Costa Rica. 92 p.

**Guerrero, S., A. López-Malo y S.M. Alzamora. 2000.** Effect of ultrasound of the survival of *Saccharomyces cerevisiae*: influence of temperatura, pH and amplitude. *Innovative Food Science & Emerging Technologies* 2(1):31-39.

**Gómez V. 2000.** Fruit characterization of venezuelan avocado varieties of medium oil content. In: *Scientia Agrícola* 54(2): 791-794.

**Guan W., S. Li, R. Yan, S. Tang and C. Quan. 2007.** Comparison of essential oils of clove buds extracted with supercritical carbon dioxide and other three traditional extraction methods. *Food Chemistry* 101(4): 1558-156.

**Guzmán G.R., A.L. Dorantes, U.H. Hernández, S.H. Hernández, A.Ortiz, E.R. Mora. 2001.** Effect of zinc and copper chloride on the color of avocado puree heated with microwaves. *Innovative Food Sciences and Emerging Technologies* 3 (1): 47-53.

**Hidalgo M., C. Sánchez-Moreno and S. Pascual-Teresa. 2010.** Flavonoid interaction and its effect on their antioxidant activity. *Food Chemistry* 121(3): 691-696.

**Hoover D.G. 2000.** Kinetics of microbial inactivation for alternative food processing technologies. *Ultrasounds. Journal of Food Science Supplement* 65(8): 93-95.

**Horvilleur L. 2008.** El mercado del aceite de Oliva en Colombia. Bogotá: Oficina Económica y Comercial de la Embajada de España en Bogotá.

**Human T.P. 1987.** Oil as a byproduct of the avocado. *South African Avocado Growers' Association Yearbook* 10:159-162.

- Hunter G., M. Lucas, I. Watson and R. Parton. 2008.** A radial mode ultrasonic horn for the inactivation of *Escherichia coli* K12. *Ultrasonics sonochemistry* 15(2):101-109
- Jiang J.Bing, Xiang L. Hong, Mei C. Qiang and Zhi X. Chao. 2006.** Improvement of leaching process of Geniposide with ultrasound. *Ultrasonics Sonochemistry*. 13:455-462.
- Joyce A.M. and T.J. Mason. 2008.** Sonication used as a biocide: A review: Ultrasound alternative to chemical biocides? *Chemistry Today* 26(6): 22-26
- Kyllönen H.M., P. Pirkonen and M. Nyström. 2005.** Membrane filtration enhanced by ultrasound: A review. *Desalination* 181: 319-335.
- Knorr D., A. Froehling, H. Jaeger and D.U Lee. 2011.** Applications and potential of ultrasonics in food processing. *Trends in Food Science and technology* 15(5): 261-266.
- Knorr D., M. Zenker, V. Heinz and D.U. Lee. 2004.** Applications and potential of ultrasonic in food processing. *Trends Food Science and Technology* 15: 261-266.
- Lakshmisha I.P., C.N Ravishankar, G. Ninan, C.O Mohan and T.K.S Gopal. 2008.** Effect of freezing time on the quality of Indian mackerel (*Rastrelligerkanagurta*) during frozen storage. *Journal Food Science* 73: S345-S353.
- LI H. L. Pordesimo, and J. Weiss, (2004).** "High intensity ultrasound-assisted extraction of oil from soybeans," *Food Research International*, vol. 37, no. 7, pp. 731-738.
- Lissant K. J. 1984.** Emulsions and Emulsion Technology. Vol. VI. Marcel Dekker, Inc. Nueva York. E.U. 160 p.
- Lui, H.; X.M. Xu, and S.D. Guo. 2007.** Rheological, texture and sensory properties of low-fat mayonnaise with different fat mimetics. *Food Science Technology* 40: 946-954.
- Madeka H and IL. Kokini. 1992.** Effect of addition of zein and gliadin on the rheological properties of amylopectin starch with low-to-intermediate moisture, *Cereal Chemistry* 69(5): 489-494.
- Martínez-Romero D., E. Dupille, F. Guillén, J.M Valverde, M. Serrano and D. Valero. 2003.** 1-Methylcyclopropene increases storability and shelf life in climacteric and nonclimacteric plums. *Journal of agricultural and food chemistry* 51(16): 4680-4686.
- Mason T.J., L. Paniwnyk and J.P Lourimer. 1996.** The uses of ultrasound in food technology. *Ultrasonic Sonochemistry* 3: S253-S260.

- Mason T.J., E. Riera, A. Vereet and P. López-Buesa. 2005.** Application of ultrasound. En: D. Sun (Ed). Emerging technologies for food processing. Elsevier. Londres. Gran Bretaña. Pp 323-351.
- Minguez-Mosquera M.I. y J. Garrido-Fernández, 1989.** Chlorophyll and Carotenoid Presence in Olive Fruit (*Olea europaea*) Journal of Agricultural and Food Chemistry, 37(1):1-7.
- Morell E.P. 2013.** Empleo de distintos estabilizantes y procedimientos para mejorar la estabilidad y vida útil de mayonesas. Tesina master. Departamento de Tecnología de Alimentos. Universidad Politécnica de Valencia. España. 20 p.
- Morley W.G. 2016.** Encyclopedia of Food and Health. Pp 669-676. <http://dx.doi.org/10.1016/B978-0-12-384947-2.00449-9>.
- Mun, S., Y.L. Kim, C.G. Kang, K.H. Park, J.Y. Shim and Y.R. Kim. 2009.** Development of reduced-fat mayonnaise using 4alphaGTase-modified rice starch and xanthan gum. International Journal of Biological Macromolecules 44(5): 400-407. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2009.02.008>. PMID: 19428473.
- Nikzade V., M. Tehran and M. Saadatmand-Tarzjan. 2012.** Optimization of low-cholesterol-low-fat mayonnaise formulation: Effect of using soy milk and some stabilizer by a mixture design approach. Food Hydrocolloids 28(2): 344-352. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodhyd.2011.12.023>.
- NMX-F-052-SCFI-2008.** Normatividad mexicana. Aceites y grasas- aceite de aguacate- especificaciones.
- NMX-F-341-S-1979.** Aderezo con mayonesa.
- Olaeta J. A. 2003.** Industrialización del aguacate: estado actual y perspectivas futuras. In Consejería de Agricultura y Pesca. V Congreso Mundial del Aguacate 19(24): 749-754.
- Ordúz R.J.O. y J.A. Rangel M. 2002.** Frutas tropicales potenciales para el piedemonte llanero. Produmedios. Corpoica. Colombia. 133 p.
- Ortega, M. 2003.** Valor nutrimental de la pulpa fresca de aguacate Hass. Memorias V Congreso Mundial del Aguacate. pp. 741-748.
- Ortiz M.A., L. Dorantes, J. Galíndez and R.I Guzmán. 2003.** Effect of different extration methods on fatty acids, volatile compounds and physical and chemical properties of avocado (*Persea americana Mill*) oil. Journal Agricultural Food Chemistry 51: 2216-2221.

- Ozdemir F. and A. Topuz 2004.** Changes in dry matter, oil content and fatty acids composition of avocado during harvesting time and postharvesting ripening period. En: Food Chemistry 86: 79-83.
- Parada M.J. N., C.A. Romero J. y B.D. Yépez V. 2012.** Aplicación de ultrasonido en el procesamiento de mora de Castilla (*Rubus glaucus* Benth): Efecto sobre la calidad funcional y evaluación como pretratamiento al secado convectivo. Alimentos Hoy 21(27): 15-38.
- Pedrero, D. L. y R.M. Pangborn. 1989.** Evaluación sensorial de los alimentos. Métodos. Analíticos. Era edición, Alhambra Mexicana. D. F. México. 116 p.
- Pendersen J., L. Johansson and D.S Thelle. 1998.** Trans-fatty acids and health. Tidsskr. Laegeforen.118: 3474-3480.
- Pérez R.R., S. Villanueva R. y R. Cósio R. 2005.** El Aceite de Aguacate y sus Propiedades Nutricionales Art.10. Citado en Revista Digital Científica y Tecnológica e-Gnosis 3 Universidad de Guadalajara. Guadalajara, México.
- Pingret D., A.S. Fabiano T., E. Petitcolas, J.P. Canselier and F. Chemat. 2011.** First investigation on ultrasound assisted preparation of food products. Sensory and physicochemical characteristics. Journal of Food Science. 76:C287-C292.
- Povey M. and T.J. Mason. 1988.** Ultrasound in Food Processing. Thomson
- Reed, 2001.** Avocados: The new wonder oil? En: Food New Zealand 31(1): 20-25.
- Requejo A. M., R.M. Ortega, F. Robles, B. Navia, M. Faci and A. Aparicio. 2003.** Influence of nutrition on cognitive function in a group of elderly, independently living people: European Journal of Clinical Nutrition 57: 54–57.
- Restrepo D.A.M., J. Londoño L., D. González A., B. Paz Y. y B.L Cardona S. 2012.** Comparación del aceite de aguacate variedad Hass cultivado en Colombia, obtenido por fluidos supercríticos y métodos convencionales: una perspectiva desde la calidad. Revista Lasallista de Investigación 9(2):151-161.
- Roberts R.T. 1993.** High intensity ultrasonics in food processing. Chemical Industry 15: 119-121.
- Robles-Ozuna L.E y L.A. Ochoa-Martínez. 2012.** Ultrasonido y sus aplicaciones en el procesamiento de alimentos. Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha, Vol 13(2):109-122.
- Rodriguez S.F. 1992.** El aguacate. AGT Editor, S.A. México, D.F. 167 p.

- Rossell J. B. 1983.** Measurement of rancidity. APPL. SCI. PUBL. LTD., RIPPLE ROAD, BARKING, ESSEX, UK. Pp 21-46.
- Ruiz D.M., P. Partal, J.M. Franco, J.M. y C. Gallegos. 2010.** Emulsiones alimentarias aceite-en-agua estabilizadas con proteínas de atún. Grasas y aceites, España. 61(4): 352-360.
- Salgado J. M., C. Bin, D. Mansi and A. Souza. 2008.** Efeito do abacate (Persea americana Mill) variedade hass na lipidemia de ratos hipercolesterolêmicos. Ciência e Tecnologia de Alimentos 4(28): 922-928.
- Sandoval A.A., F. Forero L., y J. García L. 2010.** Postcosecha y transformación de aguacate: Agroindustria rural innovadora. Corporación Colombia de investigación agropecuaria, CORPOICA, Colombia. 98 p.
- Schwartz M., J.A. Olaeta, P. Undurraga, M. Sepúlveda and P. Tepper. 2001.** Secado de aguacate (Persea americana Mill.) por ósmosis con maltodextrinas y NaCl. Actas III Congreso mundial aguacate. México. 9 p.
- Secretaría de Economía (SE). 2012.** Dirección General de Industrias Básicas. Monografía del sector aguacate en México: Situación actual y oportunidades de mercado. México. 21 p.
- Secretaria de Economía (SE). 2012.** <http://www.gob.mx/se/articulos/mexico-es-el-principal-productor-y-exportador-de-aguacate-en-el-mundo>. (Consulta: 08 de abril de 2016).
- Servicios de información agroalimentaria y Pesquera (SIAP). México.** [http://infosiap.siap.gob.mx:8080/agricola\\_siap\\_gobmx/AvanceNacionalCultivo.do](http://infosiap.siap.gob.mx:8080/agricola_siap_gobmx/AvanceNacionalCultivo.do) (consulta: 06 de marzo de 2017).
- Shirsath, S., S. Sonawane and P. Gogate. 2012.** Intensification of extraction of natural products using ultrasonic irradiations: A review of current status. Chemical Engineering and Processing, 53:10-13.
- Soria, A. C., and M. Villamiel. 2010.** Effect of ultrasound on the technological properties and bioactivity of food: a review. Trends in Food Science and Technology 21: 323-331.
- Stauffer E. 2005.** A review of the Analysis of Vegetable Oil Residues from Fire Debris Samples: Analytical Scheme, Interpretation of the Results, and Future Needs. Journal of Forensic Sciences 51(5): 1016-1032.



- Subsecretaría de Fomento a los Agronegocios (SFA). 2011.** Monografía de Cultivos. Aguacate. México. 10 p.
- Sun D.W and B. Li. 2003.** Microstructural change of potato tissue frozen by ultrasound assisted immersion freezing. *Journal Food Engineering* 57:337-345.
- Tango J. S. and J.M. Turatti. 1992.** Oleo de abacate en: Dotti M. E., N. Moreno G., M.Y Hayashi S., R. Dantas A. and M.H Fillet S. 2012. Physical and Chemical characterization of the pulp of different varieties of avocado targeting oil extraction potential. *Ciência e tecnologia de Alimentos, Campinas.* 32(2): 271-280
- Thaiudom and Khantaram. 2012.** Stability and rheological properties of fat-reduced mayonnaises by using sodium octenyl succinate starch as fat replacer. *Procedia Food Science* 1: 315-321.
- Thompson L. H. and L.K. Doraiswamy.1999.** Sonochemistry: Science and engineering. *Industrial and Engineering Chemistry Research* 38(4): 1215–1249.
- Tucunduva O.S. 2002.** Tabela de composição de alimentos: suporte para decisao nutricional. 2. ed. Sao Paulo: Coronario. 107 p.
- Ulusoy, H.B. H. Colak and H. Hampikyan. 2007.** The use of ultrasonic waves in food technology. *Research Journal of Biological Science* 2:491-497.
- USDA (United States Department of Agriculture). 2016.** Agricultural Research Service. National Nutrient Database for Standard Reference Release. <http://ndb.nal.usda.gov/ndb/foods> (Consulta: 7 de febrero de 2016).
- Valenzuela B.A. y N. Morgado T. 2005.** Las grasas y aceites en la nutrición humana: algo de su historia. *Revista chilena de nutrición* 32(2): 88-94.
- Vercet, A., J. Burgos and P. López B. 2001.** Manothermosonication of foods and food-resembling systems: effect on nutrient content and nonenzymatic browning. *Journal of agricultural and food chemistry* 49(1): 483-489.
- Villanueva, M. y S. Verti. 2007.** El Aguacate: Oro verde de México, orgullo de Michoacan. Gobierno del estado de Michoacan. <http://www.avocadosource.com/WAC6/es/Extenso/5c-234.pdf> (Consulta: 10 de enero de 2016).
- Vilkhu K., R. Mawson, L. Simons and D. Bates. 2008.** Applications and opportunities for ultrasound assisted extraction in the food industry. A review. *Innovative Food Science and Emerging Technologies* 9(2), 161–169.

**Vinha A. F., J. Moreira and S. Barreira. 2013.** Physicochemical Parameters, Phytochemical Composition and Antioxidant Activity of the Algarvian Avocado (*Persea americana* Mill.). *Journal of Agricultural Science* 5(12): 100.

**Windhab E.J., M. Dressler, K. Feigl, P. Fischer and D. Megias-Alguacil. 2005.** Emulsion processing—from single-drop deformation to design of complex processes and products, *Chemical Engineering Science* 60:2101–2113

**Yaldagard M., S.A. Mortazavi, S.A. and F. Tabatabaie. 2008.** Influence of ultrasonic stimulation on the germination of barley seed and its alpha-amylase activity 7(14): 2465-2471.

<http://www.inoxpa.com> (consulta: 15 de octubre de 2015)

<http://www.sagarpa.gob.mx/Delegaciones/michoacan/boletines/Paginas/B0342015.aspx>  
(Consulta: 9 de abril de 2016).

## 12. ANEXO 1

Nombre: \_\_\_\_\_ Fecha: \_\_\_\_\_

### Esta es una evaluación sensorial de un aderezo de aguacate

Género: Masculino ( ) Femenino ( )

Rango de edad:

- ( ) De 20 años o menos
- ( ) De 21 a 30 años
- ( ) De 31 a 40 años
- ( ) De 41 a 50 años
- ( ) De 51 a 60 años
- ( ) Más de 60 años

¿Cuál es su nivel de estudios? \_\_\_\_\_

¿Le gusta el aguacate? Marque con una (X) Si ( ) No ( )

¿Con que frecuencia consume mayonesa o aderezos? Marque con una (X)

- ( ) Todos los días
- ( ) De una a dos veces por semana
- ( ) De 3 a 4 veces por semana
- ( ) De 5 a 6 veces por semana
- ( ) Una vez a la quincena
- ( ) Una vez al mes
- ( ) No la consumo

**Si consume mayonesa indique el tipo de su consumo. Marque con una (X), puede marcar varias opciones**

- ( ) Con pan
- ( ) En ensaladas
- ( ) Para acompañar carnes, pescados y mariscos
- ( ) Otro Especifique: \_\_\_\_\_

**Instrucciones:**

Por favor tome un sorbo de agua antes de empezar. Pruebe primero la muestra de su izquierda e indique su nivel de agrado. A continuación enjuague su boca con agua y pruebe la muestra siguiente e indique su nivel de agrado. Marque con una (x) el nivel de agrado para cada muestra. Si tiene alguna pregunta no dude en hacerla.

<b>Clave del producto</b>	Olor	Color	Textura	Sabor	Aceptabilidad general
Me gusta mucho					
Me gusta moderadamente					
Me gusta levemente					
Ni me gusta ni me disgusta					
Me disgusta levemente					
Me disgusta moderadamente					
Me disgusta mucho					

<b>Clave del producto</b>	Olor	Color	Textura	Sabor	Aceptabilidad general
Me gusta mucho					
Me gusta moderadamente					
Me gusta levemente					
Ni me gusta ni me disgusta					
Me disgusta levemente					
Me disgusta moderadamente					
Me disgusta mucho					

Ordene las muestras de izquierda a derecha de mayor a menor preferencia en cuanto al sabor.

--	--

Comentarios:

---

---

---

---

---

---

**¡¡ MUCHAS GRACIAS !!**

### 13. ANEXO 2

Nombre: \_\_\_\_\_ Fecha: \_\_\_\_\_

#### Esta es una evaluación sensorial de aceites vegetales comestibles

Género: Masculino ( ) Femenino ( )

Rango de edad:

- ( ) De 20 años o menos
- ( ) De 21 a 30 años
- ( ) De 31 a 40 años
- ( ) De 41 a 50 años
- ( ) De 51 a 60 años
- ( ) Más de 60 años

¿Cuál es su nivel de estudios? \_\_\_\_\_

#### Instrucciones:

Por favor tome un sorbo de agua antes de empezar. Pruebe la primera muestra e indique su nivel de agrado. A continuación enjuague su boca con agua y pruebe la muestra siguiente e indique su nivel de agrado. Marque con una (x) el nivel de agrado para cada muestra. Si tiene alguna pregunta no dude en hacerla.

	Olor	Color	Sabor
Me gusta mucho			
Me gusta moderadamente			
Me gusta levemente			
Ni me gusta ni me disgusta			
Me disgusta levemente			
Me disgusta moderadamente			
Me disgusta mucho			

	Olor	Color	Sabor
Me gusta mucho			
Me gusta moderadamente			
Me gusta levemente			
Ni me gusta ni me disgusta			
Me disgusta levemente			
Me disgusta moderadamente			
Me disgusta mucho			

Comentarios: \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

## 14. ANEXO 3

Nombre: \_\_\_\_\_ Fecha: \_\_\_\_\_

**Esta es una evaluación sensorial de unos aderezos de mayonesa con aguacate**

Género: Masculino ( ) Femenino ( )

Rango de edad:

- ( ) De 20 años o menos
- ( ) De 21 a 30 años
- ( ) De 31 a 40 años
- ( ) De 41 a 50 años
- ( ) De 51 a 60 años
- ( ) Más de 60 años

¿Cuál es su nivel de estudios? \_\_\_\_\_

### Instrucciones:

Por favor tome un sorbo de agua antes de empezar. Pruebe primero la muestra de su izquierda e indique su nivel de agrado. A continuación enjuague su boca con agua y pruebe la muestra siguiente e indique su nivel de agrado. Marque con una (x) el nivel de agrado para cada muestra. Si tiene alguna pregunta no dude en hacerla.

Clave del producto	Olor	Color	Textura	Sabor	Aceptabilidad general
Me gusta mucho					
Me gusta moderadamente					
Me gusta levemente					
Ni me gusta ni me disgusta					
Me disgusta levemente					
Me disgusta moderadamente					
Me disgusta mucho					

Clave del producto	Olor	Color	Textura	Sabor	Aceptabilidad general
Me gusta mucho					
Me gusta moderadamente					
Me gusta levemente					
Ni me gusta ni me disgusta					
Me disgusta levemente					
Me disgusta moderadamente					
Me disgusta mucho					

A continuación ordene las muestras de izquierda a derecha de mayor a menor preferencia en cuanto al sabor.

--	--

Comentarios: \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

**¡¡ MUCHAS GRACIAS !!**