



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA  
DE MÉXICO**

---

---

**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES  
CUAUTITLÁN**

**Propiedades reológicas y fisicoquímicas de  
un aderezo de aguacate y extracción de  
aceite en la semilla empleando ultrasonido**

**T E S I S**

**PARA OBTENER EL TÍTULO DE:**

**INGENIERO EN ALIMENTOS**

**P R E S E N T A:**

**MARIO ENRIQUE BARREIRA MENDOZA**

**ASESORAS:**

**Dra. Laura Patricia Martínez Padilla**

**M.C. Julieta González Sánchez**

**Cuautitlán Izcalli Edo. de México 2022**



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AUTÓNOMA DE  
MÉXICO

**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLÁN  
SECRETARÍA GENERAL  
DEPARTAMENTO DE TITULACIÓN**

U.N.A.M.  
**ASUNTO: VOTO APROBATORIO**  
SUPERIORES CUAUTITLÁN

**M. en C. JORGE ALFREDO CUÉLLAR ORDAZ  
DIRECTOR DE LA FES CUAUTITLÁN  
PRESENTE**

**ATN: I.A. LAURA MARGARITA CORTAZAR FIGUEROA**  
**Jefa del Departamento de Titulación**  
**de la FES Cuautitlán.**  
EXÁMENES PROFESIONALES

Con base en el Reglamento General de Exámenes, y la Dirección de la Facultad, nos permitimos comunicar a usted que revisamos el: **Trabajo de Tesis y examen profesional**

**Propiedades reológicas y fisicoquímica de un aderezo de aguacate y extracción de aceite en la semilla empleando ultrasonido.**

Que presenta el pasante: **Mario Enrique Barreira Mendoza**

Con número de cuenta: **413050113** para obtener el título de: **Ingeniero en Alimentos**

Considerando que dicho trabajo reúne los requisitos necesarios para ser discutido en el **EXAMEN PROFESIONAL** correspondiente, otorgamos nuestro **VOTO APROBATORIO**.

**ATENTAMENTE**

**“POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU”**

Cuautitlán Izcalli, Méx. a 24 de noviembre de 2021.

**PROFESORES QUE INTEGRAN EL JURADO**

	NOMBRE	FIRMA
<b>PRESIDENTE</b>	Dra. Laura Patricia Martínez Padilla	
<b>VOCAL</b>	Dra. María de la Luz Zambrano Zaragoza	
<b>SECRETARIO</b>	I.A. Patricia Muñoz Aguilar	
<b>1er. SUPLENTE</b>	Dra. Virginia Agustina Delgado Reyes	Virginia Delgado Reyes
<b>2do. SUPLENTE</b>	M. en E. Fátima Abigail Galván Ballesteros	

NOTA: los sinodales suplentes están obligados a presentarse el día y hora del Examen Profesional (art. 127).

Agradezco a la Facultad de estudios superiores Cuautitlán Izcalli mi Alma Mater por abrirme las puertas para el aprendizaje, también a algunos profesores que me brindaron su apoyo y creyeron en mí. Al igual que a mis compañeros y amigos con los que crecimos juntos académica y personalmente, que serán una de las mejores experiencias el conocerlos. A mis asesoras de tesis la Dra. Laura Patricia Martínez Padilla y la M.C. Julieta González Sánchez que siempre hicieron su mejor esfuerzo para que aprendiera, y nunca me rindiera, gracias por todo el apoyo. También agradezco a mis padres que me dieron todo lo que estuvo en sus manos para que yo cumpliera mis sueños no rindiéndose y dando lo mejor de ellos.

# ÍNDICE

	página
<b>RESUMEN</b>	vi
<b>INTRODUCCIÓN</b>	vii
<b>CAPÍTULO I. ANTECEDENTES</b>	1
1.1 Aspectos generales del aguacate	1
1.1.1 Tipos de aguacate	2
1.1.2 Estructura del aguacate	2
1.1.3 Composición del aguacate	3
1.1.4 Subproductos del aguacate	7
1.2 Suspensiones	8
1.2.1 Características y composición de una suspensión	8
1.2.2 Inestabilidades en una suspensión	9
1.2.3 Métodos de estabilidad	9
1.3 Emulsiones	9
1.3.1 Características y composición de una emulsión	10
1.3.2 Inestabilidad en las emulsiones	11
1.3.3 Métodos de estabilidad	12
1.4 Métodos de Extracción	14
1.4.1 Extracción con disolventes volátiles	15
1.4.2 Extracción asistida con ultrasonido	16
<b>CAPÍTULO II METODOLOGÍA</b>	20
2.1 Objetivos	20
2.2 Materiales	20
2.3 Pruebas preliminares	21
2.4 Preparación de la muestra	21
2.5 Diseño experimental	23
2.6 Métodos para la materia prima	23
2.6.1 Humedad	23
2.6.2 Color	24
2.6.3 Firmeza	25
2.6.4 Determinación de aceite	26
2.7 Métodos para la emulsión	26
2.7.1 Potencial de hidrógeno	26
2.7.2 Tamaño de partícula	26
2.7.3 Propiedades viscoelásticas	27
2.7.4 Estabilidad de la emulsión	27
2.8 Métodos para la extracción de aceite en la semilla de aguacate	28
2.8.1 Preparación de la muestra para la extracción de aceite	28
2.9 Extracción asistida por ultrasonido	28

<b>CAPÍTULO III RESULTADOS Y ANÁLISIS</b>	29
3.1 Caracterización de materia prima	29
3.1.1 Color del aguacate	30
3.1.2 Rendimiento de la pulpa de aguacate	31
3.1.3 Humedad	32
3.1.4 Textura del aguacate	33
3.2 Contenido de aceite en la pulpa de aguacate	38
3.2.1 Extracción acuosa de aceite asistido por ultrasonido y extracción convencional	38
3.3 Propiedades del aderezo de aguacate	39
3.3.1 Potencial de hidrógeno	39
3.3.2 Tamaño de partícula	40
3.3.3 Caracterización reológica	44
3.3.4 Colorimetría en la emulsión	49
3.3.5 Estabilidad	51
<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b>	54
<b>REFERENCIAS</b>	56

## ÍNDICE DE CUADROS

	página
Cuadro 1.1 Principales productores de aguacate	1
Cuadro 1.2 Composición química de las partes del aguacate	4
Cuadro 1.3 Composición de ácidos grasos e instaurados presentes en la pulpa de aguacate Hass	4
Cuadro 2.1 Formulaciones para el diseño experimental	23
Cuadro 3.1 Parámetros $L^*$ , $a^*$ , $b^*$ en aguacate con pericarpio de madurez 1,3,5	30
Cuadro 3.2 Peso del aguacate y cada una de sus partes en los tres grados de madurez	31
Cuadro 3.3 Humedad de la pulpa de aguacate con diferentes grados de madurez	32
Cuadro 3.4. Humedad en la semilla de aguacate molida	32
Cuadro 3.5 Textura instrumental de la pulpa de aguacate en los diferentes grados de madurez y puntos de medida	36
Cuadro 3.6 Textura instrumental del de aguacate con pericarpio en los diferentes grados de madurez y puntos de medida	37
Cuadro 3.7 Aceite obtenido en extracción convencional y asistida con ultrasonido	38
Cuadro 3.8. Potencial de hidrógeno en las formulaciones de estudio P(pulpa), X(xantana), M(Mezcla de ácidos), V(vinagre)	40
Cuadro 3.9 Diámetro medio y diámetro al 10, 50 y 90% de fracción acumulada de las formulaciones estudiadas P(pulpa), X(xantana), M(Mezcla de ácidos), V(vinagre), IP índice de poilidispersión	41
Cuadro 3.10 Diámetro medio y diámetro al 10, 50 y 90% de fracción acumulada de las formulaciones estudiadas P(pulpa), X(xantana), M(Mezcla de ácidos), V(vinagre), IP índice de poilidispersión, aplicando ultrasonido	43
Cuadro 3.11 Módulo de almacenamiento ( $G'$ )y módulo de pérdida ( $G''$ ) evaluados a 1 rad/s	47
Cuadro 3.12. Parámetros de la función potencia de la viscosidad compleja	49
Cuadro 3.13 Interpretación de los valores de $\Delta E$	50
Cuadro 3.14 Valores de $L^*a^*b^*$ para las formulaciones durante el tiempo de almacenamiento	50
Cuadro 3.15 Valores de $\Delta E$ para las formulaciones	50

## ÍNDICE DE FIGURAS

	Página
Figura 1.1 Aguacate Hass	2
Figura 1.2 Estructura del aguacate	3
Figura 1.3 Ácido oleico	5
Figura 1.4 Ácido linoleico	6
Figura 1.5 Estructura de una emulsión	10
Figura 1.6 Inestabilidad en una emulsión	12
Figura 1.7 Extracción por solventes	16
Figura 1.8 Extracción por ultrasonido	17
Figura 2.1 Diagrama de flujo en bloques de aderezo de aguacate	22
Figura 2.2 configuración del espacio cromático (a) y CIELAB (b)	24
Figura 2.3 Mapa para la punción	25
Figura 3.1 Aguacates con diferentes grados de madures, 1 representa la menor (verde) y 5 la mayor (negro)	29
Figura 3.2 Puntos de punción en pulpa de Madurez 1	33
Figura 3.3 Puntos de punción en pulpa de Madurez 2	34
Figura 3.4 Puntos de punción en pulpa de Madurez 3	34
Figura 3.5 Fuerza registrada en la pula con pericarpio de Madurez 1	35
Figura 3.6 Fuerza registrada en la pula con pericarpio de Madurez 2	35
Figura 3.7 Fuerza registrada en la pula con pericarpio de Madurez 3	36
Figura 3.8 Ejemplo de distribución del tamaño de partículas en cada una de las emulsiones estudiadas	41
Figura 3.9 Ejemplo de distribución del tamaño de partículas en cada una de las emulsiones estudiadas aplicando ultrasonido durante la prueba.	42
Figura 3.10 Módulo de almacenamiento ( $G'$ símbolo lleno) y módulo de pérdida ( $G''$ símbolo vacío) en función de la deformación a frecuencia angular constante (10 rad/s) para la formulación P18.5X0.1M1.5	44
Figura 3.11 Módulo de almacenamiento ( $G'$ símbolo lleno) y módulo de pérdida ( $G''$ símbolo vacío) en función de la frecuencia angular para la formulación P18.5X0.1M1.5	45
Figura 3.12 Módulo de almacenamiento ( $G'$ símbolo lleno) y módulo de pérdida ( $G''$ símbolo vacío) en función de la frecuencia angular para la formulación con 18.5% de pulpa, X(xantana), M (Mezcla de ácidos), V (vinagre)	46
Figura 3.13 Módulo de almacenamiento ( $G'$ símbolo lleno) y módulo de pérdida ( $G''$ símbolo vacío) en función de la frecuencia angular para la formulación con 37% de pulpa, X(xantana), M (Mezcla de ácidos), V (vinagre)	46
Figura 3.14 Viscosidad compleja en función de la frecuencia angular para las formulaciones con pulpa en dos niveles de proporción (P), X(xantana), M(Mezcla de ácidos), V(vinagre)	48

Figura 3.15 Gráficos representativo de transmisión y retrodispersión de luz P18.5X01M1	51
Figura 3.16 Gráficos de transmisión de luz P18.5X01M1.5 a 7 días	52
Figura 3.17 Gráficos de retrodispersión de luz P18.5X01M1.5 a 7 días	52
Figura 3.18 Gráficos representativo de transmisión y retrodispersión de luz P37X0.3V5	53

## RESUMEN

El aguacate (*Persea americana* Mill. cv. Hass) es un fruto perecedero que en su composición presenta cualidades nutricionales y medicinales, lo que ha llevado a buscar nuevas alternativas de agroindustrialización para mejorar su competitividad y aprovechamiento en el mercado. El objetivo de esta investigación fue desarrollar un aderezo a base de pulpa de aguacate además de evaluar el rendimiento de extracción de aceite semilla utilizando tratamiento por ultrasonido, como alternativas de aprovechamiento integral. Este último se mejoró por el tratamiento. La materia prima se seleccionó con base en su coloración, se midió la humedad que es el parámetro más importante para su comercialización, además del contenido de aceite y textura. En la preparación del aderezo se utilizó un diseño factorial general a tres factores y dos niveles, en los que se incluye la concentración de pulpa, la concentración de xantana, mezcla de ácidos orgánicos y vinagre. Las pruebas se realizaron por triplicado. Se evaluó el pH, la distribución del tamaño de partícula, el color en escala Hunter L, a, b y la viscosidad compleja a través de un barrido de frecuencia angular en pruebas bajo cizalla oscilatoria. Se determinó la estabilidad en función del tiempo de almacenamiento en refrigeración con un analizador óptico. La formulación con 37% de pulpa de aguacate, xantana al 0.1% y mezcla de ácidos al 1% presentó características similares (viscosidad compleja, pH, color) a una mayonesa de aguacate comercial, además de que mostró estabilidad superior a 7 días considerando los fenómenos de inestabilidad comunes en emulsiones.

## INTRODUCCIÓN

El aguacate es un producto de alto consumo en México y el mundo debido a su sabor y propiedades para la salud. Se ha demostrado que la pulpa contiene una gran cantidad de aceite de excelente calidad, además, de que se elaboran diversos subproductos. De la semilla y/o pericarpio se puede obtener aceite adicional, fibra, antioxidantes, antimicrobianos y colorantes, entre otros. Considerando que estas partes representan aproximadamente el 40% del aguacate y al no poder ser consumido produce toneladas de residuos anualmente, lo que genera la necesidad de un aprovechamiento de estos residuos para reducir su cantidad. Actualmente la industria del aguacate se centra en la comercialización en fresco o desarrollo de productos derivados como puré base de otros productos, pulpa, congelado o refrigerado y aceite extraído a partir de la pulpa (Olaeta, 2003).

La pulpa, es la de mayor volumen de utilización, y de esta se producen salsas, guacamoles o aderezos. También la pulpa es rica en ácidos grasos monoinsaturados, baja en ácidos grasos saturados y no contiene colesterol. Además, tiene un alto contenido de fitoesteroles, esteroides y vitaminas A, D y E. El aceite tiene compuestos antioxidantes y su composición de ácidos grasos, reduce el colesterol LDL (lipoproteínas de baja densidad por sus siglas en inglés), es de fácil absorción induce la producción de colágeno que ayuda a retrasar el envejecimiento de la piel, por lo que las dietas con alto contenido de grasas monoinsaturadas previenen los efectos nocivos de una dieta alta en grasa sobre los niveles de triglicéridos. La baja ingesta de grasa saturada y colesterol son consistentes con disminuciones en los niveles de colesterol sanguíneo y más bajas tasas de mortalidad coronaria sobre los 30 últimos años (Rader y Hovingh, 2014).

Por su parte, la semilla del aguacate contiene una alta cantidad de ácidos grasos monoinsaturados y nada de colesterol, cerca del 60% son ácidos grasos monoinsaturados, el 20% poliinsaturados y el resto saturado, conforme el fruto madura el ácido palmítico (saturado) disminuye y aumenta el ácido oleico (insaturado) (Bernal et al., 2017).

Es importante mencionar que el aceite de aguacate tiende a oxidarse rápidamente debido a enzimas hidrolíticas las cuales aumentan su actividad durante la madurez, esto puede evitarse empleando los antioxidantes presentes naturalmente en la semilla (Barbosa-Martin et al., 2016).

La estabilidad de un aceite se refiere a la capacidad para mantener su frescura, sabor y color durante su almacenamiento y uso. Esto está relacionado con la composición de los lípidos, su naturaleza y la presencia o ausencia de antioxidantes y de inhibidores que pueden ser naturales o artificiales; los aceites vegetales, a pesar de su instauración, suelen ser más estables que las grasas animales debido a sus antioxidantes naturales (Paredo-Luna., 2012).

La extracción convencional con solventes de aceites es la más utilizada en la industria (química, farmacéutica, alimenticia, entre otras) debido a sus altos rendimientos y facilidad de operación, pero al mismo tiempo esta operación es de las más contaminantes debido al uso de solventes de alto grado de toxicidad, estos solventes se impregnan en los productos extraídos, así como en los residuos obtenidos durante todo el proceso y a pesar de ser lavados para remover la mayor cantidad de estos solventes aun retienen una cierta cantidad de los mismo (Jalili et al., 2017).

Esto motiva a buscar alternativas que sean amigables con el medio ambiente y el producto final, además de buscar que sean de bajos costos y de fácil operación, lo

que lleva a la implementación de técnicas de extracción asistidas con algún tipo de fuerza, para reducir el uso de solventes, tiempo y dinero en la industria.

Por lo que el objetivo de esta investigación es el aprovechamiento integral del aguacate mediante la creación de un aderezo estable y extracción de aceite para su cuantificación y evaluación para futuros productos.

## CAPÍTULO I ANTECEDENTES

### 1.1 Aspectos generales del aguacate

El aguacate es un árbol originario de Mesoamérica, su origen tuvo lugar en la parte centro de México y en algunas partes altas de Guatemala, donde ya se cultivaba con anterioridad a la llegada de los españoles. El nombre del aguacate proviene del náhuatl (Ahuacatl), palabra que significa “testículos del árbol”. Su nombre científico es *Persea Americana* y proviene de la familia laurácea (Ceballos y Montoya, 2013).

El aguacate es un fruto de suma importancia comercial para México por los beneficios económicos que propicia ya que el país ocupa el primer lugar de la producción a nivel mundial con más del 2,184,663 toneladas anualmente (FAOSTAT, 2018) (Cuadro 1.1). México produce aproximadamente el 30% de aguacate en todo el mundo. Aproximadamente el 3% de la producción de aguacate es industrializado para su exportación en forma de pasta para la elaboración de derivados o guacamole (FAOSTAT, 2018). La semilla representa aproximadamente el 15% en peso del fruto (Ramos, 1999), se tiene que de la industrialización actual resultan más de 3,000 toneladas de semilla anualmente, mismas que son desechadas sin algún aprovechamiento.

Cuadro 1.1 Principales productores de aguacate (FAOSAT, 2018).

	Toneladas
México	2,184,663
República Dominicana	601,349
Perú	455,394
Colombia	309,431
Indonesia	304,938
Brasil	195,492
Kenia	176,045
Estados Unidos de Norte América	172,630

### 1.1.1 Tipos de Aguacate

Existen diversas variedades de aguacates tales como: Hass, Bacon, Fuerte, Criollo, entre otras, pero el aguacate Hass resalta sobre las demás debido a su resistencia ante plagas, tiempo de crecimiento y propiedades químicas (Barbosa-Martin et al., 2016).

El aguacate Hass (Figura 1.1) cuando está maduro su pericarpio adquiere un tono oscuro, casi negro. Su piel pasa de verde oscuro a verde purpurino. Tiene un sabor a nuez y avellana, con textura suave-cremosa y una semilla de pequeña a mediana. Disponible durante todo el año. El aguacate Hass proviene de injertos mezcla de diferentes variedades de aguacate (Ceballos y Montoya, 2013).



Figura 1.1 Aguacate Hass.

### 1.1.2 Estructura del aguacate

En el aguacate el pericarpio está formado de tres capas: exocarpio (pericarpio), mesocarpio (pulpa) y endocarpio junto a la cubierta seminal (Figura 1.2). El endocarpio se compone de pocas capas de parénquima de células aplanadas tangencialmente que a menudo se adhieren a la semilla (Barrientos et al., 1996).

Las células del parénquima, en las semillas, almacenan almidón (gránulos fundidos o agrietados en cotiledones y en el endospermo), proteínas (esferas o cuerpos pequeños e irregulares), o aceites (elaioplastos o en esferosomas) (Barrientos et al., 1996).

La semilla madura consiste en epidermis externa, células de taninos y remanentes de xilema cuyos elementos conductores, las traqueidas, pueden contener cantidades considerables de células ricas en azúcares, grasas o proteínas por eso el interés de utilizar esta parte para la recuperación de los mismos (Barrientos et al., 1996).

El embrión contiene nutrientes de reserva, orgánicos e inorgánicos, localizados alrededor del embrión o en sus mismos tejidos; contiene aproximadamente el 50% del aceite de la semilla y antes de germinar presenta una situación citológica que indica inactividad, esto es la presencia de proteínas y lípidos de reserva (Barrientos et al., 1996).

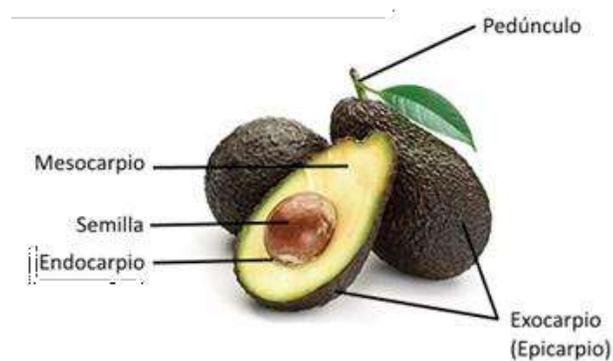


Figura 1.2. Estructura del aguacate (Barrientos et al., 1996).

### 1.1.3 Composición del aguacate

Composición química en base húmeda del puré de aguacate de la variedad Hass es: humedad 74.30%, proteínas 1.67%, grasas 17.10% cenizas 1.26%, fibra 1.35% y por diferencia se obtiene el porcentaje de carbohidratos: 4.32% (Cuadro 1.2). El contenido de aceite reportado para la pulpa de aguacate de la variedad Hass extraído por disolventes puede ser de hasta 21.9% (base húmeda). Se considera que el contenido de grasa en el hueso y piel del aguacate de la variedad Hass es del 16% del total del peso. Esta composición depende de varios factores; entre ellos se encuentra la región donde se cultiva, la madurez del fruto y las técnicas de extracción (Ceballos, y Montoya 2013).

Cuadro 1.2 Composición química de las partes del aguacate variedad Hass en base húmeda (Ceballos y Montoya. 2013).

	Pulpa (%)	Semilla (%)	Cáscara (%)
Humedad	74.3	65.39	64.3
Proteínas	1.67	4.18	-
Grasas	17.1	4.33	-
Cenizas	1.26	3.62	3.69
Fibra	1.35	2.95	31.45
Carbohidratos	4.32	19.53	0.56

El aceite presente en las diversas partes de aguacate es de excelente calidad para la salud debido a que éste en su mayoría está constituido por ácidos grasos monoinsaturados y poliinsaturados (Cuadro 1.3), una dieta que contiene este tipo de ácidos grasos reduce los problemas coronarios.

Cuadro 1.3 Composición de ácidos grasos e insaturados presentes en la pulpa de aguacate Hass

Ácidos grasos (%)				
Saturados	Insaturados	Monoinsaturados	Polinsaturados	
21.51	78.8	63.53	15.27	
Promedio en pulpa de ácidos grasos				
Monoinsaturados			Polinsaturados	
Palmitico	Oleico	Eicosenoico	linoleico	linoléico
13.49	49.55	0.49	14.01	1.26

Los ácidos monoinsaturados como poliinsaturados además de ser de fácil absorción dentro del cuerpo humano y benéficos para la salud, son ampliamente usados en la industria alimentaria ya sea de manera directa como aceites comestibles (aguacate, maíz, canola, girasol, etc.) o como para la formulación de emulsiones, debido a que su cadena con pliegues no permite que se empaqueten adecuadamente lo que provoca que se mantengan en estado líquido a temperatura ambiente (Bernal et al., 2017).

Los ácidos grasos insaturados son ácidos carboxílicos de cadena larga con uno o varios dobles enlaces entre sus átomos de carbono. Los ácidos grasos son

componentes de lípidos de reserva y lípidos de membrana, generalmente los ácidos grasos naturales son de cadena lineal y poseen un número par de átomos de carbono (C16, C18, etc.) (Bernal et al., 2017).

Los dobles enlaces están generalmente separados por un grupo metileno (R-CH<sub>2</sub>-R), por lo que no son conjugados. Se encuentran en general en la configuración cis, o sea, los átomos de C contiguos están orientados hacia el mismo lado y generan con ello un dobléz en la cadena del hidrocarburo. La posición de la instauración (doble enlace) se indica con la letra griega omega y un número: omega-3, omega-5, omega-6. El número designa en qué enlace se encuentra la insaturación, contando desde el final de la cadena (Bernal et al., 2017). En la Figura 1.3 se presenta la estructura del ácido oleico.

Los ácidos grasos monoinsaturados son aquellos ácidos grasos de cadena carbonada porque poseen una sola insaturación en su estructura, es decir, poseen un solo doble enlace carbono-carbono (-CH=CH-). Un ejemplo de este tipo de ácidos es el ácido oleico presente en casi todas las grasas naturales, llamado comúnmente omega 9 (Bernal et al., 2017).

Varios ácidos grasos de la serie omega 9 son monoinsaturados; el más importante de ellos es el ácido oleico, componente principal de la trioleína, el triglicérido principal del aceite de aguacate.

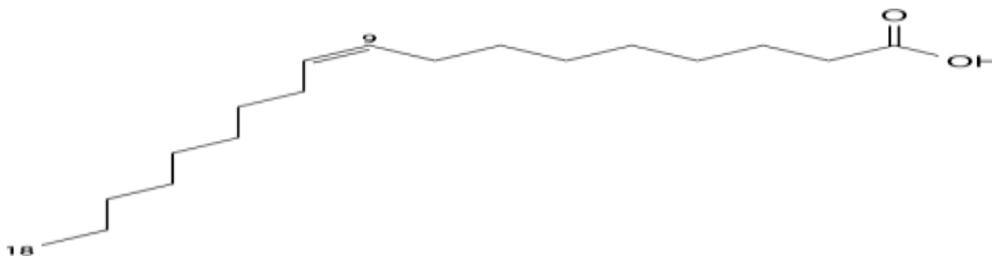


Figura 1.3. Ácido oleico (Bernal et al., 2017).

Los ácidos grasos poliinsaturados son aquellos que poseen más de un doble enlace entre sus carbonos. Dentro de este grupo se encuentra el ácido linolénico (omega 3 y el omega 6) que es esencial para el ser humano.

Según el lugar que ocupa el primer doble enlace respecto del carbono que lleva el grupo metilo (-CH<sub>3</sub>), que es el último carbono de la cadena (carbono "omega") se reconocen tres tipos de ácidos grasos poliinsaturados, serie omega 3, el primer doble enlace está situado en la posición 3; serie omega 6, el primer doble enlace está situado en la posición 6. En la Figura 1.4 se presenta la estructura del ácido linoleico.



*Figura 1.4.* Ácido linoleico (Bernal et al., 2017).

La oxidación de los ácidos grasos es un mecanismo clave para la obtención de energía metabólica (ATP) por parte de los organismos aeróbicos. Dado que los ácidos grasos son moléculas muy reducidas, su oxidación libera mucha energía; en los animales, su almacenamiento en forma de triglicéridos es más eficiente y cuantitativamente más importante que el almacenamiento de glúcidos en forma de glucógeno (Bernal et al., 2017).

Estos son los lípidos más importantes contenidos en el fruto de aguacate por lo que lo hacen una increíble fuente de nutrición además de lo antes mencionado debido a la forma que tiene su cadena carbonatada aportan una excelente estabilidad al ser empleados en la formulación de emulsiones (McClements, 2016).

#### **1.1.4. Subproductos del aguacate**

Entre los productos que se pueden obtener con base en la pulpa de aguacate se pueden encontrar los siguientes (Olaeta, 2003).

El aceite de aguacate es uno de los productos más conocidos que se pueden extraer de la pulpa de aguacate, entre las que sobresalen rico en ácidos grasos esenciales (Omega 3 y 9), además de poseer vitaminas A, B, C, E (encargada de retrasar el proceso de envejecimiento). Este aceite es ampliamente utilizado, ya sea directamente para sazonar platillos o bien como ingrediente para diversos productos alimenticios, así como materia prima para las industrias farmacéuticas y de cosméticos (Olaeta, 2003).

Aderezos de aguacate, son productos tipo emulsión a base de aceite de aguacate, con las propiedades del aceite antes mencionadas. Existen pocos aderezos de aguacate en el mercado nacional, un ejemplo de emulsión concentrada es la mayonesa de aguacate (Mc Cormick®).

El guacamole es una reconocida salsa que forma parte de la cocina mexicana, hecho a base de aguacates y otros ingredientes, como pueden ser cebolla, chile, cilantro, limón, también utilizado como base para otros productos alimenticios. El guacamole es conocido mundialmente, y se consume de forma habitual, en presentación de puré o en partículas gruesas (Olaeta, 2003).

Productos cosméticos como el champú, en este tipo de productos, el aceite de aguacate se utiliza como materia prima. Estos productos naturales presentan propiedades para solucionar los problemas del cabello, ya que cuenta con agentes de humectación y nutritivos. Las mascarillas de aguacate son otro tipo de productos cosméticos, que se utilizan como tratamiento de la piel, debido a las vitaminas presentes y ácidos grasos, que favorecen el proceso de rejuvenecimiento e hidratación de las células. La mayoría de los subproductos

que se elaboran son un tipo de emulsión o base para las mismas al fácil consumo y/o aplicación (Olaeta, 2003).

La base de muchos de estos productos es el puré de aguacate, ya que la pulpa de aguacate contiene vitaminas, taninos y amino ácidos libres, microestructuralmente el puré de aguacate se considera un sistema multifásico emulsión-suspensión debido a que presenta grandes gotas esféricas de aceite rodeadas de pectina propia de la pared celular considerándose una emulsión así como partículas sólidas suspendidas en el medio acuoso por la gran cantidad de agua que contiene el fruto (Ortiz-Viedma et al., 2018)

## **1.2 Suspensiones**

Una suspensión es un sistema bifásico heterogéneo formado por pequeñas partículas no solubles que se dispersan en un medio líquido denominada fase dispersante continua o externa, con un tamaño promedio de 1-50  $\mu\text{m}$ . Entre las suspensiones se pueden encontrar yogurts con frutas, bebidas como suplementos alimenticios, leches saborizadas, bebidas frutales de alta concentración o bien con trozos de fruta en ellas. También se encuentran suspensiones en el área farmacéutica y química estas siendo medicamentos bebibles e inyectados, así como aerosoles y pinturas (McClements, 2016).

### **1.2.1 características y composición de una suspensión**

Las suspensiones se definen como un sistema heterogéneo sólido-líquido constituido por dos fases, una discontinua formada de partículas sólidas insolubles finamente divididas y suspendidas en el medio continuo, una fase continua que consiste en un líquido o un semisólido, que tiene cierta viscosidad que permite la suspensión de partículas sólidas, en algunas ocasiones se cuenta con un agente tensoactivo o estabilizante que impiden que las partículas se agreguen, ya que a mayor tamaño, las partículas tienden a sedimentarse con mayor facilidad (McClements, 2016).

### **1.2.2 Inestabilidad en una suspensión**

El principal principio de inestabilidad en las suspensiones es la sedimentación de las partículas dispersas en ella debido a la alta densidad de los sólidos o partículas insolubles en el medio dispersante en comparación con el mismo, así como el tamaño de la partícula y la viscosidad del medio (McClements, 2016).

### **1.2.3 Métodos de estabilidad**

Como el área interfacial tiende a disminuir, las suspensiones son inestables, por lo tanto, son estables solamente aquellas que tienen una agregación de partículas muy lenta. El movimiento Browniano produce la colisión entre las partículas y si las fuerzas de atracción predominan, las partículas se agregan después de la colisión. En caso contrario si las fuerzas de repulsión domina las partículas quedarán separadas después de la colisión, las fuerzas de atracción corresponden a Van der Waals, en tanto que las fuerzas de repulsión provienen de la interacción entre las dobles capas eléctricas que rodean a las partículas (McClements, 2016).

Al aumentar la viscosidad del medio se disminuye el movimiento Browniano evitando así las interacciones entre partículas y las fuerzas de Van der Waals que agregan las partículas, el aumento de la viscosidad también disminuye el tiempo de sedimentación de las partículas debido a que el medio presenta una resistencia mayor al desplazamiento por gravedad (Sarmiento-Gómez et al., 2014).

## **1.3 Emulsiones**

Una emulsión es una mezcla de dos líquidos inmiscibles (usualmente aceite y agua), con uno de los líquidos dispersos como pequeñas gotas esféricas. En la mayoría de los alimentos se presentan como grasas alimenticias. Ejemplos de emulsiones incluyen aderezos vegetales como salsas, la mantequilla y la margarina, la leche y crema, la mayonesa. En el caso de la mantequilla y la margarina, la grasa rodea las gotas de agua en una emulsión de agua en aceite;

en la leche y la crema el agua rodea los glóbulos de grasa en una emulsión de aceite en agua. En la mayoría de estos productos el diámetro de las gotas suele estar entre 100 nm y 100  $\mu$ m, pero recientemente existe un interés creciente en la utilización de emulsiones de diámetros menores 100 nm debido a sus novedosas propiedades fisicoquímicas. Las emulsiones se pueden convenientemente clasificar de acuerdo con la distribución que existe entre las gotas de aceite en la fase acuosa (McClements, 2016, Paredo-Luna y Munguía, 2012).

### 1.3.1 Características y composición de una emulsión

Las emulsiones múltiples (emulsiones dobles) son caracterizadas por la coexistencia de emulsiones de aceite-en-agua (Ac/A) y de agua-en-aceite (A/Ac) en las que los glóbulos de la fase dispersa contienen dentro de ellos gotas igualmente dispersas más pequeñas. Las emulsiones consisten en partículas minúsculas de agua ( $A_1$ ) dispersas dentro de glóbulos de grasa (Ac), los cuales se encuentran a su vez dispersos en el interior de una fase continua acuosa ( $A_2$ ) se trata pues de un sistema ( $A_1/Ac/A_2$ ) constituido por tres fases (Figura 1.5), dos acuosas (una interior y otra exterior generalmente de distinta composición) y una lipídica localizada entre ellas, y separadas entre sí por dos tipos de interfaces estabilizadas mediante surfactantes hidrofílicos y lipofílicos. Este tipo de emulsiones se dan mayormente en la industria farmacéutica y alimenticia (McClements, 2016)

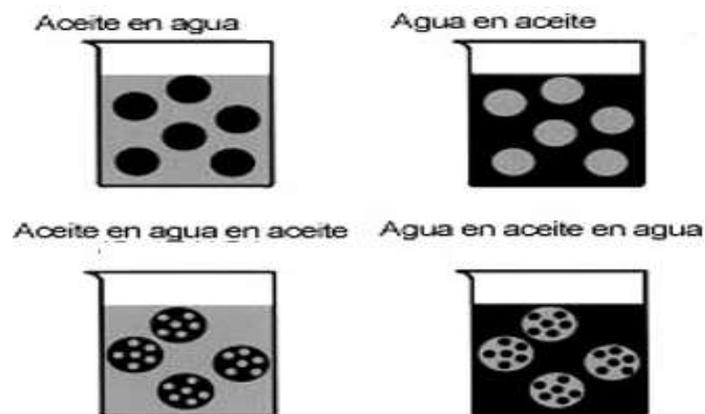


Figura 1.5 Estructura de una emulsión Paredo-Luna y Munguía, 2012).

Las emulsiones, debido a su composición, son sistemas inestables que tienden a separar ambas fases cuando se mantienen en reposo, es decir, sin agitación. Esta inestabilidad es consecuencia de fuerzas que tienden a reunir de nuevo las gotas de la fase dispersa, este proceso de reagrupación provoca que las dos fases se separen produciéndose la ruptura de la emulsión (McClements, 2016 y Paredo-Luna y Munguía, 2012).

### **1.3.2 Inestabilidad en las emulsiones**

Una emulsión puede romperse debido a cambios físicos (cambios en la locación relativa de sus componentes) o químicamente (cambio en la química de sus componentes). Hay una variedad de mecanismos fisicoquímicos que pueden ser responsables de alteraciones en las propiedades de las emulsiones, y usualmente es necesario establecer cuál de estos mecanismos es importante en particular para el sistema antes de poder ejercer estrategias que puedan mejorar la estabilidad. Un número común de mecanismos físicos que son responsables de la inestabilidad de emulsiones alimenticias se presentan sistemáticamente (Figura 1.6). El cremado y la sedimentación son formas de separación gravitacional, éstas se presentan más comúnmente en las emulsiones así mismo como la floculación que tiene su propio mecanismo de inestabilidad (McClements, 2016 y Paredo-Luna y Munguía, 2012).

#### ***Cremado y sedimentación***

El cremado describe un movimiento de las gotas de aceite hacia la parte superior debido a que presentan una menor densidad respecto al medio líquido que las rodea, mientras que el sedimentado describe un movimiento de las gotas hacia la parte inferior debido a su alta densidad en comparación al medio líquido que las rodea. Este mecanismo es reversible mediante una agitación cuidadosa (McClements, 2016 y Paredo-Luna y Munguía, 2012).

### ***Floculación y Coalescencia***

La floculación y coalescencia son tipos de agregación de gotas. La floculación ocurre cuando dos o más gotas se unen formando un agregado en el cual cada gota conserva su integridad individual, mientras que la coalescencia es el proceso por el cual dos o más gotas se combinan para formar una sola gota más grande. Gotas más extensas pueden eventualmente llevar a la formación de una capa de aceite en la parte superior de una muestra (McClements, 2016; Paredo-Luna y Munguía, 2012).

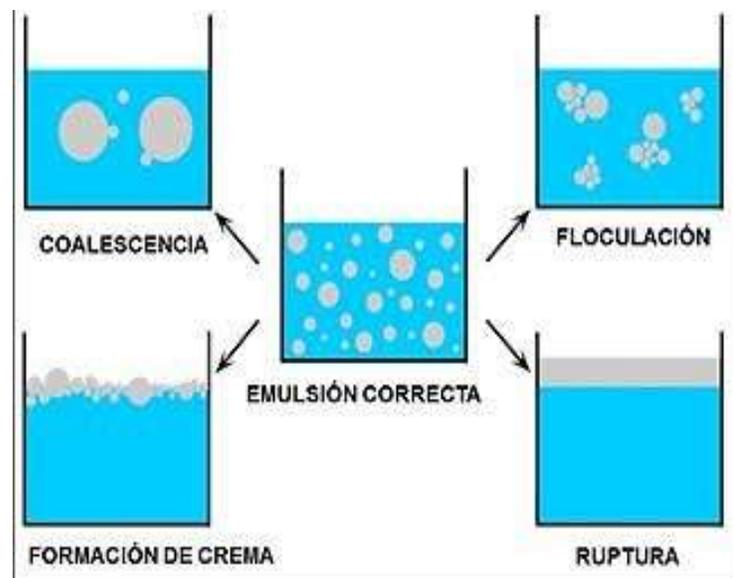


Figura 1.6 Inestabilidad en una emulsión (Paredo-Luna y Munguía, 2012).

### **1.3.3 Métodos de estabilidad**

La estabilidad en una emulsión hace referencia a la resistencia que esta presenta ante los cambios de sus propiedades a través del tiempo; entre más estable sea más tiempo le tomará cambiar.

El tiempo que la emulsión se mantenga estable depende de la naturaleza del producto alimenticio. En la práctica, es muy difícil predecir cuantitativamente la

estabilidad de emulsiones alimenticias desde los primeros principios por su complejidad compositiva y estructural. Sin embargo, una apreciación del origen y la naturaleza de los diversos mecanismos de desestabilización es una herramienta invaluable para controlar y mejorar la estabilidad de la emulsión (McClements, 2016).

El desarrollo de una estrategia efectiva para prevenir cambios indeseables en las propiedades de una emulsión alimentaria particular depende de los mecanismos fisicoquímicos dominantes responsables de los cambios. En la práctica, dos o más de estos mecanismos pueden operar simultáneamente, por ejemplo, las gotas de aceite en una emulsión de aceite en agua pueden flocular primero, lo que luego acelera la velocidad de separación de fases debido al cremado por lo tanto, es importante que los científicos de alimentos identifiquen la importancia de cada mecanismo, la relación entre ellos y los factores que los influyen, para que los medios efectivos de control de la estabilidad y las propiedades fisicoquímicas de las emulsiones puedan estar establecidos (McClements, 2016).

### ***Estabilidad electroestática***

Para que ocurra la coalescencia de las gotas en una emulsión éstas deben de estar en contacto con otras, este fenómeno se conoce como floculación y para evitarlo, las gotas pueden mantenerse separadas por la repulsión entre superficies cargadas. Biopolímeros con actividad superficial como las proteínas, polisacáridos y sus complejos pueden proveer estabilidad electroestática, sus interacciones electroestáticas dependen de su concentración, pH y la fuerza iónica de la solución (McClements, 2016).

### ***Estabilidad estérica***

La estabilidad estérica o el impedimento estérico, es un factor dominante cuando se trata con polímeros anfífilos que usan como surfactantes macromoléculas, que se adsorben en la interfase. Estos polímeros pueden mejorar la estabilidad

de las emulsiones múltiples y retardar el transporte a través de la interfase ya que forman películas gruesas, se distinguen diferentes mecanismos principales, la estabilidad por agotamiento por macromoléculas no adsorbentes que previenen la colisión entre gotas, la repulsión electrostática entre dos gotas que llevan la misma carga y la estabilización como resultado de las interacciones hidrófobas entre los polímeros adsorbidos (McClements, 2016).

### ***Estabilización de la interfase interna***

Las estrategias más usadas para la estabilización de la interfase interna es la reducción del tamaño de gota, la formación de micro emulsiones y el incremento de la viscosidad de la fase acuosa principalmente. Estas se pueden lograr haciendo uso de tecnologías emergentes como es el uso de ultrasonido para la reducción de tamaño de las gotas (McClements, 2016).

## **1.4 Métodos de extracción de aceite**

### **1.4.1. Extracción con disolventes**

Los métodos de obtención de los aceites determinan su utilización. El tipo de disolvente puede contaminarlos o limitar su uso, dependiendo de la toxicidad del disolvente y las técnicas utilizadas para su eliminación, de ahí la importancia de investigar métodos nuevos y/o alternativos para la obtención de extractos y aceites.

Las propiedades funcionales de los extractos varían con la proporción de los compuestos presentes. Para especias diferentes se obtienen respuestas diferentes en su actividad anti-microbiana de acuerdo con las condiciones que se procesan (Thongson et al., 2004).

Diversas investigaciones demuestran que la composición de los aceites y extractos pueden variar de acuerdo con el método de extracción utilizado. Aunque

estas variaciones pueden no ser importantes, son detectables por técnicas sensibles como la cromatografía de gases. Las variaciones radican en diferencias en la proporción de los compuestos e incluso en diferencias en el número de compuestos presentes (Sefidkon et al., 2006; Guan et al., 2007; Da Porto et al 2009).

Es importante identificar los efectos de diversos métodos de extracción sobre las propiedades y composición de los aceites esenciales y otros extractos obtenidos.

#### **1.4.1 Extracción con disolventes volátiles**

En el método de extracción con disolventes volátiles, la muestra seca y molida se coloca en contacto con los disolventes orgánicos tales como etanol o cloroformo, entre otros (Figura 1.7). Estos disolventes solubilizan el aceite, pero también solubilizan y extraen otras sustancias tales como grasas, obteniéndose al final una oleorresina o un extracto impuro. Se utilizan a escala de laboratorio porque a nivel industrial resultan costosos por el valor comercial de disolventes, ya que se obtienen esencias contaminadas con otras sustancias, y además por el riesgo de explosión e incendio.

Algunos disolventes utilizados en este método tienen restricciones en cuanto a residuos máximos que pueden dejarse cuando los aceites son la materia prima en la industria de los perfumes o alimentos. Estos límites varían de acuerdo en las diferentes legislaciones. Los disolventes derivados del petróleo. Como éter di etílico, ciclo hexano, hexano, acetato de metilo, propanol, etc., son tóxicos al inhalarlos y al contacto con la piel. Los extractos obtenidos con este tipo de disolventes suelen ser más oscuros, ya que llegan a arrastrar algunos pigmentos. El disolvente con aceite esencial se filtra y se evapora a presión atmosférica y/o vacío. Los restos de disolvente deben separarse a temperatura baja (Ortuño, 2006).

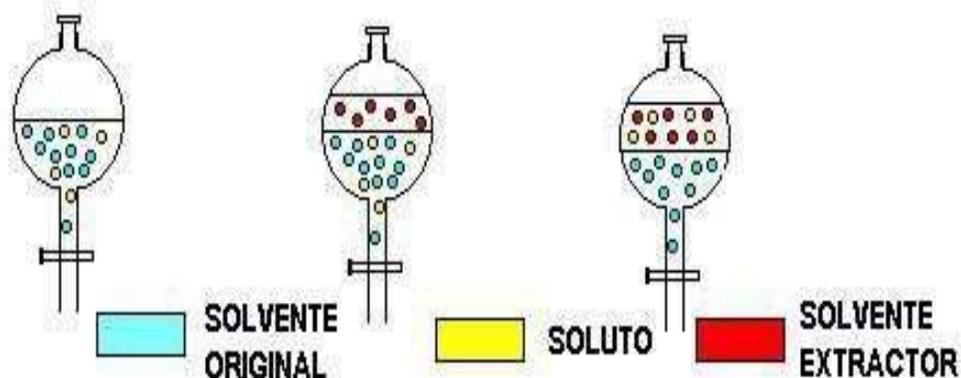


Figura 1.7 Extracción por solventes (Ortuño, 2006):

#### 1.4.2 Extracción asistida por ultrasonido

El ultrasonido se encuentra en la región de frecuencia entre 18 kHz y 100 MHz; puede dividirse en ultrasonido de alta intensidad con frecuencias bajas entre 200 y 100 kHz y ultrasonido de diagnóstico entre 1 y 10 MHz. El ultrasonido de alta intensidad tiene la capacidad de inducir cavitación. También se ha considerado un fuerte potencial para incrementar la reactividad química. Puede usarse en diversos procesos químicos e industriales (Ghoula, 2013).

El ultrasonido se aplica como una alternativa para asistir en procesos de extracción de aceites esenciales. La proporción en la composición de los extractos y el rendimiento de estos depende de la temperatura a la que se lleve a cabo el proceso y del disolvente, o mezcla de disolventes que se utilicen. En general, la aplicación de ultrasonido de baja frecuencia o alta intensidad incrementa la eficiencia de la extracción y reduce el tiempo de esta (Thongson, et al., 2004; Proestos y Komaitis, 2006).

También disminuye el riesgo de degradación, cuando la extracción se realiza a temperaturas bajas (25°C) (Kimbaris et al., 2006). La desventaja de la implementación de ultrasonido es que involucra en ocasiones el uso de disolventes orgánicos en algunos casos. En la Figura 1.8 se presenta un equipo de ultrasonido a nivel laboratorio.



Figura 1.8. Extracción por ultrasonido (Proestos y Komaitis, 2006).

La cavitación ultrasónica es un fenómeno físico casi igual que el que ocurre durante la ebullición. La mayor diferencia entre ambos se debe a presión y temperatura dentro del diagrama de fases. La ebullición eleva la presión de vapor del líquido por encima de la presión ambiente local para producir el cambio a fase gaseosa, mientras que la cavitación es causada por una caída de la presión local por debajo de la presión de vapor que causa una succión. Para que la cavitación se produzca necesitan una superficie donde nuclearse. Esta superficie puede ser la pared de un contenedor o depósito, impurezas del líquido o cualquier otra irregularidad, pero normalmente ha de tenerse en cuenta la temperatura del fluido que, en gran medida va a ser la posible causa de la cavitación que depende de los siguientes parámetros (Proestos y Komaitis, 2006).

### ***Frecuencia***

Con frecuencias de sonicación altas en el orden de los MHz, la producción de burbujas de cavitación se torna más difícil que con frecuencias bajas, en el orden de kHz. Para lograr la cavitación, cuando la frecuencia aumenta, también debe

aumentar la intensidad del sonido aplicado, para asegurarse que las fuerzas de cohesión del medio líquido se han vencido y se ha creado vacío.

### ***Intensidad***

La intensidad de sonicación es proporcional a la amplitud de vibración de la fuente de ultrasonido, por lo que un aumento en la amplitud de vibración producirá un incremento en la intensidad de vibración y por lo tanto se producirá un aumento en el efecto sonoquímico.

### ***Temperatura***

Las difusiones más rápidas se producirán a altas temperaturas, pero la cavitación se obtiene mejor a bajas temperaturas cuando el poder de generación del ultrasonido es constante. Cuando la temperatura del solvente aumenta éste pasa a formar parte de la presión de vapor, por lo que mayor cantidad de solvente en forma de vapor se encontrará en las burbujas de cavitación, lo que produce choques menos violentos y por lo tanto los efectos de la sonicación serán menores a los esperados.

### ***Aplicación ultrasónica directa e indirecta***

La ultrasonificación puede realizarse de dos maneras: directamente en la muestra o indirectamente a través de las paredes de un contenedor, la primera de ellas tiene como desventajas que la muestra puede ser contaminada por metales desprendidos de las paredes del contenedor del ultrasonido, aunque los más modernos, fabricados de vidrio, reducen este riesgo. Otra desventaja de este sistema es que, la ultrasonificación se realiza en contenedores abiertos, por lo que puede haber pérdida de los componentes más volátiles. Por otro lado, la ultrasonificación indirecta presenta la desventaja que el ultrasonido necesita pasar primero por el líquido dentro del equipo de ultrasonido y luego a través de las paredes del contenedor de la muestra, por lo que la intensidad que llega a la

muestra es menor a la esperada esto solamente aplica para baños ultrasónicos (Proestos y Komaitis, 2006).

## CAPÍTULO II. METODOLOGÍA

### 2.1 Objetivos

#### Objetivo General

Desarrollar un aderezo a partir de la pulpa de aguacate y establecer un método de extracción asistida por ultrasonido para mejorar el rendimiento del aceite obtenido a partir de la semilla de aguacate, como alternativas del aprovechamiento integral del aguacate.

#### Objetivos particulares

1. Determinar el efecto de adición de xantana, ácidos orgánicos y diferentes proporciones de pulpa de aguacate en el aderezo, mediante las propiedades viscoelásticas y la estabilidad, bajo pruebas de cizalla oscilatoria y cinética de retrodispersión de luz, respectivamente, seleccionando un aderezo estable que sirva de base como alternativa de aderezo de aguacate.
2. Cuantificar el rendimiento de la extracción de aceites de la semilla de aguacate utilizando un método convencional y con aplicación de ultrasonido, comparando ambos métodos.

### 2.2 Materiales

Se utilizó un lote de aguacate de la variedad Hass comprado en el mercado y seleccionado completamente al azar para su posterior selección. Para la emulsión se emplearon aditivos grado alimentario: ácido cítrico, ácido sórbico como conservador (Safe Iberoamericana S.A. de C.V., México), goma xantana (Keltrol, Kelco®, Estados Unidos), sal (La Fina®, México), vinagre (La Costeña®, México),

agua purificada (E Pura®, Pepsico México, México) y para la extracción de aceite, hexano (Macron Fine Chemicals®, EEUU).

### **2.3 Pruebas preliminares**

Se determinó la humedad, el color considerando una escala  $L^* a^* b^*$ , la firmeza través de pruebas de punción y el rendimiento de pulpa de aguacate mediante termobalanza, colorímetro, texturómetro y peso de cada parte respectivamente, definiendo el grado de madurez de la materia prima empleada de acuerdo con las escalas de madurez basadas en cambio de color del pericarpio considerando 75 % virado a negro. Se separó la semilla del aguacate, para proceder a la extracción de aceite.

### **2.4 Preparación de la muestra**

La emulsión se preparó tomando como base la formulación reportada por Mesa et al. (2017), básicamente constituida por pulpa de aguacate, ácido cítrico, ácido sórbico, xantana, sal, vinagre y agua. La pulpa de aguacate se homogenizó con un homogenizador de alta velocidad (Taurus, EEUU) a velocidad máxima durante 2 min, obteniéndose un puré. El polvo de xantana se dispersó previamente en agua empleando un agitador de propela (Pro-lab, OS40-pro, EEUU) a 25°C para mezclarse con los demás ingredientes. Se incorporan al puré ácido cítrico, ácido sórbico, disolución de xantana, sal, vinagre y agua cuidadosamente con un mezclador de propela (Pro-lab, OS40-pro, EEUU), a una  $v$  de 600 rpm durante 5 min. Se aplicó un tratamiento térmico por microondas (Daewoo, 1.1, Corea) durante 90 s, en intervalos de 15 s. La muestra se mezcló manualmente (aproximadamente 5 s) entre cada aplicación. La mezcla se homogenizó en un homogeneizador (Silverson, L4R, Reino Unido) por 5 min a 10000 rpm a temperatura ambiente y se envasó en recipientes de vidrio, manteniéndose en refrigeración. En la Figura 2.1 se muestra el diagrama de bloques del proceso de elaboración de un aderezo de aguacate.

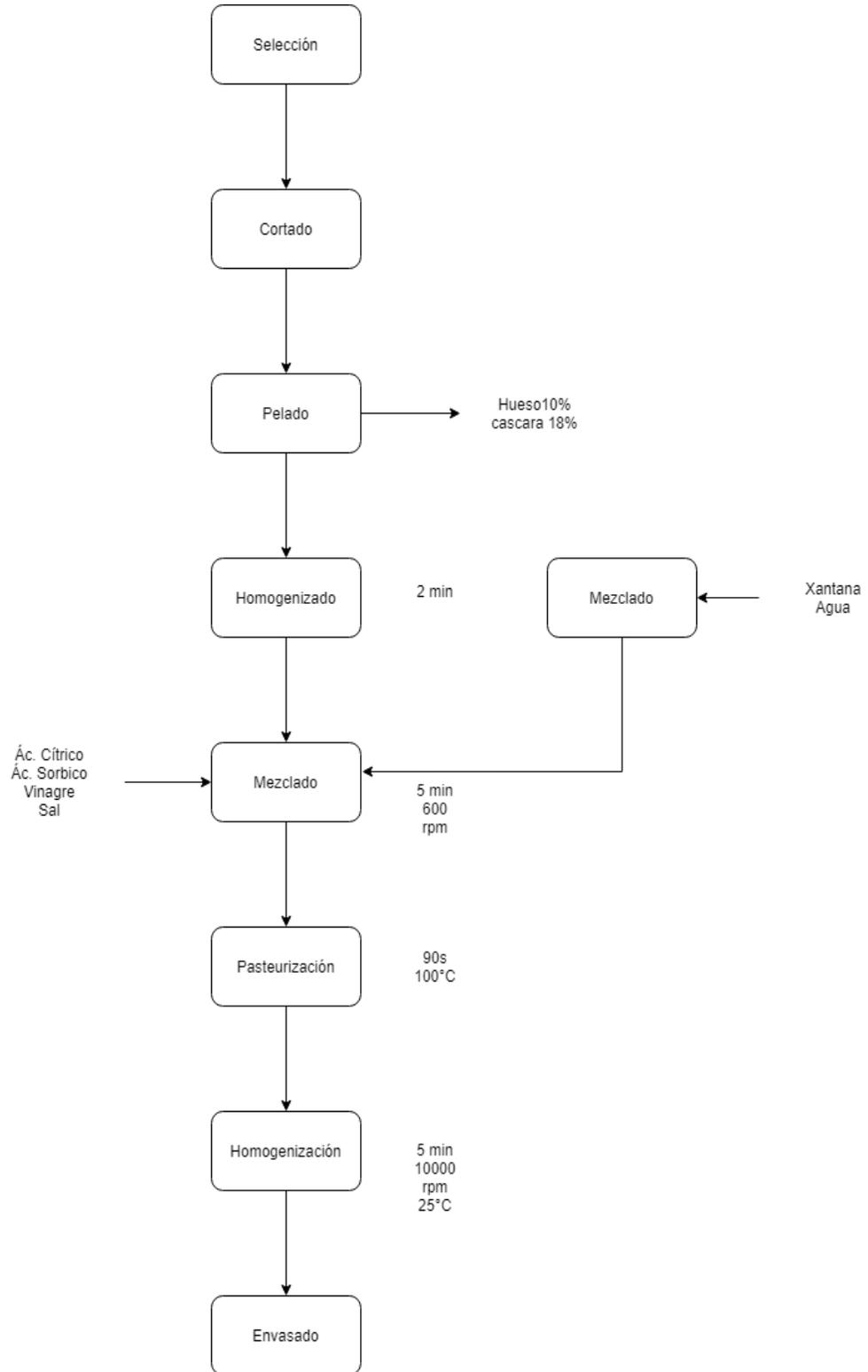


Figura 2.1 Diagrama de flujo en bloques de aderezo de aguacate.

## 2.5 Diseño experimental

Se elaboraron diferentes emulsiones para evaluar el efecto de los ingredientes de la formulación en las propiedades reológicas, tamaño de partícula, color y estabilidad de las mismas. Se manejaron en 2 niveles, la proporción de pulpa, la concentración de xantana, y la adición de 3 ácidos orgánicos o solamente vinagre En diferente concentración para desarrollar pH ácido. Las formulaciones estudiadas se presentan en el Cuadro 2.1.

Cuadro 2.1 Formulaciones para el diseño experimental

Formulación	Ingredientes (%)						
	Pulpa	Xantana	Vinagre	Ác. Cítrico	Ác. Sórbico	Sal	Agua
P18.5X0.1M1.5	18.5	0.1	0.5	0.5	0.5	0.5	79.4
P18.5X0.1V5	18.5	0.1	5	0	0	0.5	75.9
P18.5X0.3M1.5	18.5	0.3	0.5	0.5	0.5	0.5	79.2
P18.5X,0.3V5	18.5	0.3	5	0	0	0.5	75.7
P37X0.1M1.5	37	0.1	0.5	0.5	0.5	0.5	60.9
P37X0.1V5	37	0.1	5	0	0	0.5	57.4
P37X0.3M1.5	37	0.3	0.5	0.5	0.5	0.5	60.7
P37X0.3V5	37	0.3	5	0	0	0.5	57.2

## 2.6 Métodos para la materia prima

### 2.6.1 Humedad

La humedad fue tomada como la pérdida de peso después del secado con una lámpara infrarroja, usando una balanza de torsión sensible para pesar la muestra. La determinación de la humedad de la muestra de semilla de aguacate recién molida y el puré de pulpa de aguacate se realizó mediante el uso de una termobalanza OHAUS, USA modelo MB45 hasta que la humedad se mantuvo constante por 60 s a una temperatura de 100°C y un tamaño de muestra de 1 g, empleando el método establecido por norma, hasta que no exista una variación mayor del 0.5% entre las repeticiones (NMX-FF-016-SCFI-2016).

## 2.6.2 Color

El tono, luminosidad y saturación, estos tres elementos son los tres atributos del color y pueden combinarse para crear el sólido tridimensional que se muestra en la Figura 2.2. Los tonos conforman el borde exterior del sólido, con la luminosidad como el eje central y la saturación como los radios horizontales (Gómez-Polo et al., 2015). El espacio de color  $L^* a^* b^*$  (también llamado CIELAB) es actualmente uno de los espacios más populares para medir el color de los objetos y se utiliza ampliamente en casi todos los campos.

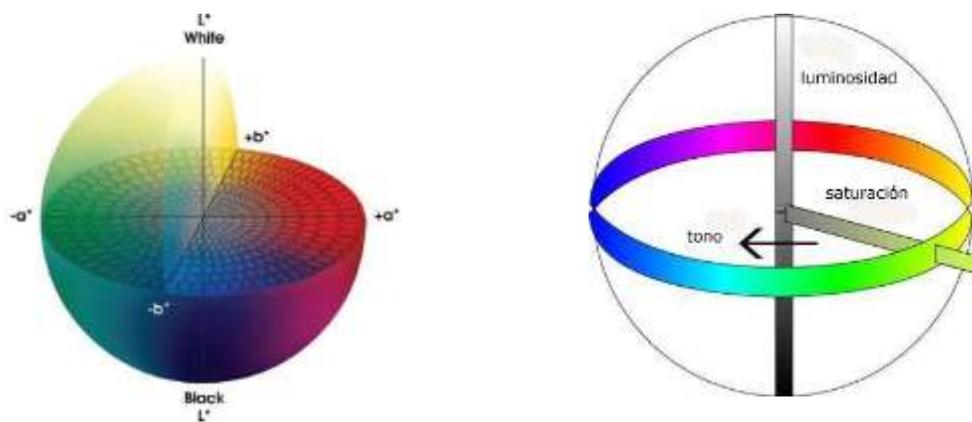


Figura 2.2 Configuración del espacio cromático (a) y espacio CIELAB (b) (Gómez-Polo et al., 2015).

Se utilizó un colorímetro Konica Minolta modelo CR-400 de donde el espectro reflejado proporciona las coordenadas para el CIE  $L^* a^* b^*$  donde  $L^*$  es el indicador de luminosidad,  $a^*$  cromaticidad de verde (-) a rojo (+) y  $b^*$  cromaticidad de azul (-) a amarillo (+).

Utilizando un iluminante estándar de D65 y una inclinación de  $90^\circ$  el operador obtiene los valores de  $L^*$ ,  $a^*$  y  $b^*$  del pericarpio de aguacate, se realizó una comparación. También se determinó el color de las emulsiones de aguacate y con la finalidad de cuantificar la desviación que existe entre ellas, se calculó el  $\Delta E$

(ecuación 1), que es la diferencia de tonalidades, calculada como la distancia entre dos puntos en un espacio tridimensional (Figura 2.2).

$$\Delta E^* = (L^*_{2} - L^*_{1})^2 + (a^*_{2} - a^*_{1})^2 + (b^*_{2} - b^*_{1})^2 \quad (1)$$

### 2.6.3 Firmeza

Este método se basa en la medición de la fuerza necesaria para vencer la resistencia que presenta la pulpa a la introducción de un émbolo de metal. La prueba se realizó en un Texturómetro Ta-XT2i (Fig. 2.2) con un cilindro de acero inoxidable de 3 mm para la punción en la pulpa, y una aguja para la punción en el pericarpio, ambos con una velocidad de retirada, acercamiento y prueba de 2 mm/s, una distancia de penetración de 10 mm, una celda de carga de 5 kg y una fuerza de contacto de 0.4 N (Pirovani et al., 1994). Las punciones fueron situadas equidistantemente una de la otra para las diferentes muestras y ubicadas según el mapa que se presenta en la Figura 2.3.

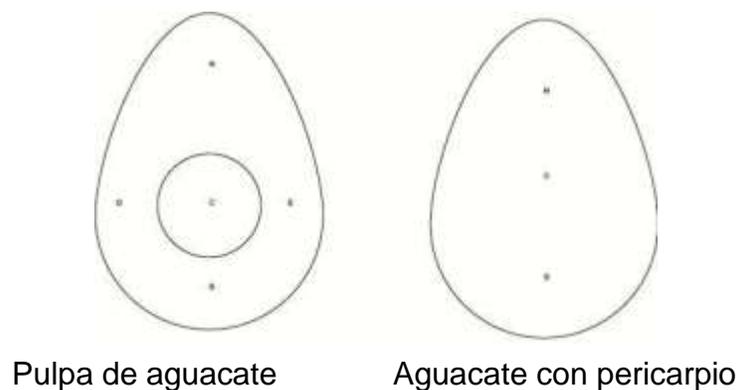


Figura 2.3. Mapa para la prueba de punción aplicada.

## 2.6.4 Determinación de aceite

La prueba se realizó en el equipo Soxhlet, se colocó una porción de 10 g de pulpa de aguacate con hexano 25 ml durante 30 min a una temperatura ambiente para favorecer la entrada de hexano a la muestra, la extracción se realizó a la temperatura de ebullición del hexano durante 5 h o hasta que no se observe aceite en el hexano, esto se evidencia dejando caer unas gotas en un papel filtro en el reflujo de equipo Soxhlet y si no existe una coloración significa que el tiempo de extracción terminó (Callejas, 2002). Los sólidos mojados resultantes de la extracción son secados y pesados al término de ésta. Una vez terminada la extracción se procede una destilación del extracto para reducir la cantidad de hexano contenido en la misma y se recupera el hexano, a la temperatura de ebullición del hexano 69°C a 1 atm y durante 60 min. Los residuos sólidos secos (estufa de temperatura constante a 100 °C, 30 min), así como el aceite, son pesados en balanza analítica. El aceite extraído por este método se calcula con la masa de aceite recuperada (ecuación 2).

$$\text{Aceite (\%)} = \frac{\text{peso obtenido de aceite}}{\text{peso de los sólidos secos}} \times 100 \quad (2)$$

## 2.7 Métodos para la emulsión

### 2.7.1 Potencial de hidrógeno

La sonda de pH mide la actividad de los iones de hidrógeno mediante la generación de una pequeña cantidad de tensión en el sensor y el tubo de referencia. El medidor de voltaje convierte a un valor de pH y la muestra en la pantalla digital. El medidor se calibra a pH 4.0 y pH 7.0. La prueba se realizó utilizando el potenciómetro de la marca Oakton modelo pH700 siguiendo la norma (NMX-F-317-NORMEX-2013)

### 2.7.2 Tamaño de partícula

La medición del tamaño de partícula en el aderezo se realizó en un analizador de partículas de la marca Cilas modelo 930, con un 8% de obscuración con y sin la aplicación de ultrasonido a 55 kHz durante la medición. El instrumento se basa en

la difracción láser que mide las distribuciones de tamaño de partícula a partir de la variación angular de la intensidad de la luz dispersada cuando un rayo láser pasa a través de una muestra de partículas dispersas. Las partículas grandes dispersan la luz en ángulos pequeños en relación con el rayo láser, y las partículas pequeñas dispersan la luz en ángulos grandes. Luego se analizan los datos de la intensidad de dispersión angular para calcular el tamaño de las partículas responsables de crear el patrón de dispersión, el equipo utiliza la teoría Mie de la dispersión de luz. El tamaño de partícula se registra como un diámetro de esfera equivalente al volumen.

### **2.7.3 Propiedades Viscoelásticas**

La emulsión, se sometió a una prueba dinámica de cizalla oscilatoria en un intervalo barrido de deformación del 0.01% a 0.1%, a una frecuencia constante de 10 rad/s. Posteriormente se realizó una barrido de frecuencia angular de 0.1 a 100 rad/s y con deformación constante del 0.05%, garantizando que la prueba se encontraba en condiciones de viscoelasticidad lineal, utilizando geometría de placa corrugada en un reómetro MCR 301 (Anton Paar, Austria). La separación entre placas fue de 1 mm. Debido a las características del material, se obtienen también los módulos de pérdida y almacenamiento en función de deformación y frecuencia angular, de estos se obtuvo la viscosidad compleja.

### **2.7.4 Estabilidad de la emulsión**

La estabilidad del aderezo se midió en un turbidímetro marca Turbiscan modelo Classic MA2000 (Formulaction, Francia), la medición se realizó a la emulsión recién elaborada en función del tiempo a temperatura de 25°C en una muestra fresca recién elaborada y posterior hasta 7 días de almacenamiento tomando dos lecturas por día. El funcionamiento del turbidímetro consiste en hacer haz de luz a través de la solución que se va a analizar, una parte de la energía incidente logra atravesar la muestra (transmisión) y es detectada mediante un diodo, se dice que es la energía transmitida. Por el contrario, la energía que no logra atravesar la muestra se le llama energía de retrodispersión.

## **2.8. Métodos para la extracción de aceite en la semilla de aguacate**

### **2.8.1 Preparación de la muestra para la extracción de aceite**

La semilla del aguacate fue retirada con cuidado para evitar que contenga restos de pulpa, se limpió con papel la pulpa adherida; posteriormente se procedió a la reducción de tamaño, mediante un rallador metálico hasta que se obtuvo un polvo fino. Posteriormente la muestra molida se secó en un horno convectivo a una temperatura de 100 °C durante 24 h o hasta alcanzar el 20% de humedad para su conservación antes de la experimentación y se le determinó el contenido de aceite. Para la aplicación del ultrasonido, se preparó una mezcla de 80% de agua y 20% de muestra seca para que pudiera dispersarse mejor el sonido.

### **2.9 Extracción asistida por ultrasonido**

La muestra hidratada se sometió al tratamiento de ultrasonido, empleando un sonotrodo UP400St de inmersión marca Hielscher (Alemania), con una frecuencia de 24 kHz durante 10 min, tiempo mínimo de aplicación empleado en otros experimentos (Jalili et al., 2017).

Al término de este tratamiento la muestra se secó en una estufa a temperatura constante de 100 °C, durante 30 min. La muestra seca se pesó y se colocó en el equipo Soxhlet para su determinación de aceite. El rendimiento de aceite por este método se calculó con la ecuación 2, y se comparó con la muestra a la que no se aplicó ultrasonido.

## CAPÍTULO III. RESULTADOS Y ANÁLISIS

### 3.1 Caracterización de materia prima

La selección dentro del lote se realizó con base en la coloración del pericarpio elaborando una escala desde el más verde el cual se denominó madurez 1 (menor madurez) hasta negro, denominado madurez 5 considerado el de mayor madurez, como se muestra en el Figura 3.1 (Márquez et al., 2014).

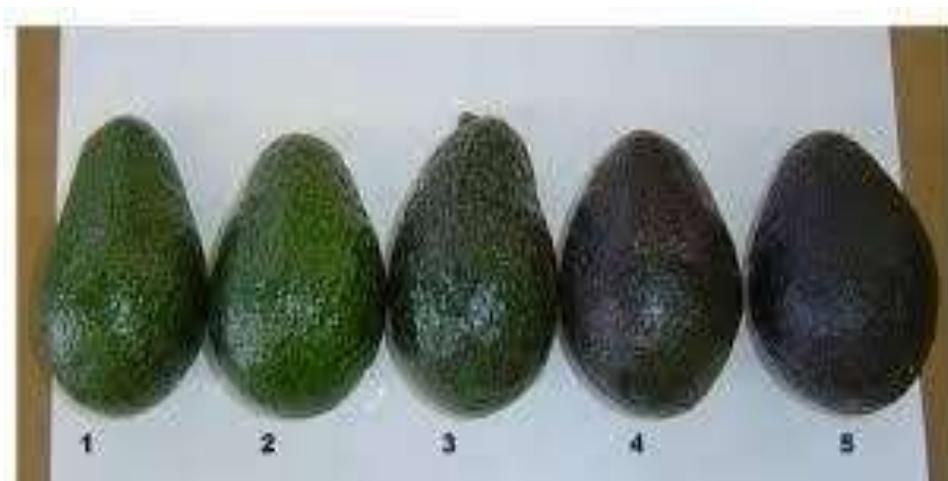


Figura 3.1. Aguacates con diferentes grados de madurez, 1 representa la menor (verde) y 5 la mayor (negro).

Posteriormente a la clasificación, para identificación de los aguacates dentro del lote se procedió a la sección de los grados de madures más representativos del mismo siendo estos 1, 3 y 5 para las futuras pruebas.

### 3.1.1 Color del aguacate

Se evaluó el color del aguacate del pericarpio como un parámetro de control para que fuera más fácil seleccionar la madurez del producto, dando como resultado las siguientes coordenadas (Cuadro 3.1) para el espacio cromático L\*, a\*, b\*.

Cuadro 3.1 Parámetros L\*, a\*, b\* en aguacate con pericarpio de madurez 1,3,5

	L*	a*	b*
Madurez 1	25.56±0.032 <sup>A</sup>	-35.22±1.052 <sup>C</sup>	43.5±0.057 <sup>A</sup>
Madurez 3	1.82±0.023 <sup>B</sup>	-28.81±0.038 <sup>B</sup>	23.51±0.055 <sup>B</sup>
Madurez 5	1.44±0.01 <sup>C</sup>	-22.80±0.023 <sup>A</sup>	3.47±0.02 <sup>C</sup>

Valores promedio ± desviación estándar. Mismos superíndices indican que no hay diferencias significativas (p<0.05).

La luminosidad registrada fue muy diferente entre el grado de madurez 1 con respecto a los grados 3 y 5 debido al oscurecimiento que se presenta a lo largo de la madurez. El parámetro a\* que representa el tono verde es también diferente entre los tres grados, ya que se va perdiendo a través de la madurez por la degradación de la clorofila (Márquez et al., 2014). El parámetro b\* que representa el cambio de tono amarillo a azul es diferente entre los tres igualmente debido a la degradación de la clorofila y oxidación. Se confirmaron diferencias significativas entre los tres grados de madurez al aplicar el análisis de varianza (p<0.05) debido a que se tienen una transición de tonalidad verde a una negra por el proceso de maduración en el pericarpio.

### 3.1.2 Rendimiento de la pulpa de aguacate

Después de la selección dentro del lote, se procedió a pesar el aguacate entero y posteriormente las partes que lo conforman, pericarpio, pulpa y semilla, los resultados se presentan en el Cuadro 3.2 incluyendo el respectivo rendimiento. Se puede observar que independientemente de la madurez, el rendimiento de la pulpa es casi constante (59-60%), mientras que el pericarpio oscila entre el 15 y 18% y la semilla entre el 22 y 25% sin una tendencia debido a que la materia prima era de mayor tamaño durante la compra. Por lo anterior, se confirma que existe un 40% de residuos del aguacate.

En la norma NMX-FF016-SCFI-2016 se reportan rendimientos de la pulpa del 34% en aguacate verde y 40% en aguacate negro maduro con variaciones, esto debido al desarrollo de microestructuras presentes del pericarpio y semilla del aguacate como lo reporta Ceballos et al. (2013).

Cuadro 3.2 Peso del aguacate y cada una de sus partes en los tres grados de madurez

		Peso promedio (g)	Proporción (%)
Madurez 1	Cáscara	34.92 ±0.45	18
	Semilla	42.68 ±0.3	22
	Pulpa	116.4 ±0.3	60
	Peso total	194 ±0.5	100
Madurez 3	Cáscara	31.5 ±0.4	15
	Semilla	52.5 ±0.7	25
	Pulpa	126 ± 0.4	60
	Peso total	210 ± 0.6	100
Madurez 5	Cáscara	43.02 ±0.5	18
	Semilla	54.97 ±0.6	23
	Pulpa	143.4 ±0.4	59
	Peso total	239 ±0.6	100

Valores promedio ± desviación estándar.

### 3.1.3 Humedad

La determinación de la humedad en la pulpa de aguacate homogeneizado se tomó como otro parámetro para relacionar la madurez, debido a que influye en la estructura y en la dureza de la pulpa en el producto, los resultados se presentan en el Cuadro 3.3.

Cuadro 3.3 Humedad de la pulpa de aguacate con diferentes grados de madurez.

Humedad (%)	Grado de Madurez 1	Grado de Madurez 3	Grado de Madurez 5
Promedio	63.44±0.1 <sup>C</sup>	64.86±0.09 <sup>B</sup>	65.93±0.08 <sup>A</sup>

Valores promedio  $\pm$  desviación estándar. Mismos superíndices indican que no hay diferencias significativas ( $p < 0.05$ ).

Con los resultados obtenidos se puede ver la influencia de la humedad presente en los aguacates analizados, ya que aumenta ligeramente con el grado de madurez. Al realizar el análisis de varianza se obtuvieron diferencias significativas entre la media de las muestras

También, se determinó la humedad de la semilla del aguacate molida para establecer el tiempo de secado con el fin de reducir hasta un 5% para facilitar la extracción de aceite (Cuadro 3.4).

Cuadro 3.4. Humedad en la semilla de aguacate molida

	Humedad (%)
Promedio	49.39±0.268

### 3.1.4 Textura del aguacate

La prueba se realizó con un punzón de 3mm debido a las características de la pulpa, con y sin pericarpio, para cada dispositivo los puntos de medición fueron diferentes. En la pulpa se midió en los cuadrantes: norte, sur, este, oeste y centro en una mitad del aguacate debido a que se consideró que la pulpa es más suave, mientras que, en la mitad del aguacate con pericarpio, solamente se determinó la textura en tres puntos (norte, centro y sur) con el dispositivo de aguja para facilitar la penetración.

En las Figuras 3.2, 3.3 y 3.4 se presentan los gráficos de fuerza en función del tiempo obtenidos de la pulpa de aguacate sin pericarpio a las distintas posiciones de medida.

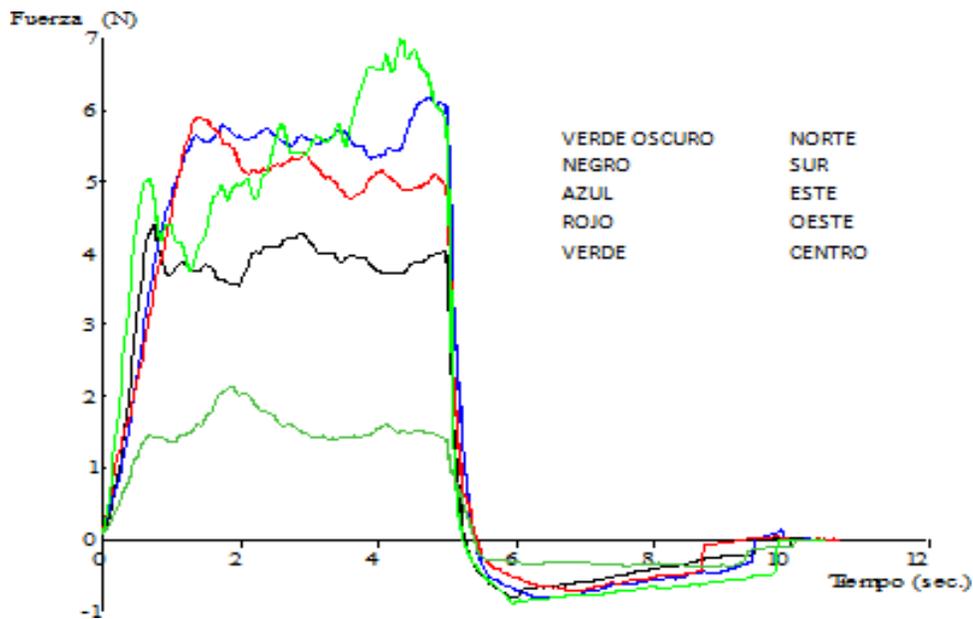


Figura 3.2. Puntos de punción en pulpa de madurez 1.

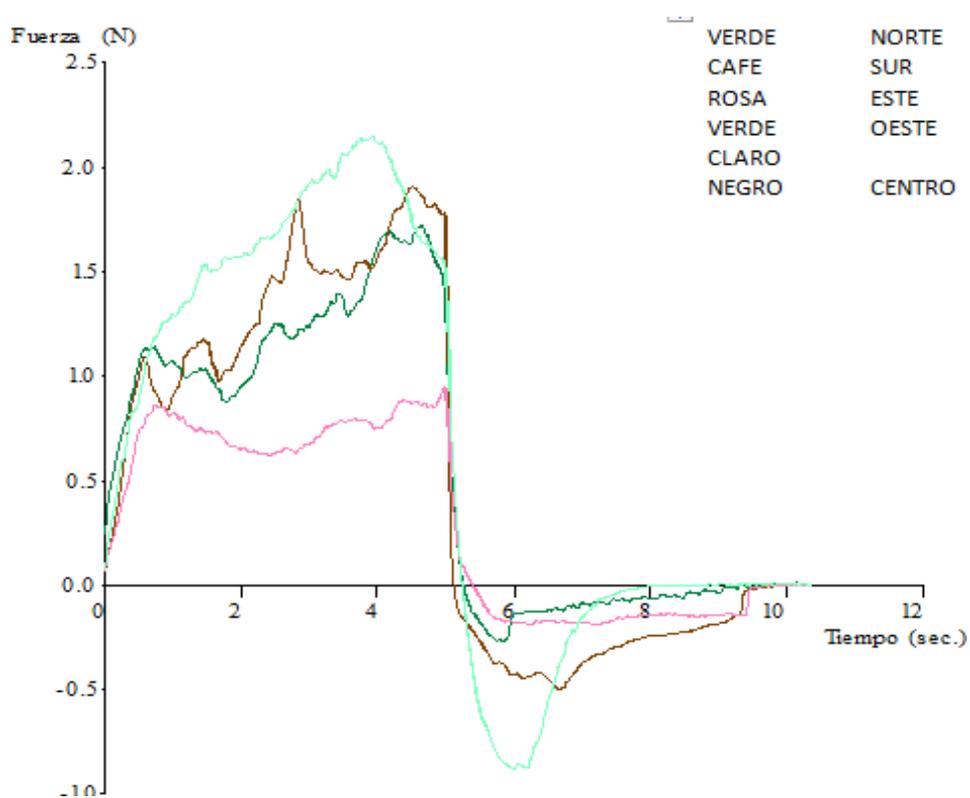


Figura 3.3. Puntos de punción en pulpa de madurez 3.

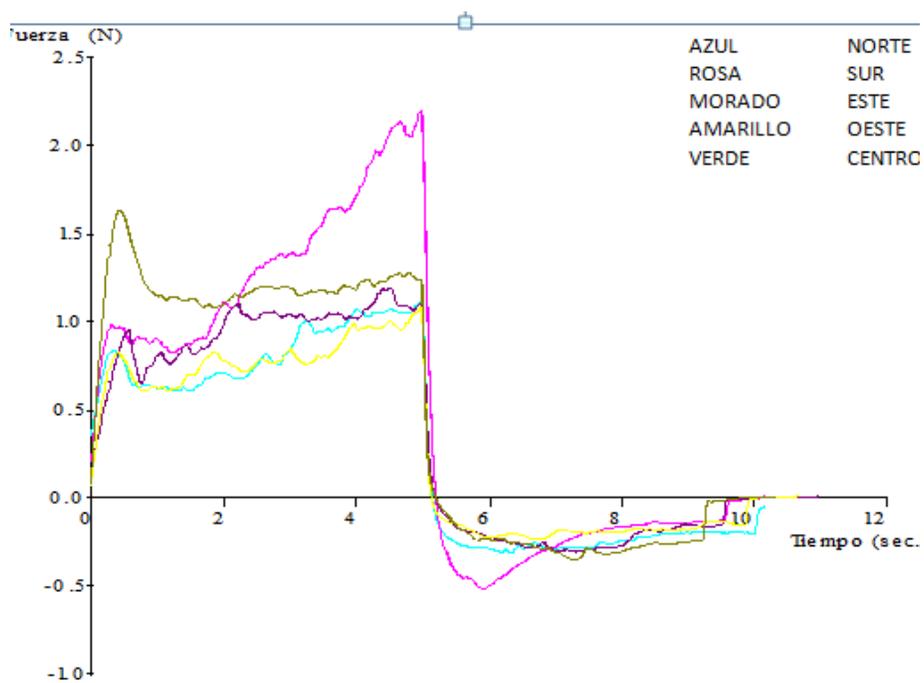


Figura 3.4. Puntos de punción en pulpa de madurez 5.

En la prueba de textura por penetración y retirada se observa que la fuerza requerida es diferente en cada punto de la pulpa sin pericarpio, así como es diferente para cada aguacate con pericarpio. También se determinó la textura del aguacate con pericarpio, en las Figuras 3.5, 3.6 y 3.7 se presentan los gráficos de fuerza en función de tiempo. Al igual que en la prueba de punción del aguacate sin pericarpio, se observó que la parte más dura varía dependiendo de la madurez del aguacate.

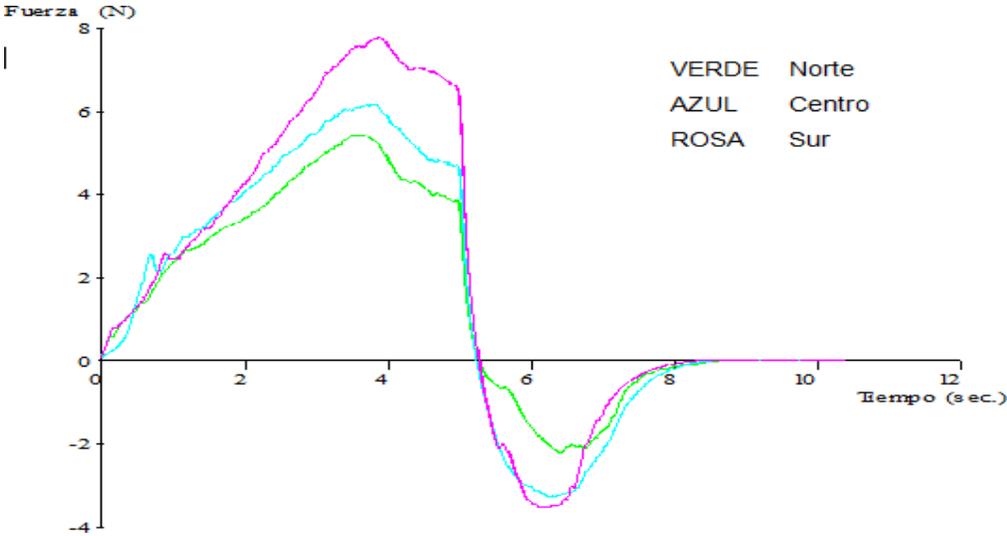


Figura 3.5 Fuerza registrada en la pulpa con pericarpio de madurez 1.

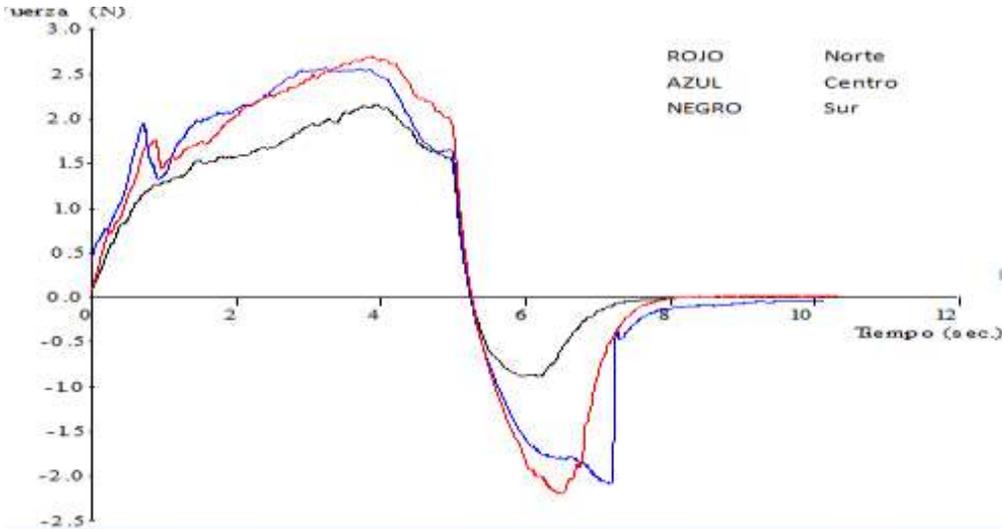


Figura 3.6 Fuerza registrada en la pulpa con pericarpio de madurez 3.

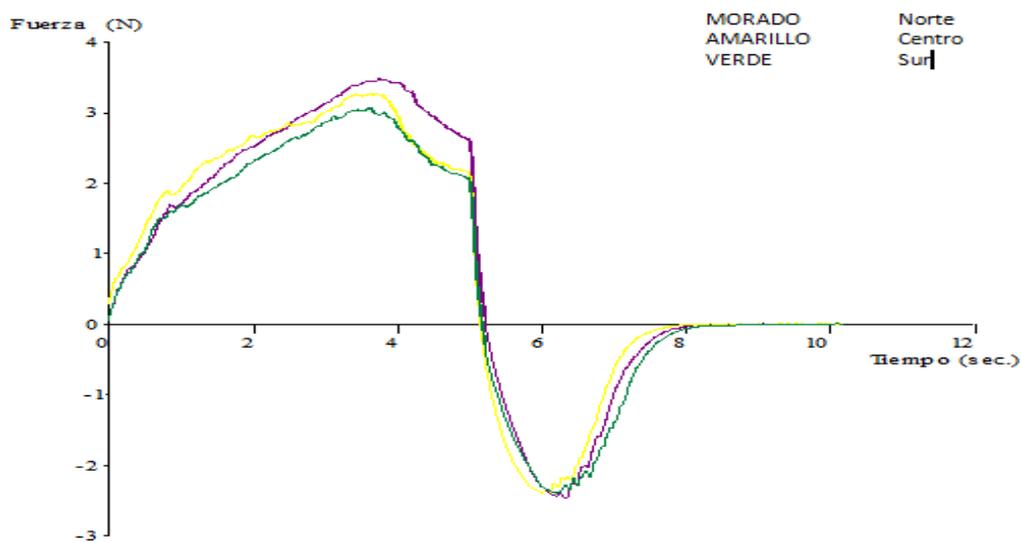


Figura 3.7 Fuerza registrada en la pula con pericarpio de madurez 5.

Para determinar la firmeza en la pulpa, se consideró la fuerza máxima presentada en todas las posiciones de medida y se calculó el trabajo de penetración (Cuadro 3.5). Los resultados del aguacate con pericarpio se presentan en el Cuadro 3.6.

Cuadro 3.5 Textura instrumental de la pulpa de aguacate en los diferentes grados de madurez y puntos de medida.

	Dureza (N)	Trabajo de penetración (Ns)
Grado de madurez 1	5.01 ±1.87 <sup>A</sup>	20.41 ±7.73 <sup>A</sup>
Grado de madurez 3	1.55 ±0.46 <sup>B</sup>	6.42 ±1.7 <sup>B</sup>
Grado de madurez 5	1.54 ±0.46 <sup>B</sup>	5.12 ±1.2 <sup>B</sup>

Valores promedio ± desviación estándar. Mismos superíndices indican que no hay diferencias significativas ( $p < 0.05$ ).

Cuadro 3.6 Textura instrumental del de aguacate con pericarpio en los diferentes grados de madurez y puntos de medida

	Fractura (N)	Fuerza Máxima (N)	Trabajo de penetración (Ns)
Grado de madurez 1	2.49 ±0.07 <sup>A</sup>	6.33 ±1.20 <sup>A</sup>	21.09 ±3.54 <sup>A</sup>
Grado de madurez 3	1.69 ±0.19 <sup>B</sup>	2.37 ±0.29 <sup>B</sup>	9.43 ±1.23 <sup>B</sup>
Grado de madurez 5	1.76 ±0.10 <sup>B</sup>	3.21 ±0.21 <sup>B</sup>	11.99 ± 0.88 <sup>B</sup>

Valores promedio ± desviación estándar. Mismos superíndices indican que no hay diferencias significativas ( $p < 0.05$ ).

De acuerdo con el ensayo de textura se observa que la dureza del aguacate disminuye, con y sin pericarpio, presentándose una menor fuerza de penetración y trabajo de penetración en el aguacate madurez 1 con respecto al de la madurez 5, esto debido a la degradación presente en el aguacate, teniendo resultados similares a los que reporta Márquez et al. (2014).

El aguacate con pericarpio presentó una fractura antes de obtener la fuerza máxima. Cabe destacar que también influye la posición en la cual se realiza la medición en consecuencia a las irregularidades que presenta el mesocarpio del aguacate y es fácilmente observable en los gráficos de punción en la pulpa.

Se observa que no existe una diferencia significativa entre la textura del aguacate de madurez 3 y el de madurez 5 en los parámetros de dureza para la pulpa con pericarpio y sin pericarpio, lo que puede ser debido a que la estructura de la pulpa en estos llega a su punto de maduración ideal desde la madurez 3, sin embargo, la rigidez del pericarpio aumenta derivado de la misma madurez como lo reporta Correa et al. (1995), aunque estadísticamente no se observen diferencias.

Con los datos obtenidos del contenido de humedad, las pruebas de textura y color se seleccionaron los aguacates que presentaron con una dureza aproximada de 1.55 N, un contenido de humedad del 64.9% y un tono negro vivido, ya que se encuentran en la etapa de maduración considerada adecuada (madurez 5), debido a que la actividad enzimática para el ablandamiento y oscurecimiento no se presentan en su totalidad y la pulpa no presenta una dureza que impida la reducción de tamaño adecuada para la elaboración del aderezo.

### 3.2 Contenido de aceite en la pulpa de aguacate

Se utilizó la técnica de extracción con disolvente por el método Soxhlet en la cuantificación del contenido de aceite en la pulpa para la elaboración del aderezo. La cantidad de aceite que se obtuvo en promedio fue del 24%  $\pm$  0.577% semejante a lo reportado en las referencias consultados que va de un 24% a un 25% de aceite presentado en la pulpa (Ceballos et al., 2013).

#### 3.2.1 Extracción acuosa de aceite asistido por ultrasonido y extracción convencional

Durante la extracción acuosa de aceite proveniente de la semilla de aguacate, se le aplicó un tratamiento ultrasónico para mejorar el rendimiento y se comparó con la extracción convencional (Cuadro 3.7).

Cuadro 3.7 Aceite obtenido en extracción convencional y asistida con ultrasonido.

Factor	Aceite (%)
Extracción asistida con ultrasonido	23.92 $\pm$ 0.50 <sup>A</sup>
Extracción convencional	11.90 $\pm$ 0.35 <sup>B</sup>

Valores promedio  $\pm$  desviación estándar. Mismos superíndices indican que no hay diferencias significativas ( $p < 0.05$ ).

Se observa una mayor extracción de aceite en la muestra a la que se aplicó el ultrasonido. El análisis de varianza y la comparación de medias por la prueba de Tukey, se encontraron diferencias significativas entre medias.

Este mayor incremento en la extracción en comparación a la extracción tradicional implica un rompimiento de la pared celular mayor, lo que promovería la difusividad másica y favorecería la extracción de aceite contenido dentro de la semilla como lo reportan Jalili et al. (2016).

### **3.3 Propiedades del aderezo de aguacate**

#### **3.3.1 Potencial de hidrógeno**

Para cada una de las formulaciones se determinó su potencial de hidrógeno (pH) para verificar el nivel de acidez que presentaba. Se obtuvieron emulsiones con potencial hidrógeno bajo, lo que indica muestras ácidas, el pH varió entre 3.31 y 4.89 (Cuadro 3.8). Se observaron diferencias significativas entre las muestras que contienen una mezcla de ácidos en contraste a las que contienen solo vinagre (V), esto debido principalmente a que la composición química del vinagre únicamente contiene ácido acético en disolución lo que reduce su acidez.

La mezcla de ácidos propició mayor descenso del pH en la concentración baja de pulpa, mientras que el vinagre disminuyó más el pH en la concentración alta de pulpa, lo anterior probablemente debido a los pKa de los componentes, que permitió mejor su incorporación en la emulsión concentrada. Con estos resultados se pueden dividir las emulsiones en grupos donde las de pH alto cercano a 5 pueden funcionar como aderezos ácidos para ensalada, y las de pH cercano a 3 en vinagretas.

Cuadro 3.8. Potencial de hidrógeno en las formulaciones de estudio P(pulpa), X(xantana), M(Mezcla de ácidos), V(vinagre)

Formulación	Promedio
P18.5X0.1M1.5	3.31±0.012 <sup>E</sup>
P18.5X0.1V5	4.24±0.015 <sup>C</sup>
P18.5X0.3M1.5	3.68±0.025 <sup>D</sup>
P18.5X0.3V5	4.33±0.02 <sup>C</sup>
P37X0.1M1.5	4.89±0.03 <sup>A</sup>
P37X0.1V5	4.42±0.025 <sup>C</sup>
P37X0.3M1.5	3.38±0.02 <sup>D</sup>
P37X0.3V5	4.79±0.015 <sup>B</sup>

Valores promedio  $\pm$  desviación estándar. Mismos superíndices indican que no hay diferencias significativas ( $p < 0.05$ ).

Estos valores de pH también aseguran un control del crecimiento bacteriano y una mayor conservación, ya que se considera que la mayoría de las bacterias se desarrollan favorablemente entre pH de 5 y 8 (Adams y Moss 1997) y las emulsiones se encuentran por debajo de estos intervalos.

### 3.3.2 Tamaño de partícula

Se evaluó el tamaño de partícula para cada formulación, las muestras presentaron una distribución multimodal, como se presenta en la Figura 3.8. Se observan poblaciones de partículas de 3.5, 10 y 100  $\mu\text{m}$ , la mayor proporción de partículas se encuentra en el diámetro de 100  $\mu\text{m}$  seguida de la distribución de entre el 1 y 10  $\mu\text{m}$ , este comportamiento es representativo de emulsiones-suspensiones gruesas (partículas superiores a 10  $\mu\text{m}$ ) debido a la complejidad de los componentes en cada formulación y sus interacciones. Se realizó una comparación entre ellas a través del diámetro al 10, 50 y 90% de fracción acumulada que permiten determinar el índice de polidispersión (IP), así como el diámetro medio, los resultados de muestran en el Cuadro 3.9. El diámetro medio de las emulsiones de estudio se encuentra en un amplio intervalo, entre 10.62 a 238.36  $\mu\text{m}$ .

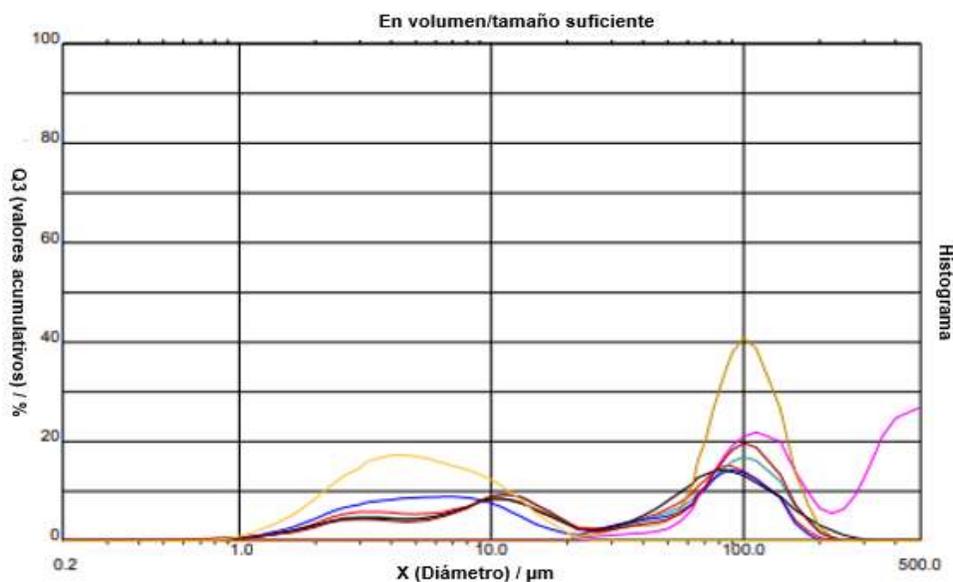


Figura 3.8. Ejemplo de distribución del tamaño de partícula para cada emulsión estudiada.

Cuadro 3.9 Diámetro medio y diámetros al 10, 50 y 90% de fracción acumulada de las formulaciones estudiadas. P (pulpa), X (xantana), M (mezcla de ácidos), V (vinagre), IP Índice de polidispersión.

Formulación	D (10%) (µm)	D (50%) (µm)	D (90%) (µm)	IP	Diámetro medio (µm)
P18.5X0.1M1.5	3.33±0.46	52.4±19.91	128.5±12.5	3.55±0.64	58.74±9.82 <sub>C</sub>
P18.5X0.1V5	2.99±0.49	37.3±26.40	115.9±27.2	5.10±2.33	49.23±17.18 <sub>c</sub>
P18.5X0.3M1.5	57.93±1.6	94.4±1.64	141.0±3.71	0.97±0.35	97.54±1.40 <sub>B</sub>
P18.5X0.3V5	2.58±0.19	17.2±5.86	95.5±20.02	6.70±0.89	37.14±10.40 <sub>cd</sub>
P37X0.1M1.5	69.5±1.41	211.5±64.62	445.1±8.12	1.99±0.510	238.36±21.27 <sub>A</sub>
P37X0.1V5	3.01±0.15	38.5±6.63	126.9±6.65	4.30±0.43	52.91±4.24 <sub>c</sub>
P37X0.3M1.5	2.02±0.10	5.14±0.89	11.3±0.68	1.95±0.20	10.62±8.62 <sub>D</sub>
P37X0.3V5	2.40±0.19	17.9±13.97	97.8±23.74	7.90±3.15	36.66±11.85 <sub>cd</sub>

Valores promedio ± desviación estándar. Mismos superíndices indican que no hay diferencias significativas ( $p < 0.05$ ).

Aplicando el análisis estadístico de varianza para los diámetros medios de partícula, se puede observar que existen diferencias significativas entre las formulaciones

siendo la formulación P37X0.1M1.5 la que presentó el diámetro medio mayor (238.36  $\mu\text{m}$ ) y representa una gran diferencia entre las muestras.

Se aplicó ultrasonido durante la medición del tamaño de partícula con la finalidad de disgregar partículas. La distribución de tamaño se muestra en la Figura 3.9.

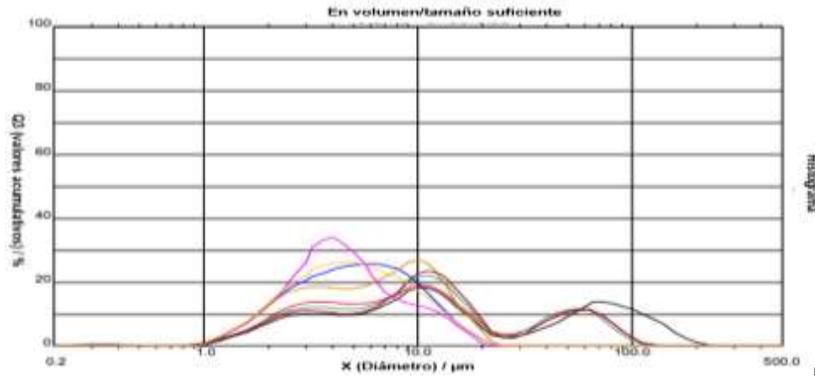


Figura 3.9 Ejemplo de distribución del tamaño de partícula en las emulsiones de estudio aplicando ultrasonido durante la prueba.

El comportamiento multimodal permanece, pero los tamaños de partícula se agrupan de manera diferente, la mayor proporción se ubica entre 4  $\mu\text{m}$  y 10  $\mu\text{m}$  de diámetro, aún se presentan poblaciones de partículas grandes o agregados en menor proporción 50 - 60  $\mu\text{m}$ , lo que indica que siguen presentes algunos agregados (Mc Clements, 2016).

Al aplicar ultrasonido durante la prueba, se disminuyó el tamaño de partícula medio (Cuadro 3.10), también en un intervalo amplio (5.56 a 30.30  $\mu\text{m}$ ), como se explica detalladamente en la literatura de emulsiones de McClements, (2016). Aplicando el análisis estadístico de varianza para los diámetros medios de partícula se puede ver que, si existen diferencias significativas entre las formulaciones, siendo la formulación P37X0.1V5 la que presentó el diámetro medio de partícula mayor (30.30  $\mu\text{m}$ ).

Cuadro 3.10 Diámetro medio y diámetros al 10, 50 y 90% de fracción acumulada y diámetro medio de las formulaciones estudiadas. P (pulpa), X (xantana), M (mezcla de ácidos), V (vinagre), IP Índice de polidispersión.

Formulación	D 10% ( $\mu\text{m}$ )	D 50% ( $\mu\text{m}$ )	D 90% ( $\mu\text{m}$ )	IP	Diámetro medio ( $\mu\text{m}$ )
P18.5X0.1M1.5	2.31 $\pm$ 0.006	9.88 $\pm$ 0.10	55.78 $\pm$ 1.03	2.54 $\pm$ 0.62	18.83 $\pm$ 0.41 <sub>B</sub>
P18.5X0.1V5	2.20 $\pm$ 0.02	9.35 $\pm$ 0.19	55.20 $\pm$ 3.41	4.06 $\pm$ 2.3	18.52 $\pm$ 1.17 <sub>B</sub>
P18.5X0.3M1.5	1.97 $\pm$ 0.0	5.76 $\pm$ 0.01	12.813 $\pm$ 0.40	0.88 $\pm$ 0.03	6.50 $\pm$ 0.29 <sub>C</sub>
P18.5X0.3V5	2.18 $\pm$ 0.01	8.63 $\pm$ 0.15	54.96 $\pm$ 0.51	5.6 $\pm$ 0.88	17.97 $\pm$ 0.24 <sub>B</sub>
P37X0.1M1.5	1.96 $\pm$ 0.02	4.04 $\pm$ 0.03	10.04 $\pm$ 0.12	1.88 $\pm$ 0.51	5.07 $\pm$ 0.04 <sub>C</sub>
P37X0.1V5	2.33 $\pm$ 0.26	10.84 $\pm$ 0.3	88.65 $\pm$ 3.16	3.27 $\pm$ 0.41	30.30 $\pm$ 1.54 <sub>A</sub>
P37X0.3M1.5	1.95 $\pm$ 0.12	4.56 $\pm$ 0.01	10.7 $\pm$ 0.10	1.83 $\pm$ 0.19	5.56 $\pm$ 0.01 <sub>C</sub>
P37X0.3V5	1.873 $\pm$ 0.02	4.73 $\pm$ 0.03	10.79 $\pm$ 0.05	6.95 $\pm$ 3.21	5.64 $\pm$ 0.03 <sub>C</sub>

Valores promedio  $\pm$  desviación estándar. Mismos superíndices indican que no hay diferencias significativas ( $p < 0.05$ ).

El tamaño promedio de las partículas se vio afectado por las diversas formulaciones empleadas, el menor tamaño de partícula fue obtenido con la mayor proporción de pulpa y la mayor concentración de xantana, independientemente de la mezcla de ácidos o el uso de vinagre. También se obtuvo un tamaño de partícula menor con xantana a 0.1% y M1.5%. Se constata la agregación inicial de partículas en altas concentraciones de xantana, esto debido a la viscosidad que esta genera lo que impide que los sólidos de la pulpa de aguacate y glóbulos de grasa se puedan mover libremente separando agregados. Al momento de aplicar ultrasonido durante la medición, estos agregados se rompen disminuyendo su tamaño significativamente, pero sin alterar la estabilidad de la emulsión, ya que la pruebas presentan un bajo coeficiente de variación.

Estos tamaños no se consideran críticos debido a que esto representa un aderezo común con diversos tamaños de partícula por la pulpa que contiene, en este caso por el aguacate con su característica fibrosa, la Figura 3.8 y la Figura 3.9, presenta la distribución de tamaño de partículas similares observándose un comportamiento multimodal denotando su índice de polidispersión que se aleja de la unidad. La

distribución multimodal se presenta frecuentemente en emulsiones aceite-agua tales como los aderezos para ensalada, una proporción de tamaños de partícula relativamente grande se presenta debido a la agregación durante la preparación de la muestra denotando resultados similares por Mesa et al. (2017).

### 3.3.3 Caracterización reológica

En la Figura 3.10 se presentan las curvas representativas de los módulos en función de la deformación (0.05%). La ventaja de realizar las pruebas en este régimen es que la amplitud de la deformación es lo suficientemente pequeña para no interferir con la microestructura de la emulsión, por lo tanto, las propiedades reológicas se vuelven independientes de la deformación. El módulo de almacenamiento ( $G'$ ) representa la energía elástica almacenada y el módulo de pérdida ( $G''$ ) la disipación viscosa de energía, los materiales viscoelásticos presentan estos dos módulos.

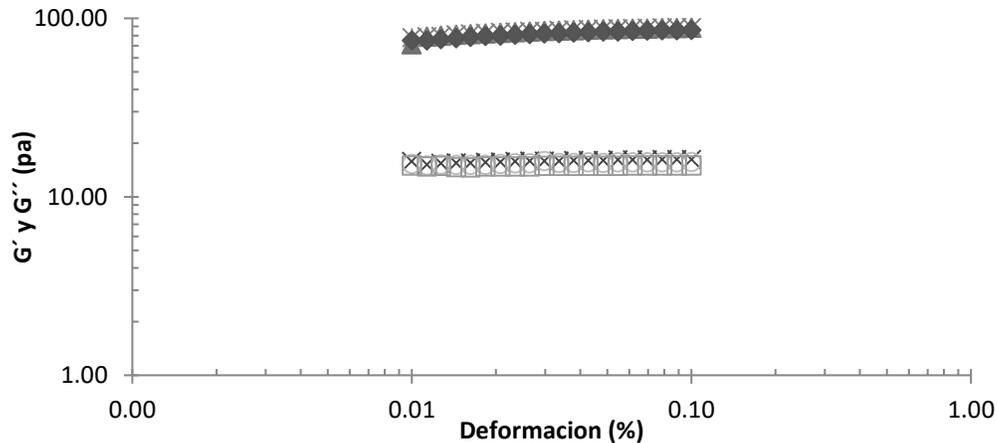


Figura 3.10. Módulo de almacenamiento ( $G'$  símbolo lleno) y módulo de pérdida ( $G''$  símbolo vacío) en función de la deformación a frecuencia angular constante (10 rad/s) para para la formulación con P18.5X0.1M1.5.

En la Figura 3.11 se presenta el espectro mecánico característico de las emulsiones formadas donde se representan  $G'$  y  $G''$  en función de la frecuencia angular, estos

módulos no varían proporcionalmente con la frecuencia, observándose diversos cambios de pendiente debido a la complejidad de la emulsión (McClements, 2016). Se puede observar que existe buena repetibilidad de la prueba ya que las tres réplicas se superponen.

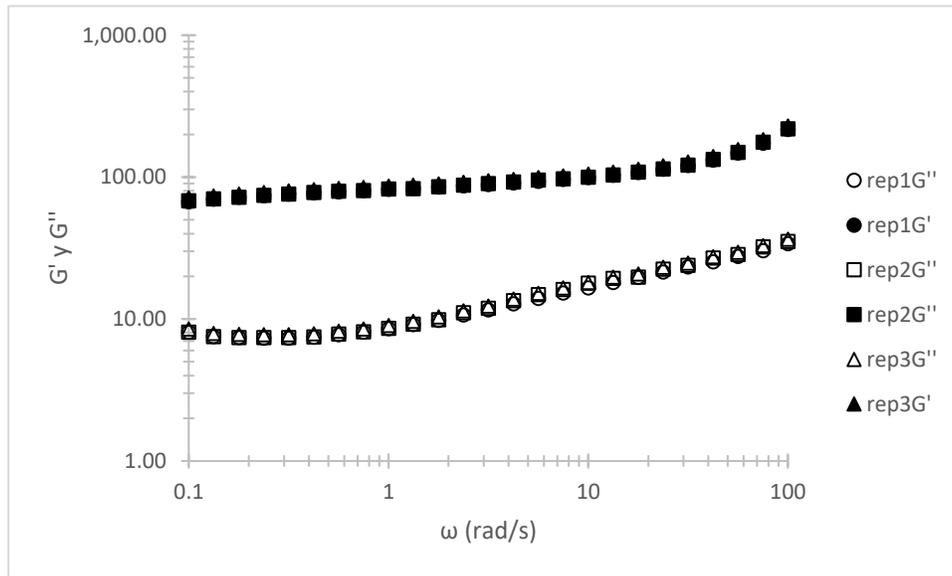


Figura 3.11. Módulo de almacenamiento ( $G'$  símbolo lleno) y módulo de pérdida ( $G''$  símbolo vacío) en función de la frecuencia angular para para la formulación con P18.5X0.1M1.5.

Los fluidos complejos presentan generalmente un comportamiento intermedio entre sólidos y líquidos, por lo tanto, muestran simultáneamente características elásticas y viscosas. De acuerdo con los resultados, todas las emulsiones se comportan más como un sólido en el intervalo de frecuencia angular analizado (0.1-100 rad/s). Es decir, su módulo de almacenamiento es más grande que su módulo de pérdida. En las Figuras 3.12 y 3.13 se presenta una comparación del espectro mecánico de las formulaciones con un contenido bajo y alto de pulpa, respectivamente.

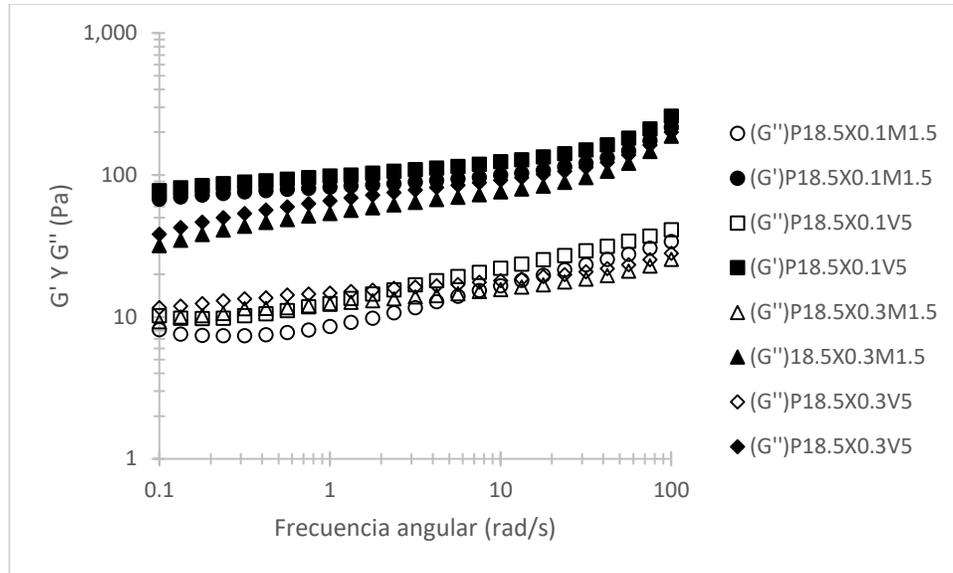


Figura 3.12. Módulo de almacenamiento ( $G'$  símbolo lleno) y módulo de pérdida ( $G''$  símbolo vacío) en función de la frecuencia angular para las formulaciones con 18.5% de pulpa, X (xantana), M (mezcla de ácidos), V (vinagre).

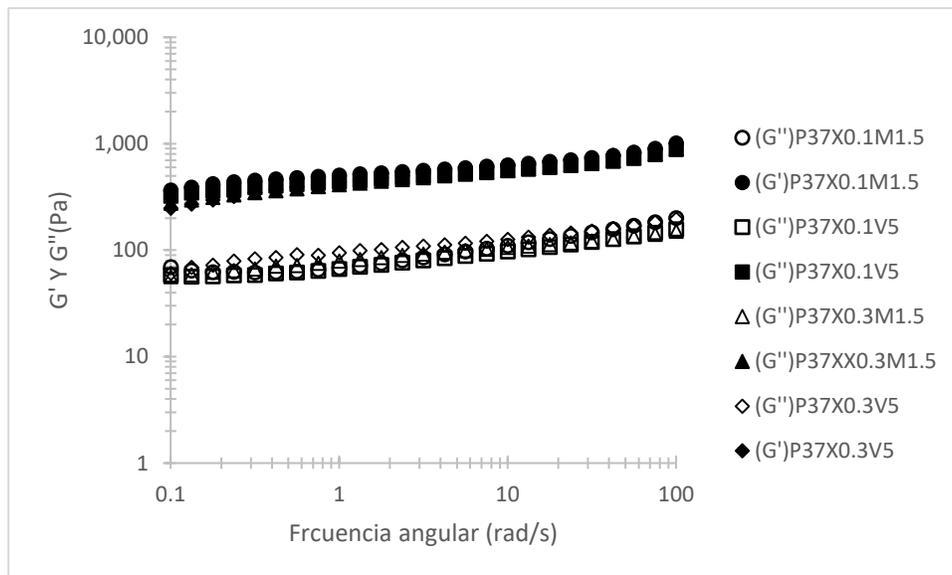


Figura 3.13 módulo de almacenamiento ( $G'$  símbolo lleno) y módulo de pérdida ( $G''$  símbolo vacío) en función de la frecuencia angular para las formulaciones con 37% de pulpa, X (xantana), M (mezcla de ácidos), V (vinagre).

En el Cuadro 3.11, se resumen los valores de los módulos evaluados a 1 rad/s para fines de comparación. La relación de  $G''/G'$  es llamada tangente de pérdida ( $\tan \delta$ ). El valor de  $\tan \delta$  es alto ( $\gg 1$ ) para materiales que son más líquidos, mientras que bajo ( $\ll 1$ ) para materiales más cercanos al sólido. Se confirma que en las emulsiones predomina el módulo de almacenamiento al módulo de pérdida a 1 rad/s debido que la relación de la energía disipada entre la energía almacenada es baja (Mc Clements, 2016). Aplicando el análisis estadístico de varianza con comparaciones múltiples se observa que existen diferencias significativas entre las formulaciones, dividiéndose entre 2 grandes grupos. Esta división entre los grupos se origina de la proporción de pulpa de aguacate en cada formulación.

Cuadro 3.11 Módulo de almacenamiento ( $G'$ ) y el módulo de pérdida ( $G''$ ) evaluados a 1 rad/s.

Formulación	$G'$ (Pa)	$G''$ (Pa)	$\tan \delta (G''/G')$
P18.5X0.1M1.5	82±1.22 <sup>E</sup>	8.56±0.356 <sup>G</sup>	0.104±0.5 <sup>H</sup>
P18.5X0.1V5	98.20±3.29 <sup>D</sup>	12.40±0.51 <sup>F</sup>	0.126±0.004 <sup>G</sup>
P18.5X0.3M1.5	53.60±0.20 <sup>G</sup>	12.30±0.05 <sup>F</sup>	0.229±0.002 <sup>A</sup>
P18.5X0.3V5	65.90±3.44 <sup>F</sup>	14.70±0.97 <sup>E</sup>	0.223±0.003 <sup>B</sup>
P37X0.1M1.5	505±14 <sup>A</sup>	67.80±4.86 <sup>D</sup>	0.134±0.005 <sup>F</sup>
P37X0.1V5	438±12.50 <sup>B</sup>	66.60±3.03 <sup>C</sup>	0.152±0.2 <sup>E</sup>
P37X0.3M1.5	410±13.5 <sup>C</sup>	78.90±7.6 <sup>B</sup>	0.192±0.004 <sup>D</sup>
P37X0.3V5	435±11.72 <sup>B</sup>	94.50±4.39 <sup>A</sup>	0.217±0.004 <sup>C</sup>

Valores promedio  $\pm$  desviación estándar. Mismos superíndices indican que no hay diferencias significativas ( $p < 0.05$ ).

Las primeras 4 formulaciones, con 18.5% de pulpa, presentaron un módulo de almacenamiento entre 53.6 y 98.2 Pa, mientras que el módulo de pérdida varió entre 8.56 y 14.7 Pa. Las muestras con xantana al 0.3% presentaron una  $\tan \delta$  ligeramente superior que las muestras que contenían 0.1% de xantana. Las formulaciones de alta concentración de pulpa presentaron un módulo de almacenamiento entre 410 y 515 Pa, mientras que el módulo de pérdida varió entre 8.56 y 14.7 Pa. De igual manera las muestras con xantana al 0.3% presentaron una

tan  $\delta$  ligeramente superior que las muestras que contenían 0.1% de xantana. El efecto de la xantana se vio reflejado únicamente en el módulo de pérdida, ya que, al aumentar la concentración, este también se incrementó.

Finalmente se presenta la viscosidad compleja ( $\eta^*$ ) de las diversas emulsiones en función de la frecuencia angular (Figura 3.14). Esta viscosidad compleja en flujo oscilatorio resultó respectivamente diferente entre ellas. En el gráfico se observa un adelgazamiento presentando todas, una disminución en la viscosidad compleja mientras aumenta la frecuencia angular, lo que puede ser debido a que el entrelazamiento entre cadenas poliméricas, o las partículas agregadas, se van rompiendo o separando, respectivamente, dando como resultado una menor resistencia al flujo (Mc Clements, 2016).

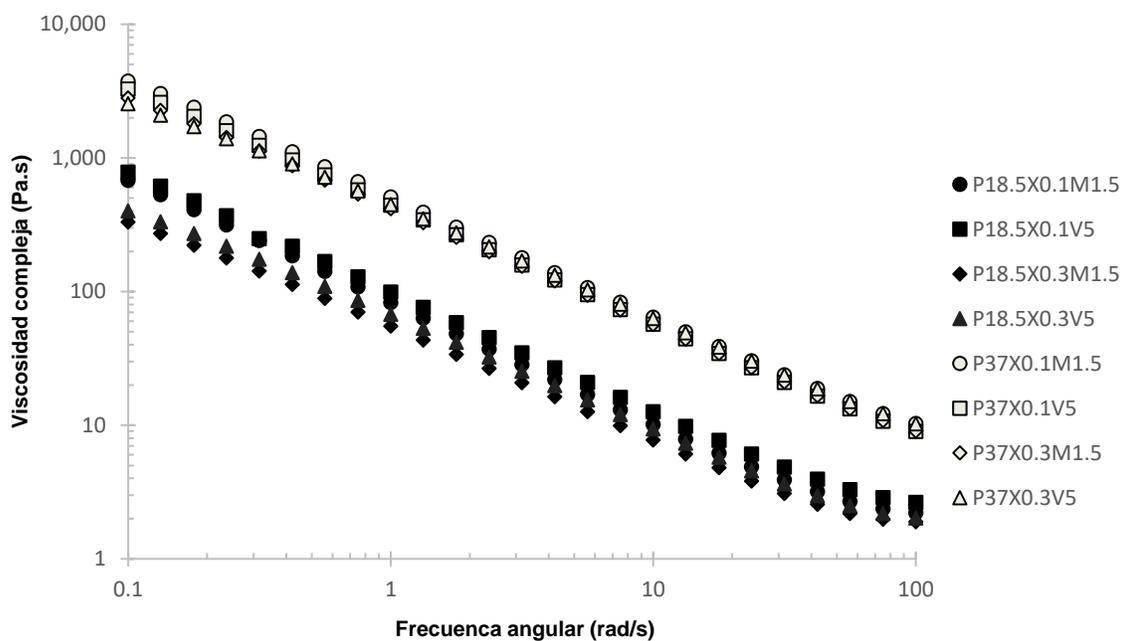


Figura 3.14 viscosidad compleja en función de la frecuencia angular para las formulaciones con pulpa en dos niveles de proporción (P), X (xantana), M (mezcla de ácidos), V (vinagre).

La viscosidad compleja de las emulsiones se ajustó a curvas de tipo potencia, en el intervalo seleccionado de 0.1 - 10 rad/s, siendo la formulación P18.5X0.3M1.5 la

que presentó la menor viscosidad compleja. La constante y el exponente de la función potencia se resume en el Cuadro 3.12.

Cuadro 3.12 Parámetros de la función potencia de la viscosidad compleja.

Formulación	Constante	Exponente
P18.5X0.1M1.5	82.03±0.94 <sup>E</sup>	-0.97±0.005 <sup>E</sup>
P18.5X0.1V5	98.59±0.48 <sup>D</sup>	-0.85±0.004 <sup>D</sup>
P18.5X0.3M1.5	55.65±1 <sup>G</sup>	-0.9±0.001 <sup>A</sup>
P18.5X0.3V5	65.26±0.05 <sup>F</sup>	-0.91±0.001 <sup>A</sup>
P37X0.1M1.5	506.8±0.05 <sup>A</sup>	-0.87±0.004 <sup>B</sup>
P37X0.1V5	441.2±0.06 <sup>B</sup>	-0.87±0.004 <sup>B</sup>
P37X0.3M1.5	410.9±0.02 <sup>C</sup>	-0.85±0.004 <sup>D</sup>
P37X0.3V5	424.8±0.04 <sup>B</sup>	-0.82±0.005 <sup>C</sup>

Valores promedio ± desviación estándar. Mismos superíndices indican que no hay diferencias significativas ( $p < 0.05$ ).

La diferencia de la constante de la viscosidad compleja entre las formulaciones con mayor proporción de pulpa fue menor entre ellas (~23%), al comparárlas con las formulaciones con menor proporción de pulpa (~77%). El exponente osciló entre -0.86 y -0.91 en las muestras de baja concentración de pulpa y entre -0.82 y -0.87 en las de alta concentración de pulpa.

### 3.3.4 Colorimetría en la emulsión

Se realizó la prueba de color a las emulsiones al momento de elaborarlas y después del almacenamiento para ver si existía un cambio de la coloración a lo largo del periodo de almacenamiento utilizando la ecuación 1 de donde se obtienen valores de  $\Delta E$ , para interpretar estos valores se utilizó el Cuadro 3.13.

Cuadro 3.13 interpretación de los valores de  $\Delta E$ .

$\Delta E = 0$	No hay cambios en la tonalidad de color
$= 0.1 < \Delta E < 1$	El cambio es NO significativo (No es perceptible)
$\Delta E = < 5$	El cambio es significativo (No perceptible)
$\Delta E > 5$	El cambio es significativo (Perceptible)

Los datos obtenidos a través de la prueba fueron los siguientes, estos datos son promedio de las repeticiones realizadas Cuadro 3.14.

Cuadro 3.14. Valores de Lab para las formulaciones durante el tiempo de almacenamiento.

	día 1			día 15			día 30		
	L	a	b	L	a	b	L	a	b
P18.5X0.1M1.5	83.65	55.85	-28.59	88.075	60.365	-24.77	92.5	64.88	-20.95
P18.5X0.1V5	84.65	53.86	-23.57	88.63	59.38	-22.32	92.61	64.9	-21.07
P18.5X0.3M1.5	85.66	57.88	-22.59	89.115	61.385	-21.785	92.57	64.89	-20.98
P18.5X0.3V5	83.7	54.88	-25.59	88.145	59.875	-23.32	92.59	64.87	-21.05
P37X0.1M1.5	84.5	44.88	-35.59	89.475	55.02	-25.77	94.45	65.16	-15.95
P37X0.1V5	84.52	45.2	-35.61	89.52	55.2	-25.815	94.52	65.2	-16.02
P37X0.3M1.5	83.97	45.37	-35.58	89.285	54.805	-25.785	94.6	64.24	-15.99
P37X0.3V5	84.55	45.15	-35.59	89.53	55.215	-25.78	94.51	65.28	-15.97

La toma de datos se realizó al momento de elaborar las muestras y pasar 15 días y 30 días, mostrando un cambio significativo en la coloración.

Cuadro 3.15 valores de  $\Delta E$  para las formulaciones.

	$\Delta E$ a 15 días	$\Delta E$ a 30 días
P18.5X0.1M1.5	54.56	148.76
P18.5X0.1V5	47.87	136.09
P18.5X0.3M1.5	24.87	58.64
P18.5X0.3V5	49.86	129.30
P37X0.1M1.5	224.00	806.96
P37X0.1V5	220.94	793.77
P37X0.3M1.5	213.21	750.48
P37X0.3V5	222.34	800.12

Los valores de  $\Delta E$  en el Cuadro 3.15 muestran un cambio significativo en la coloración observable durante el periodo de almacenamiento, debido al pardeamiento enzimático que no se pudo detener por completo, pero se alargó el proceso de frescura gracias a la adición de los ácidos, también se observa que a mayor concentración de pulpa el  $\Delta E$  y sus valores  $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$  también aumentan en el periodo de observación debido a que contiene mayores cantidades de enzimas en proporción a la cantidad de pulpa también considerando se utilizó un tratamiento de choque termico para evitar el pardeamiento enzimatico lo que provoca un mayor pardeamiento.

### 3.3.5 Estabilidad

Esta prueba se realizó inmediatamente tras la elaboración de la emulsión y después de tres horas de la primera medición para verificar que no existiera una separación en un corto periodo de tiempo, esta metodología se continuó empleando durante las siguientes semanas.

La Figura 3.15 representa el espectro de la primera medición que se realizó, donde el eje X representa la altura del tubo y el eje Y el porcentaje de luz transmitida o retrodispersada, los valores de la columna derecha dan la correspondencia entre la traza registrada y el tiempo transcurrido, de estos espectros es posible obtener determinaciones como la velocidad de clarificación o sedimentación.



Figura 3.15 Gráficos representativo al inicio de la prueba de dispersión y retrodispersión de luz P18.5X0.1M1.5.

La Figura 3.16 representa la dispersión de luz de una muestra representativa de las formulaciones estudiadas donde se observa que la emulsión se mantiene estable en el periodo de 7 días ya que no presenta transmisión de luz. El porcentaje del 20% con 2 mm de distancia entre fases en la parte superior del tubo de ensayo se debe a la liberación de agua libre en la emulsión.



Figura 3.16 Gráfico de transmisión de luz de la muestra P18.5X0.1M1.5 a 7 días.

Por su parte en los gráficos de dispersión (Figura 3.17) se observa una compactación en las muestras del -20% esto debido a la liberación de burbujas en los tubos de ensayo que se generan al momento de preparar la muestra y al momento de colocarlas en los tubos de medición.

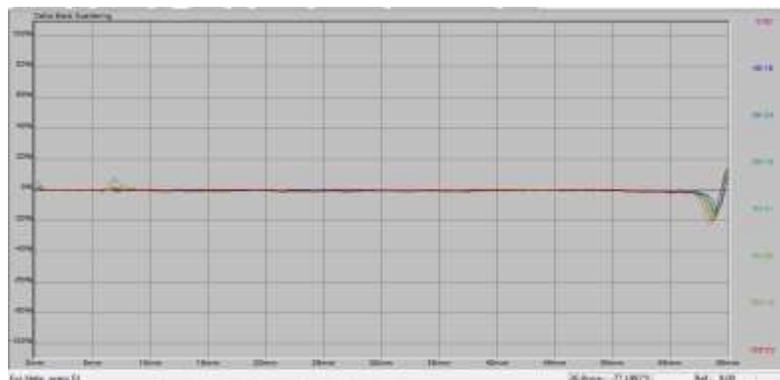


Figura 3.17 Gráficos de retrodispersión de luz de la muestra P18.5X0.1M1.5 a 7 días.

De igual manera no se muestra una separación de las fases en ninguna de las muestras preparadas o algún otro fenómeno de inestabilidad. Se puede asegurar que las muestras presentan una alta estabilidad.

Las muestras preparadas no presentaron una separación de fases en la Figura 3.18 se presentan los gráficos de transmisión y retrodispersión de luz, en una muestra con mayor contenido de pulpa. Al igual que la muestra con baja concentración de pulpa, no se observa inestabilidad a las 25 h, mostrando el mismo efecto de compactación de la muestra.

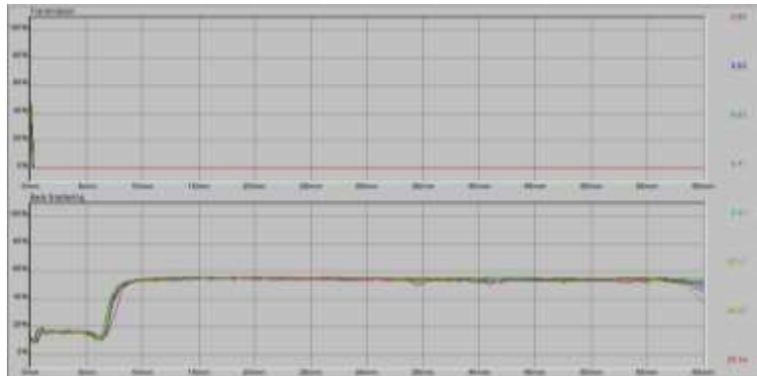


Figura 3.18 Gráficos de dispersión y retrodispersión de luz de la muestra P37X0.3V5.

La estabilidad se vio favorecida por la alta viscosidad de las muestras lo que disminuye la diferencia entre densidad del agua agregada y el aceite presente en el aguacate, lo que implica una mayor estabilidad entre las fases.

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

En esta investigación se estudió la manera de aprovechar al máximo las partes del aguacate diversificándolo en diversos productos además del conocido aceite de aguacate. En la extracción por solventes se obtuvo una baja cantidad de aceite además de una cantidad que se presentaba en forma de grasa en las paredes inferiores del matraz. Posterior a la aplicación de ultrasonido a los residuos de la semilla, se obtuvo 12.02% adicional de aceite en la extracción en medio acuoso. Se recomienda replantear el método de extracción rehidratando el polvo de semilla de aguacate con hexano o alcohol al momento de aplicar el ultrasonido con el fin de aumentar la solubilidad de los aceites y generar una mayor cantidad durante la extracción.

Siguiendo los criterios de selección descritos en la metodología se obtuvo 24.33% de aceite de aguacate utilizando muestras de 20 g, lo que permitió obtener emulsiones de 22.50% para bajas concentraciones de pulpa y 45.01% para altas concentraciones.

El uso de una mezcla de ácidos (ácido cítrico, ácido sórbico) así como la alta concentración de vinagre en las emulsiones y la aplicación de un tratamiento térmico controlado (choque térmico de 100°C al calentamiento y 10°C en enfriamiento) que se les aplicó en periodos cortos todo esto favoreció a retardar la actividad enzimática y por lo tanto el pardeamiento. Esto se puede comprobar con el cambio de coloración en un largo periodo de almacenamiento que es mostrado en la Cuadro 3.14, se recomendaría utilizar el un antioxidante sintético de grado alimenticio como la terbutil hidroquinona (TBHQ) para observar si existe una diferencia entre el utilizar compuestos utilizados y compuestos adicionales con respecto al pardeamiento enzimático.

Las emulsiones presentan un carácter estable ya que no se presentaron fenómenos de inestabilidad durante el almacenamiento debido a la homogenización de las muestras fue la correcta ya que se presentaron tamaños de partícula pequeños de 88  $\mu\text{m}$  en comparación de otras emulsiones vegetales como mencionan algunos autores 0.1-100  $\mu\text{m}$ .

Los resultados de las pruebas reológicas hechas muestran que las emulsiones tienen el comportamiento de un fluido complejo. Su comportamiento es adelgazante al incrementar la frecuencia angular y presenta propiedades viscoelásticas similares a un sólido con predominio del módulo elástico.

La viscosidad compleja de las emulsiones refleja que no existe una diferencia significativa entre la concentración de xantana empleada, pero si una entre el uso de una baja concentración de pulpa y alta concentración de pulpa, ya que en bajas concentraciones la viscosidad compleja es menor, pero entre concentraciones con la misma cantidad de pulpa sus viscosidades se sobreponen dando un comportamiento similar adelgazante al incrementar la frecuencia angular. Por ser un fluido complejo que presenta una microestructura dinámica.

Es precisamente la microestructura y los fenómenos asociados con ella, como la presencia de una interfase dinámica, a la que puede atribuirse la compleja reología de la emulsión estudiada. La microestructura de esta emulsión está formada por gotas de aceite provenientes de la pulpa de aguacate resultado del tratamiento térmico con microondas, fibras de aguacate, la estructura formada por la xantana y agua. Bajo las condiciones que se establecieron, la microestructura inicial de la emulsión se modifica. La distribución y el tamaño de partícula y glóbulos varían en función de si se aplica un estímulo o no (ultrasonido aplicado en la prueba de tamaño de partícula); como consecuencia, el área superficial también cambia, lo que repercute directamente en la viscosidad compleja.

## REFERENCIAS

- Adams, M. R., Moss, M. O. (1997). *Microbiología de los Alimentos*. Editorial Acribia, S.A. Zaragoza (España), 67-73.
- Azuola, R., Vargas Aguilar, P. (2007). Extracción de sustancias asistida por ultrasonido (EUA). *Tecnología en Marcha*, 20(4), 1, 30-40.
- Barbosa-Martin, E., Chel, M., Gonzáles, E., Betancur, D. (2016). Chemical and technological properties of avocado (*Persea americana Mill.*) seed fibrous residues. *Food and Bioproducts Processing*, 100, 457-463.
- Barrientos, P., Villanueva, E., Garcia, E., (1996). Anatomía del fruto de Aguacate ¿drupa o baya?, *Revista Chapingo Serie Horticultura* 2(2), 189-198.
- Bayramolu, B., Shanin, S., Sumnu, G. (2008). Solvent-free microwave extraction of essential oil from oregano. *Journal of Food Engineering*, 88, 535-540.
- Bernal-Estrada, J. Cartajena-Valenzuela, J., (2017). Contenidos de lípidos y composición relativa de los ácidos grasos en pulpa de aguacate 'Hass' cosechado en el trópico andino del departamento de Antioquia. *Memorias del V congreso latinoamericano del Aguacate*, 389-400.
- Ceballos, A., Montoya, S. (2013). Chemical evaluation of fiber nib, pulp and three shell avocado varieties. *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 11, 103 - 112.
- Callejas T. Obtención de extractos de plantas en medios ácidos y/o alcohólicos para aplicaciones medicinales y alimenticias. Tesis de doctorado en biotecnología Universidad Nacional de Colombia. Manizales. (2002).
- Correa, P., Plaza, J., Ruiz, M. (1995). Ensayos no destructivos para la evaluación de la madurez post-recolección de aguacate. *Agro-Ciencia*, 11(2), 197-200.
- Da Porto, C., Decorti, D., Kikic, I. (2009). Flavor compounds of *Lavandula angustifolia L.* to use in food manufacturing: Comparison of three different extraction methods. *Food Chemistry*, 112, 1072-1078.
- De Araujo, T. A., Barbosa, A. Viana, L. Ferreira, V. (2011). Electroanalytical determination of TBHQ, a synthetic antioxidant, in soybean biodiesel samples. *Fuel*, 90, 707-712.

- Gómez-Polo, C., Muñoz, M., Luengo, M., Vicente, P., Galindo, P., Casado, A. (2016). Comparison of the CIELab and CIEDE2000 color difference formulas. *The Journal of Prosthetic Dentistry*, 115(1), 65-70.
- Goula, A. M. (2013). Ultrasound-assisted extraction of pomegranate seed oil - Kinetic modeling. *Journal of Food Engineering*, 117(4), 492–498.
- Guan, W., Li, S., Yan, R., Thang, S., Quan, C. (2007). Comparison of essential oils of clove buds extracted with supercritical carbon dioxide and other tree traditional extraction methods. *Food Chemistry*, 101, 1558-1564.
- Gwanpua, G., Qian, Z., East, A. (2018). Modelling ethylene regulated changes in “Hass” avocado quality, *Postharvest Biology and Technology*, 136, 12-22.
- Jalili, F., Jafari, S. M., Emam-Djomeh, Z., Malekjani, N., Farzaneh, V. (2017). Optimización de la extracción asistida por ultrasonido de aceite de semillas de canola con el uso de la metodología de superficie de respuesta. *Food Analytical Methods*, 11, 598–612.
- Kimbaris, A. C., Siatis, N. G. Daferera, D. J., Tarantilis, P. A., PaPpas, C. S., Polissiou, M. G. (2006). Comparison of distillation and ultrasound-assisted extraction methods for the isolation of sensitive aroma compounds from garlic (*Allium sativum*). *Ultrasonics Sonochemistry*, 13, 54-60.
- Marquez, C. J., Yepes, D. P., Sanchez, L., Osorio, J. A. (2014). Cambios físico-químicos del aguacate (*Persea americana* Mill. Cv. “Hass”) en poscosecha para dos municipios de Antioquia. *Temas Agrarios*, 19, 32-47.
- McClements, D. (2016). *Food Emulsions Principles, Practices, and Techniques*. Third Edition. New York, Estados Unidos de América, CRC Press.
- Mesa, E., Rodríguez, M., Londoño, G. (2017). Stability of a colloidal system based on avocado (*Persea americana* Mill. cv. Hass) and others: Effect of process and composition. *Agroindustry and Food Science*, 66, 338-346.
- Olaeta, J. (2003). Industrialización del aguacate: estado actual y perspectivas futuras. *Proceedings V World Avocado Congress*, 749-759.
- Ortiz-Viedma, J., Rodríguez, A., Vega, C., Osorio, F., Defillipi, B., Ferreira, R., Saavedra, J. (2018). Textural, flow and viscoelastic properties of Hass avocado (*Persea*

*americana Mill.*) during ripening under refrigeration conditions. *Journal of Food Engineering*, 219, 62-70,

Ortuño, M. F. (2006). *Manual Práctico de Aceites Esenciales, Aromas y Perfumes*. Aiyana. España.

Paredo-Luna, H., Munguía, M. (2012). Mecanismos de inestabilidad y métodos de estabilización de emulsiones múltiples. *Temas Selectos de Ingeniería en Alimentos*, 6, 122-130.

Pirovani, M.E., Guemes, D.R., Piagentini, A.M., Di Pentima, J.H. (1994). Texture determination of avocado (*Persea americana* Mill.) by penetration tests. *Revista Española de Ciencia y Tecnología de Alimentos (España)*, 34 (1), 77-89

Proestos, C., Komaitis, M. (2006). Ultrasonically assisted extraction of phenolic compounds from aromatic plants: comparison with conventional extraction techniques. *Quality Journal of Food*, 29, 567-582.

Rader, D., Hovingh, G. (2014). HDL and cardiovascular disease, *The Lancet*, 384 (9943), 618-625.

Sarmiento-Gomez, E., Santamaría-Holek, I., Castillo, R. (2014). Mean-Square displacement of particles in slightly interconnected polymer networks. *The Journal of Physical Chemistry B*, 118 (4), 1146-1158

Sefidkon, F., Abbasi, K., Khaniki, G. B. (2006). Influence of drying and extraction methods on zingibre (*Zingiber officinale*), *Revista Amazónica de Investigación Alimentaria*, 1(1), 38-42.

Thongson, C., Davison, P. M., Mahakarnchanakul, W., Weiss, J. (2004). Antimicrobial activity of ultrasound-assisted solvent-extracted spices. *Letters in Applied Microbiology*, 39, 401-406.

Tongnuanchan, P., Benjakul, S. (2014). Essential oils: extraction, bioactivities, and their uses for food preservation. *Journal of Food Science*, 79 (7), 1231-1249.