



**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MÉXICO**  
**FACULTAD DE QUÍMICA**



**EXTRACCIÓN DE MANGIFERINA A PARTIR DE  
CÁSCARA DE MANGO ATAUFO**  
*TESIS*  
**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE INGENIERO QUÍMICO**

**PRESENTA**  
**ORDOÑEZ REYES DANIELA**

**ASESOR ACADÉMICO**  
**DR. EN. C.A. JULIÁN CRUZ OLIVARES**

**TOLUCA, MÉXICO.**

**MARZO, 2021.**

## CONTENIDO

<b>ÍNDICE DE FIGURAS</b> .....	4
<b>ÍNDICE DE TABLAS</b> .....	6
<b>RESUMEN</b> .....	7
<b>CAPITULO I. INTRODUCCIÓN</b> .....	8
1. INTRODUCCIÓN.....	9
<b>CAPITULO II. OBJETIVOS E HIPÓTESIS</b> .....	12
2.1 OBJETIVO GENERAL.....	13
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	13
2.3 HIPÓTESIS.....	13
<b>CAPITULO III. MARCO TEÓRICO</b> .....	14
3.1 MANGO.....	15
3.1.1 DESCRIPCIÓN BOTÁNICA DEL MANGO.....	15
3.1.2 CLASIFICACIÓN TAXONÓMICA DEL MANGO.....	16
3.2 MANGO ATAULFO.....	16
3.3 CÁSCARA DEL MANGO.....	17
3.3.1 COMPOSICIÓN QUÍMICA DE CÁSCARA DE MANGO.....	18
3.4 POLIFENOLES.....	19
3.4.1 DESCRIPCIÓN QUÍMICA DE POLIFENOLES.....	19
3.4.2 RUTA METABÓLICA DE POLIFENOLES.....	20
3.4.3 CLASIFICACIÓN DE POLIFENOLES.....	21
3.4.4 PROPIEDADES BIOLÓGICAS DE POLIFENOLES.....	22
3.4.5 METODOLOGÍA DE EXTRACCIÓN DE POLIFENOLES.....	24
3.4.6 COMPUESTOS FENÓLICOS PRESENTES EN LA CÁSCARA DEL MANGO ATAULFO.....	28
3.4.7 USOS DE POLIFENOLES EN LA MEDICINA.....	29
3.5 MANGIFERINA.....	31
3.5.1 DESCRIPCIÓN QUÍMICA DE LA MANGIFERINA.....	31
3.5.2 PRESENCIA DE MANGIFERINA EN CÁSCARA DE MANGO ATAULFO.....	32
3.5.3 APLICACIONES MÉDICAS DE LA MANGIFERINA.....	32

3.6	MÉTODO DE EXTRACCIÓN.....	35
3.6.1	EXTRACCIÓN SOXHLET.....	36
3.7	TAMAÑO DE PARTÍCULA.....	38
<b>CAPITULO IV. METODOLOGÍA.....</b>		<b>40</b>
4.	METODOLOGÍA DE OBTENCIÓN DE EXTRACTOS DE MANGIFERINA.....	41
4.1	OBTENCIÓN DE MATERIA PRIMA.....	41
4.2	TRATAMIENTO Y PROCESAMIENTO DE MATERIA PRIMA.....	42
4.2.1	PROCESAMIENTO Y CLASIFICACIÓN DE LA MATERIA PRIMA (MOLIENDA).....	46
4.2.2	DISTRIBUCIÓN DE TAMAÑO DE PARTÍCULA.....	46
4.3	METODOLOGÍA DE EXTRACCIÓN.....	47
4.3.1	MATERIALES Y REACTIVOS.....	48
4.3.2	PROCEDIMIENTO.....	49
4.4	PURIFICACIÓN DEL EXTRACTO DE CÁSCARAS SECAS DE MANGO ATAULFO.....	50
4.5	CARACTERIZACIÓN Y CUANTIFICACIÓN DEL EXTRACTO DE CÁSCARAS SECAS DE MANGO ATAULFO.....	52
<b>CAPITULO V. DISCUSIÓN Y RESULTADOS.....</b>		<b>54</b>
5.1	TIEMPO DE SECADO.....	55
5.2	TAMAÑO DE PARTÍCULA.....	55
5.3	EXTRACCIÓN SOXHLET.....	58
5.4	PURIFICACIÓN DE EXTRACTO DE CÁSCARAS SECAS DE MANGO ATAULFO.....	64
5.5.1	CARACTERIZACIÓN DE EXTRACTO DE CÁSCARAS SECAS DE MANGO ATAULFO.....	65
5.5.2	RENDIMIENTO DE PPROCESO DE EXTRACCIÓN SOXHLET.....	77
5.5.3	CUANTIFICACIÓN DE EXTRACTO DE CÁSCARAS SECAS DE MANGO ATAULFO.....	78
<b>CAPITULO VI. CONCLUSIONES.....</b>		<b>83</b>
6.	CONCLUSIONES.....	84
<b>REFERENCIAS.....</b>		<b>86</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ruta biosintética de mangiferina. ....	26
Figura 2. Estructura química de molécula mangiferina.....	37
Figura 3. Extractor Soxhlet. ....	42
Figura 4. Cartucho de extracción. ....	43
Figura 5. Cáscaras de mango Ataulfo.....	49
Figura 6. Charola de aluminio con cáscara de mango Ataulfo. ....	49
Figura 7. Cáscaras de mango Ataulfo secas.....	50
Figura 8. Cáscaras de mango Ataulfo secas.....	50
Figura 9. Equipo de extracción Soxhlet.....	54
Figura 10. Partes que componen al evaporador rotativo. ....	56
Figura 11. Gráfica de gramos retenidos en el tamiz de la molienda de cáscara seca de mango Ataulfo. ....	61
Figura 12. Gráfica de porcentaje retenido en el tamiz de la molienda de cáscara seca de mango Ataulfo.....	62
Figura 13. Molienda de cáscaras de mango Ataulfo de la DTP1.....	62
Figura 14. Molienda de cáscaras de mango Ataulfo de la DTP2.....	63
Figura 15. Coloración de solvente (éter de petróleo) en primer sinfón.....	64
Figura 16. Coloración de solvente (éter de petróleo) en último sinfón.....	64
Figura 17. Residuo de solvente de desgrasado de material vegetal. ....	65
Figura 18. Coloración de solvente (acetona) en primer sinfón.....	66
Figura 19. Coloración de solvente (acetona) en último sinfón. ....	66
Figura 20. Coloración de solvente (EtOH/H <sub>2</sub> O) en primer sinfón.....	67
Figura 21. Coloración de solvente (EtOH/H <sub>2</sub> O) en último sinfón. ....	67
Figura 22. Coloración de extracto de cáscaras secas de mango Ataulfo.....	69
Figura 23. Espectro UV-Vis del patrón de mangiferina.....	72

Figura 24. Espectro UV-Vis de extracto estándar de la DTP1. ....	73
Figura 25. Espectro UV-Vis de extracto estándar de la DTP2. ....	73
Figura 26. Forma estructural de la molécula mangiferina. ....	74
Figura 27. Espectro IR de extracto estándar de la DTP1.....	75
Figura 28. Espectro IR de extracto estándar de la DTP2.....	76
Figura 29. Grupos OH presentes en la molécula mangiferina. ....	77
Figura 30. Alquenos presentes en la molécula mangiferina. ....	78
Figura 31. Grupo carbonilo presente en la molécula mangiferina. ....	78
Figura 32. Alcanos presentes en la molécula mangiferina. ....	79
Figura 33. Éter presente en la molécula mangiferina. ....	79
Figura 34. Espectro IR de extracto de la DTP1. ....	80
Figura 35. Espectro IR de extracto de la DTP2. ....	81
Figura 36. Curva de calibración de extracto estándar de la DTP1.....	84
Figura 37. Curva de calibración de extracto estándar de la DTP2.....	86

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Clasificación taxonómica del mango. ....	21
Tabla 2. Componentes bioactivos en cáscara de mango. ....	23
Tabla 3. Composición fenólica en cáscara de mango Ataulfo. ....	33
Tabla 4. Tiempo de secado de cáscara de mango Ataulfo. ....	61
Tabla 5. Gradación de tamices para obtener distribución de tamaño de partícula de molienda de cáscara seca de mango Ataulfo. ....	62
Tabla 6. Tiempo de extracción para desgrasado ....	64
Tabla 7. Tiempo de extracción para eliminación de taninos. ....	66
Tabla 8. Tiempo de extracción de extracto de cáscaras secas de mango Ataulfo. ...	67
Tabla 9. Comparación de tiempo del proceso de extracción. ....	68
Tabla 10. Valores de absorbancia de extracto estándar para la DTP1. ....	70
Tabla 11. Valores de absorbancia de extracto estándar para la DTP2. ....	70
Tabla 12. Grupos funcionales de extracto estándar de la DTP1. ....	75
Tabla 13. Grupos funcionales de extracto estándar de la DTP2. ....	76
Tabla 14. Grupos funcionales de extracto de la DTP1. ....	80
Tabla 15. Grupos funcionales de extracto de la DTP2. ....	81
Tabla 16. Rendimiento de proceso de extracción de la DTP1. ....	83
Tabla 17. Rendimiento de proceso de extracción con tamaño de partícula de 2.0 mm. ....	83
Tabla 18. Curva de calibración de extracto estándar de la DTP1. ....	84
Tabla 19. Ecuación de concentración de extracto estándar de la DTP1. ....	85
Tabla 20. Cuantificación de extracto de cáscaras secas de mango Ataulfo de la DTP1 ....	85
Tabla 21. Curva de calibración de extracto estándar de la DTP2. ....	86
Tabla 22. Ecuación de concentración de extracto estándar de la DTP2. ....	87
Tabla 23. Cuantificación de extracto de cáscaras secas de mango Ataulfo de la DTP2. ....	87

## RESUMEN

En el presente trabajo se llevó a cabo la extracción de mangiferina de la cáscara de mango Ataulfo. La mangiferina, es un polifenol clasificado como una xantona, tiene presencia en todas las partes del árbol y fruto del mango, ha surgido un interés a partir de su uso como suplemento nutricional y fitomedicinal, en el área de salud se ha corroborado su efectividad para aminorar daños ocasionados por enfermedades crónico-degenerativas: cáncer, diabetes, problemas cardiovasculares u obesidad.

La extracción se llevó a cabo mediante el proceso de extracción sólido-líquido utilizando el equipo Soxhlet. Para la extracción y purificación de la mangiferina se siguió la metodología desarrollada por Forero & Pulido (2016) quienes extrajeron la misma molécula, pero de la corteza del árbol de mango. En este trabajo se modificó la cantidad de reactivos y se cambió la matriz, empleando cáscara seca de mango Ataulfo, molida y clasificada en dos distribuciones de tamaño de partícula; (DTP), la DTP1 de: 4.76 mm - 3.35mm y la segunda DTP2: de 2.36 mm – 2.0 m.

La mangiferina se identificó en el extracto acuoso mediante espectro UV-Vis e infrarrojo. Los resultados muestran que la cantidad de extracto total de la DTP2 es 9.5 % mayor que la de la DTP1. En cuanto el rendimiento, sigue la misma premisa, es 2.035 % mayor con la DTP2 respecto de la DTP1.

**Palabras clave:** Mangiferina, mango Ataulfo, extracción Soxhlet.

## **CAPITULO I. INTRODUCCIÓN**



## 1. INTRODUCCIÓN

El problema en el manejo inadecuado de residuos agroindustriales de origen frutal y vegetal (cáscara, huesos, bagazos, frutas y vegetales dañados o con problemas de madurez y calidad) es la alteración a medios abióticos y bióticos (Siller et al., 2013; Vargas & Pérez, 2018). Los residuos agroindustriales que se vierten en rellenos sanitarios sin un proceso de tratamiento para aminorar su impacto ambiental liberando dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), proliferación de roedores e insectos, en medios acuáticos estos residuos disminuyen el oxígeno y la emisión de biogás con olor desagradable que se da por la degradación anaerobia (Barragán et al., 2008). Debido a los problemas ambientales que representan estos residuos se han buscado alternativas para su aprovechamiento, las tres principales tecnologías para su reutilización son: 1) Valorización biológica y química, 2) Obtención de combustibles y 3) Valorización térmica. El primer grupo es el que mayor importancia a denotado por la presencia de compuestos bioactivos; polifenoles, carotenoides y vitaminas, algunos con demostrada actividad antioxidante (Yepes et al., 2008). Estos compuestos tienen valor agregado en el mercado, pues ejercen efectos fisiológicos benéficos para la salud humana con respaldo en evidencias epidemiológicas que demuestra su efectividad en la prevención de enfermedades cardiovasculares o crónicas como; cáncer y diabetes (Ajila et al., 2010; Berardini et al., 2005; Siller et al., 2013).

En el procesamiento agroindustrial del mango solo se aprovecha la pulpa, desechando la cáscara y semilla, que corresponden a un 35 % a 60 % del peso del fruto (López-Cobo et al., 2017; Rubiano-Charry et al., 2019; Siller et al., 2013). El interés que ha surgido por los desechos del fruto se debe a la presencia de compuestos bioactivos, que tienen mayor presencia en la cáscara y semilla del mango, respecto a la pulpa del fruto (Sumaya et al., 2012); por lo tanto estos componentes pueden llegar a ser ingredientes de alto valor funcional/ nutricional para

la farmacéutica, cosmética y alimentaria, en esta última se puede incorporar en el producto como fuente de fibra, siendo el aprovechamiento integral del producto.

Del mango destaca la presencia de la molécula mangiferina, un polifenol clasificado como xantona con amplio uso fitomedicinal, nutricional y cosmético, derivado de la actividad antioxidante que le ha permitido actuar como agente antiinflamatorio, antibacterial, analgésico y quimiopreventivo. Con dichas características y propiedades se ha desarrollado un compuesto comercial de origen cubano; *Vimang*<sup>®</sup> con el 70% de contenido de mangiferina, presentando las mismas acciones de la molécula (Vintimilla, 2013).

A pesar del beneficio de los compuestos bioactivos la mayoría de las industrias no tienen interés en tratar los residuos agroindustriales, debido al alto costo de su reutilización (Vintimilla, 2013). La manera más factible para extraer los compuestos bioactivos es mediante extracción con equipo Soxhlet, sin embargo, este es un proceso lento que tiene repercusiones negativas al ambiente; otras alternativas, es el uso de fluidos supercríticos, extracción asistida por microondas (MUA) o extracción asistida por ultrasonido (UA), que corresponden a una tecnología verde y generan mayores rendimientos (Wen et al., 2018), pero requieren de un equipo más costoso.

Con el antecedente de la problemática que ocasionan los residuos agroindustriales al ambiente y los beneficios que proporcionan para la salud los compuestos bioactivos, en este trabajo se llevó a cabo con la metodología de Forero & Pulido (2016), pero se modificó la materia prima, cantidad de reactivos y se estableció el tiempo del proceso de extracción sólido-líquido con equipo Soxhlet. De igual manera se experimentó con dos distribuciones de tamaño de partícula: 3.35 mm y 2.0 mm. Esto con el objetivo de valorar el rendimiento del proceso de extracción sólido-líquido. De esta manera se desarrolló el siguiente trabajo experimental para llevar a cabo el objetivo planteado. Este trabajo escrito consta de seis capítulos.

El primer capítulo corresponde a la introducción, que aborda un panorama general del trabajo. El segundo capítulo informa sobre la hipótesis, objetivo general y

objetivos específicos. El tercer capítulo es el marco teórico que inicia con la descripción botánica del mango, posteriormente incluye información sobre el origen y características sensoriales del mango Ataulfo, y así como de la cáscara de esta variedad. Al ser la mangiferina un polifenol, en la cuarta parte del capítulo tres se describen a los polifenoles; composición química, clasificación y propiedades biológicas y usos en la medicina. Posteriormente se incluye información sobre la mangiferina haciendo énfasis sobre su presencia en la cáscara del mango Ataulfo. Para la última parte del capítulo se describe la extracción sólido-líquido con equipo Soxhlet, las ventajas y desventajas sobre otras técnicas de extracción. Y por último se resalta la importancia del tamaño de partícula en los procesos de extracción sólido-líquido.

El capítulo cuatro implica la metodología que se desarrolló, inicia con la obtención de la materia prima y el proceso para su acondicionamiento para el proceso de extracción que incluye: la preservación de las cáscaras de mango Ataulfo y análisis granulométrico. Posteriormente se describe la metodología de extracción, la purificación, caracterización y cuantificación del extracto, siendo necesario emplear dos técnicas espectroscópicas: infrarrojo y UV-Vis. Los resultados que se obtuvieron de ambas técnicas dieron paso al capítulo cinco donde se analizaron los resultados que también se incluyó al proceso de acondicionamiento del sólido. Para el capítulo seis se disuadieron los resultados obtenidos en función de los objetivos planteados e hipótesis.

## **CAPITULO II. OBJETIVOS E HIPÓTESIS**

## 2.1 OBJETIVO GENERAL

- Valorar el rendimiento del proceso de obtención del extracto de mangiferina por el método Soxhlet para dos tamaños de partícula.

## 2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Identificar la mangiferina en la cáscara de mango Ataulfo.
- Desarrollar un proceso de preservación de las cáscaras de mango Ataulfo.
- Efectuar un proceso de molienda; para acondicionar las cáscaras de mango Ataulfo, para el proceso de extracción Soxhlet.
- Establecer el tiempo de proceso de extracción vía Soxhlet, de la metodología prescrita por Forero y Pulido (2016), usando cáscara de mango Ataulfo.
- Valorar el rendimiento del proceso de obtención del extracto de mangiferina por el método Soxhlet para dos tamaños de partícula.
- Estimar la cantidad de extracto de Mangiferina empleando la técnica analítica de espectrofotometría UV-VIS.
- Cuantificar la cantidad del extracto de mangiferina para dos tamaños de partícula; 2.0 mm y 3.35 mm.

## 2.3 HIPÓTESIS

La extracción de mangiferina de la cáscara de mango Ataulfo es un proceso que se relaciona con el tamaño de la partícula para favorecer el rendimiento de extracción, por lo tanto, de la cantidad de mangiferina que se obtiene en el extracto de una de partícula 2.0 mm es mayor que la que se obtiene en una partícula 3.35 mm, debido a que entre más pequeña es la partícula el solvente penetra a mayor profundidad.

## **CAPITULO III. MARCO TEÓRICO**

### 3.1 MANGO

El mango (*Mangifera indica* L.) es una de las frutas tropicales más importantes del mundo. México ocupa el sexto lugar en producción de mango a nivel mundial y el quinto lugar por volumen de exportación. La mayor parte de la superficie cultivada se ubica en los estados de Veracruz, Michoacán, Guerrero, Oaxaca, Nayarit, Sinaloa y Chiapas (K. Y. Castro, 2014). Las principales variedades cultivadas en México son Ataulfo, Manila, Haden, Irwin, Kent, Keitt y Criollo (Y. I. Maldonado et al., 2016).

La fruta del mango se comercializa de dos maneras: la fruta madura y productos procesados derivados del mango, como es: puré, concentrado, jugo, néctar y conservas (Schieber et al., 2000).

Desde el punto de vista nutricional, el mango es una fuente importante de fibra y vitaminas. Tiene presencia de compuestos fenólicos, carotenos, con actividad antioxidante, además de presentar una importante concentración de minerales como potasio y magnesio, los cuales intervienen en la transmisión nerviosa y muscular. En su composición destaca la presencia de una sustancia denominada mangiferina, (Sumaya et al., 2012), que tiene un amplio rango de uso farmacológico, pudiendo usarse para tratar enfermedades respiratorias y diabetes, a vez posee; actividad antibacteriana, antiviral, analgésica, antiinflamatoria, propiedades diuréticas y cardiotónicas (Franco & Benavides, 2018).

#### 3.1.1 DESCRIPCIÓN BOTÁNICA DEL MANGO

El árbol de mango se constituye por un tronco mediano a grande, de 10 a más de 20 m de altura, con una copa simétrica y redondeada. Las hojas son lanceoladas de 15 a 40 cm de largo y de 2 a 10 cm de ancho, con un intenso color rojo al inicio de su crecimiento en algunas variedades que pasa a verde y luego a verde oscuro en su madurez (Gamboa & Mora, 2010). Las flores (amarillentas o rojizas) nacen en

inflorescencias, que aparecen en las terminales de las ramas en densas panículas de flores (Tharanathan et al., 2006). El fruto es una drupa, de tamaño variable; consiste en una cáscara externa o también llamado exocarpo, una drupa carnosa comestible o mesocarpio y el endocarpio el cual cumple la función de envolver a la semilla, color del fruto va de amarillo hasta rojo o morado, pasando por distintos grados de coloración dependiendo de la variedad. La fruta tarda en madurar de 100 a 120 días, en términos generales, de floración a cosecha (Banchón & Palma, 2018).

### 3.1.2 CLASIFICACIÓN TAXONÓMICA DEL MANGO

De acuerdo con la clasificación taxonómica el mango se ubica de la siguiente manera:

Tabla 1. Clasificación taxonómica del mango.

Clase	Dicotiledóneas
Subclase	Rosidae
Orden	Sapindales
Suborden	Anacardiineae
Familia	Anacardiaceae
Género	Mangifera
Especie	Indica

(Gamboa & Mora, 2010).

### 3.2 MANGO ATAULFO

El mango Ataulfo tiene denominación de origen en el sureste mexicano, fue descubierto en 1948 en el predio de Ataulfo Morales, en Tapachula, Chiapas. En 1958 el Ingeniero Agrónomo Héctor Cano Flores inicia los primeros estudios sobre



los árboles de mango, este hecho coincide con un programa para mejorar la cafecultura en esa región, que tenía por objetivo sustituir el café por árboles frutales. Como parte del proyecto el ingeniero Cano propago un clon del árbol de mango denominado IMC-M2 Ataulfo. El árbol sería conocido sólo como “Ataulfo”, nombre con el que el ingeniero Cano bautizó a esta variedad de mango (Infante et al., 2011).

La variedad mexicana de mango Ataulfo destaca por sus propiedades organolépticas, resistencia a la manipulación, contenido de fibra, azúcar y en general, un mayor precio de venta con respecto al resto de las otras variedades. Las características sensoriales la variedad Ataulfo son; la pulpa es amarilla de textura cremosa y firme, piel gruesa, su peso promedio varía de 0.200 kg a 0.370 kg, presenta un aroma tan peculiar e intenso y su sabor es exquisito incluso cuando ya ha superado su punto de madurez (Noratto et al., 2010; Siller et al., 2013). Maldonado (2016) evaluó las propiedades químicas y antioxidantes de cultivares de mango mexicanos, demostrando que la variedad de mango Ataulfo tiene el mayor contenido de polifenoles y flavonoides, respecto a otras variedades como Tommy Atkins, Haden y Francis, de igual manera presenta una mayor actividad atrapadora de radicales libres en extractos metanólicos.

### 3.3 CÁSCARA DEL MANGO

El peso promedio de los frutos del cultivar Ataulfo es de 200 g a 300 g (Infante et al., 2011). La cáscara del mango se compone aproximadamente del 7-24% del peso total de la fruta (Lizárraga & Hernández, 2018), se reporta que contiene mayor cantidad de metabolitos secundarios respecto a la pulpa de la fruta (da Silva et al., 2019; Oliveira et al., 2016; Pierson et al., 2014; Vithana et al., 2018, 2019).

La cáscara de mango aporta sustancias con alta actividad antioxidante debido a la presencia de compuestos bioactivos como los polifenoles, cuyo tipo y cantidad depende de la variedad de mango, el estado de madurez, las condiciones ambientales y el manejo pre y pos cosecha, para la variedad Ataulfo contiene 68.13 mg de polifenoles/g de peso seco (Lizárraga & Hernández, 2018).

### 3.3.1 COMPOSICIÓN QUÍMICA DE CÁSCARA DE MANGO

La cáscara del fruto tiene un elevado porcentaje de humedad (74-87%), carbohidratos amiláceos, escaso contenido de proteínas, fibra dietaría insoluble; ligninas y hemicelulosa, y fibra soluble como la pectina. De igual manera es posible encontrar de 5 a 13 tipos de taninos hidrolizables y compuestos fenólicos destacando la mangiferina, de estos últimos se tiene presencia de 12 flavonoides, derivados del ácido gálico y de benzofenona. Considerándolos una fuente de antioxidantes bioactivos, por el efecto de sinergia que se da con los minerales (zinc, cobre, hierro y magnesio) y los carotenoides (Gualán, 2013; Guzmán, 2006; Velderrain et al., 2015; Zavala, 2017).

Tabla 2. Componentes bioactivos en cáscara de mango.

<b>Clasificación</b>	<b>Componente bioactivo</b>
Polifenoles	Mangiferina
	Isomangiferina
	Homomangiferina
	Quercetina
	Antocianinas
	Kaempferol
Ácidos fenólicos	Ácido gálico
	Ácido elágico
Minerales antioxidantes	Potasio
	Cobre
	Zinc
	Manganeso

	Hierro
	Selenio
Flavonoides	
Fibra	

(Rocha & Schieber, 2010).

### 3.4 POLIFENOLES

Los compuestos fenólicos son el grupo más extenso de sustancias no energéticas presentes en los alimentos de origen vegetal (Quiñones et al., 2012), se originan a partir de metabolitos secundarios (H. Castro, 2013), proporcionan colores intensos a los vegetales; en especial, rojo, azul, violeta, amarillo y naranja, por ende intervienen en las características organolépticas de frutas y vegetales (I. Martínez et al., 2014). Además otorgan protección ante amenazas ambientales a través de sus propiedades antimicrobianas (Lizárraga & Hernández, 2018) y participan en funciones fisiológicas vegetales así como defensa ante situaciones de estrés (Quiñones et al., 2012), algunos metabolitos secundarios absorben radiación UV, proveen soporte mecánico a la planta, actúan como agentes alelopáticos y atraen polinizadores o dispersores de frutos (K. Y. Castro, 2014).

#### 3.4.1 DESCRIPCIÓN QUÍMICA DE POLIFENOLES

El fenol se compone de un anillo aromático (fenil) unido a un grupo hidroxilo (OH) (Peñarrieta et al., 2014). Los polifenoles se caracterizan químicamente por tener anillos aromáticos con grados de hidroxilación variable; por lo que pueden ser desde moléculas simples, como los ácidos fenólicos, hasta compuestos altamente polimerizados, como los taninos. Se presentan principalmente en forma conjugada, con uno o más residuos de azúcar unidos a grupos hidroxilo, aunque también existen

enlaces directos de la unidad de azúcar a un átomo de carbono aromático (Bravo, 1998). Dependido de ello la solubilidad de los compuestos fenólicos, algunos son solubles en solventes orgánicos, los glucósidos o ácidos carboxílicos son solubles en disolventes polares; por ejemplo el agua, otros son grandes polímeros y por ende son insolubles (K. Y. Castro, 2014).

La presencia del grupo hidroxilo (OH) en la estructura de los polifenoles le confiere la capacidad de actuar como antioxidante, la cual va depender de dos factores: la presencia de más de un grupo hidroxilo y la separación del grupo carbonilo del anillo aromático incrementa la capacidad antioxidante (Dziedzic & Hudson, 1984), permitiendo que la molécula del polifenol actúe como donante de un átomo de hidrogeno, Hydrogen Atom Transfer (HAT), o como donante de un electrón, Singel Electron Transfer (SET) a un radical libre (u otras especies reactivas). De igual manera, la capacidad antioxidante les da a los polifenoles la habilidad para quelar metales que ocurre al reaccionar con ciertos metales de transición (Cu, Fe), catalizando el metal en su estado de transición y reduciéndolo (Trillo, 2015).

### 3.4.2 RUTA METABÓLICA DE POLIFENOLES

La biosíntesis de los polifenoles como producto del metabolismo secundario de las plantas tiene lugar a través de dos importantes rutas primarias: la ruta del ácido siquímico y la ruta de los poliacetatos. La ruta del ácido siquímico es dependiente de la luz, proporciona la síntesis de los aminoácidos aromáticos, ácidos cinámicos y sus derivados (fenoles sencillos, ácidos fenólicos, cumarinas, lignanos y derivados del fenilpropano). La ruta de los poliacetatos proporciona las quinonas y las xantonas, esta ruta comienza a partir de una molécula inicial de acetilCoA, y a través de una serie de condensaciones se originan los poliacetatos. Por reducción de los poliacetatos se forman los ácidos grasos, y por ciclación posterior se forman una gran

variedad de compuestos aromáticos, como las quinonas y otros metabolitos que se generan a través de rutas mixtas (Quiñones et al., 2012).

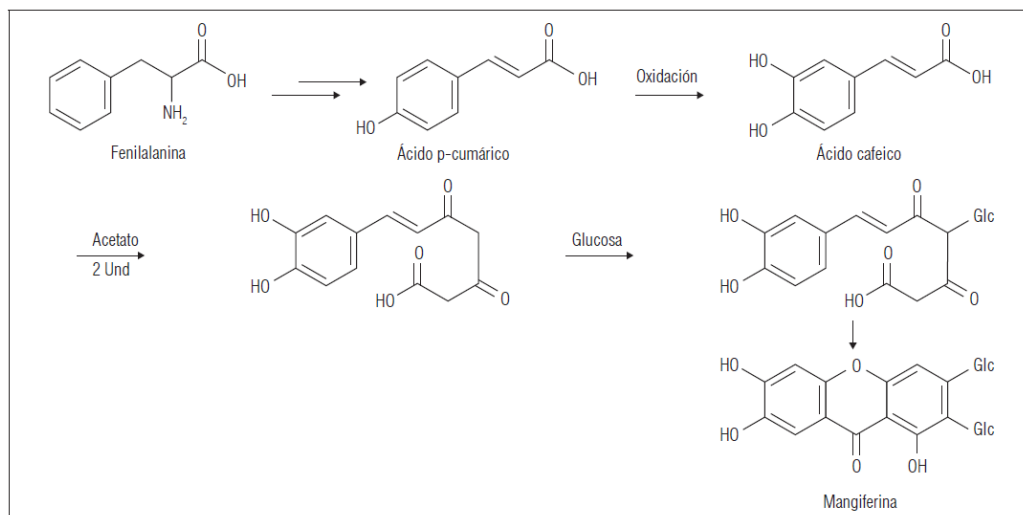


Figura 1. Ruta biosintética de mangiferina. Forero & Pulido (2016)

### 3.4.3 CLASIFICACIÓN DE POLIFENOLES

Existen varias clases y subclases de polifenoles que se pueden clasificar en función de su presencia en el reino vegetal, para tal caso es: ampliamente distribuidos (presentes en todas las plantas), ligeramente distribuidos (presentes en algunas plantas) y presentes como polímeros. Pero resulta más factible clasificar los compuestos fenólicos dependiendo de su estructura química; en función del número de anillos fenólicos que poseen y de los elementos estructurales que presentan estos anillos, que van desde fenoles simples, con seis átomos de carbono, hasta compuestos altamente polimerizados; como los taninos, con  $n$  átomos de carbono (H. Castro, 2013). Por tanto los compuestos fenólicos según Guzmán (2006) se clasifican en:

- a) Compuestos fenólicos simples;  $C_6C_1$ ,  $C_6C_2$  y  $C_6C_3$ .
- b) Flavonoides: chalconas, auronas, flavonoles, flaonas, antiocianinas, flavanonas y flavononoles.

- c) Isoflavonoides: isoflavonas, isoflavanonas, rotenoides, isoflavanos e isoflavenos.
- d) Quinonas: benzoquinona, naftoquinona, antraquinona y bis-antraquinona
- e)  $\alpha$ -Pironas: cumarinas, isocumarinas y aflatoxinas
- f)  $\gamma$ -Pironas: crómanos, cromonas y canabinoides
- g) Xantonas
- h) Lignoides
- i) Dépsidos

#### 3.4.4 PROPIEDADES BIOLÓGICAS DE POLIFENOLES

La actividad antioxidante que poseen los polifenoles se puede considerar como la responsable de retrasar los efectos del estrés oxidativo dentro del cuerpo humano, este proceso ocurre cuando la producción de especies reactivas de oxígenos (ROS);  $O_2^-$ ,  $H_2O_2$ ,  $OH^-$ , exceden los mecanismos de defensa antioxidante del cuerpo, pues las ROS disminuyen los niveles de compuestos como: vitamina C, E y catalasa, que son antioxidantes determinantes en la defensa celular. Lo que deriva en problemas cardiovasculares y desarrollo de cáncer. El daño más notorio del estrés oxidativo es el envejecimiento de la piel ya que los radicales libres toman electrones de las células de tejido colágeno de la piel (Govea et al., 2013; Kayanoki et al., 1996; Verma & Nair, 2001). El efecto antiradicalario de los polifenoles de la Mangiferina L. indica, es análogo al efecto de los antioxidantes sintéticos (O. Maldonado et al., 2017), retiran las moléculas de oxígeno reactivo en forma de aniones superóxidos, radicales hidroxilo, peróxidos lipídicos o hidroperóxidos (Guzmán, 2006), pero en los antioxidantes naturales los efectos que se generan a partir de la actividad antioxidante no pueden atribuirse a la presencia de una sola molécula del fruto, sino a la acción de los compuestos de carácter fenólico que ejercen efectos sinérgicos, formando un

fitocomplejo activo para defensa y protección celular, también es la suma de varios eventos químicos y biológicos que se llevan a cabo para aminorar la producción de radicales libres (Sotelo D. et al., 2010). La actividad antioxidante reduce la producción de radicales libres ya sea por la inhibición de las enzimas (oxidasas) que intervienen en el proceso oxidativo, donando electrones para neutralizar radicales libres o por la quelación de metales de transición implicados en la generación de los radicales libres (Collado, 2011; Siller et al., 2013).

De esta manera los compuestos polifenólicos del mango derivan sus propiedades de la actividad antioxidante, estos son: los efectos estrogénicos inhibidores de fosfolipasa, ciclooxigenasa, lipoxigenasa y xantina oxidasa que evitan la oxidación de fosfolípidos de las membranas celulares, lo que reduce el riesgo de enfermedades degenerativas, algunas cardiopatías y Alzheimer (Govea et al., 2013; Vintimilla, 2013). Otros beneficios de dicha actividad son; la protección al DNA al reducir el riesgo por radiaciones suprime la expresión de citoquinas inflamatorias, regulación del metabolismo de glucosa y lípidos, estimula el transporte de glucosa, estos dos últimos efectos evitan obesidad y diabetes, respectivamente. De manera indirecta intervienen las propiedades vasodilatadoras de los polifenoles, que favorecen el control del tono arterial; tonificando el corazón y evitando la formación de trombos, es un efecto potencial sinérgico de acción sobre el endotelio vascular (Porrás-Loaia & López-Malo, 2003; Quiñones et al., 2012; Soto, 2015). Probablemente el beneficio más relevante es la protección que otorga al ADN del daño oxidativo, inhibiendo la expresión de genes mutágenos y de la actividad de las enzimas encargadas de la activación de procarcinógenos, inactivando los carcinógenos y activando los sistemas enzimáticos responsables de la detoxificación de xenobióticos (Bravo, 1998). De esto deriva la actividad antiproliferativa, acción que toma ante el cáncer; interrumpiendo ciclos celulares mediante la inducción de apoptosis y evitando la propagación a través procesos antiangiogénicos, convirtiendo los polifenoles en un agente quimiopreventivo (Béliveau & Gingras, 2007; Govea et al., 2013; Oliveira et al.,

2016; Velderrain et al., 2015). Este efecto se ha comprobado en numerosos estudios in vivo que se han desarrollado para establecer los efectos anticarcinogénicos de los polifenoles, mediante aplicaciones típicas, o bien tras la administración de dietas enriquecidas con polifenoles y/o con alto contenido en estos compuestos, siendo necesarias altas concentraciones para poder observar este tipo de respuesta (Galati & O'Brien, 2004).

El beneficio de la actividad antioxidante de los polifenoles se refleja en el consumo de alimentos con elevado contenido de estos compuestos, donde se beneficia la microbiota, modulando el crecimiento de agentes patógenos en el intestino a través de efectos prebióticos selectivos y actividades antimicrobianas (Cardona et al., 2013). La fibra dietética soluble e insoluble que contiene la cáscara tiene un efecto similar al que se da con el consumo de avena; disminuye la concentración de colesterol y glucosa en la sangre, un incremento en la eliminación de ácidos biliares (García, 2003), incluyendo la protección contra los trastornos gastrointestinales, el procesamiento de nutrientes, el refuerzo de las uniones estrechas de las células epiteliales intestinales y el aumento de la secreción de moco y la modulación de la respuesta inmune intestinal a través del estímulo de citoquinas (Duggan et al., 2002). Como agentes antibacteriano promueven la inhibición enzimática de algunos microorganismos a través de la interacción sobre las adhesinas (proteínas de la pared celular) y la capacidad que tienen de unirse a polisacáridos (Cowan, 1999).

### 3.4.5 METODOLOGÍA DE EXTRACCIÓN DE POLIFENOLES

Nuevas técnicas aplicadas para la extracción de compuestos de una matriz vegetal tienen como objetivo el incremento de rendimiento, reducción de costos, tiempo y contaminación ambiental, algunas técnicas son: extracción asistida por ultrasonido (UAE), extracción asistida por microondas (MAE), extracción acoplada con alta presión hidrostática (HHP), extracción con fluido súper crítico (SFE) y extracción



con solvente acelerado (ASE). Estas técnicas permiten trabajar a valores elevados de presión, previendo su uso con compuestos termolábiles que pueden degradarse a un valor elevado de temperatura.

Las técnicas tradicionales de extracción se basan en la polaridad del solvente y compuesto a extraer; útiles para compuestos polares, confieren la ventaja económica de ser fácilmente adaptadas a escala industrial, algunas técnicas son: extracción con equipo Soxhlet, extracción por reflujo, digestión o maceración (Ruiz et al., 2014; L. Wang & Weller, 2006). Las técnicas de maceración o digestión, son procesos que requieren mucho tiempo, pueden ser desde 8 horas e incluso de tres a siete días, el cual es el caso de la maceración (Verde-Star et al., 2016). Carrillo et al., (2017) trabajo con ambas técnicas para la extracción de compuestos antioxidantes y determino que el proceso de extracción depende de la afinidad entre disolvente y el compuesto a extraer porque en el proceso de extracción el disolvente penetra en la célula vegetal y expulsa el aire contenido en el citoplasma. La penetración del disolvente en la célula induce un momento dipolar en las moléculas del compuesto a extraer y estos se adhieren a las moléculas del disolvente (Ruiz et al., 2014). Este proceso conlleva más tiempo porque no es optimizado con otras variables como presión o temperatura, pero se han realizado algunas investigaciones respecto a la extracción de compuestos a partir de una matriz vegetal donde se ha identificado la utilidad de ambos tipos de técnicas; convencionales y las nuevas técnicas implementadas.

Garcia-Mendoza et al., (2015) llevo a cabo un proceso de extracción de compuestos bioactivos a partir de cáscara de mango, el mayor rendimiento para la obtención de compuestos fenólicos es mediante la extracción convencional con etanol, respecto a un proceso de dos pasos; extracción con fluidos supercríticos y alcohol presurizado. Los fluidos supercríticos tienen afinidad con compuestos no polares o de baja polaridad; al no solubilizar compuestos fenólicos no se realiza la extracción, el

alcohol, es un fluido polar que solubiliza compuestos polares (Hamburger et al., 2004; Pierson et al., 2014).

Ruiz; (2014) hizo una comparación del proceso de extracción entre técnicas convencionales y la adaptación de técnicas para la optimización del proceso, determinó que la extracción asistida por ultrasonido (UAE) y extracción acoplada con alta presión hidrostática, son adecuadas para obtener compuestos fenólicos, justificándolo con la eficiencia en función de tiempo, cantidad de reactivos y de extracto obtenido, respecto a técnicas tradicionales de extracción mediante maceración y Soxhlet. La sonicación produce un efecto de vibración y aceleración en el sólido y partículas líquidas, la cavitación acústica produce la ruptura de las paredes celulares, incrementa la polaridad en el extracto e intensifica la transferencia de masa, mejorando el efecto de penetración del disolvente en el tejido vegetal y capilar (Luque-García & Luque De Castro, 2003). Estos beneficios que ofrece la técnica han dado pauta para que sea considerada una técnica factible para la extracción de compuestos fenólicos (da Silva et al., 2019; Lerma-Torres et al., 2019; Palafox-Carlos et al., 2012), aceites esenciales (Da Porto et al., 2013; Oliveira et al., 2016) o compuestos bioactivos (López-Cobo et al., 2017; Vinatoru, 2001).

La extracción a alta presión hidrostática (HHP) presenta incremento de temperatura y presión. En el primer caso la temperatura contribuye al desplazamiento de la constante de equilibrio de saturación y aumenta la eficiencia del proceso. Con respecto a la presión, esto aumenta la difusión a través de la pared celular permitiendo mayor afinidad al disolvente de extracción, además, un aumento en la velocidad de transferencia de masa por la irrupción de la pared celular (Oey et al., 2008; Ruiz et al., 2014; Vinatoru, 2001). A pesar de ser una técnica de extracción con poco renombre se le ha dado uso por la factibilidad que ofrece la combinación de presión y temperatura, resultado con una considerable disminución en el tiempo,

siendo un buen recurso para la extracción de metabolitos secundarios, especialmente antocianinas (Corrales et al., 2009), carotenoides (Sánchez-Moreno et al., 2004).

La extracción asistida por microondas (MAE) se da por un proceso de calentamiento homogéneo para el solvente y la matriz vegetal. Porque las microondas se transmiten como ondas, que penetran en los biomateriales e interactúan con moléculas polares, como el agua, y crean calor. En consecuencia, las microondas calientan e irrumpen en el material vegetal de manera simultáneamente, entonces el agua dentro de la matriz vegetal absorbe la energía de microondas, la disrupción celular es promovida por el sobrecalentamiento interno, lo que facilita la desorción de químicos de la matriz, mejorando la recuperación de nutraceuticos. Se tiene baja eficiencia en el proceso de extracción cuando los compuestos o los solventes no son polares o son volátiles (L. Wang & Weller, 2006). La ventaja de trabajar con microondas permite extraer compuestos termolábiles porque el proceso se puede llevar a cabo a baja temperatura (Liazid et al., 2011).

La extracción con fluidos súper críticos (SFE) y extracción acelerada con solventes (ASE), ambos procesos emplean elevada presión, la diferencia reside en el estado físico del fluido, para SFE el solvente se encuentra en estado crítico y por lo tanto presenta características de líquido y gas, mientras que para ASE el estado físico del fluido es por debajo de condiciones críticas y únicamente se encuentra presurizado. La ventaja de estos métodos de extracción son los líquidos supercríticos que permiten solubilizar compuestos no polares o de baja polaridad, ya que la disolución del fluido depende de su densidad que se ajusta modificando la presión también permite un alto coeficiente de difusión y transferencia favorable que se da por la baja tensión superficial y viscosidad, así mismo la presión mantiene el fluido en estado líquido, forzándolo hacia la matriz vegetal. En cuanto a la desventaja son los solventes que generalmente son orgánicos y por ende no son compatibles con compuestos polares, el CO<sub>2</sub> es el solvente más usado para la extracción con fluido súper crítico trabaja

con temperatura de 30.8°C lo que lo hace útil para compuestos termosensibles, no es tóxico ni inflamable. Para compuestos polares se han considerado fluidos supercríticos como Freón-22, óxido nitroso y hexano, sus aplicaciones se han limitado debido a las desfavorables condiciones de seguridad y medio ambientales. De manera particular la extracción acelerada con solventes ofrece la ventaja de emplear agua para extraer compuestos polares o poco solubles en solventes orgánicos. Para este caso se emplea agua caliente a presión, generalmente se llama extracción de agua subcrítica, teniendo en cuenta que las altas temperaturas pueden degradar. Otra posibilidad es agregar un co-solvente polar que incremente la solubilidad de compuestos polares, el metanol es una opción efectiva que es hasta el 20% miscible con el CO<sub>2</sub> y el etanol tiene baja toxicidad (Hamburger et al., 2004; Pierson et al., 2014).

### 3.4.6 COMPUESTOS FENÓLICOS PRESENTES EN LA CÁSCARA DEL MANGO ATAULFO

Los compuestos fenólicos están distribuidos en mayor porción en la cáscara del mango respecto a la pulpa, tomando en cuenta que incrementa la cantidad de dichos compuestos con la maduración de la fruta (Velderrain et al., 2015). La variedad Ataulfo contiene 68.13 mg de polifenoles/g de peso seco (Lizárraga & Hernández, 2018). Se han identificado un total de 12 flavonoides y xantonas en la piel del mango, posee flavonoles *O*- y *C*- glucósidos, xantonas, galotaninos y derivados de benzofenona (Berardini et al., 2004).

Tabla 3. Composición fenólica en cáscara de mango Ataulfo.

Compuesto	Valor (mg/kg)
Mangiferina	1690.4 ± 134.8
Isomangiferina	134.5 ± 1.9
Mangiferina galato	321.9 ± 24.4
Isomangiferina galato	82 ± 7.8

Quercetina 3- <i>O</i> -galactósido	651.2± 44.1
Quercetina 3- <i>O</i> -glucósido	557.7 ±39.7
Quercetina 3- <i>O</i> -xilósido	207.3 ±14.3
Quercetina 3- <i>O</i> -arabinopiranosido	101.5 ±10
Quercetina 3- <i>O</i> -arabinofuranósido	103.6 ±8
Quercetina 3- <i>O</i> -ramnósido	20.1 ±1.5
Kaempferol 3- <i>O</i> -glucósido	36± 2.2
Ramnetina 3- <i>O</i> -galactósido/glucósido	94.4 ±6.3
Quercetina	65.3 ±7.1
Total	4066 ± 151.1

(Berardini et al., 2005).

### 3.4.7 USOS DE POLIFENOLES EN LA MEDICINA

La medicina tradicional en India, oeste de África y en América Central es pionera en el uso del cultivar mango para aliviar molestias de saludas, se usan las hojas y flores secas del árbol, la corteza, el fruto, para el tratamiento de enfermedades digestivas o del aparato respiratorio, también para aliviar heridas en la piel. Un extracto acuoso de la semilla del mango (“Té”) es un remedio que se usa como laxante, tónico, afrodisiaco (Barreto et al., 2008). Otros usos de los extractos es para el tratamiento sífilis, herpes simple o infecciones cutáneas, aliviar úlceras, difteria y reumatismo, esto últimos es por el contenido de lectinas (Coutiño et al., 1996). Las flores pulverizadas se usan como repelente contra mosquitos (Parrotta, 1993).

El consumo de la fruta fresca es recomendable para disminuir los efectos del asma y disentería, la semilla del mango, en forma de polvo, se usa como antidiarreico y es efectivo para combatir la caspa.

Las propiedades nutritivas y terapéuticas del mango se han utilizado en algunos estados de México, las hojas del árbol se administran de manera oral como infusiones para aliviar padecimientos respiratorios; tos, asma y fortalecer los pulmones. En padecimientos del aparato digestivo es frecuente emplear la semilla como antiparasitario o la pulpa para combatir la diarrea por sus propiedades astringentes.

La resina del árbol es un remedio antisifilítico, en lesiones originadas por la picadura de animales pozoñosos, escoriaciones o llagas de la boca, se utiliza de manera externa o local en las áreas afectadas (K. Y. Castro, 2014).

La ingesta de alimentos con alto contenido de polifenoles reduce la incidencia de enfermedades cardiovasculares, neurodegenerativas y cáncer, efectos que derivan de la capacidad antioxidante, propia de los polifenoles, lo cual inhibe la generación de especies reactivas de oxígeno, ligadas con el origen del proceso de estrés oxidativo en el organismo. Este proceso es la causa del desarrollo de enfermedades crónico degenerativas y a raíz de la capacidad antioxidante de los compuestos fenólicos, se les ha dado uso en la medicina; las acciones vasodilatadoras y vasoprotectoras, así como sus acciones antitrombóticas donde los polifenoles tienen la capacidad para inhibir enzimas implicadas en la síntesis de eicosanoides y favorecen la fluidez sanguínea, antiapoptóticas que regulan la muerte de células en el músculo liso vascular, acción antiinflamatoria que en lesiones vasculares los polifenoles reducen la producción de las enzimas ciclooxigenasa y lipooxigenasa, por último la acción antilipémica; atenúa la oxidación de lípidos de baja densidad y por ende evita la obstrucción de arterias por la acumulación de lípidos en la pared arterial evitando la aparición de aterosclerosis. Se ha sumado el uso de compuestos fenólicos como agente quimopreventivos de cáncer; intervienen en el desarrollo o iniciación de procesos cancerígenos, interrumpiendo los ciclos celulares mediante la inducción de apoptosis y evitando la propagación a través de procesos antiangiogénicos (Barreto et al., 2008; Béliveau & Gingras, 2007; Govea et al., 2013; Noratto et al., 2010; Quiñones et al., 2012; Trillo, 2015). En la industria cosmética los polifenoles equilibran el pH de la piel, son hipoalergénicos y no irritan la dermis de la piel, por lo tanto se utilizan en productos para el tratamiento de la piel seca y la protección contra el envejecimiento (Luque-García & Luque De Castro, 2003).

### 3.5 MANGIFERINA

Los trabajos de extracción y caracterización del compuesto se remota a la década de los setenta. La mangiferina se obtuvo inicialmente de la madera y corteza del mango (*Mangifera indica* L.) y fue identificado como un C-glicósido estable del grupo de las xantonas (Forero & Pulido, 2016).

La mangiferina es un polifenol, llamada también una C-glucosilxantona; está ampliamente distribuida en plantas superiores de las familias Anacardiaceae, Gentianaceae y Guttiferae. Este compuesto se puede localizar en todas las partes del mango: raíces, tallos, corteza, flores y frutos (Acosta et al., 2009; O. Maldonado et al., 2017). Es un polifenol resistente a la hidrólisis química y enzimática (Forero & Pulido, 2016).

#### 3.5.1 DESCRIPCIÓN QUÍMICA DE LA MANGIFERINA

La mangiferina es un polifenol clasificada dentro de ellos como una xantona, con esqueleto C<sub>6</sub>C<sub>1</sub>C<sub>6</sub>, estos compuestos son reconocidos como pigmentos amarillos presentes en flores (H. Castro, 2013). La molécula es químicamente conocida como C2-β-Dglucopiranosil-1,3,6,7-tetrahidroxixantona (Sekar et al., 2019). Consiste en un polifenol de tres moléculas; dos anillos aromáticos unidos por una cetona heterocíclica (Peñarrieta et al., 2014).

Se trata de un sólido cristalino de coloración amarillenta. Su peso molecular es de 422.34 g/mol y posee un punto de fusión de 271°C. La estructura xantoidea de la mangiferina, el enlace C-glucosilo y el componente polihidroxilo es crucial en su capacidad de eliminación de radicales libres, lo que determina un potente efecto antioxidante (Banchón & Palma, 2018; Muruganandan et al., 2002; Sethiya et al., 2015). La molécula de la mangiferina cumple con tres características estructurales importantes para su función antioxidante : a) la presencia en el anillo B de la

estructura catecol u O doble- dihidroxi; b) la presencia de un enlace en la posición 2,3; c) La presencia de grupos hidroxilo en posición 3 y 5 (Letan, 1966).

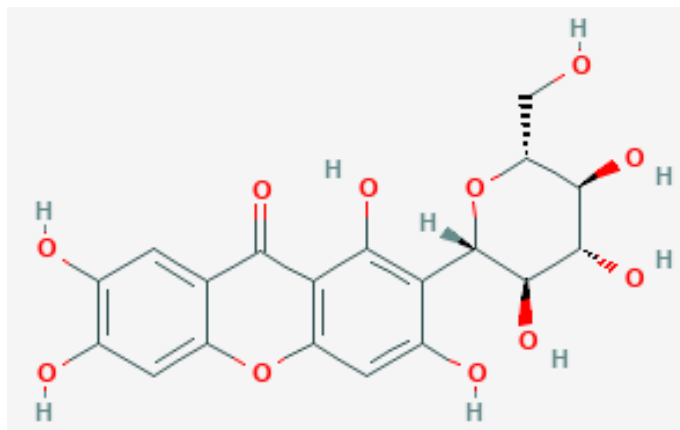


Figura 2. Estructura química de molécula mangiferina. (National Center for Biotechnology Information, 2021)

### 3.5.2 PRESENCIA DE MANGIFERINA EN CÁSCARA DE MANGO ATAULFO

La cáscara de mango de la variedad Ataulfo contiene 68.13 mg de polifenoles/g de peso seco (Lizárraga & Hernández, 2018), donde la mangiferina ha sido identificada como el compuesto de mayor presencia en la cáscara del fruto (Berardini et al., 2004; Meneses et al., 2013; Ruiz-Montañez et al., 2014; Schieber et al., 2003; Vithana et al., 2019). Contiene 1.2 más mangiferina respecto a la pulpa del mango (Ruiz et al., 2014; Vithana et al., 2019).

### 3.5.3 APLICACIONES MÉDICAS DE LA MANGIFERINA

La importancia de la mangiferina obedece a su amplio espectro de uso como suplemento nutricional, cosmético y fitomedicinal. Se han reportado aplicaciones como agente antiviral, antibacterial, analgésico, antiinflamatorio y un modulador inmunológico; destaca la actividad antioxidante, que probablemente es debida a su habilidad para capturar radicales libres. Por ende la mangiferina se ha clasificado



como un agente preventivo de enfermedades cardiovasculares, cáncer, diabetes y neurodegenerativas (Ajila et al., 2007).

La manera de actuar ante el cáncer es través de la capacidad antioxidante del compuesto que mejora la defensa celular e inhibe la generación de especies reactivas de oxígeno (ROS) y ralentiza el crecimiento del tumor, las células cancerígenas emplean las especies reactivas de oxígeno (ROS) para la proliferación del tumor (Schumacker, 2006). Barreto (2008), describe que la mangiferina actúa como un agente quimiopreventivo que limita la proliferación de células cancerígenas sin suprimir el crecimiento de células sanas, por lo tanto también se puede considerar un agente proapoptótico. Norratto et al. (2010) evaluó la capacidad de la mangiferina extraída de cinco variedades de mango, para inhibir el crecimiento de células cancerígenas en el colon. La mangiferina extraída del mango Ataulfo redujo en un 72% el crecimiento de células cancerígenas en colon y presenta un fenómeno proapoptótico, que no afecto el crecimiento de las células sanas. Rajendran et al.,(2008) evaluó la actividad quimiopreventiva de la mangiferina contra benzo(a)pireno inducido en cáncer de pulmón, el estudio lo llevo a cabo en ratones albinos Suizos. La capacidad antioxidante de la mangiferina modulo la peroxidación lipídica mitocondrial y enzimas del ciclo del ácido tricarboxílico; que son percusores para el crecimiento de células cancerígenas. Como complemento de la acción del compuesto esta la defensa ante lesiones al DNA, la mangiferina protege los linfocitos humanos de las lesiones en el DNA cuando está expuesto a la radiación gamma, esto plantea la posibilidad de su uso en los pacientes que experimentan la radioterapia o la gente ocupacionalmente expuesta a la radiación (Chandra & Venkatesha, 2006).

La propiedad del compuesto como modulador inmunológico, la demostró García (2006), obtuvo un extracto acuoso de M. Indica de la corteza del árbol de mango, con una composición cuantitativa del 40-60% de polifenoles, el compuesto mayoritario es mangiferina. Mediante estudios *in vivo* en ratones e *in vitro* evaluó las propiedades

inmunomoduladoras del compuesto sobre la funcionalidad de los macrófagos y en la respuesta alérgica. Donde se reduce la proliferación linfocitaria y por ende la cantidad de linfocitos capaces de contribuir a la respuesta alérgica, de igual manera demostró que inhibe la respuesta alérgica de la reacción cutánea a la histamina.

Otro atributo de la mangiferina es la biodisponibilidad que ofrece el compuesto para ser empleado en el estudio de modelos clínicos, puede ser detectada y cuantificada posterior a la administración en el paciente u objeto de estudio (Barreto et al., 2008). Tal atributo se comprobó llevando a cabo un estudio en ratas, administrando 120 mg/kg de una muestra de mangiferina con 95% de pureza, en ratas y después de 24 h se tomaron muestras de sangre del animal y se cuantificó 24-25 µg/mL del compuesto de mangiferina (H. Wang et al., 2006). Tal precedente lo cataloga como un agente para estudios farmacológicos cinéticos (Barreto et al., 2008).

Por otro lado la industria cosmética también ha sacado provecho de la actividad antioxidante de la mangiferina que ayuda a la protección de la piel, la prevención y reducción de los efectos causados por los rayos ultravioletas (Núñez et al., 2002), un reciente estudio realizado por Zavala (2017) determinó la correlación de la capacidad antioxidante de la cáscara de mango y el factor de protección solar, ambos parámetros mostraron una correlación positiva. Aunque en un inicio fue aislada la molécula como un colorante actualmente es usado como ingrediente principal en formulaciones para el cuidado de la piel (Declercq et al., 2009).

Con el antecedente de las propiedades de los extractos de mangiferina, se ha desarrollado un producto cubano de origen natural; Vimang®, es un extracto acuoso proveniente de la corteza del árbol de mango con formulación farmacéutica, tiene actividad antioxidante que ha sido atribuida a la presencia de algunos polifenoles; como son derivados del ácido benzoico, ésteres fenólicos, flavonoides y el principal compuesto de la formulación la molécula mangiferina. De la presencia de los compuestos polifenólicos se atribuye el efecto analgésico, antiinflamatorio y

antitumoral (Acosta et al., 2009; K. Y. Castro, 2014; García-Rivera et al., 2011; Guzmán, 2006; Infante et al., 2011; Núñez et al., 2002). El producto tiene ventajas ante antioxidantes sintéticos, estos derivan algunos problemas relativos a la posible absorción y acumulación de minerales en tejidos y órganos, mientras que los antioxidantes naturales se obtienen al consumir vegetales y frutas asociándose a la reducción del riesgo de enfermedades crónicas (Abdalla et al., 2007). Por ende el producto se emplea como un complemento nutricional antioxidante y su veracidad ha sido avado por diversos estudios con el antecedente de su acción antioxidante ( G. Martínez et al., 2000).

### 3.6 MÉTODO DE EXTRACCIÓN

El objetivo de la extracción es el aprovechamiento de los subproductos orgánicos para la obtención de compuestos naturales de alto valor añadido, reconocidos por sus características funcionales, antimicrobianas o antioxidantes (Carrillo et al., 2017). El método de extracción consiste en obtener los componentes de interés desde su separación de la matriz vegetal en la que se encuentran y la recuperación posterior a partir del medio en el que se hayan solubilizado. Una vez que se dispone de una fase líquida en la que se encuentran disueltos los componentes de interés, conviene realizar etapas físico-químicas para lograr la concentración de estos componentes, permitiendo producir extractos más puros y concentrados en los compuestos activos (Soto, 2015).

Durante la etapa de extracción se define la cantidad de principios activos que se obtendrá en el extracto, tomando en cuenta la influencia de factores como la agitación, el pH, el tiempo de extracción, el estado de división del material vegetal y

la naturaleza del disolvente. De igual manera interviene el tratamiento previo a la extracción, al que se le haya sometido el sólido (Acosta et al., 2009).

La extracción de compuestos fenólicos es llevada a cabo con técnicas de extracción convencionales con procesos sólido-líquido; un ejemplo es con equipo Soxhlet, o maceración. Estos procesos requieren mucho tiempo y relativamente consumen gran cantidad de solvente, pero se puede reproducir el experimento fácilmente. Se han sumado nuevas técnicas de extracción optimizan casi todas las variables implicadas en el proceso a su vez se minimiza el riesgo de contaminación ambiental, algunas técnicas son; extracción asistida por microondas (MAE), extracción asistida por ultrasonido (UAE) (Ruiz et al., 2014). Otra alternativa a nivel industrial son los equipos de extracción continua y discontinua que trabajan con fluidos supercríticos o presurizados, estos métodos son selectivos con algunos compuestos, influye la polaridad del extracto y solvente, la presión puede interferir en la recuperación de los compuestos o la temperatura puede degradar el compuesto (Garcia-Mendoza et al., 2015).

### 3.6.1 EXTRACCIÓN SOXHLET

La extracción se define como la separación de un componente en el seno de una mezcla sólida por la acción de un solvente, selectivamente. Se delimita como un proceso de extracción sólido-líquido, se denomina Soxhlet por el tipo de equipo que se emplea. Esta técnica tiene la ventaja de usar un amplio rango de solventes para la extracción de compuestos bioactivos de fuentes naturales (Ruiz et al., 2014).

La muestra sólida, finamente dividida, se coloca en el cartucho de extracción, como el que se ilustra en la Figura 4. En un balón de destilación se coloca el solvente, el proceso de extracción inicia cuando el solvente alcanza su temperatura de ebullición. Los vapores pasan a través del tubo A, condensan en el refrigerante y caen sobre el cartucho de extracción. Cuando el solvente llena el compartimiento donde se

encuentra la muestra, este cae al balón por el tubo B, nuevamente junto con las sustancias extraídas (por efecto sifón). Este proceso se repite automáticamente, el solvente recircula por el equipo repetidamente, extrayendo en cada recorrido una fracción del componente de interés que se acumula en el balón de destilación del solvente (UNLP, 2020). Conforme se repite este ciclo el solvente cambia de color, lo que manifiesta la extracción de los compuestos. Dependiendo del alimento y su composición, será el tiempo requerido para la extracción (Campos, 2016).

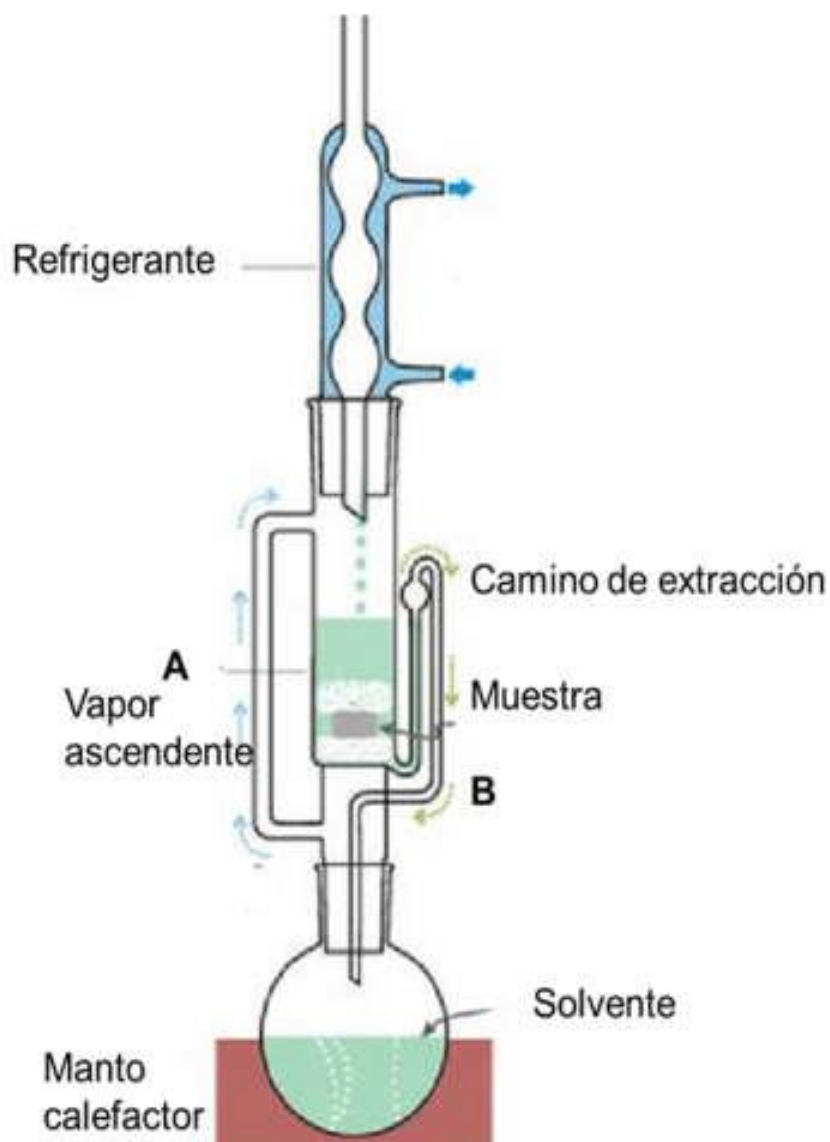


Figura 3. Extractor Soxhlet. (UNLP, 2020)



Figura 4. Cartucho de extracción. (Nuñez, 2008)

### 3.7 TAMAÑO DE PARTÍCULA

La reducción de tamaño o desintegración de trozos, gránulos de partículas, no consiste solamente en obtener pedazos pequeños a partir de los grandes, sino que también para obtener un producto que posea determinado tamaño granular comprendido entre límites pre-establecidos, según el proceso u operación que lo requiera. El acondicionamiento de la materia prima es un factor de rendimiento en el proceso de extracción que permite que el número de moléculas expuestas a colisionar

con otras sea proporcional a la superficie de contacto entre el soluto y el solvente (Treybal, 1990).

Las partículas pequeñas crean mayor superficie de contacto entre el sólido y el líquido, disminuyen el tamaño de los poros; la distancia que el solvente tiene que penetrar en la partícula para llegar al soluto. Si el tamaño de la partícula es demasiado pequeño se forman conglomerados que impiden la circulación del solvente entre las partículas, dificultando su separación del solvente y posiblemente las partículas del sólido puedan ser arrastradas con el solvente. Causando problemas de contaminación en el soluto.

## **CAPITULO IV. METODOLOGÍA**



#### 4. METODOLOGÍA DE OBTENCIÓN DE EXTRACTO DE MANGIFERINA

Con anterioridad se han realizado procesos de extracción de biocompuestos de mango, en algunos se alude que la variedad de mango Ataulfo contiene mayor porcentaje de componentes fenólicos (Manthey & Penelope, 2009; Palafox-Carlos et al., 2012). Por lo tanto, para la extracción de mangiferina se eligió la variedad de mango Ataulfo.

De igual manera con el apoyo de trabajos experimentales anteriores, se optó por la cáscara de mango para la extracción, siendo una fuente rica en polifenoles y puede llegar a tener una mayor cantidad de componentes que la pulpa (Ashoush & Gadallah, 2011; Ruiz et al., 2014; Vithana et al., 2019).

Otro aspecto que se tomó en cuenta fue la coloración de la cáscara, seleccionando las que tuvieran 80-100% de coloración de amarilla, denotando una fruta madura; y donde se ha encontrado mayor concentración de mangiferina (Vithana et al., 2018).

##### 4.1 OBTENCIÓN DE MATERIA PRIMA

El aprovechamiento de los residuos de frutas: cáscaras y semillas, interviene en un proceso de manejo de residuos de composición orgánica. De donde es posible obtener compuestos bioactivos que en función de su composición química son usados por la industria farmacológica, alimenticia o cosmética.

Por lo cual existen tres grupos de tecnologías para la recuperación de residuos agroindustriales:

- 1) La valorización biológica y química.
- 2) La obtención de combustibles (derivados de desechos).
- 3) La valorización térmica.

Para esta metodología el enfoque es en el primer grupo, permite obtener principalmente sólidos comercializables como: pectinas, enzimas, aceites esenciales, fibra dietaria, flavonoides y carotenoides, todo ello a partir de residuos orgánicos (Vargas & Pérez, 2018).

Relativo a la información anterior, las cáscaras de mango fueron obtenidas como desechos de puestos de fruta que se encuentran ubicados en Toluca, Estado de México.

#### 4.2 TRATAMIENTO Y PROCESAMIENTO DE MATERIA PRIMA

En procesos de extracción sólido-líquido, el éxito del proceso depende del tratamiento previo al que se haya sometido el sólido (Acosta et al., 2009; Vintimilla, 2013), el tamaño de la partícula es una de las variables que influyen en el rendimiento de la extracción, por lo tanto es necesario reducir el tamaño de las cáscaras secas de mango a manera de obtener partículas más pequeñas. En la molienda se aplica una fuerza mecánica que desarticula la materia prima en partículas más pequeñas, esta operación unitaria se lleva a cabo mediante un molino.

También se ha de considerar que para el aprovechamiento integral del residuo de mango es necesario conservar las propiedades organolépticas, secar o deshidratar las muestras con el fin de extraer por medios físicos el agua contenida hasta que su nivel sea adecuado para la conservación de la cáscara (González, 2013). Es importante que la muestra sea previamente secada, para evitar que el agua se combine con el disolvente y altere la composición del extracto (Campos, 2016).

Existen diversas alternativas de secados: solar controlado, por aire caliente, por aspersión o deshidratación por ósmosis (González, 2013). El secado mediante aire caliente es una técnica para preservación de sólidos vegetales o frutales, tiene la

ventaja de ser de bajo costo, permite una fácil manipulación del sólido y evita la proliferación de microorganismos que puedan degradar al “sólido” (Sánchez-Moreno et al., 2004). El aire caliente evapora el agua lo cual induce a cambios químicos, físicos y biológicos (Lewicki, 2006), e incluso degradar ciertos polifenoles termolábiles (Chantaro et al., 2008) contenidos en el sólido vegetal o frutal, ya que pueden no tolerar altas temperaturas, Sánchez-Moreno (2004) determinó que el secado con aire caliente es adecuado para preservar las cáscaras de mango, esto respecto a un proceso de liofilización. El proceso con aire caliente no afecta la concentración de polifenoles en la cáscara del mango. De manera específica identifico que la molécula mangiferina, independientemente del proceso de secado; secado con aire caliente o liofilización, es posible encontrarla en la cáscara o pulpa del mango.

Se ha de considerar que los cuerpos vegetales presentan una estructura celular externa, los productos a extraer generalmente se encuentran dentro, pero con el proceso de secado ocurre la ruptura de las paredes celulares y la liberación del soluto mediante la acción del solvente (Treybal, 1990).

Para las cáscaras de mango Ataulfo no se les dio tratamiento previo de limpieza. Se acomodaron en una charola de aluminio y se secaron en la estufa a 60 °C, a diferentes tiempos 24, 72 y 96 horas.

Las figuras 5 y 6 muestran las cáscaras de mango previo al proceso de secado y la figuras 7 y 8 corresponden a las cáscaras de mango secas.



Figura 5. Cáscaras de mango Ataulfo.



Figura 6. Charola de aluminio con cáscara de mango Ataulfo.



Figura 7. Cáscaras de mango Ataulfo secas.



Figura 8. Cáscaras de mango Ataulfo secas.

#### 4.2.1 PROCESAMIENTO Y CLASIFICACIÓN DE LA MATERIA PRIMA (MOLIENDA)

La reducción del tamaño de las cáscaras de mango se realizó con un molino de discos manual para granos. Se procedió al análisis granulométrico de la molienda, mediante el tamizado, clasificando el material sólido por tamaños.

El procedimiento mediante el cual se clasifican por tamaños las partículas sólidas se llama; “DISTRIBUCIÓN DE TAMAÑO DE PARTÍCULA” (DTP), el cual consiste en un análisis por tamizado, el cual es común basarse en la serie de tamices normales Tyler o la serie de tamices estándar de la USA. El tamiz consiste en una superficie con filamentos que se entrecruzan dejando huecos cuadrados, se identifica cada elemento en función de la abertura nominal del tamiz, conocida como tamaño de la malla. Este proceso se realiza con un conjunto de tamices acoplados verticalmente, con el tamiz más pequeño en el fondo y el más grande en la parte superior. La muestra se coloca en el tamiz superior y el conjunto se somete a sacudidas mecánicas durante un intervalo de tiempo. Las partículas retenidas por un tamiz han pasado a través del tamiz situado inmediatamente encima de él, por lo tanto para la nomenclatura que se asigna en este proceso se necesitan dos números; uno para el tamiz a través del cual pasa la fracción y otro para el tamiz sobre el que se queda retenido McCabe *et al.*,(2007).

#### 4.2.2 TAMAÑO DE PARTÍCULA

El tamaño de partícula es un factor que influye en la velocidad y rendimiento del proceso de extracción, la desintegración de la cáscara de mango en partículas más pequeñas genera una superficie de contacto, que permite la interacción entre el soluto-solvente, esto incrementa cuando hay mayor superficie de contacto y más corta la longitud de los poros. Un tamaño de partícula muy pequeño puede ocasionar un apelmazamiento en la mezcla e impedir que se dé el proceso (Treybal, 1990).



Para la clasificación de las partículas se empleó un equipo de tamizado de gradación de la tabla de tamices estándar de la USA, se utilizaron 8 tamices de prueba con las siguientes aperturas de malla; 4, 6, 8,10,14,16,18,20.

### 4.3 METODOLOGÍA DE EXTRACCIÓN

Los principios “activos” contenidos en un material vegetal pueden extraerse mediante diversas técnicas, o bien pueden ser dispuestos tal y como se encuentran en el material vegetal fresco una vez triturado o previo tratamiento de secado (Carrillo et al., 2017). Estos se caracterizan por su composición química variada y por consiguiente es necesario someterlo a procesos de extracción, separación y purificación, para evitar contaminación por parte de impurezas (K. Y. Castro, 2014). Para la planta; *Mangifera indica* L, el proceso de extracción con equipo Soxhlet ha arrojado buenos resultados que se reflejan en el análisis y cuantificación de metabolitos secundarios (Zavala, 2016).

La extracción mediante equipo Soxhlet, es un método estándar para la obtención de compuestos orgánicos presentes en variedades vegetales o fruta (Banchón & Palma, 2018). Pertenece a la extracción sólido-líquido, siendo el medio más común para recuperar compuestos fenólicos de materiales vegetales debido a la simplicidad de la técnica, la eficiencia y una amplia gama de posibles aplicaciones. Si bien es un proceso simple, la extracción química se rige por condiciones como el tiempo asignado para la extracción, la temperatura de extracción y la relación simple a disolvente, que afectan el rendimiento y el grado de recuperación. En las mismas condiciones, la naturaleza de los compuestos a recuperar es un factor importante a considerar ya que ayuda a seleccionar el disolvente más adecuado para la extracción (Dai & Mumper, 2010; Robbins, 2003). Un solo solvente no puede extraer todos los compuestos bioactivos del material sólido, con ello es común recurrir a mezclas de

solventes (Sun & Ho, 2005; Xu & Chang, 2007). Lim (2019) evaluó el rendimiento de extracción de dos solventes de diferente naturaleza polar; agua y etanol, para extraer compuestos bioactivos del mango, modificó las cantidades de los solventes y determinó que el mayor rendimiento de extracción se obtiene con una mezcla binaria que compuesta entre 50% a 75% de etanol. Las mezclas binarias se constituyen de un solvente polar y otro de menor naturaleza polar, se rigen por el principio; “lo similar disuelve lo similar”, por ende, los compuestos polares serán extraídos por el solvente polar y los compuestos restantes con menor polaridad se disolverán en el solvente de menor naturaleza polar que el anterior.

La metodología de extracción y purificación ha sido aplicada por Forero & Pulido (2016) en la corteza del árbol de mango, mostrando buenos resultados en la cuantificación de mangiferina. Para obtener el extracto de la cáscara del mango se modificó la cantidad de materia prima y de reactivos para la extracción, así como el establecimiento de tiempo del proceso.

### 4.3.1 MATERIALES Y REACTIVOS

#### Materiales

- Unidad extracción Soxhlet
- Matraz fondo redondo de 250 mL
- 10 g de muestra (cáscara de mango secada y pulverizada)

#### Reactivos

- 60 mL de éter de petróleo 40:60
- 55 mL de Me<sub>2</sub>CO
- 50 mL de EtOH/H<sub>2</sub>O (70:30 v/v)



### 4.3.2 PROCEDIMIENTO

1.- Desgrasado del material vegetal.

En el matraz se vertió 60 mL de éter de petróleo 40:60 y 10 g de molienda de la cáscara de mango.

2.- Eliminación de taninos.

Posteriormente se realizó otra extracción a la misma muestra sólida, con 55 mL de  $\text{Me}_2\text{CO}$  para eliminar taninos.

3.- Obtención de extracto.

Se realizó una última extracción, nuevamente en la misma muestra, con 50 mL de  $\text{EtOH}/\text{H}_2\text{O}$  (70:30 v/v), luego se concentra en un rotavapor y es almacenado en frasco ámbar, a temperatura ambiente y protegido de la luz.

La figura 9 muestra el equipo de extracción Soxhlet empleado para el proceso.



Figura 9. Equipo de extracción Soxhlet.

#### 4.4 PURIFICACIÓN DEL EXTRACTO DE CÁSCARAS SECAS DE MANGO ATAULFO

Los extractos acuosos constan de un soluto no volátil y un disolvente volátil, es preciso concentrar la solución llevando la evaporización de una parte del solvente. Generalmente, el líquido concentrado es el producto valioso.

El equipo ideal para este tipo de operación es el evaporador rotativo, que permiten eliminar de forma rápida, los disolventes utilizados en la purificación y aislamiento de compuestos orgánicos. De igual forma se previene la descomposición térmica de compuestos, por las elevadas temperaturas, lo que conduce a reacciones de degradación química y enzimática, o pérdidas por volatilización. La evaporación se realiza a presión reducida que permite evaporar el disolvente a temperatura muy inferior a su temperatura de ebullición a presión atmosférica. El matraz donde se introduce la disolución es sometido a rotación y calentamiento, al mismo tiempo. Esto permite la formación de una película de líquido muy fina y una gran transferencia de calor entre el baño y el matraz, consiguiéndose una evaporación muy rápida. En tiempos prolongados de operación puede ocurrir la descomposición térmica de compuestos fenólicos. (Larrauri et al., 1996; UNLP, 2020).

El equipo de evaporador rotativo constituye un sistema cerrado conectado a una bomba de vacío. Se compone esencialmente de un refrigerante que produce la condensación del disolvente que se recoge en un colector y un motor eléctrico que origina el giro de un tubo con un ajuste esmerilado al que se acopla un matraz redondo conteniendo la disolución (UNLP, 2020).

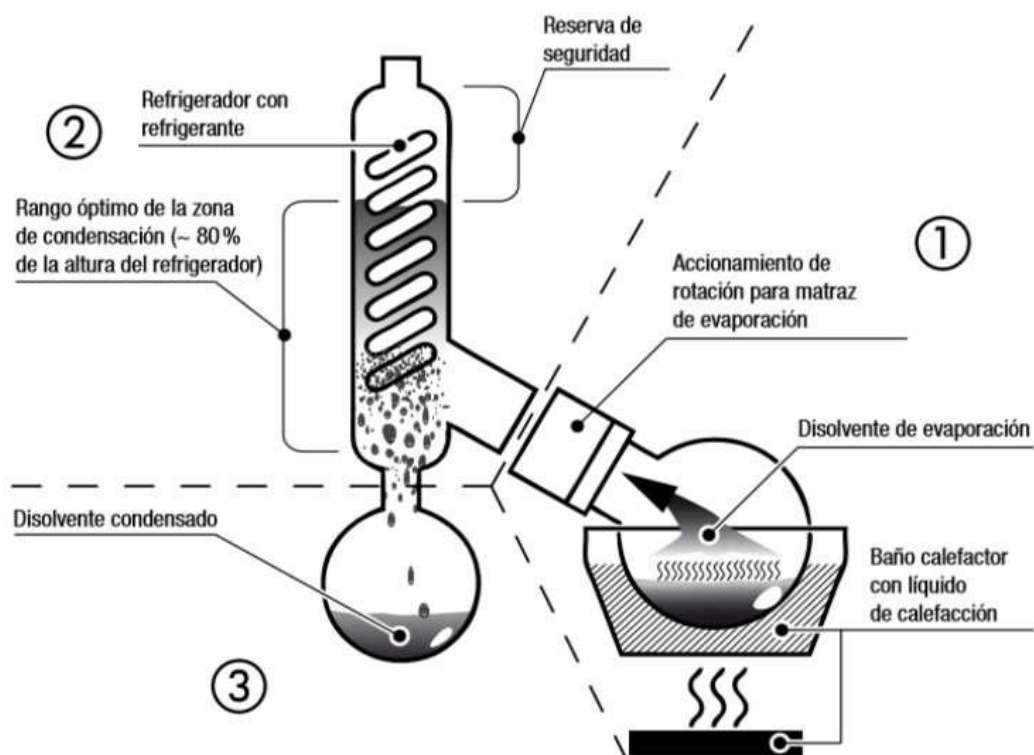


Figura 10. Partes que componen al evaporador rotativo.

Forero & Pulido (2016), determino que para obtener un patrón estándar de mangiferina, tomo una muestra del extracto y evaporo el disolvente. Para este caso se evaporaron todas las muestras de extracto, con la que se procedió a caracterizar fue de la muestra que se evaporó la mayor cantidad de solvente del extracto.

Las muestras del extracto de cáscara seca de mango Aaulfo se concentraron mediante la evaporación del solvente, con un rotavapor Buchi R-215 a 30 RPM, el baño de vapor opero a 65 °C.

Para la preparación del extracto estándar de las cáscaras secas de mango Aaulfo, se le realizaron 3 lavados con EtOH de 3 mL cada uno, se filtró el extracto y se evaporo la mayor cantidad de solvente posible. Se requirió de un rotavapor R-215, el equipo opero a 20 RPM con una presión de vacío, la temperatura del baño de vapor fue de 60 °C. El extracto estándar se almaceno en un frasco ámbar a -13°C durante 24 horas.

## 4.5 CARACTERIZACIÓN Y CUANTIFICACIÓN DEL EXTRACTO DE CÁSCARAS SECAS DE MANGO ATAULFO

Los ensayos ultravioletas se usan como técnicas rápidas de cuantificación de grupos de compuestos fenólicos, cada grupo se caracterizan por tener una o varias absorbancias máximas a distintas longitudes de onda dentro del espectro ultravioleta (I. Martínez et al., 2014). Este elemento respalda un análisis cualitativo, pues el espectro es propio de cada compuesto. La identificación de mangiferina en los estándares de extracción se realizó de dos maneras:

- Infrarrojo
- Espectrofotometría UV-Vis

La espectroscopia infrarroja (IR) es la absorción de un haz de luz infrarroja por parte de la molécula, cuando la dicha energía incidente sea igual a la necesaria para que se dé una transición vibracional en la molécula. Es decir, la molécula comienza a vibrar de una determinada manera gracias a la energía de la luz infrarroja (Ehu, 2006).

La luz infrarroja ocasiona en las moléculas dos tipos de movimientos:

- a) Tensión: Son cambios en la distancia interatómica a lo largo del enlace entre dos átomos.
- b) Flexión: Cambios en el ángulo que forman dos enlaces.

La región del infrarrojo suele considerarse como la zona comprendida entre longitudes de onda de  $13333-10\text{ cm}^{-1}$ , a su vez, la región esta subdivida en infrarrojo cercano, fundamental y lejano. La zona del infrarrojo fundamental comprendida entre  $4000-400\text{ cm}^{-1}$ , en esta región aparecen bandas de absorción debido a las vibraciones fundamentales de las moléculas, de  $4000-1600\text{ cm}^{-1}$  es la zona de donde se encuentran grupos funcionales, de  $1600-400\text{ cm}^{-1}$  es la zona de huellas; donde se comprueba la presencia de grupos funcionales. Esta región es la más importante, la radiación absorbida por una molécula provoca los movimientos de tensión y flexión. Estos

movimientos se asocian en un cambio en el momento dipolar de la molécula (Harris, 2001; Skoog et al., 2001).

Ambas técnicas analíticas, son útiles para la identificación de compuestos. Pero mediante espectrofotometría UV-Vis, es posible cuantificar el extracto. Recordando que se tomó como muestra estándar el extracto del cual se evaporó la mayor cantidad de solvente.

El procedimiento se llevó a cabo con un equipo de espectrofotometría, Thermo Scientific Genesys 10S UV-Vis. A los extractos estándar se realizó un test de barrido de longitud de onda en el intervalo de 200 nm-700 nm, y la cuantificación mediante una curva de calibración.

## **CAPITULO V. DISCUSIÓN Y RESULTADOS**

## 5.1 TIEMPO DE SECADO

Para la etapa de acondicionamiento de la materia prima, se evaluó el porcentaje de agua que se evapora con el aire caliente a tres diferentes tiempos; 24, 72 y 96 horas.

Tabla 4. Tiempo de secado de cáscara de mango Ataulfo.

Tiempo (horas)	Porcentaje de H <sub>2</sub> O eliminada (%)
24	21.80
72	61.16
96	60.91

El tiempo de secado con el que se trabajo fue de 72 horas, a pesar de la poca diferencia en el valor del porcentaje de agua evaporada respecto a 96 horas, pero a este tiempo las cáscaras de mango comenzaban a quemarse, ocasionando que se degraden los compuestos.

## 5.2 TAMAÑO DE PARTÍCULA

Para el análisis granulométrico se emplearon 8 tamices, pero solamente en dos fue donde se retuvo la mayor cantidad de partículas sólidas, como se ilustra en las Figuras 11 y 12. Por lo tanto, se obtuvieron dos distribuciones de tamaño de partícula (DTP). La distribución de tamaño de partícula 4/6, en la malla No.6, que corresponde a una medida de 3.35 mm y fue asignada como el tamaño de la partícula, le fue establecida la etiqueta DTP1. La segunda distribución de tamaño de partícula 8/10, en la malla No. 10 con un tamaño de 2.0 mm, que de igual manera se estableció como tamaño de la partícula que fue retenida por el tamiz, asignándole la etiqueta DTP2.

Tabla 5. Gradación de tamices para obtener distribución de tamaño de partícula de molienda de cáscara seca de mango Ataulfo.

Número Malla (U.S. STD. Sieve)	Abertura (mm)	Abertura (pulg)
4	4.76	0.187
6	3.35	0.132
8	2.36	0.0937
10	2.00	0.0787
18	1.00	0.0394

(SOILTEST, 2017)

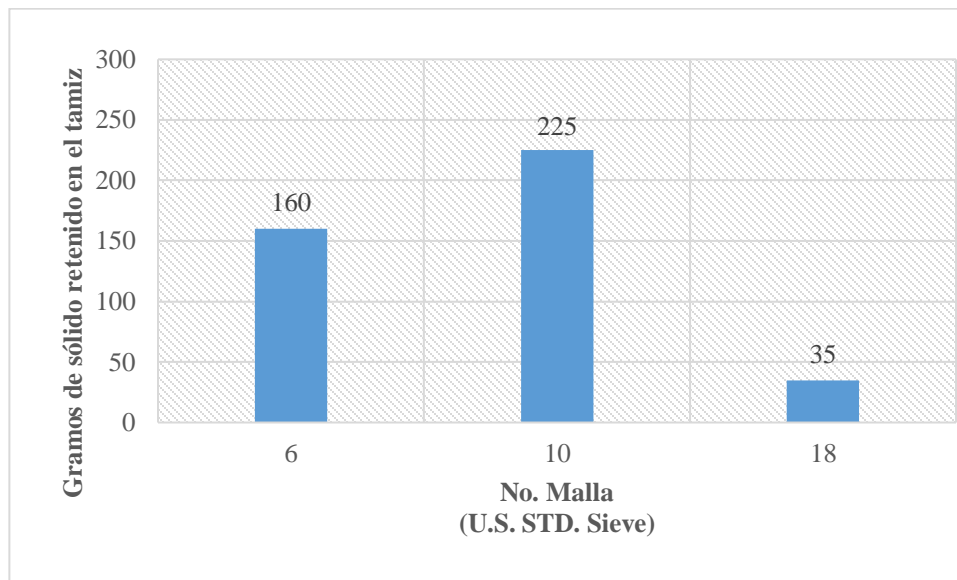


Figura 11. Gráfica de gramos retenidos en el tamiz de la molienda de cáscara seca de mango Ataulfo.



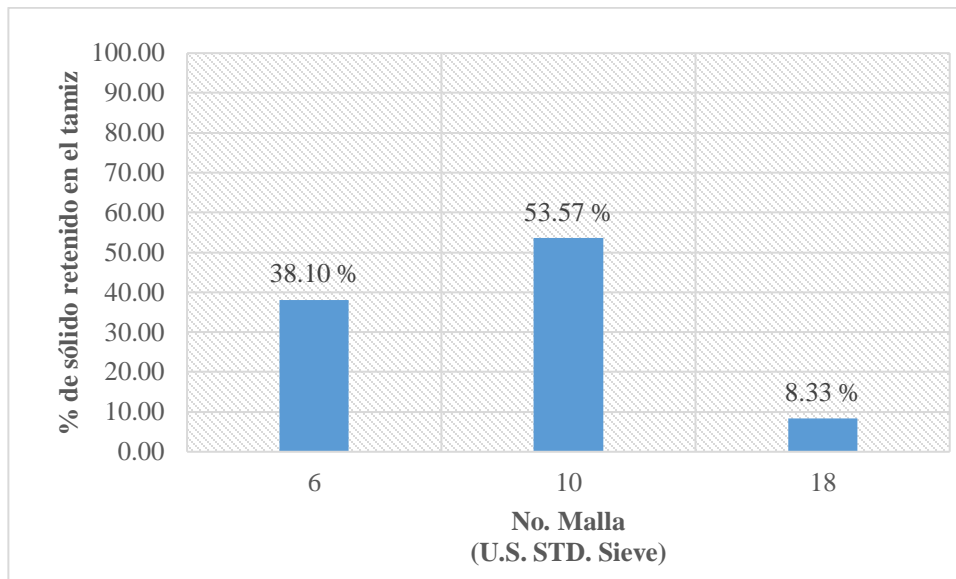


Figura 12. Gráfica de porcentaje retenido en el tamiz de la molienda de cáscara seca de mango Ataulfo.



Figura 13. Molienda de cáscaras de mango Ataulfo de la DTP1.



Figura 14. Molienda de cáscaras de mango Ataulfo de la DTP2.

### 5.3 EXTRACCIÓN SOXHLET

El proceso de extracción consta de tres etapas, en las primeras dos se eliminan los compuestos que puedan ser afines al extracto o interfieran en la extracción. Para la primera etapa fue el desgrasado del material vegetal, se realizó con éter de petróleo, es un solvente apolar que solubiliza compuestos no hidrosolubles. Para esta etapa el proceso tarda un tiempo promedio de 12 minutos, y el intervalo de tiempo entre cada sínfon es de 1:25 minutos, son 10 sínfones, la diferencia de tiempo de proceso de extracción en función del tamaño de partícula es mínimo.

Tabla 6. Tiempo de extracción para desgrasado.

Tiempo de extracción (minutos)	Tamaño de partícula (mm)	DTP1	DTP2
	Extracción		12:01
	Sifón	1:03	1:02

El solvente, éter de petróleo, es incoloro. A partir de primer sifón cambia a un tono amarillo muy sutil, conforme avanza el proceso el tono amarillo se intensifica. Esta coloración es propia de los compuestos fenólicos.



Figura 15. Coloración de solvente (éter de petróleo) en primer sifón.



Figura 16. Coloración de solvente (éter de petróleo) en último sifón.



Figura 17. Residuo de solvente de desgrasado de material vegetal.

La segunda etapa tiene la finalidad de eliminar taninos, se realizó con acetona. El solvente es incoloro y el cambio de coloración durante el proceso de extracción es más notorio, inicia con tono amarillo, cambia la coloración a un tono amarillo ocre y finaliza con un tono cercano al color café. Los cambios de color se muestran en las figuras 18 y 19.





Figura 18. Coloración de solvente (acetona) en primer sifón.



Figura 19. Coloración de solvente (acetona) en último sifón.

Esta etapa de extracción tarda en promedio 23 minutos y el intervalo entre cada sifón es de 2 minutos. Este proceso conlleva 10 sifones.

Tabla 7. Tiempo de extracción para eliminación de taninos.

Tiempo de extracción (minutos)	Tamaño de partícula (mm)	DTP1	DTP2
	Extracción		23:07
	Sifón	02:04	02:03

La etapa final, consiste en la extracción de mangiferina, es una mezcla binaria polar de etanol y agua (70:30 v/v). Entre ambos solventes existe una diferencia de polaridad, lo que provee una ventaja, el alcohol es capaz de solubilizar los componentes poco polares, mientras que el agua solubiliza los componentes polares.

Este proceso requiere más tiempo, pues la temperatura de ebullición de la mezcla sería la del alcohol y con poca influencia por parte del agua. El tiempo promedio del proceso es de 37 minutos, y para el intervalo de cada sífon es de 3:07 minutos.

Tabla 8. Tiempo de extracción de extracto de cáscaras secas de mango Ataulfo.

Tiempo de extracción (minutos)	Tamaño de partícula (mm)	DTP1	DTP2
	Extracción	37:02	34:59
	Sifón	03:07	03:05

La pauta para la evolución del proceso de nueva cuenta fue la coloración, inicio con un tono café claro y finalizó con un tono café oscuro. Al ya no notar cambios en la coloración y evitar degradación de compuestos, se realizaron 10 sifones.



Figura 20. Coloración de solvente (EtOH/H<sub>2</sub>O) en primer sífon.



Figura 21. Coloración de solvente (EtOH/H<sub>2</sub>O) en último sífon.

La Tabla 9 muestra las diferencias en los tiempos de cada etapa del proceso de extracción para cada distribución de tamaño de partícula. La diferencia fue mínima en las dos primeras etapas, ello se debe a que en primera instancia los solventes fueron selectivos con los compuestos a extraer; en tal caso son lípidos y taninos, respecto al desgrasado de material y eliminación de taninos. La tercera etapa la diferencia de tiempo fue más notable, ya que se trabajó con una mezcla de compuestos de naturaleza polar ligeramente diferente; durante el proceso se dio divergencia en la afinidad de los componentes del extracto en la mezcla del solvente. Aunado a ello un menor tamaño de partícula agiliza el paso del solvente por los poros de esta, pues al ser más reducidos el solvente requiere menos tiempo para penetrar en la partícula.

Tabla 9. Comparación de tiempo del proceso de extracción.

	Etapa	DTP1	DTP2
Tiempo (minutos)	Desgrasado de material	12:01	11:59
	Eliminación de taninos	23:07	22:09
	Obtención del extracto	37:02	34:59
Tiempo total (minutos)		72:10	68:27

Otro aspecto que difirió en los extractos de cada distribución de tamaño de partícula fue la coloración, se tomó como un indicador de la presencia de compuestos fenólicos; ya que estos se caracterizan por dar color a frutas y vegetales. En la figura 22, la coloración más tenue con la DTP1 anticipando una menor concentración de compuestos fenólicos en el extracto, ello contra el tono café más intenso del extracto de la DTP2.

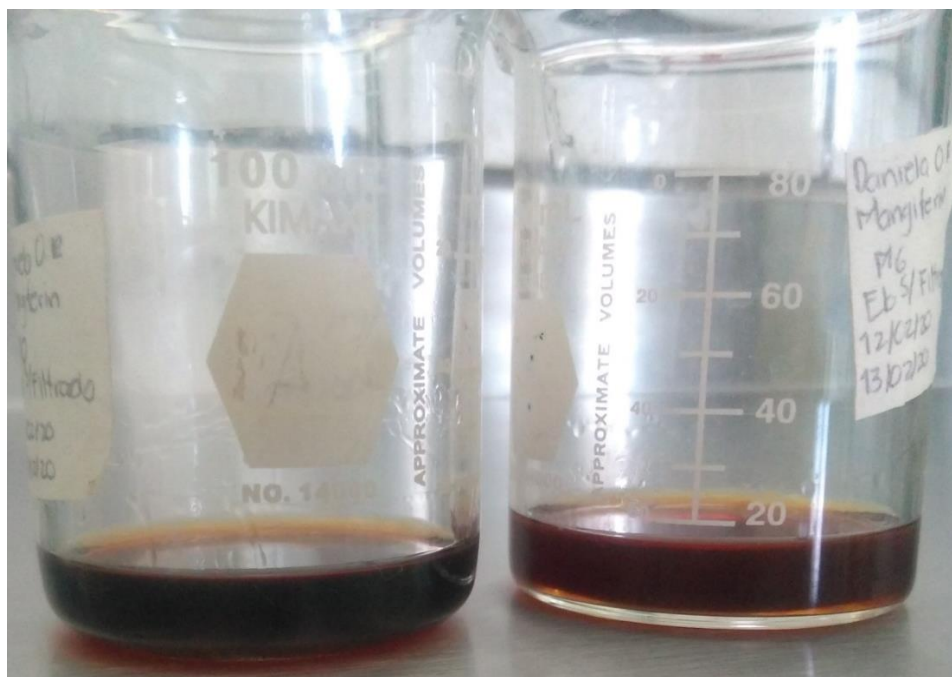


Figura 22. Coloración de extracto de cáscaras secas de mango Ataulfo.

La muestra del lado izquierdo corresponde al extracto de la DTP2, la muestra del lado derecho es el extracto de la DTP1.

#### 5.4 PURIFICACIÓN DE EXTRACTO DE CÁSCARAS SECAS DE MANGO ATAULFO

El procedimiento de purificación que se realizó en las muestras del extracto a emplear como estándar fue con el objetivo de cristalizarlo, pero no ocurrió tal proceso, debió a que el extracto estándar quedó en una fase acuosa, con muy pocas probabilidades de la existencia de trazas de etanol. La afinidad de los solventes de la mezcla binaria, de etanol y agua, y la diferencia en el punto de ebullición de los solventes dificulta la evaporación completa de ambos solventes. El punto de ebullición del agua es de 90 °C a 93 °C, no es posible llegar a esa temperatura pues al trabajar con presión reducida el extracto contenido en el matraz del rotavapor



se puede “proyectar” hacia el matraz donde se encuentra el disolvente condensado, perdiendo parte del extracto dentro del equipo refrigerante y se puede contaminar. De igual manera una alta temperatura degrada compuestos termolábiles.

## 5.5 CARACTERIZACIÓN Y CUANTIFICACIÓN DE EXTRACTO DE CÁSCARAS SECAS DE MANGO ATAULFO

La parte cuantitativa se evaluó de dos maneras; el rendimiento del proceso de extracción y la cantidad de extracto. Y de manera cualitativa, con el color del extracto e identificación de sus componentes a través de técnica infrarrojo y espectrofotometría UV-Vis.

### 5.5.1 CARACTERIZACIÓN DE EXTRACTO DE CÁSCARAS SECAS DE MANGO ATAULFO

Esta etapa se evaluó con el extracto estándar de ambas distribuciones de tamaño de partícula. Para su caracterización se evaluó con el test de barrido en función de los valores de longitud de onda característica del compuesto, ello con base en el espectro que obtuvo Forero & Pulido (2016), e identificó los valores de máxima absorbancia que presenta el compuesto, estos son: 259 nm, 316 nm y 370 nm.

Tabla 10. Valores de absorbancia de extracto estándar para la DTP1.

$\lambda$ (nm)	Absorbancia
200	1.176
230	1.073
240	1.324
250	1.112
260	1.168

Tabla 11. Valores de absorbancia de extracto estándar para la DTP2.

$\lambda$ (nm)	Absorbancia
200	1.2
230	1.116
240	1.476
250	1.127
260	1.336

280	0.286
300	0.272
315	0.499
320	0.484
330	0.289
370	0.574
400	0.371
420	0.167
450	0.097
500	0.0892
550	0.0741
600	0.0643
650	0.0367
700	0.0103

280	0.382
300	0.304
315	0.619
320	0.596
330	0.372
370	0.707
400	0.453
420	0.388
450	0.315
500	0.281
550	0.193
600	0.0879
650	0.062
700	0.023

Los valores de absorbancia que arrojo el test de barrido que se realizaron a ambos extractos estándar de mangiferina fueron similares a la que presentó Forero & Pulido (2016), hubo diferencia en los valores de longitud a la cual la mangiferina presenta su máxima absorbancia. Pero estos valores fueron los mismos para los extractos de ambas distribuciones de tamaño de partícula: 240 nm, 260 nm, 315 nm, 320 nm y 370 nm.

La discrepancia que en los valores de absorbancia se debe a la presencia de otros compuestos de naturaleza polar similar a la mangiferina, retomando que no fue posible aislar por completo a la molécula mangiferina. En el extracto aún quedan trazas del alcohol y ahí es posible encontrar otros compuestos solubles en éste, lo mismo ocurre con el agua. Corroborando esta información con Barreto *et al.*, (2008) y Guevara García *et al.*, (2004), que han reportado diferentes valores de longitud de máxima absorbancia para la molécula mangiferina, pero son valores cercanos a los que reporta Forero & Pulido (2016). La diferencia en los valores probablemente se deba a la materia prima; corteza del árbol, hojas, pulpa o cáscara del fruto. Otro elemento para tomar en cuenta es la modificación de la etapa de purificación del extracto, la filtración al vacío es adecuada porque las condiciones de operación no

degradan el compuesto, al ser un extracto acuoso se podría agregar un agente desecante para que posteriormente se eliminara con un proceso de filtración, este paso sería previo a la filtración al vacío.

De acuerdo con las Tablas 10 y 11, el extracto estándar de la DTP2 muestra mayores valores de absorbancia respecto a la DTP1, por ende, este último absorbe menor cantidad de luz y la concentración del analito va a ser menor.

A partir de los valores que se obtuvieron del test de barrido fue posible obtener un espectro UV-Vis para la DTP1 y la DTP2, y compararlos con el espectro UV-Vis obtenido por Forero & Pulido (2016), que corresponde a la Figura 23.

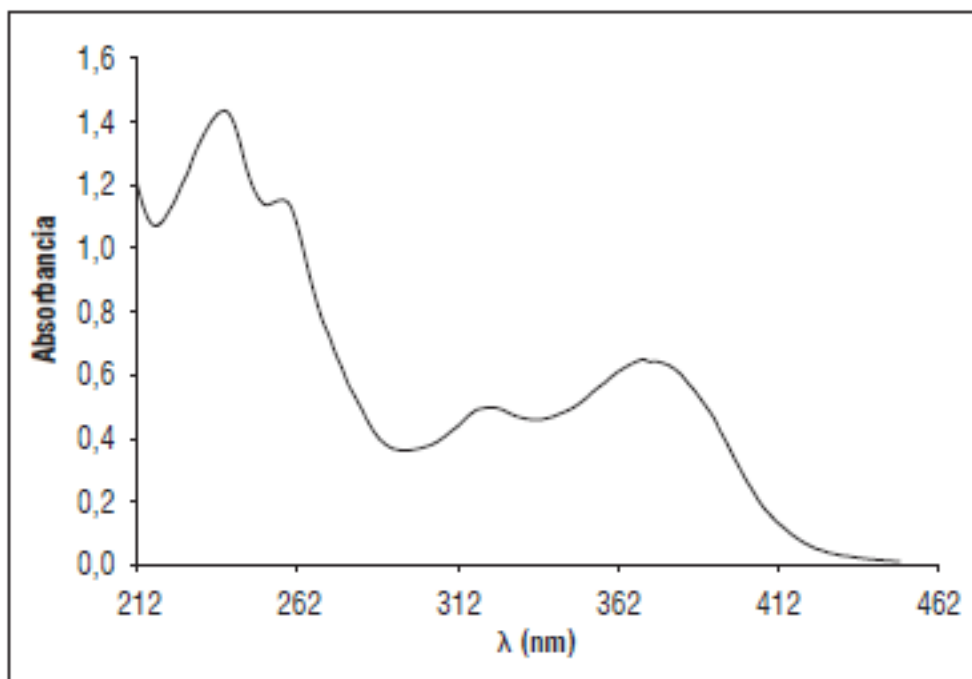


Figura 23. Espectro UV-Vis del patrón de mangiferina. Forero & Pulido (2016).

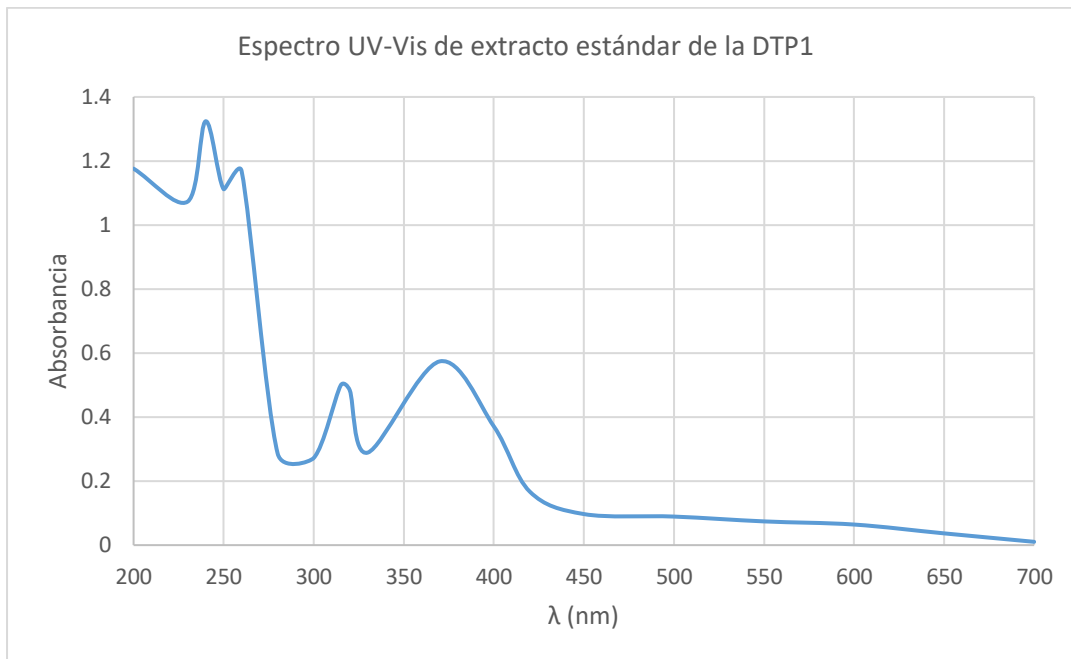


Figura 24. Espectro UV-Vis de extracto estándar de la DTP1.

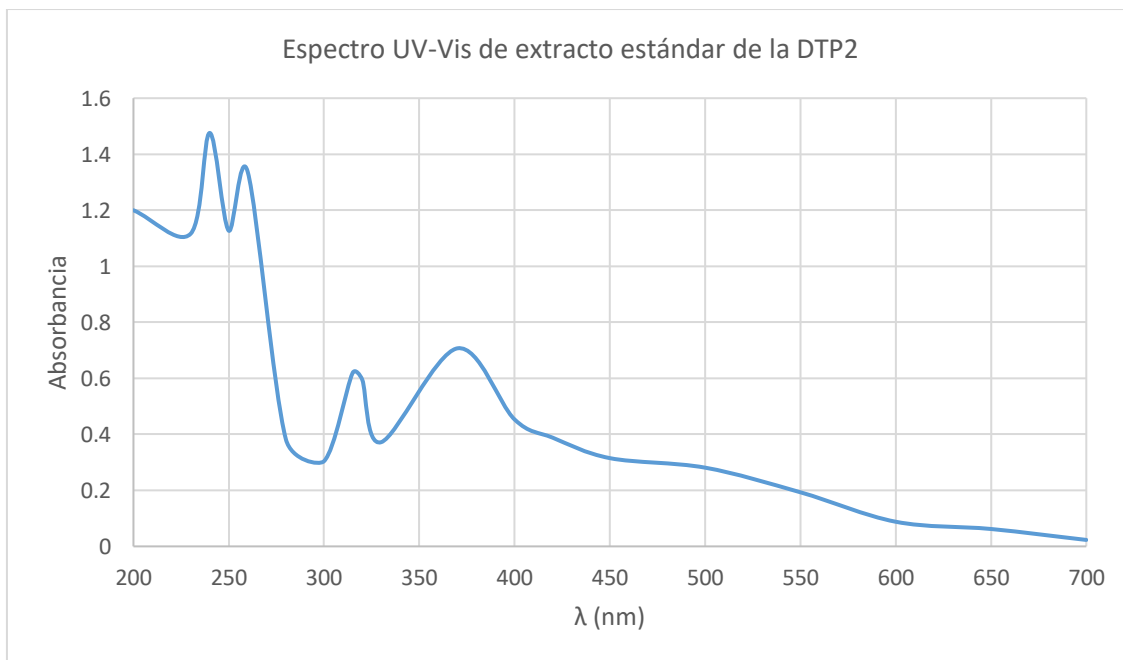


Figura 25. Espectro UV-Vis de extracto estándar de la DTP2.

Los espectros de las Figuras 24 y 25 son similares con él que se reportó por Forero & Pulido (2016), pero lo valores de longitud de onda de máxima absorbancia cambian.

Retomando que no fue posible aislar completamente el compuesto y el cambio de la materia prima, pues Forero & Pulido (2016) lo realizaron con corteza del árbol y este trabajo se llevó a cabo con cáscara seca de mango Ataulfo.

Mediante el espectro IR se identificó la presencia de grupos o compuestos químicos en el estándar de mangiferina y el extracto.

Con el infrarrojo, que se considera una huella dactilar de una molécula, mediante el valor de la frecuencia de vibración se puede identificar los grupos, compuestos o enlaces que conforman la molécula.

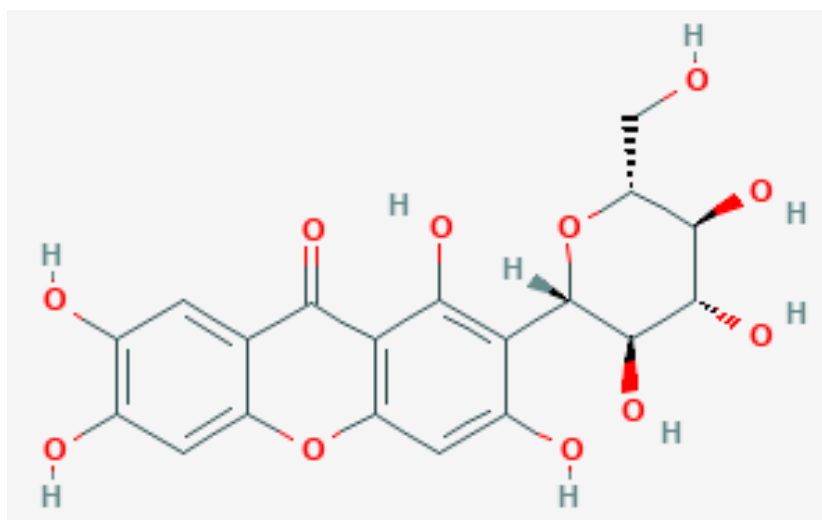


Figura 26. Forma estructural de la molécula mangiferina. (National Center for Biotechnology Information, 2021).

La mangiferina es una molécula clasificada como xantona dentro de los polifenoles. Por ello su estructura química se compone de tres moléculas; dos anillos aromáticos unidos por una cetona heterocíclica (Peñarrieta et al., 2014), que pertenece al grupo carbonilo y los anillos aromáticos están sustituidos por el grupo OH. El grupo carbonilo consiste en un átomo de carbono con doble enlace a un átomo de oxígeno. En las Figuras 27 y 28, que corresponden a la DTP1 y la DTP2, respectivamente, son los espectros IR del extracto de cáscaras secas de mango Ataulfo, que fue purificado para su uso como estándar.

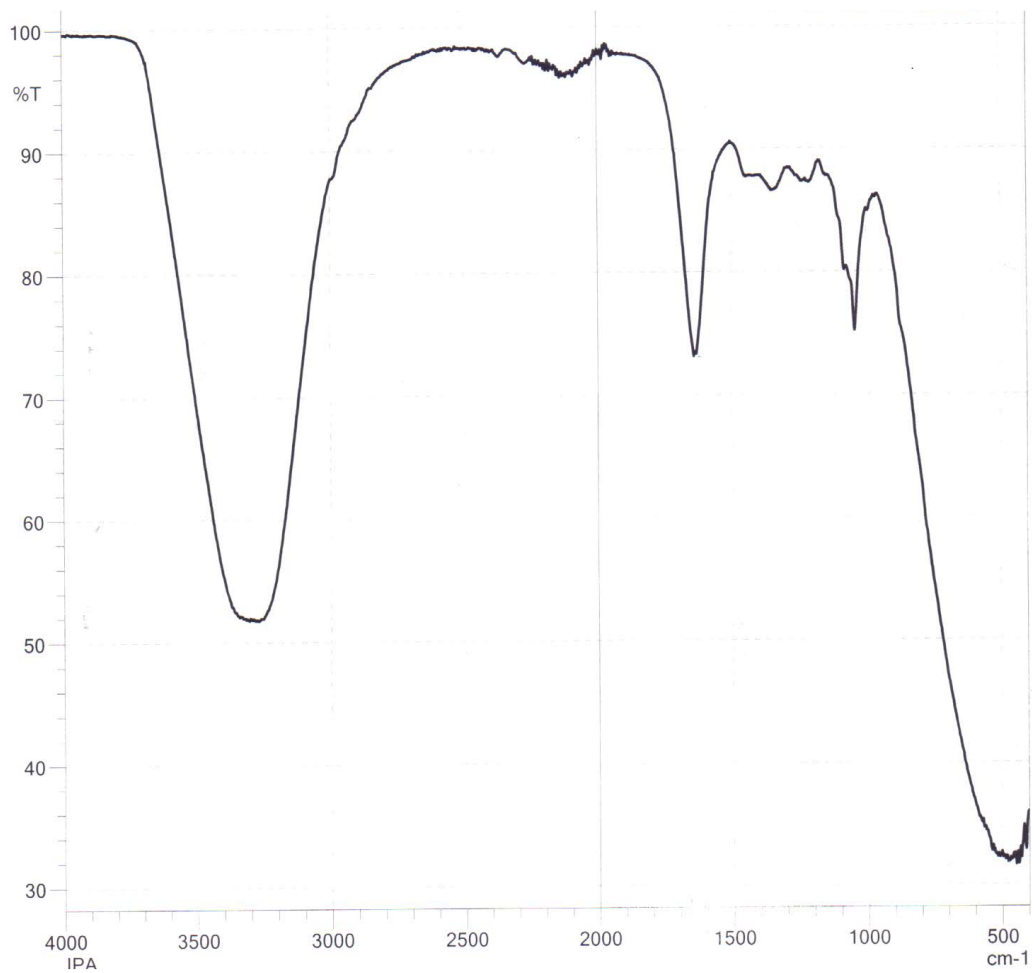


Figura 27. Espectro IR de extracto estándar de la DTP1.

Tabla 12. Grupos funcionales de extracto estándar de la DTP1.

Número	Intervalo de frecuencia (cm <sup>-1</sup> )	Enlace	Tipo de vibración
1	3330-3210	O-H	Tensión
2	1620-1640	C=C	Flexión
3	1240-1270	C=O	Tensión
4	1000	C-O	Tensión

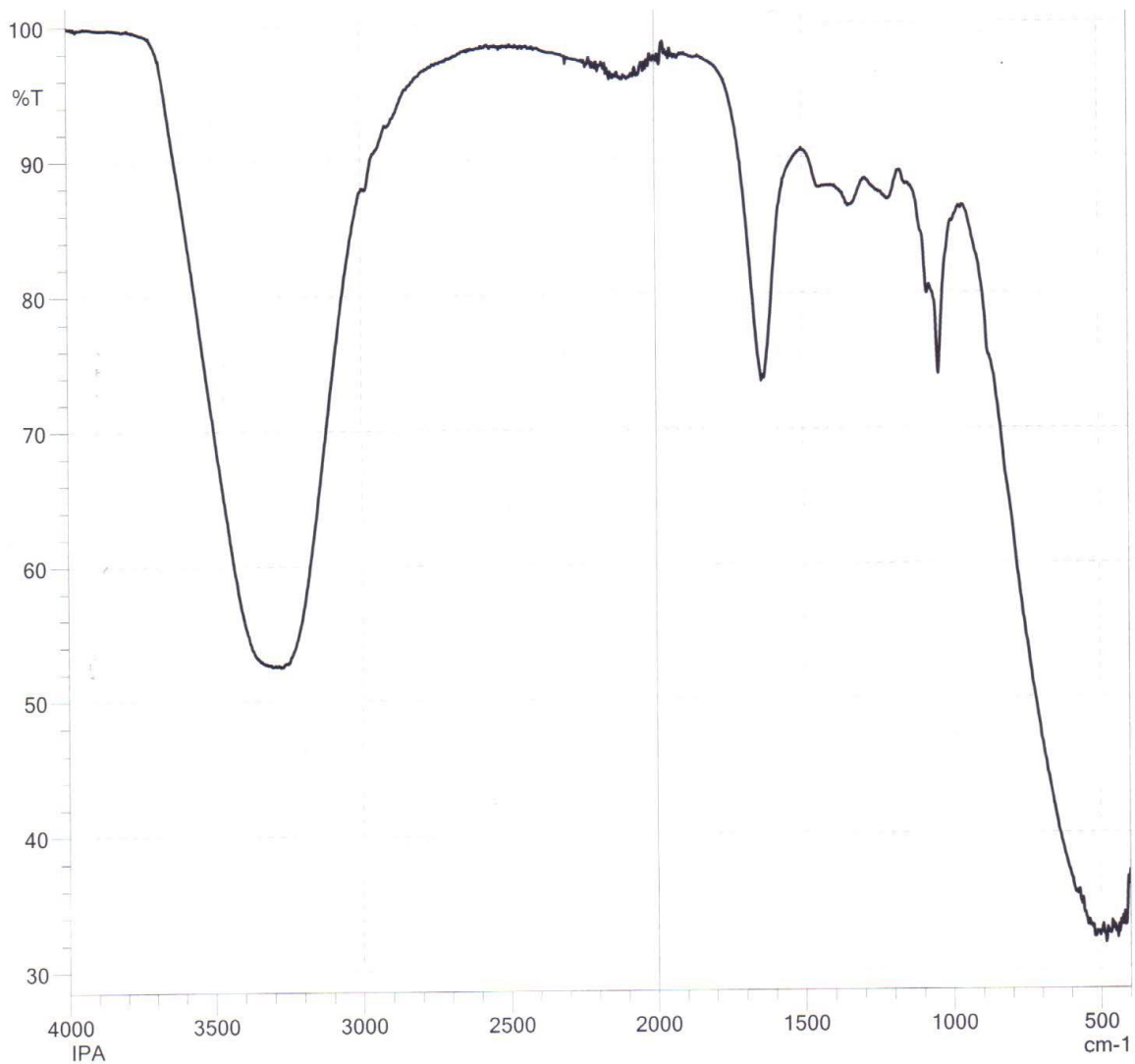


Figura 28. Espectro IR de extracto estándar de la DTP2.

Tabla 13. Grupos funcionales de extracto estándar de la DTP2.

Número	Intervalo de frecuencia (cm <sup>-1</sup> )	Enlace	Tipo de vibración
1	3310-3210	O-H	Tensión
2	1620-1640	C=C	Flexión
3	1330	C-H	Flexión
4	1250-1210	C=O	Tensión
5	1000	C-O	Tensión

De acuerdo con el intervalo de frecuencia, se identifica el enlace que corresponde a ese intervalo y el grupo al cual pertenecen. De las Tablas 12 y 13; corresponden a la DTP1 y DTP2, respectivamente, son el resultado del análisis IR. Al llevar el mismo procedimiento de purificación los extractos, no se supondría algún cambio en su composición, pero si diferente intervalo de frecuencia, porque la concentración del compuesto no es la misma en cada extracto entonces la absorción cambia.

En las Tablas 12 y 13, el primer intervalo de frecuencia corresponde al grupo OH que es el grupo que se encuentra unido a los anillos aromáticos de la mangiferina, son alcoholes primarios y a su vez fenoles porque están unidos a un anillo aromático.

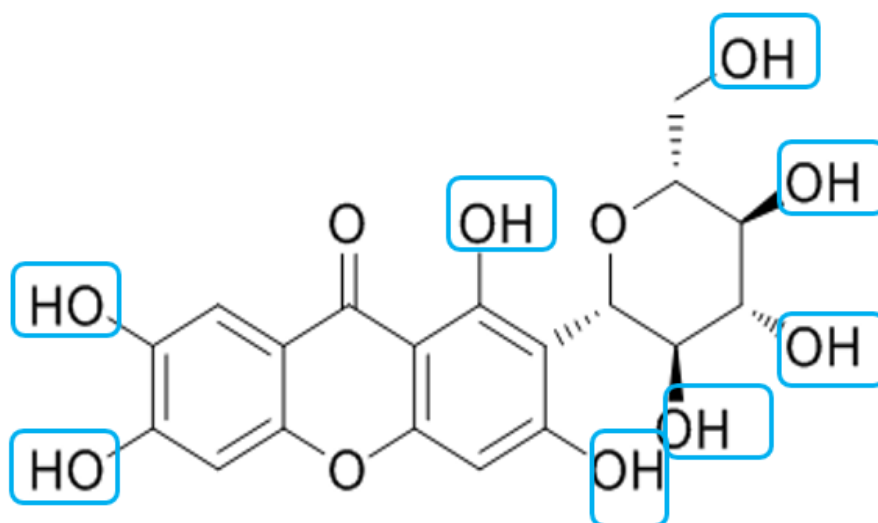


Figura 29. Grupos OH presentes en la molécula mangiferina.

En el segundo intervalo de frecuencia; de ambas Tablas 12 y 13, es un grupo Alqueno, son dos átomos de carbono unidos por un doble enlace. Corresponde a los anillos aromáticos.



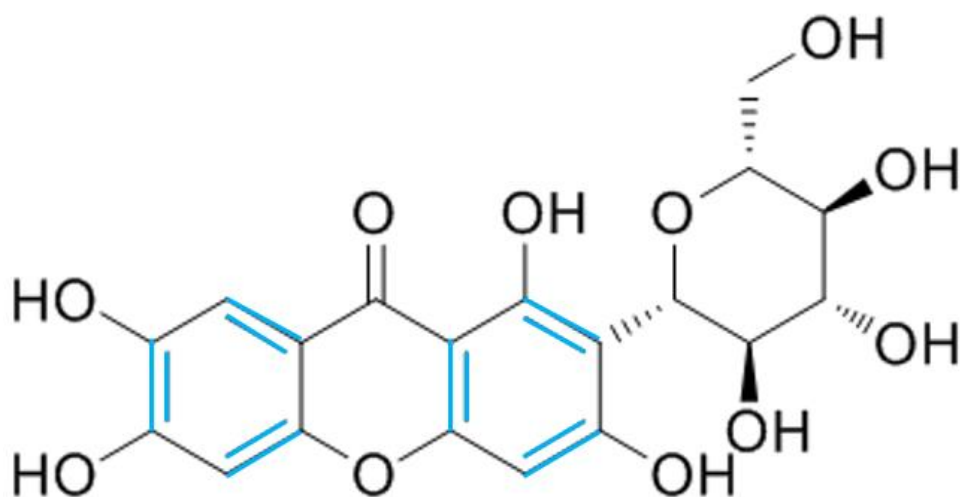


Figura 30. Alquenos presentes en la molécula mangiferina.

El tercer intervalo de frecuencia de la Tabla 12 y el cuarto intervalo de la Tabla 13, es un enlace C=O, corresponde a una cetona aromática.

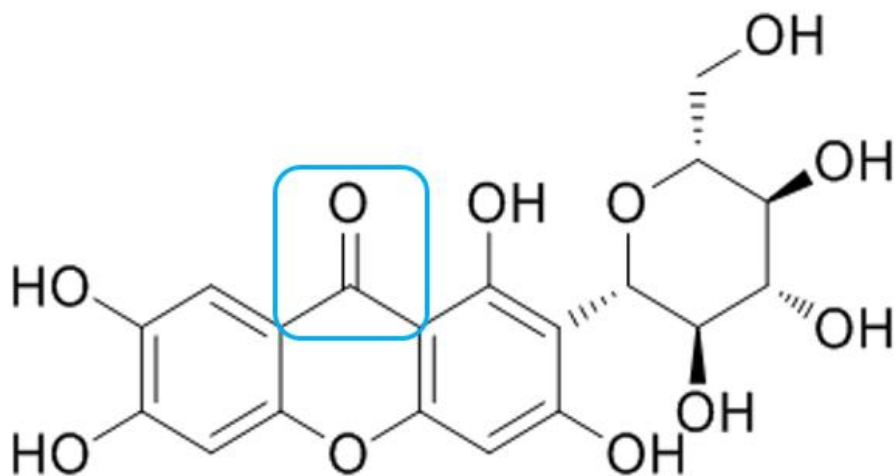


Figura 31. Grupo carbonilo presente en la molécula mangiferina.

De la Tabla 13, que es el espectro IR del extracto estándar de mangiferina de DTP2, el tercer intervalo de frecuencia es de un grupo Alcano, que se son los seis carbonos enumerados Figura 32.

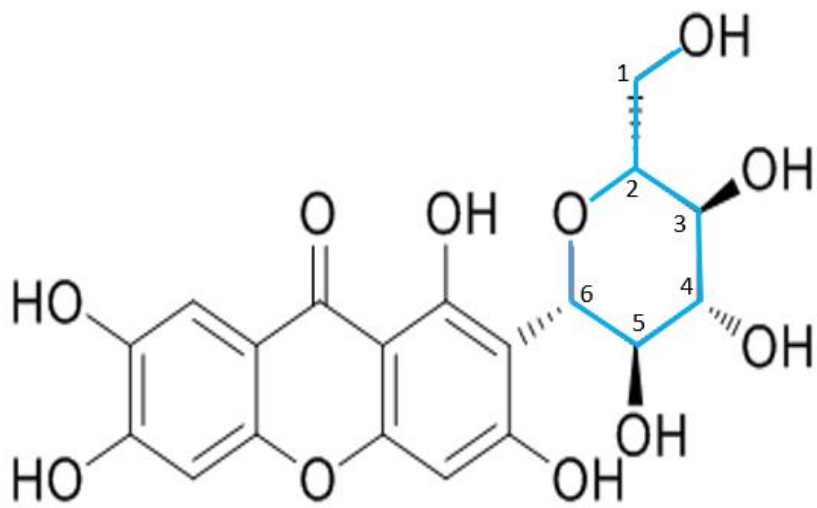


Figura 32. Alcanos presentes en la molécula mangiferina.

Los dos últimos intervalos de frecuencia de las Tablas 12 y 13, son un enlace C-O que corresponde a un éter.

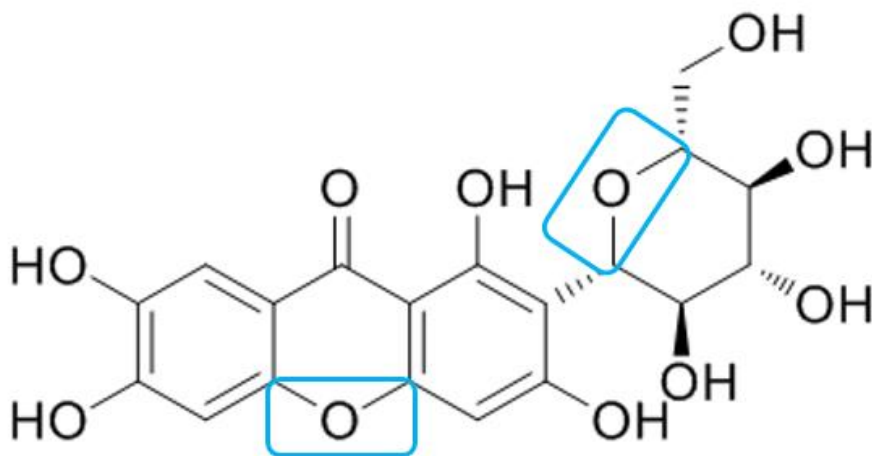


Figura 33. Éter presente en la molécula mangiferina.

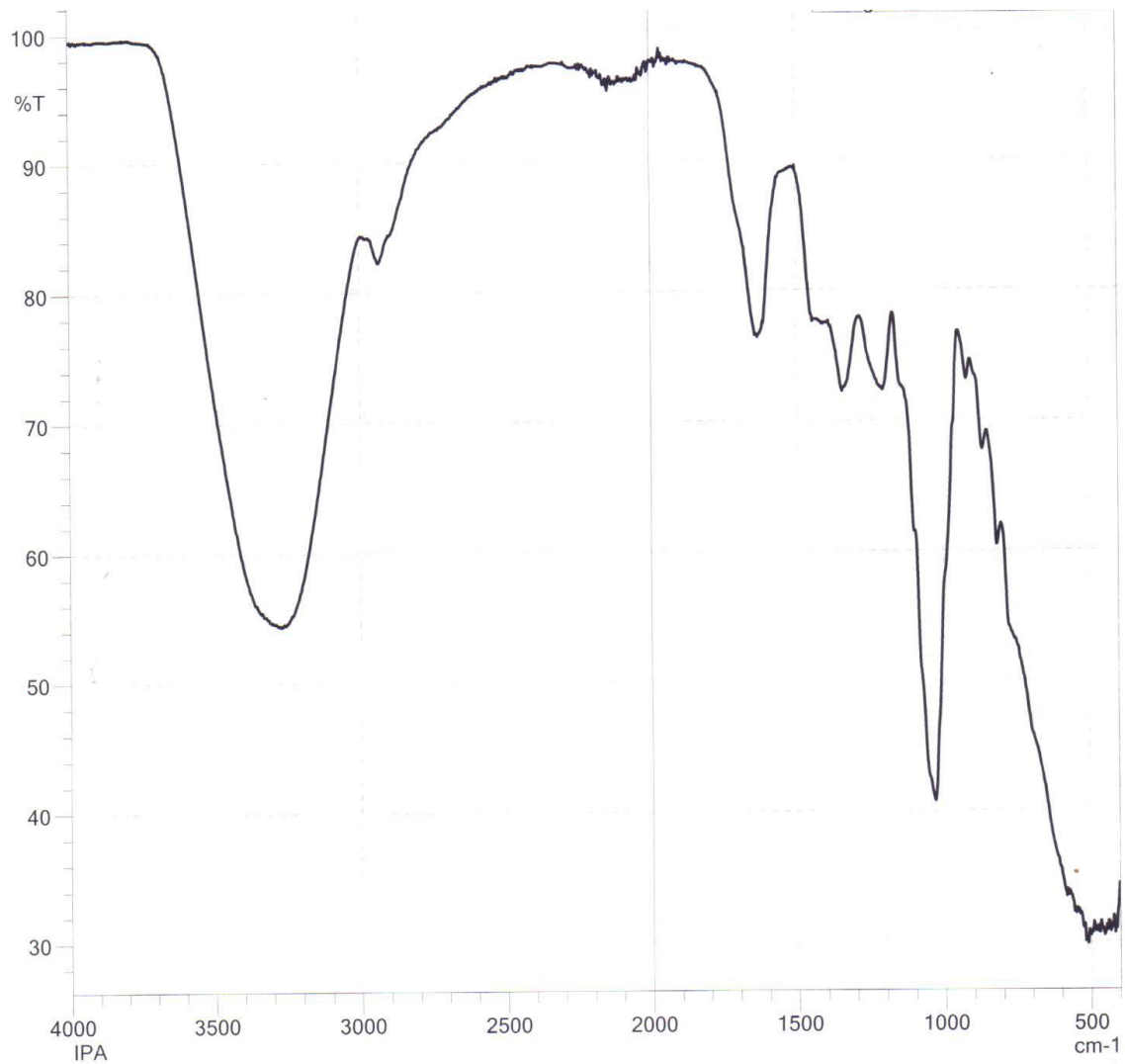


Figura 34. Espectro IR de extracto de la DTP1.

Tabla 14. Grupos funcionales de extracto de la DTP1.

Número	Intervalo de frecuencia (cm <sup>-1</sup> )	Enlace	Tipo de vibración
1	3370-3210	O-H	Tensión
2	2990	C-H	Tensión
3	1620	C=C	Tensión
4	1350	O-H	Flexión
5	1220	C=O	Tensión
6	1030	C-O	Tensión

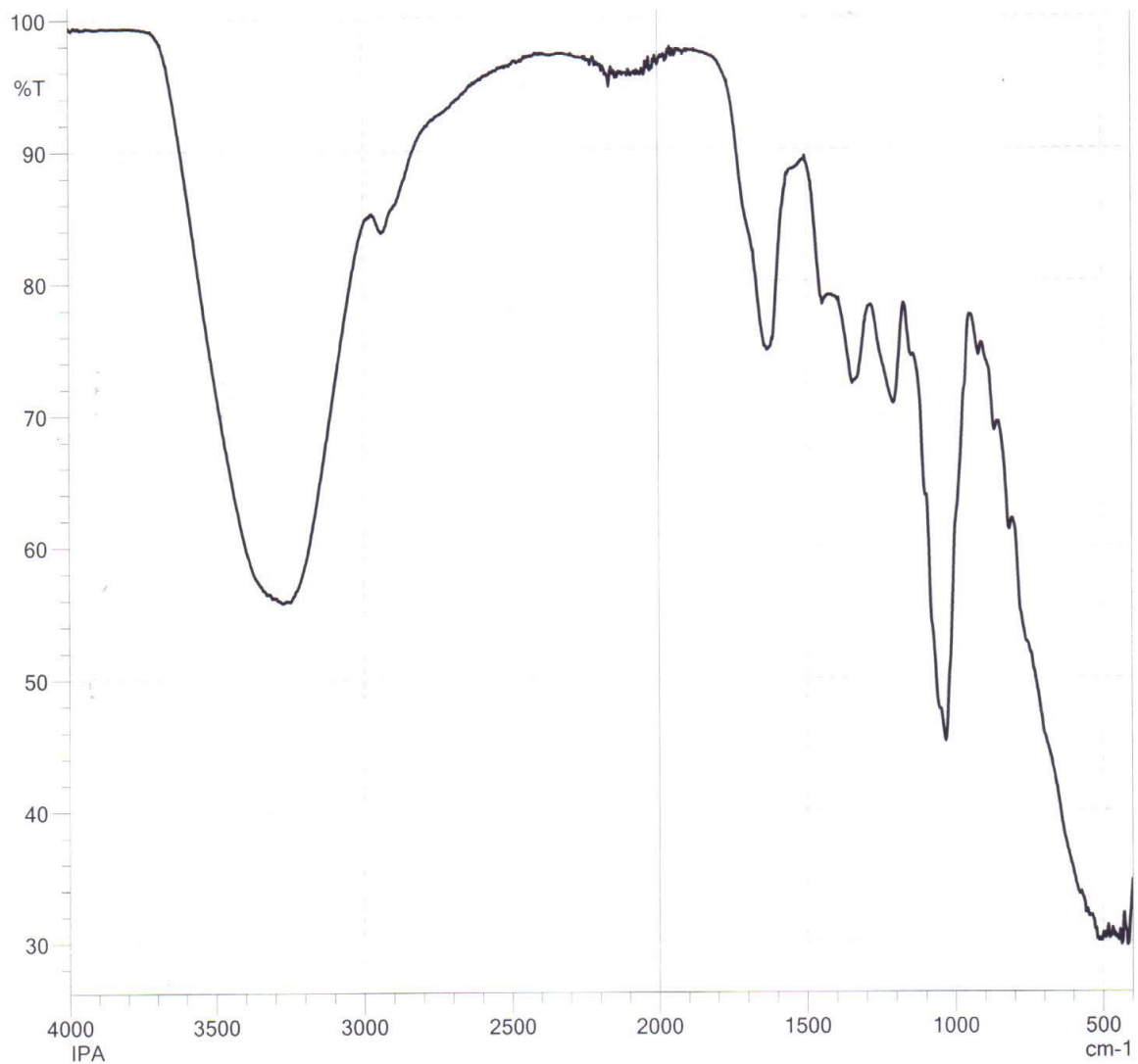


Figura 35. Espectro IR de extracto de la DTP2.

Tabla 15. Grupos funcionales de extracto de la DTP2.

Número	Intervalo de frecuencia (cm <sup>-1</sup> )	Enlace	Tipo de vibración
1	3370-3210	O-H	Tensión
2	3000	C-H	Tensión
3	1620	C=C	Tensión
4	1340	O-H	Flexión
5	1220	C=O	Tensión
6	1030	C-O	Tensión

La diferencia que se presenta en el extracto que fue purificado respecto al que solo se realizó la evaporación del solvente, para este último se tiene la presencia de algunos compuestos de más, los espectros infrarrojo; Figuras 27 y 28 que corresponden al extracto estándar de la DTP1 y la DTP2, respectivamente, son similares con cuatro frecuencias de vibración a casi el mismo valor, que de acuerdo con su asignación corresponden a fenoles, grupos carbonilo, alquenos aromáticos, que conforman a la molécula mangiferina. Caso contrario que ocurre en las muestras del extracto, que únicamente se evaporó solvente, y se muestra en el espectro infrarrojo; Figuras 34 y 35, que corresponden a la DTP1 y la DTP2 e indica la presencia de más compuestos afines al alcohol. Justificando esto último con el proceso de purificación, pues las condiciones de presión y temperatura permitieron extraer de la mezcla principalmente el alcohol. Con ello es válido emplear el extracto que fue purificado para su uso como estándar y realizar la cuantificación del extracto, pues en el espectro IR del estándar se tiene presencia de grupos que componen a la mangiferina. El estudio IR para de las muestras del extracto de ambas distribuciones de tamaño de partícula se identificaron en las Tablas 14 y 15, no mostraron discrepancia en los enlaces con las Tablas 12 y 13, pero de las Tablas 14 y 15 existe un cuarto intervalo de frecuencia que corresponde a un enlace O-H, es un alcohol aromático y es un movimiento de flexión en la molécula. Este grupo que aparece de más, es porque a los extractos solo se les evaporó el disolvente y no se llevó a cabo el proceso de purificación.

### 5.5.2 RENDIMIENTO DE PROCESO DE EXTRACCIÓN SOXHLET

Para determinar el rendimiento del proceso se procedió a pesar cada muestra contenida en el vial, previo al proceso de evaporación.

Tabla 16. Rendimiento de proceso de extracción de la DTP1.

# Muestra	Peso de vial (g)	Peso total (g)
1	63.9044	38
2	70.4044	44.5
3	66.9044	41
4	65.9044	40
5	66.4044	40.5
6	58.2085	42.5
7	35.7085	20
8	58.2085	42.5
9	44.2085	28.5
Rendimiento (%)		36.303

Tabla 17. Rendimiento de proceso de extracción de la DTP2.

# Muestra	Peso de vial (g)	Peso total (g)
1	67.4044	41.5
2	61.9044	36
3	72.4044	46.5
5	62.4044	36.5
5	63.9044	38
6	67.9044	42
7	68.4044	42.5
8	59.2085	43.5
9	50.5715	34.863
Rendimiento (%)		37.057

En el proceso de extracción, de acuerdo con las tablas 16 y 17, indica un 2.035 % más de rendimiento cuando el proceso de extracción se realiza con la DTP2, es decir el de menor tamaño de partícula, que corresponde una medida de 2.0 mm.

### 5.5.3 CUANTIFICACIÓN DE EXTRACTO DE CÁSCARAS SECAS DE MANGO ATAU LFO

La cuantificación se procedió con el establecimiento de la linealidad de la curva de calibración, realizando las lecturas a 240 nm, se prepararon concentraciones de 0.45, 0.9, 1.8, 3.0, 6.0, 8.0, 10 ppm, a partir del extracto estándar de cáscaras secas de mango Ataulfo. Después de construir la curva de calibración, se determinó el contenido de mangiferina en los extractos de cáscaras secas de mango Ataulfo, tomando 3  $\mu$ L y completándolo a 5 mL con EtOH/H<sub>2</sub>O (70:30 v/v) en una celda de cuarzo. El equipo de espectrofotometría se calibro con un blanco EtOH 96%.

Tabla 18. Curva de calibración de extracto estándar de la DTP1.

Curva de calibración	
[ppm]	Absorbancia
0	0
0.45	0.094
0.9	0.149
1.8	0.276
3	0.431
6	0.823
8	1.072
10	1.312

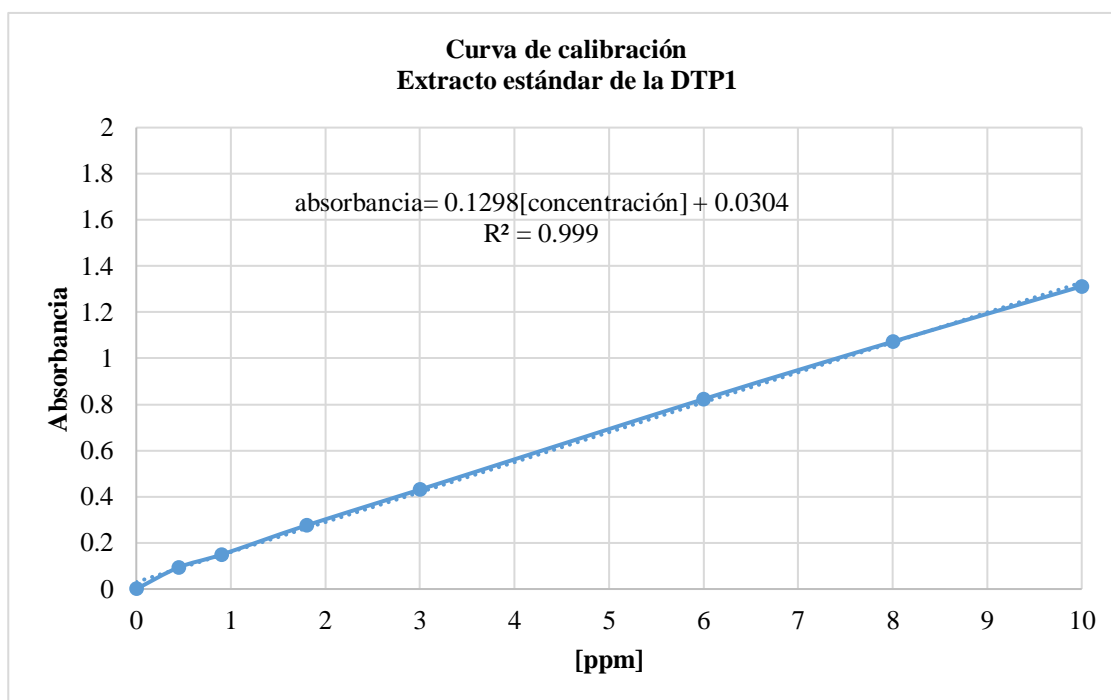


Figura 36. Curva de calibración de extracto estándar de la DTP1.

Tabla 19. Ecuación de concentración de extracto estándar de la DTP1.

Ecuación de curva de calibración
$absorbancia = 0.1298[concentración] + 0.0304$
Donde: [concentración]: ppm
Ecuación de cantidad de extracto
$[concentración] = \frac{absorbancia - 0.0304}{0.1298}$

Tabla 20. Cuantificación de extracto de cáscaras secas de mango Ataulfo de la DTP1.

<b>Cuantificación de extracto</b>		
# Muestra	Absorbancia	[ppm]
1	0.462	3.3251
2	0.479	3.4561
3	0.568	4.1418
4	0.653	4.7966
5	0.795	5.8906
6	1.017	7.6009
7	1.109	8.3097
8	1.124	8.4253
Extracción total de mangiferina		<b>5.7433</b>



Tabla 21. Curva de calibración de extracto estándar de la DTP2.

Curva de calibración	
[ppm]	Absorbancia
0	0
0.45	0.109
0.9	0.184
1.8	0.301
3	0.483
6	0.928
8	1.196
10	1.496

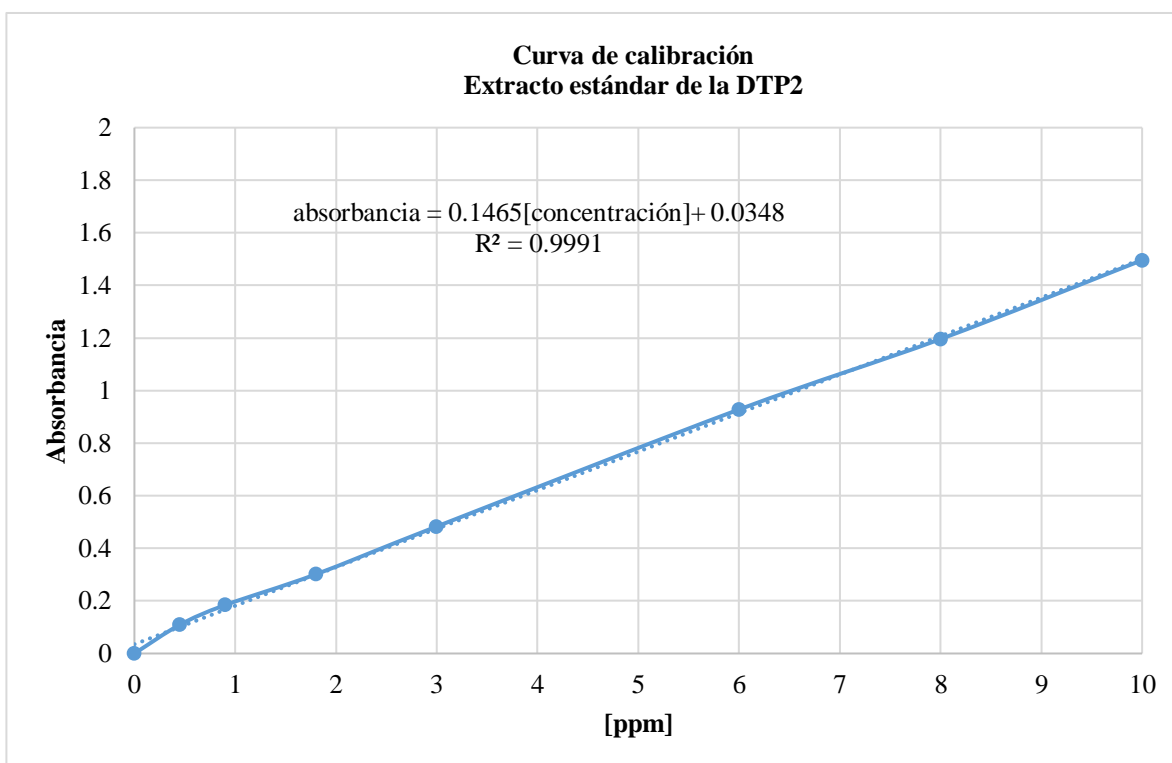


Figura 37. Curva de calibración de extracto estándar de la DTP2.

Tabla 22. Ecuación de concentración de extracto estándar de la DTP2.

Ecuación de curva de calibración
$absorbancia = 0.1465[concentración] + 0.0348$
Donde: [concentración]: ppm
Ecuación de cantidad de extracto
$[concentración] = \frac{absorbancia - 0.0348}{0.1465}$

Tabla 23. Cuantificación de extracto de cáscaras secas de mango Ataulfo de la DTP2.

<b>Cuantificación de extracto</b>		
#Muestra	Absorbancia	[ppm]
1	0.545	3.4752
2	0.688	4.4473
3	0.724	4.6920
4	0.744	4.8280
5	0.942	6.1740
6	1.322	8.7573
7	1.362	9.0292
8	1.412	9.3691
Extracción total de mangiferina		<b>6.3465</b>

De acuerdo con los resultados de cuantificación a partir de la técnica espectroscópica UV-Vis, que se muestran en las Tablas 20 y 23 se obtiene una mayor concentración de extracto con DTP2, esto es un 9.5 % más.

## **CAPITULO VI. CONCLUSIONES**

## 6. CONCLUSIONES

La hipótesis es válida, de acuerdo con el análisis cuantitativo se obtiene mayor cantidad de extracto a menor tamaño de partícula, que corresponde a la distribución de tamaño de partícula de DTP2, siendo el tamaño de partícula de 2.0 mm.

La reducción del tamaño de partícula crea mayor área de contacto que incrementa la cantidad de poros para el paso del solvente a través de la partícula, y la eliminación de las posibles interferencias entre el solvente y el compuesto a extraer. Lo cual ofrece dos ventajas: extraer con más facilidad el compuesto de interés e incrementar la cantidad de este. Para este trabajo experimental se trabajó con dos distribuciones de tamaños de partícula, siguiendo la premisa anterior, a un menor tamaño de partícula incrementa la cantidad de extracto.

Si bien no fue posible aislar completamente la mangiferina del extracto, pero se detectó su presencia en el análisis cualitativo, con los espectros de la técnica UV-Vis e infrarrojo. Por lo tanto, la metodología de extracción es adecuada para obtener la mangiferina a partir de la cáscara de mango Ataulfo.

Mediante la técnica de espectroscopia UV-Vis se elaboró la curva de calibración para cuantificar la cantidad de extracto de mangiferina que se obtuvo de cada distribución de tamaño de partícula, siendo un 9.5 % más de extracto cuando se trabaja con un tamaño de partícula de 2.0 mm respecto al tamaño de partícula de 3.35 mm.

Para evaluar el proceso de rendimiento de la extracción sólido-líquido con equipo Soxhlet, se pesaron los frascos ámbar que contenían el extracto, y se realizó una comparación entre ambas distribuciones de tamaño de partícula, determinando que el rendimiento es 2.03% mayor para el proceso de extracción con un tamaño de partícula de 2.0 mm respecto al tamaño de partícula de 3.35 mm.

El tiempo que requiere el proceso de extracción también fue comparado en ambas distribuciones de tamaño de partícula, DTP1 conlleva un tiempo de 72:10 minutos y

DTP2 requiere 68:27 minutos. Esta diferencia de tiempo se da porque con un menor tamaño de partícula los poros internos del sólido son de menor longitud y el solvente requieren menos tiempo para entrar al sólido y extraer el compuesto de interés.

Como en todo proceso de extracción sólido-líquido es importante acondicionar el sólido, es decir emplear un tamaño de partícula adecuado para la interacción entre el solvente y el sólido. Se trabajó con dos distribuciones de tamaños de partícula, con los siguientes tamaños de partícula de 2.0 mm y 3.35 mm, para el proceso ambos fueron adecuados, ya que no causaron aglomeraciones durante la extracción y de igual manera no fue un tamaño grande que no permitiera extraer el solvente de interés porque se identificó la presencia de la mangiferina con las técnicas espectroscópicas UV-Vis e infrarrojo.

El proceso de preservación de la materia prima fue apropiado, se evaluó su efectividad en función del tiempo al no detectar la presencia de hongos u organismos que dieran indicios de su descomposición. Se estableció el tiempo de secado de 72 horas, a fin de solo eliminar humedad del sólido.

## REFERENCIAS

- Abdalla, A. E. M., Darwish, S. M., Ayad, E. H. E., & El-Hamahmy, R. M. (2007). Egyptian mango by-product 2: Antioxidant and antimicrobial activities of extract and oil from mango seed kernel. *Food Chemistry*, *103*(4), 1141–1152. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2006.10.026>
- Acosta, J., Nuevas, L., Amaro, D., & Álvarez, J. C. (2009). Estudio del Proceso de Lixiviación de la Corteza Vegetal de *Mangifera indica* L. *Latin American Journal of Pharmacy*, *28*(1), 27–31.
- Ajila, C. M., Bhat, S. G., & Prasada Rao, U. J. S. (2007). Valuable components of raw and ripe peels from two Indian mango varieties. *Food Chemistry*, *102*(4), 1006—1011. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2006.06.036>
- Ajila, C. M., Jaganmohan Rao, L., & Prasada Rao, U. J. S. (2010). Characterization of bioactive compounds from raw and ripe *Mangifera indica* L. peel extracts. *Food and Chemical Toxicology*, *48*(12), 3406–3411. <https://doi.org/10.1016/j.fct.2010.09.012>
- Ashoush, I. S., & Gadallah, M. G. E. (2011). Utilization of Mango Peels and Seed Kernels Powders as Sources of Phytochemicals in Biscuit. *World Journal of Dairy & Food Sciences*, *6*(1), 35–42.
- Banchón, B. L., & Palma, J. E. (2018). *Cuantificación de mangiferina en diferentes variedades de mango (Mangifera indica L.) de exportación en el Ecuador*. UNIVERSIDAD DE GUAYAQUIL.
- Barragán, B. E., Téllez, Y., & Laguna, A. (2008). Utilización de residuos agroindustriales. *Revista Sistemas Ambientales*, *2*(1), 44–50.
- Barreto, J. C., Trevisan, M. T. S., Hull, W. E., Erben, G., De Brito, E. S., Pfundstein, B., Würtele, G., Spiegelhalder, B., & Owen, R. W. (2008). Characterization and

- quantitation of polyphenolic compounds in bark, kernel, leaves, and peel of mango (*Mangifera indica* L.). *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 56(14), 5599–5610. <https://doi.org/10.1021/jf800738r>
- Béliveau, R., & Gingras, D. (2007). Role of nutrition in preventing cancer. *Canadian Family Physician*, 53(11), 1905–1911.
- Berardini, N., Carle, R., & Schieber, A. (2004). Characterization of gallotannins and benzophenone derivatives from mango (*Mangifera indica* L. cv. 'Tommy Atkins') peels, pulp and kernels by high-performance liquid chromatography/electrospray ionization mass spectrometry. *Rapid Communications in Mass Spectrometry*, 18(19), 2208–2216. <https://doi.org/10.1002/rcm.1611>
- Berardini, N., Fezer, R., Conrad, J., Beifuss, U., Carle, R., & Schieber, A. (2005). Screening of Mango (*Mangifera indica* L.) Cultivars for Their Contents of Flavonol O- and Xanthone C-Glycosides, Anthocyanins, and Pectin. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 53, 1563–1570. <https://doi.org/10.1021/jf0484069>
- Bravo, L. (1998). Polyphenols: chemistry, dietary sources, metabolism, and nutritional significance. *Nutrition Reviews*, 56(11), 317–333. <https://doi.org/10.1111/j.1753-4887.1998.tb01670.x>
- Campos, M. G. (2016). SOXHLET, del inventor al método. *Saber Más Revista de Divulgación de La Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo*, 5(29), 21–23.
- Cardona, F., Andrés-Lacueva, C., Tulipani, S., Tinahones, F. J., & Queipo-Ortuño, M. I. (2013). Benefits of polyphenols on gut microbiota and implications in human health. *Journal of Nutritional Biochemistry*, 24(8), 1415–1422. <https://doi.org/10.1016/j.jnutbio.2013.05.001>

- Carrillo, C., Díaz, R., Zambrano, J., García, A., & Triana, E. (2017). Evaluación de la capacidad antioxidante de extractos de hojas de tres variedades de *Mangifera indica* L . Assessment of antioxidant capacity of leaf extracts from three varieties of *Mangifera indica* L . PRE-PRINT. *Revista Cumbres*, 3(2), 9–16.
- Castro, H. (2013). *Obtención de Antioxidantes a partir de Residuos Frutícolas empleando Extracción con Fluidos Supercríticos-EFS*. Universidad Nacional de Colombia.
- Castro, K. Y. (2014). *Determinación de la actividad antiproliferativa y citotóxica del extracto acuoso-etanólico de la corteza del árbol de Mangifera indica L. en células de cáncer cérvicouterino HeLa*. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Chandra, G., & Venkatesha, V. A. (2006). Mangiferin protects human peripheral blood lymphocytes against  $\gamma$ -radiation-induced DNA strand breaks: a fluorescence analysis of DNA unwinding assay. *Nutrition Research*, 26(6), 303–311.
- Chantaro, P., Devahastin, S., & Chiewchan, N. (2008). Production of antioxidant high dietary fiber powder from carrot peels. *LWT - Food Science and Technology*, 41(10), 1987–1994. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2007.11.013>
- Collado, J. (2011). *Identificación de los polifenoles en zumos de frutas rojas* [Universidad Politécnica de Cartagena]. <http://repositorio.upct.es/handle/10317/2015>
- Corrales, M., Fernández, A., Butz, P., & Tauscher, B. (2009). Extraction of anthocyanins from grape skins assisted by high hydrostatic pressure. *Journal of Food Engineering*, 90(4), 415–421. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2008.07.003>
- Coutiño, R., Sumano, A., & Fernandez, M. (1996). *Identificación de principios*



*activos en Plantas Medicinales de la Región de Xalapa, Veracruz.* Universidad Veracruzana.

Cowan, M. M. (1999). Plant products as antimicrobial agents. *Clinical Microbiology Reviews*, 12(4), 564–582. <https://doi.org/10.1128/cmr.12.4.564>

Da Porto, C., Porretto, E., & Decorti, D. (2013). Comparison of ultrasound-assisted extraction with conventional extraction methods of oil and polyphenols from grape (*Vitis vinifera* L.) seeds. *Ultrasonics Sonochemistry*, 20(4), 1076–1080. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2012.12.002>

da Silva, M. C., da Silva, E. G., da Silva, B. R., Requião, E. F., da Cruz, J., Cavalcante, L. A., Pinto, A. M., & Lopes, W. N. (2019). Screening of *Mangifera indica* L. functional content using PCA and neural networks (ANN). *Food Chemistry*, 273(January 2018), 115–123. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.01.129>

Dai, J., & Mumper, R. J. (2010). Plant phenolics: Extraction, analysis and their antioxidant and anticancer properties. *Molecules*, 15(10), 7313–7352. <https://doi.org/10.3390/molecules15107313>

Declercq, L., Maes, D. H., & Corstjens, H. A. (2009). *Cosmetic compositions containing alpha glucosidase inhibitors and methods of use.* <https://patents.google.com/patent/WO2009038875A1/en>

Dorta, E., Lobo, M. G., & Gonzalez, M. (2012). Reutilization of mango byproducts: Study of the effect of extraction solvent and temperature on their antioxidant properties. *Journal of Food Science*, 77(1), 80–88. <https://doi.org/10.1111/j.1750-3841.2011.02477.x>

Duggan, C., Gannon, J., & Allan Walker, W. (2002). Protective nutrients and functional foods for the gastrointestinal tract. *American Journal of Clinical Nutrition*, 75(5), 789–808. <https://doi.org/10.1093/ajcn/75.5.789>

- Dziedzic, S. Z., & Hudson, B. J. F. (1984). Phenolic acids and related compounds as antioxidants for edible oils. *Food Chemistry*, 14(1), 45–51. [https://doi.org/10.1016/0308-8146\(84\)90017-7](https://doi.org/10.1016/0308-8146(84)90017-7)
- Ehu. (2006). *Espectroscopia Infrarroja [IR]*. <http://www.ehu.eus/imacris/PIE06/web/IR.htm>
- Eskilsson, C. S., Hartonen, K., Mathiasson, L., & Riekkola, M. L. (2004). Pressurized hot water extraction of insecticides from process dust - Comparison with supercritical fluid extraction. *Journal of Separation Science*, 27, 59–64. <https://doi.org/10.1002/jssc.200301566>
- Forero, F., & Pulido, P. (2016). Extracción , purificación y cuantificación de mangiferina en la corteza de algunos cultivares de mango ( *Mangifera indica* L .) Extraction , purification and quantification of mangiferin in the bark of some mango ( *Mangifera indica* L .) cultivars. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, 10(2), 292–300.
- Franco, B., & Benavides, J. (2018). *Cuantificación de mangiferina en diferentes variedades de mango (Mangifera indica L.) de exportación en el Ecuador*. Universidad de Guayaquil.
- Galati, G., & O'Brien, P. J. (2004). Potential toxicity of flavonoids and other dietary phenolics: Significance for their chemopreventive and anticancer properties. *Free Radical Biology and Medicine*, 37(3), 287–303. <https://doi.org/10.1016/j.freeradbiomed.2004.04.034>
- Gamboa, J., & Mora, J. (2010). *Guia para el cultivo del mango (Manfiera indica L.) en Costa Rica* (J. Gamboa, M. Mesén, & L. Ramírez (eds.)). Instituto Nacioanl de Innovación y Transferencia en Tecnología.
- Garcia-Mendoza, M. P., Paula, J. T., Paviani, L. C., Cabral, F. A., & Martinez-Correa, H. A. (2015). Extracts from mango peel by-product obtained by

supercritical CO<sub>2</sub> and pressurized solvent processes. *LWT - Food Science and Technology*, 1–7. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2015.01.026>

García-Rivera, D., Delgado, R., Bougarne, N., Haegeman, G., & Vanden Berghe, W. (2011). Gallic acid indanone and mangiferin xanthone are strong determinants of immunosuppressive anti-tumour effects of *Mangifera indica* L. bark in MDA-MB231 breast cancer cells. *Cancer Letters*, 305(1), 21–31. <https://doi.org/10.1016/j.canlet.2011.02.011>

García, I. N. (2003). *Caracterización fisicoquímica y funcional de los residuos fibroso de mango criollo (Mangifera indica L) y su incorporación en galletas*. Universidad Tecnológica de la Mixteca.

Garrido, G., González, D., Delporte, C., Backhouse, N., Quintero, G., Nuñez-Sellés, A. J., & Morales, M. A. (2001). Analgesic and anti-inflammatory effects of *Mangifera indica* L. extract (Vimang). *Phytotherapy Research*, 15(1), 18–21. [https://doi.org/10.1002/1099-1573\(200102\)15:1<18::AID-PTR676>3.0.CO;2-R](https://doi.org/10.1002/1099-1573(200102)15:1<18::AID-PTR676>3.0.CO;2-R)

González, D. (2013). *Aprovechamiento de residuos agroindustriales*. Universidad Lasallista.

Govea, M., Zugasti, A., Silva, S. Y., Valdivia, B., Rodríguez, R., Aguilar, C. N., & Morlett, J. (2013). Actividad Anticancerígena del Ácido Gálico en Modelos Biológicos in vitro. *Revista Científica de La Universidad Autónoma de Coahuila*, 5(9), 5–11. <http://www.posgradoeinvestigacion.uadec.mx/AQM/No.9/2.-GoveaSalas.pdf>

Gualán, M. G. (2013). *Determinación de la actividad antioxidante de las fracciones lipofílicas*. Universidad Técnica Particular de Loja.

Guevara García, M., González Laime, S., Álvarez León, A., Riaño Montalvo, A., Garrido Garrido, G., & Nuñez Selles, A. (2004). Uso etnomédico de la corteza de *Mangifera indica* L. en Cuba. *Revista Cubana de Plantas Medicinales*, 9(1).

- Guzmán, R. (2006). *Efecto del estrés por acelerantes de crecimiento en cultivos de mango sobre el perfil de biomoléculas de tipo polifenólico con actividad antimicrobiana* [Universidad Veracruzana].  
<https://cdigital.uv.mx/bitstream/123456789/46915/1/JarvioMartinezAlmaMiriam.pdf>
- Hamburger, M., Baumann, D., & Adler, S. (2004). Supercritical carbon dioxide extraction of selected medicinal plants - Effects of high pressure and added ethanol on yield of extracted substances. *Phytochemical Analysis*, 15(1), 46–54.  
<https://doi.org/10.1002/pca.743>
- Harris, D. C. (2001). *Análisis Químico Cuantitativo* (2ª). Reverté.
- Infante, F., Quilantán, J., Rocha, F., Esquinca, H., Castillo, A., Ibarra Nuñez, G., & Palacio, V. (2011). Mango Ataulfo: Orgullo chiapaneco. *CONABIO. Biodiversitas*, May 2015, 1–5. <https://doi.org/10.13140/RG.2.1.4498.5764>
- Kayanoki, Y., Fujii, J., Islam, K. N., Suzuki, K., Kawata, S., Matsuzawa, Y., & Taniguchi, N. (1996). The protective role of glutathione peroxidase in apoptosis induced by reactive oxygen species. *Journal of Biochemistry*, 119(4), 817–822.  
<https://doi.org/10.1093/oxfordjournals.jbchem.a021313>
- Lang, Q., & Wai, C. M. (2001). Supercritical fluid extraction in herbal and natural product studies - a practical review. *Talanta*, 53, 771–782.  
<https://doi.org/10.1021/ie000228v>
- Larrauri, J. A., Rupérez, P., Borroto, B., & Saura-Calixto, F. (1996). Mango peels as a new tropical fibre: Preparation and characterization. *LWT - Food Science and Technology*, 29(8), 729–733. <https://doi.org/10.1006/fstl.1996.0113>
- Lerma-Torres, M., Navarro-Ocaña, A., Claderón-Santoyo, M., Hernández-Vázquez, L., Ruiz-Montañez, G., & Ragazzo-Sánchez, J. (2019). Preparative scale extraction of mangiferin and lupeol from mango ( *Mangifera indica* L .) leaves

and bark by different extraction methods. *J Food Sci Technol*, 56(10), 4625–4631. <https://doi.org/10.1007/s13197-019-03909-0>

- Letan, A. (1966). The relation of structure to antioxidant activity of quercetin and some of its derivatives. *Journal of Food Science*, 31(4), 518–523.
- Lewicki, P. P. (2006). Design of hot air drying for better foods. *Trends in Food Science and Technology*, 17(4), 153–163. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2005.10.012>
- Liazid, A., Guerrero, R. F., Cantos, E., Palma, M., & Barroso, C. G. (2011). Microwave assisted extraction of anthocyanins from grape skins. *Food Chemistry*, 124(3), 1238–1243. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2010.07.053>
- Lim, K. J. A., Cabajar, A. A., Flor, C., Taboada, E. B., & Lacks, D. J. (2019). Extraction of bioactive compounds from mango ( *Mangifera indica* L . var . Carabao ) seed kernel with ethanol – water binary solvent systems. *Journal of Food Science and Technology*. <https://doi.org/10.1007/s13197-019-03732-7>
- Lizárraga, C., & Hernández, C. (2018). Polifenoles de la cáscara de mango para la acuicultura. *Comunicaciones Libres*, 69, 1–6.
- López-Cobo, A., Verardo, V., Diaz, E., Segura-Carretero, A., Fernández-Gutiérrez, A., & Gómez-Caravaca, A. M. (2017). Use of HPLC- and GC-QTOF to determine hydrophilic and lipophilic phenols in mango fruit (*Mangifera indica* L.) and its by-products. *Food Research International*, 100, 423–434. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2017.02.008>
- Luque-García, J. L., & Luque De Castro, M. D. (2003). Ultrasound: A powerful tool for leaching. *TrAC - Trends in Analytical Chemistry*, 22(1), 41–47. [https://doi.org/10.1016/S0165-9936\(03\)00102-X](https://doi.org/10.1016/S0165-9936(03)00102-X)
- Makare, N., Bodhankar, S., & Rangari, V. (2001). Immunomodulatory activity of alcoholic extract of *Mangifera indica* L. in mice. *Journal of*

*Ethnopharmacology*, 78(2–3), 133–137. [https://doi.org/10.1016/S0378-8741\(01\)00326-9](https://doi.org/10.1016/S0378-8741(01)00326-9)

Maldonado, O., Dominguez, J. E., Padilla, J. M., & Mendez, E. (2017). Efecto hipoglucemiante e hipolipemiante del extracto de *Mangifera indica* L. (mango) en rata ovariectomizada Antioxidant, *Mangifera indica* L, Diabetes, Dyslipidemia, Menopause. *Revista de Simulación y Laboratorio*, 4(12), 25–36. [www.ecorfan.org/bolivia](http://www.ecorfan.org/bolivia)

Maldonado, Y. I., Navarrete, H. A., Ortiz, Ó. D., Jiménez, J., Salazar, R., Alial, I., & Álvarez, P. (2016). Propiedades físicas, químicas y antioxidantes de variedades de mango crecidas en la costa de Guerrero. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 39(3), 207–214.

Manthey, J. A., & Penelope, P. V. (2009). Influences of harvest date and location on the levels of  $\beta$ -carotene, ascorbic acid, total phenols, the in vitro antioxidant capacity, and phenolic profiles of five commercial varieties of mango (*Mangifera indica* L.). *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 57(22), 10825–10830. <https://doi.org/10.1021/jf902606h>

Martínez, G., Delgado, R., Pérez, G., Garrido, G., Núez, A. J., & León, O. S. (2000). Evaluation of the in vitro antioxidant activity of *Mangifera indica* L. extract (Vimang). *Phytotherapy Research*, 14(6), 424–427. [https://doi.org/10.1002/1099-1573\(200009\)14:6<424::AID-PTR643>3.0.CO;2-8](https://doi.org/10.1002/1099-1573(200009)14:6<424::AID-PTR643>3.0.CO;2-8)

Martínez, I., Periago, J., & Ros, G. (2014). Significado nutricional de los compuestos fenólicos de la dieta. *Archivos Latinoamericanos de Nutricion*, 56, 123–134.

McCabe, W. ., Smith, J. ., & Harriot, P. (2007). *Operaciones Unitarias en Ingeniería Química*. (7ª). McGraw-Hill.

Meneses, M., Adami, R., Scognamiglio, M., Caputo, G., & Reverchon, E. (2013). Supercritical Antisolvent Extraction of Bioactive Compounds from Mango by-

Products. *Tenth Conference on Supercritical Fluids and Their Applications*, 15–20.

Miura, T., Ichiki, H., Hashimoto, I., Iwamoto, N., Kao, M., Kubo, M., Ishihara, E., Komatsu, Y., Okada, M., Ishida, T., & Tanigawa, K. (2001). Antidiabetic activity of a xanthone compound, mangiferin. *Phytomedicine*, 8(2), 85–87. <https://doi.org/10.1078/0944-7113-00009>

Muruganandan, S., Gupta, S., Kataria, M., Lal, J., & Gupta, P. K. (2002). Mangiferin protects the streptozotocin-induced oxidative damage to cardiac and renal tissues in rats. *Toxicology*, 176(3), 165–173. [https://doi.org/10.1016/S0300-483X\(02\)00069-0](https://doi.org/10.1016/S0300-483X(02)00069-0)

National Center for Biotechnology Information. (2021). *Mangiferina*. PubChem Compound Summary for CID 5281647.

Noratto, G. D., Bertoldi, M. C., Krenek, K., Talcott, S. T., Stringheta, P. C., & Mertens-Talcott, S. U. (2010). Anticarcinogenic effects of polyphenolics from mango (*Mangifera indica*) varieties. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 58(7), 4104–4112. <https://doi.org/10.1021/jf903161g>

Núñez, C. (2008). *Extracción con Equipo Soxhlet*. <http://www.cenunez.com.ar>

Núñez, A., Vélez, H., Agüero, J., González, J., Naddeo, F., De Simone, F., & Rastrelli, L. (2002). Isolation and quantitative analysis of phenolic antioxidants, free sugars, and polyols from mango (*Mangifera indica* L.) Stem bark aqueous decoction used in Cuba as a nutritional. *Journal Agricultural and Food Chemistry*, 50(4), 762–766.

Oey, I., Lille, M., Van Loey, A., & Hendrickx, M. (2008). Effect of high-pressure processing on colour, texture and flavour of fruit- and vegetable-based food products: a review. *Trends in Food Science and Technology*, 19(6), 320–328. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2008.04.001>

- Oliveira, B. G., Costa, H. B., Ventura, J. A., Kondratyuk, T. P., Barroso, M. E. S., Correia, R. M., Pimentel, E. F., Pinto, F. E., Endringer, D. C., & Romão, W. (2016). Chemical profile of mango (*Mangifera indica* L.) using electrospray ionisation mass spectrometry (ESI-MS). *Food Chemistry*, *204*, 37–45. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.02.117>
- Palafox-Carlos, H., Yahia, E. M., & González-Aguilar, G. A. (2012). Identification and quantification of major phenolic compounds from mango (*Mangifera indica*, cv. Ataulfo) fruit by HPLC-DAD-MS/MS-ESI and their individual contribution to the antioxidant activity during ripening. *Food Chemistry*, *135*(1), 105–111. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2012.04.103>
- Parrotta, J. (1993). *Mangifera indica* L. Mango. In J. K. Francis & C. A. Lowe (Eds.), *General technical report IITF-15 : Bioecología de arboles nativos y exóticos de Puerto Rico y las Indias Occidentales* (pp. 338–343).
- Peñarrieta, J. M., Tejeda, L., Mollinedo, P., Vila, J. L., & Bravo, J. A. (2014). Phenolic compounds in food ‡. *Revista Boliviana de Química*, *31*(2), 68–81.
- Pierson, J. T., Monteith, G. R., Roberts-Thomson, S. J., Dietzgen, R. G., Gidley, M. J., & Shaw, P. N. (2014). Phytochemical extraction, characterisation and comparative distribution across four mango (*Mangifera indica* L.) fruit varieties. *Food Chemistry*, *149*, 253–263. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2013.10.108>
- Porrás-Loaia, A. ., & López-Malo, A. (2003). Importancia de los grupos fenólicos en los alimentos. *Temas Selectos de Ingeniería de Alimentos*.
- PubChem. (2020). Compound Summary for CID 5281647, Mangiferin. Retrieved November 15,. *National Center for Biotechnology Information*. <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/Mangiferin>.
- Quiñones, M., Miguel, M., & Aleixandre, A. (2012). Los polifenoles , compuestos de origen natural con efectos saludables sobre el sistema cardiovascular. *Nutrición*



*Hospitalaria*, 27(1), 76–89. <https://doi.org/10.3305/nh.2012.27.1.5418>

- Rajendran, P., Ekambaram, G., & Sakthisekaran, D. (2008). Effect of mangiferin on benzo ( a ) pyrene induced lung carcinogenesis in experimental Swiss albino mice. *Natural Product Research*, 22, 672–680. <https://doi.org/10.1080/14786410701824973>
- Rivera, D. G. (n.d.). *Efecto inmunomodulador del extracto acuoso de Mangifera indica L. sobre la funcionalidad de los macrófagos y la respuesta alérgica*.
- Robbins, R. J. (2003). Phenolic acids in foods: An overview of analytical methodology. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 51(10), 2866–2887. <https://doi.org/10.1021/jf026182t>
- Rocha, S., & Schieber, A. (2010). Bioactive Compounds in Mango ( *Mangifera indica* L.) 1. In *Bioactive Foods in Promoting Health: Fruits and Vegetables* (pp. 507–523). <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-374628-3.00034-7>
- Rubiano-Charry, K. D., Ciro-Velásquez, H. J., & Aristizabal-Torres, I. D. (2019). Aprovechamiento de los subproductos del mango , como fuente de compuestos bioactivos , para la elaboración de rollos comestibles Use of the mango by-products , as source of bioactive compounds , for the preparation of edible rolls. *Rev. U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica*, 22(2).
- Ruiz-Montañez, G., Ragazzo-Sánchez, J. A., Calderón-Santoyo, M., Velázquez-De La Cruz, G., Ramírez De León, J. A., & Navarro-Ocaña, A. (2014). Evaluation of extraction methods for preparative scale obtention of mangiferin and lupeol from mango peels (*Mangifera indica* L.). *Food Chemistry*, 159, 267–272. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.03.0>
- Sánchez-Moreno, C., Plaza, L., De Ancos, B., & Cano, M. P. (2004). Effect of combined treatments of high-pressure and natural additives on carotenoid extractability and antioxidant activity of tomato puree (*Lycopersicon*

- esculentum Mill.). *European Food Research and Technology*, 219(2), 151–160.  
<https://doi.org/10.1007/s00217-004-0926-1>
- Schieber, A., Berardini, N., & Carle, R. (2003). Identification of flavonol and xanthone glycosides from mango (*Mangifera indica* L. cv. “Tommy Atkins”) peels by high-performance liquid chromatography-electrospray ionization mass spectrometry. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 51(17), 5006–5011.  
<https://doi.org/10.1021/jf030218f>
- Schieber, A., Ullrich, W., & Carle, R. (2000). Characterization of polyphenols in mango puree concentrate by HPLC with diode array and mass spectrometric detection. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 1(2), 161–166.  
[https://doi.org/10.1016/S1466-8564\(00\)00015-1](https://doi.org/10.1016/S1466-8564(00)00015-1)
- Schumacker, P. T. (2006). Reactive oxygen species in cancer cells: Live by the sword, die by the sword. *Cancer Cell*, 10(3), 175–176.  
<https://doi.org/10.1016/j.ccr.2006.08.015>
- Sekar, V., Chakraborty, S., Mani, S., Sali, V. K., & Vasanthi, H. R. (2019). Mangiferin from *Mangifera indica* fruits reduces post-prandial glucose level by inhibiting  $\alpha$ -glucosidase and  $\alpha$ -amylase activity. *South African Journal of Botany*, 120(2017), 129–134. <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2018.02.001>
- Sethiya, N. K., Trivedi, A., & Hari, S. (2015). Rapid validated high performance thin layer chromatography method for simultaneous estimation of mangiferin and scopoletin in *Canscora decussata* (South Indian Shankhpushpi) extract. *Revista Brasileira de Farmacognosia*, 25(3), 193–198.
- Siller, A., Alvarez, O., Aguilar, C., & Rojas, R. (2013). Polifenoles de Cáscara de Mango (*Mangifera caesia* var. Ataulfo): Una alternativa antioxidante y antimicrobiana. *Acta Quimica Mexicana*, 5(10), 8, 11.  
<http://www.posgradoeinvestigacion.uadec.mx/AQM/No.10/2polifenoles.pdf>

- Skoog, D. ., West, D. ., & Holler, F. . (2001). *Química Analítica* (7ª). Mc Graw Hill.
- SOILTEST. (2017). *Gradación-Tamices*. <https://www.ele.com/>
- Sotelo D., I., Casas F., N., & Camelo M., G. (2010). Borojó (Borojoa patinoi): Fuente de polifenoles con actividad antimicrobiana. *Vitae*, 17(3), 329–336.
- Soto, M. L. (2015). *Extracción y purificación de compuestos fenólicos a partir de subproductos de destilería de vino*. Universidad de Vigo.
- Sumaya, M. T., Sánchez, L., Torres, G., & García, D. (2012). Red de valor del mango y sus desechos con base en las propiedades nutricionales y funcionales. *Revista Mexicana de Agronegocios*, 30, 826–833.
- Sun, T., & Ho, C. T. (2005). Antioxidant activities of buckwheat extracts. *Food Chemistry*, 90(4), 743–749. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2004.04.035>
- Tharanathan, R. N., Yashoda, H. M., & Prabha, T. N. (2006). Mango (*Mangifera indica* L.), “the king of fruits” - An overview. In *Food Reviews International* (Vol. 22, Issue 2). <https://doi.org/10.1080/87559120600574493>
- Treybal, R. (1990). *OPERACIONES DE TRANSFERENCIA DE MASA* (2ª Edición). McGraw-Hill.
- Trillo, J. L. (2015). *Extracción y purificación de productos de interés industrial*. Universidad de Almería.
- UNLP. (2020). *EXTRACCIÓN*. [www.ing.unlp.edu.ar](http://www.ing.unlp.edu.ar)
- Vargas, Y., & Pérez, L. (2018). Use of agro-industrial waste in improving the quality of the environment. *Facultad de Ciencias Básicas*, 14(1), 59–72.
- Velderrain, G., Ovando, M., Villegas, M., Ayala, J. F., Wall, A., Álvarez, E., Madera, T., Astiazarán, H., Tortoledo, O., & González, G. (2015). Antioxidant capacity and bioaccessibility of synergic mango (cv. Ataulfo) peel phenolic compounds in edible coatings applied to fresh-cut papaya. *Food and Nutrition*

*Sciences*, 06(03), 365–373. <https://doi.org/10.4236/fns.2015.63037>

- Verde-Star, M. J., García-González, S., & Rivas-Morales, C. (2016). Metodología científica para el estudio de plantas medicinales. In *Investigación en plantas de importancia médica* (pp. 1–40).
- Verma, R. J., & Nair, A. (2001). Ameliorative effect of vitamin E on aflatoxin-induced lipid peroxidation in the testis of mice. *Asian Journal of Andrology*, 3(3), 217—221. <http://europepmc.org/abstract/MED/11561193>
- Vilegas, J. H. Y., De Marchi, E., & Lanças, F. M. (1997). Extraction of low-polarity compounds (with emphasis on coumarin and kaurenoic acid) from *Mikania glomerata* ('Guaco') leaves. *Phytochemical Analysis*, 8(5), 266–270. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1099-1565\(199709/10\)8:5<266::AID-PCA363>3.0.CO;2-Q](https://doi.org/10.1002/(SICI)1099-1565(199709/10)8:5<266::AID-PCA363>3.0.CO;2-Q)
- Villa-Corrales, L., Flores-Prieto, J. J., Xamán-Villaseñor, J. P., & García-Hernández, E. (2010). Numerical and experimental analysis of heat and moisture transfer during drying of Ataulfo mango. *Journal of Food Engineering*, 98(2), 198–206. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2009.12.026>
- Vinatoru, M. (2001). An overview of the ultrasonically assisted extraction of bioactive principles from herbs. *Ultrasonics Sonochemistry*, 8(3), 303–313. [https://doi.org/10.1016/S1350-4177\(01\)00071-2](https://doi.org/10.1016/S1350-4177(01)00071-2)
- Vintimilla, M. G. (2013). *Determinación de la actividad antioxidante de las fracciones lipofílicas e hidrofílicas de los subproductos agroindustriales de mango*. Universidad Técnica Particular de Loja.
- Vithana, M. D. K., Singh, Z., & Johnson, S. K. (2018). Cold storage temperatures and durations affect the concentrations of lupeol, mangiferin, phenolic acids and other health-promoting compounds in the pulp and peel of ripe mango fruit. *Postharvest Biology and Technology*, 139(December 2017), 91–98.

<https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2017.12.003>

- Vithana, M. D. K., Singh, Z., & Johnson, S. K. (2019). Harvest maturity stage affects the concentrations of health-promoting compounds: Lupeol, mangiferin and phenolic acids in the pulp and peel of ripe 'Kensington Pride' mango fruit. *Scientia Horticulturae*, 243(August 2018), 125–130. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2018.08.019>
- Wang, H., Ye, G., Tang, Y.-H., Zhu, H.-Y., Ma, R.-R., Sun, Z.-L., & Huang, C.-G. (2006). High-performance liquid chromatographic method for the determination of mangiferin in rat plasma and urine. *Biomedical Chromatography*, 288(3), 278–288. <https://doi.org/10.1002/bmc>
- Wang, L., & Weller, C. L. (2006). Recent advances in extraction of nutraceuticals from plants. *Trends in Food Science and Technology*, 17(6), 300–312. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2005.12.004>
- Wen, C., Zhang, J., Zhang, H., Dzah, C. S., Zandile, M., Duan, Y., Ma, H., & Luo, X. (2018). Advances in ultrasound assisted extraction of bioactive compounds from cash crops – A review. *Ultrasonics Sonochemistry*, 48, 538–549. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2018.07.018>
- Xu, B. J., & Chang, S. K. C. (2007). A comparative study on phenolic profiles and antioxidant activities of legumes as affected by extraction solvents. *Journal of Food Science*, 72(2), 159–166. <https://doi.org/10.1111/j.1750-3841.2006.00260.x>
- Yepes, S., Montoya, L., & Orozco, F. (2008). Valorización de residuos Agroindustriales-frutas-en Medellín-Colombia y el sur del Valle Aburra, Colombia. *Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín*, 61(1), 4422–4431.
- Zavala, E. (2016). *Compuestos fenólicos totales , absorción UV y capacidad de*

*capatación de radicales libres de la cáscara de Mangifera indica L. “mango”*  
[Universidad Nacional de Trujillo].  
<http://dspace.unitru.edu.pe/handle/UNITRU/4958>

Zavala, E. (2017). *Capacidad antioxidante, regeneradora y factor de protección de la cáscara de Mangiferina indica L. “mango.”* Universidad Nacional de Trujillo.