



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Química

**EXTRACCIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE β -CAROTENO OBTENIDO DE LA
CÁSCARA DE BANANO (*Musa paradisiaca* L.) EVALUANDO EL RENDIMIENTO
DE TRES DIFERENTES SOLVENTES DE DISTINTA POLARIDAD PARA SU
UTILIZACIÓN COMO COLORANTE NATURAL, A ESCALA LABORATORIO**

Luis Fernando Catalán López

Asesorado por la Inga. Telma Maricela Cano Morales e

Ing. Mario José Mérida Meré

Guatemala, abril de 2016

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**EXTRACCIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE β -CAROTENO OBTENIDO DE LA
CÁSCARA DE BANANO (*Musa paradisiaca* L.) EVALUANDO EL RENDIMIENTO
DE TRES DIFERENTES SOLVENTES DE DISTINTA POLARIDAD PARA SU
UTILIZACIÓN COMO COLORANTE NATURAL, A ESCALA LABORATORIO**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

LUIS FERNANDO CATALÁN LÓPEZ

ASESORADO POR LA INGA. TELMA MARICELA CANO MORALES E
ING. MARIO JOSÉ MÉRIDA MERÉ

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO QUÍMICO

GUATEMALA, MARZO DE 2016

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL I	Ing. Angel Roberto Sic García
VOCAL II	Ing. Pablo Christian de León Rodríguez
VOCAL III	Inga. Elvia Miriam Ruballos Samayoa
VOCAL IV	Br. Raúl Eduardo Ticún Córdova
VOCAL V	Br. Henry Fernando Duarte García
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Murphy Olympto Paiz Recinos
EXAMINADOR	Dr. Ing. Adolfo Narciso Gramajo Antonio
EXAMINADOR	Ing. Manuel Gilberto Galván Estrada
EXAMINADOR	Ing. Carlos Salvador Wong Davi
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

EXTRACCIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE β -CAROTENO OBTENIDO DE LA CÁSCARA DE BANANO (*Musa paradisiaca* L.) EVALUANDO EL RENDIMIENTO DE TRES DIFERENTES SOLVENTES DE DISTINTA POLARIDAD PARA SU UTILIZACIÓN COMO COLORANTE NATURAL, A ESCALA LABORATORIO

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Química, con fecha 25 de noviembre del 2013.



Luis Fernando Catalán López



CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERIA
FACULTAD DE INGENIERIA
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



Guatemala, 22 de Octubre de 2015

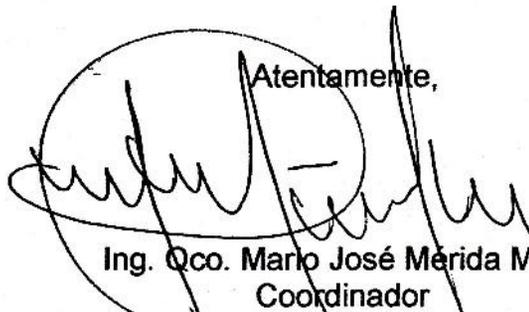
Ingeniero
Victor Manuel Monzón Valdez
Director Escuela de Ingeniería Química
Facultad de Ingeniería
Universidad de San Carlos de Guatemala
Presente.

Ingeniero Monzón:

Por medio de la presente HACEMOS CONSTAR que hemos revisado y dado nuestra aprobación al Informe Final del trabajo de graduación titulado "EXTRACCIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE β -CAROTENO OBTENIDO DE LA CÁSCARA DE BANANO (*Musa paradisiaca L.*) EVALUANDO EL RENDIMIENTO DE TRES DIFERENTES SOLVENTES DE DISTINTA POLARIDAD PARA SU UTILIZACIÓN COMO COLORANTE NATURAL, A ESCALA LABORATORIO", del estudiante de Ingeniería Química Luis Fernando Catalán López quien se identifica con el carné número 2008-20514.

Sin otro particular me suscribo de usted.

Atentamente,


Ing. Qco. Mario José Mérida Méndez
Coordinador
Laboratorio de Investigación
de Extractos Vegetales -LIEXVE-
Asesor





Inga. Qca. Telma Maribela Cano Morales
Directora
Centro de Investigaciones de Ingeniería / CII
Asesora



FACULTAD DE INGENIERÍA —USAC—

Edificio T-5, Ciudad Universitaria zona 12

Teléfono directo: 2418-9115, Planta: 2418-8000 Exts. 86209 y 86221 Fax: 2418-9121

Página web: <http://cii.usac.edu.gt>



Guatemala, 25 de noviembre de 2013
 Ref. EI.Q.TG-DI.119.2013

Ingeniero
Víctor Manuel Monzón Valdez
 DIRECTOR
 Escuela de Ingeniería Química
 Facultad de Ingeniería

Estimado Ingeniero Monzón:

Como consta en el Acta TG-174-2013-DI le informo que reunidos los Miembros de la Terna nombrada por la Escuela de Ingeniería Química, se practicó la revisión del:

**DISEÑO DE INVESTIGACIÓN DE TRABAJO DE GRADUACIÓN
 -Modalidad Seminario de Investigación-**

Solicitado por el estudiante universitario: **Luis Fernando Catalán López.**

Identificado con número de carné: **2008-20514.**

Previo a optar al título de **INGENIERO QUÍMICO.**

Siguiendo los procedimientos de revisión interna de la Escuela de Ingeniería Química, los Miembros de la Terna han procedido a **APROBARLO** con el siguiente título:

EXTRACCIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE β -CAROTENO OBTENIDO DE LA CÁSCARA DE BANANO (*Musa paradisiaca* L.) EVALUANDO EL RENDIMIENTO DE TRES DIFERENTES SOLVENTES DE DISTINTA POLARIDAD PARA SU UTILIZACIÓN COMO COLORANTE NATURAL, A ESCALA LABORATORIO

El Trabajo de Graduación es asesorado por los Ingenieros Químicos: **Telma Maricela Cano Morales y Mario José Mérida Meré.**

Se autoriza al estudiante, proceder con la fase de ejecución del proyecto de investigación, del trabajo de graduación de acuerdo al cronograma aprobado.

"ID Y ENSEÑAD A TODOS"

Ing. Víctor Manuel Monzón Valdez
 COORDINADOR DE TERNA
 Tribunal de Revisión
 Trabajo de Graduación



C.c.: archivo



ACAAI

Agencia Centroamericana de Acreditación de Programas de Arquitectura y de Ingeniería



Ref.EIQ.TG.017.2016

El Director de la Escuela de Ingeniería Química de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del Asesor y de los Miembros del Tribunal nombrado por la Escuela de Ingeniería Química para revisar el Informe del Trabajo de Graduación del estudiante, **LUIS FERNANDO CATALÁN LÓPEZ** titulado: **"EXTRACCIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE β -CAROTENO OBTENIDO DE LA CÁSCARA DE BANANO (*MUSA PARADISIACA* L.) EVALUANDO EL RENDIMIENTO DE TRES DIFERENTES SOLVENTES DE DISTINTA POLARIDAD PARA SU UTILIZACIÓN COMO COLORANTE NATURAL, A ESCALA LABORATORIO"**. Procede a la autorización del mismo, ya que reúne el rigor, la secuencia, la pertinencia y la coherencia metodológica requerida.

"Id y Enseñad a Todos"

Ing. Carlos Salvador Wong Davila
Director
Escuela de Ingeniería Química



Guatemala, marzo 2016

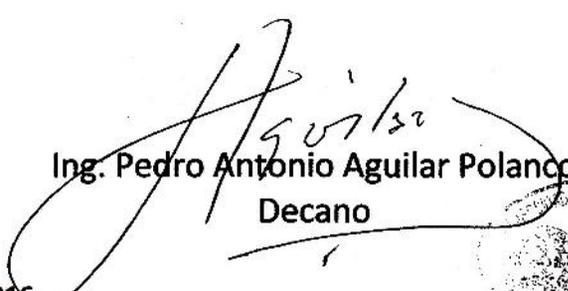
Cc: Archivo
CSWD/ale



DTG. 109.2016

El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Química, al Trabajo de Graduación titulado: **EXTRACCIÓN Y CARACTERIZACIÓN DEL β -CAROTENO OBTENIDO DE LA CÁSCARA DE BANANO (*Musa paradisiaca* L.) EVALUANDO EL RENDIMIENTO DE TRES DIFERENTES SOLVENTES DE DISTINTA POLARIDAD PARA SU UTILIZACIÓN COMO COLORANTE NATURAL, A ESCALA LABORATORIO**, presentado el estudiante universitario: **Luis Fernando Catalán López**, y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:


Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
Decano

Guatemala, abril de 2016



/gdech

ACTO QUE DEDICO A:

Mis padres

Edna López y Alberto Catalán, por su amor incondicional y proporcionarme el apoyo y la ayuda en todo momento y exigir lo mejor de mí.

Mis hermanos

Jorge y Miguel, por compartir su sabiduría y ofrecerme su ayuda a lo largo de mi vida.

Mi abuela

Alicia Cardona, por su infinito cariño, amor y por ser una importante influencia en mi carrera.

AGRADECIMIENTOS A:

Universidad de San Carlos de Guatemala	Por ser mi casa de estudios y por todos los buenos y malos momentos que viví en ella.
Facultad de Ingeniería	Por ser parte de mi formación profesional.
Escuela de Ingeniería Química	Por brindarme el conocimiento necesario para lograr esta meta.
LIEXVE	Laboratorio de Investigación de Extractos Vegetales, por el apoyo y el desarrollo profesional proporcionado.
Mis amigos	Antonio Melgar, Ana Lucia Marchorro, Christian Domínguez, Freddy Chang, Luis Elías y Omar Ordoñez, por todos los buenos momentos y por ser una parte importante en mi carrera.
Ana Rodríguez	Por todo el amor incondicional, apoyo e inspiración.
Ing. Víctor Monzón	Por su apoyo como director de la Escuela de Ingeniería Química.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	V
LISTA DE SÍMBOLOS	IX
GLOSARIO	XI
RESUMEN.....	XV
OBJETIVOS.....	XVII
Hipótesis.....	XVIII
INTRODUCCIÓN	XIX
1. ANTECEDENTES	1
2. MARCO TEÓRICO.....	5
2.1. Colorantes naturales	5
2.1.1. Definición	5
2.1.2. Clasificación de colorantes naturales	7
2.1.3. Características físicas.....	7
2.1.4. Usos tradicionales	8
2.1.5. Características químicas	9
2.1.6. Carotenoides	10
2.1.6.1. Clasificación y nomenclatura	11
2.1.6.2. Distribución y estado natural.....	11
2.1.6.3. Extracción y aislamiento	12
2.1.7. Mordientes.....	15
2.1.8. Taninos.....	15
2.2. Extracción sólido-líquido.....	16
2.2.1. Variables de la extracción sólido-líquido.....	16

2.2.2.	Solvente	18
2.2.3.	Agua.....	18
2.2.4.	Acetona	19
2.2.5.	Etanol	19
2.2.6.	Soxhlet	20
2.3.	Lixiviación.....	22
2.3.1.	Lixiviación estática	22
2.3.2.	Lixiviación dinámica	22
2.4.	Espectrofotometría.....	23
2.4.1.	Transmitancia y absorbancia.....	24
2.4.2.	Ley de Lambert-Beer.....	25
2.4.3.	Obtención de un espectro de absorción	25
2.5.	Materia prima	27
2.5.1.	Usos	29
2.5.2.	Beneficios.....	29
2.5.3.	Aspectos técnicos	30
2.5.3.1.	Altitud	30
2.5.3.2.	Latitud.....	30
2.5.3.3.	Temperatura.....	30
2.5.3.4.	Pluviosidad	31
2.5.3.5.	Luminosidad	31
2.5.3.6.	Variedades importantes.....	31
3.	DISEÑO METODOLÓGICO.....	33
3.1.	Variables	33
3.2.	Delimitación del campo de estudio.....	34
3.2.1.	Materia vegetal.....	34
3.2.2.	Solvente	34
3.2.3.	Análisis del extracto	35

3.3.	Recursos humanos disponibles.....	35
3.4.	Recursos materiales disponibles	35
3.4.1.	Equipo	36
3.4.2.	Cristalería	36
3.4.3.	Reactivos.....	37
3.5.	Técnica cuantitativa o cualitativa	37
3.5.1.	Procedimiento.....	37
3.5.1.1.	Porcentaje de rendimiento del extracto de la cáscara de banano.....	37
3.5.1.2.	Residuo por incineración de la cáscara de banano	39
3.5.1.3.	Densidad del extracto sin concentrar de la cáscara de banano	39
3.5.1.4.	ppm de β -caroteno del extracto de la cáscara de banano	40
3.6.	Diseño experimental.....	41
3.6.1.	Análisis estadístico	46
3.6.1.1.	Análisis de varianza para el porcentaje de rendimiento del extracto de la cáscara de banano.....	49
3.6.1.2.	Análisis de varianza para la concentración de β -caroteno del extracto de la cáscara de banano.....	50
3.6.1.3.	Media aritmética	55
3.6.1.4.	Desviación estándar	55
4.	RESULTADOS	57
5.	INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS.....	63

CONCLUSIONES69
RECOMENDACIONES71
BIBLIOGRAFÍA73
APÉNDICES.....77

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Carotenoides naturales ampliamente distribuidos.....	14
2.	Espectro de absorción de tres pigmentos fotosintéticos cloroplastícos	26
3.	Estructura de la planta de banano	28
4.	Evaluación del tiempo de extracción de β -caroteno obtenido de la cáscara de banano utilizando tres solventes, para fijar la variable del tiempo de extracción	43
5.	Rendimiento del extracto de β -caroteno obtenido de la cáscara de banano en función del solvente utilizado.....	58
6.	Concentración de β -caroteno obtenido del extracto de la cáscara de banano em función del solvente utilizado	59
7.	Densidad del extracto de β -caroteno sin concentrar obtenido de la cáscara de banano	60
8.	Potencial de hidrógeno del extracto de β -caroteno sin concentrar obtenido de la cáscara de banano	61

TABLAS

I.	Colorantes flavonoides	9
II.	Colorantes carotenoides	9
III.	Colorantes tipo quinona	10
IV.	Colores absorbidos y reflejados a diferentes longitudes de onda	24
V.	Variables dependientes e independientes.....	33

VI.	Constante dieléctrica y momento dipolar del agua, acetona y etanol	35
VII.	Evaluación del tiempo de extracción de β -caroteno obtenido de la cáscara de banano utilizando tres solventes, para fijar la variable del tiempo de extracción.....	41
VIII.	Rendimiento del extracto de β -caroteno obtenido de la cáscara de banano utilizando tres solventes.....	42
IX.	Cuantificación de β -caroteno por espectrofotometría UV-Vis del extracto de la cáscara de banano	44
X.	Densidad del extracto de β -caroteno de la cáscara de banano sin concentrar	44
XI.	Determinación del potencial de hidrógeno del extracto de β -caroteno sin concentrar de la cáscara de banano	45
XII.	Residuo por incineración de la cáscara de banano fresca.....	46
XIII.	Bloque de análisis con una variable y varias repeticiones	47
XIV.	Análisis de la varianza para el experimento de un factor con n-repeticiones	47
XV.	Experimento del factor para el porcentaje de rendimiento del extracto de de la cáscara de banano.....	49
XVI.	Análisis de varianza para el experimento de un factor con n-repeticiones para el rendimiento del extracto.....	49
XVII.	Cuadro comparativo para la prueba de Tukey del rendimiento del extracto de la cáscara de banano	50
XVIII.	Experimento del factor para la concentración de β -caroteno del extracto de la cáscara de banano.....	50
XIX.	Análisis de varianza para el experimento de un factor con n-repeticiones para la concentración de β -caroteno del extracto de la cáscara de banano	51
XX.	Cuadro comparativo para la prueba de Tukey de la concentración de β -caroteno del extracto de la cáscara de banano	51

XXI.	Experimento del factor para la densidad del extracto de β -caroteno sin concentrar obtenido de la cáscara de banano.....	52
XXII.	Análisis de varianza para el experimento de un factor con n-repeticiones para la densidad del extracto de β -caroteno sin concentrar obtenido de la cáscara de banano.	52
XXIII.	Cuadro comparativo para la prueba de Tukey de la densidad del extracto de β -caroteno sin concentrar obtenido de la cáscara de banano.	53
XXIV.	Experimento del factor para el potencial de hidrógeno del extracto de β -caroteno sin concentrar obtenido de la cáscara de banano.....	53
XXV.	Análisis de varianza para el experimento de un factor con n-repeticiones para el potencial de hidrógeno del extracto de β -caroteno sin concentrar obtenido de la cáscara de banano.	54
XXVI.	Cuadro comparativo para la prueba de Tukey del potencial de hidrógeno del extracto de β -caroteno sin concentrar obtenido de la cáscara de banano.....	54
XXVII.	Rendimiento del extracto de β -caroteno obtenido de la cáscara de banano utilizando tres diferentes solventes	57
XXVIII.	Concentración de β -caroteno obtenido del extracto de la cáscara de banano utilizando tres diferentes solventes.....	58
XXIX.	Densidad del extracto de β -caroteno sin concentrar obtenido de la cáscara de banano.....	59
XXX.	Resultado del potencial de hidrógeno del extracto de β -caroteno sin concentrar obtenido de la cáscara de banano.....	60
XXXI.	Residuo por incineración de la cáscara de banano fresca	62

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
SO₃H	Ácido sulfónico
°C	Grados Celsius
g	Gramo
-NH₂	Grupo funcional amino
-OH	Grupo funcional hidróxido
KOH	Hidróxido de potasio
µg	Microgramo
mg	Miligramos
mL	Mililitro
nm	Nanómetro
NO₂	Óxido de nitrógeno
pH	Potencial de hidrógeno

GLOSARIO

Auxócromos	Grupos positivos de átomos, que intensifican la acción de un grupo de átomos no saturados que, estando presentes en una molécula de una sustancia química, hacen que esta sea coloreada.
Betacianinias	También conocido como colorante E-162, es una sustancia que consiste en el extracto acuoso de la raíz de la remolacha roja.
Betaleína	Metabolitos secundarios de las plantas nitrogenados que actúan como pigmentos rojos y amarillos.
Calcona	Chalcona o calcona es una cetona aromática y un enona que forma el núcleo central para una variedad de compuestos biológicos importantes.
Cromóforos	Sustancia que tiene muchos electrones capaces de absorber energía o luz visible, y excitarse para así emitir diversos colores.
Delfinidina	Antocianidina, uno de los principales pigmentos de las plantas y también, un antioxidante.
Hidrófilos	Es el comportamiento de toda molécula que tiene afinidad por el agua.

Hidrófobos	Sustancias que son repelidas por el agua o que no se pueden mezclar con ella.
HPLC	High Performance Liquid Chromatography.
Indol	Un compuesto orgánico heterocíclico, con estructura bicíclica que consiste en un anillo de seis miembros, unido a otro de cinco miembros.
IR	Radiación infraroja.
Isomerismo	Cuando dos o más compuestos tienen idéntica fórmula molecular, pero tienen diferente fórmula estructural.
Luteína	Un pigmento amarillo encontrado en plantas, algas, bacterias fotosintéticas y en la yema del huevo. Se utiliza como aditivo en el tratamiento comercial de los alimentos.
Naftoquinonas	Pigmentos cuyo color va desde el amarillo, pasando por el anaranjado al rojo intenso.
OMS	Organización Mundial de la Salud.
PIB	Producto Interno Bruto.

Terpenoides	Terpenos modificados químicamente, por ejemplo, por oxidación o reorganización del esqueleto hidrocarbonado.
Tetraterpenoides	Terpenos de 40 carbonos.
UV	Radiación ultravioleta.
Xantonas	Un compuesto carbonílico que consiste en un heterociclo de xanteno oxidado.

RESUMEN

En el presente trabajo de investigación se planteó la extracción y caracterización de β -caroteno a nivel laboratorio obtenido de la cáscara de banano (*Musa paradisiaca L.*), evaluando el rendimiento de tres diferentes solventes de distinta polaridad, realizado por medio de una extracción sólido líquido mediante la técnica Soxhlet. Se determinó cuál solvente presenta un mayor rendimiento, así como una caracterización del extracto por medio de métodos físicos, químicos y una espectrofotometría UV. Finalmente se evaluó el efecto de la polaridad del solvente comparando los rendimientos de cada uno de ellos.

Realizando una extracción Soxhlet y determinando el porcentaje de rendimiento del extracto para cada solvente y su posterior caracterización por espectrofotometría UV, se obtuvieron los datos de cantidad en concentración de ppm de β -caroteno en la muestra.

Con los datos obtenidos se procedió a hacer uso de las herramientas adecuadas tanto gráficas como numéricas para el análisis de la información y tratamiento estadístico de las mismas, obteniendo como resultado que el mayor rendimiento del extracto de la cáscara de banano se obtuvo con el solvente agua con un resultado de 7,39 %, determinándose que el rendimiento es directamente proporcional a la polaridad del solvente y la mayor concentración de β -caroteno obtenido fue con etanol, con un resultado de 0,9124 ppm, estableciendo que la concentración de β -caroteno de la cáscara de banano es inversamente proporcional a la polaridad del solvente.

OBJETIVOS

General

Extraer y caracterizar el β -caroteno obtenido a partir de la cáscara de banano (*Musa paradisiaca L.*) y evaluar el rendimiento, utilizando tres diferentes solventes de distinta polaridad y determinar cuál presenta un mayor rendimiento.

Específicos

1. Extraer β -caroteno de la cáscara de banano mediante el uso de tres diferentes solventes, utilizando la técnica Soxhlet.
2. Determinar el rendimiento en la extracción de β -caroteno mediante la técnica Soxhlet, evaluando el efecto de la polaridad del solvente.
3. Caracterizar el extracto obtenido mediante métodos fisicoquímicos y una cuantificación por espectrofotometría UV-Vis.

Hipótesis

General

Es factible el uso de la cáscara de banano como fuente significativa de carotenoides en la forma de β -caroteno, para su uso como colorante, obtenido mediante la extracción sólido-líquido por la técnica de Soxhlet.

Hipótesis nula

La concentración de β -caroteno obtenido en la extracción es independiente del solvente utilizado.

$$\mu_1 = \mu_2 = \mu_3$$

Hipótesis alternativa

La concentración de β -caroteno obtenido en la extracción varía significativamente respecto al solvente utilizado.

$$\mu_1 \neq \mu_2 \neq \mu_3$$

INTRODUCCIÓN

El β -caroteno es el carotenoide que existe con mayor abundancia en la naturaleza. Un carotenoide se refiere a los pigmentos orgánicos que se encuentran presente en las plantas y otros organismos fotosintéticos, los cuales dan color a estos y varían desde el amarillo hasta el rojo, pasando por el anaranjado.

Las personas no son capaces de sintetizar carotenoides en sus organismos, por lo que deben de ser incluidos en su alimentación como parte de su dieta diaria, siendo su función la de precursor de la vitamina A, la cual desempeña funciones importantes en el organismo como la resistencia a infecciones, la producción de anticuerpos, crecimiento óseo, fertilidad; pero su principal función es la que cumple en la retina, donde es oxidado y llevado a los bastones para formar el pigmento visual llamado rodopsina.

De acuerdo a la importancia que presentan los carotenoides, en especial el β -caroteno en la nutrición del ser humano, se plantea el estudio donde se buscan opciones naturales alternas, debido a que la principal fuente de este carotenoide proviene de la zanahoria. Si bien las aplicaciones de este extracto no son solamente nutritivas, también el β -caroteno es un colorante altamente utilizado en la industria alimenticia y textil con el nombre de E160.

1. ANTECEDENTES

Durante la presente investigación, no se encontraron antecedentes en Guatemala sobre la extracción de carotenos en la forma de β -caroteno de la cáscara de banano (*Musa paradisiaca* L.), pero sí relacionadas en el extranjero.

Amin Ismail, en la revista *Molecules*, en el artículo titulado “Carotenoids and Their Isomers: Color Pigments in Fruits and Vegetables”¹, menciona acerca de la presencia de carotenoides en las frutas y verduras, de su importancia nutritiva como “ingredientes funcionales del alimento”, además muestra como ejemplo, que el β -caroteno posee un color naranja, mientras que el α -caroteno es un pigmento amarillo que puede ser encontrado en frutas y vegetales. Entre las frutas que contienen β -caroteno se mencionan las piñas (*ananas*), cítricos (*citrus*), carambola (*averrhoa*), banano (*musa*) y pera (*pyrus*). Varios vegetales son conocidos con contenido de β -caroteno, como la zanahoria o la patata dulce, siendo la zanahoria el vegetal que mayor posee.

En el mismo artículo hace mención de otra investigación llevada a cabo por Rajyalkshmi et. al.², donde se reporta que la cantidad de β -caroteno en vegetales con hojas verdes es de 0.4-4.05 mg por 100 gramos de material comestible y en frutas como el banano en las especies paradisiaca L., var. Emas, var. Tanduk es de 0,097, 0,092, 0,001 mg por 100 gramos de materia fresca respectivamente.

¹ ISMAIL, Amin. “Carotenoids and their isomers: Color Pigments in Fuits and Vegetables”. *Molecules* 2011, 16, p. 1710-1738.

² RAJYALAKSHMI P. et. al. “Total carotenoid and beta-carotene contents of forest green leafy vegetables consumed by tribals of south India”. *Plant Food Hum. Nutr*, 2001, p. 56, 225-238.

Rober Fungo y Michael Pillay en una investigación titulada “ β -Carotene content of selected banana genotypes from Uganda”³ la cual trata sobre los problemas alimenticios por falta de vitamina A y como estos pueden ser eliminados mejorando el contenido de dicha vitamina en los bananos (*Musa spp.*), en las plantaciones de Africa y en otras partes del mundo. En el estudio se usa el HPLC para determinar el contenido de β -caroteno de 47 genotipos de bananos del Instituto Internacional de Agricultura Tropical en Uganda. Se encontró que los mayores niveles de β -caroteno los poseía el genotipo de banano de Papúa Nueva Guinea con valores de 2 594,0 μg por 100 g de material comestible. La determinación se realizó con material congelado a $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$, que luego fue triturado por medio de un procesador de alimentos, utilizando cloroformo como solvente, se puso en contacto con el material vegetal con un 0,25 % de BHT (butylated hydroxyanisole), estos fueron incubados por 10 minutos, filtrados y centrifugados por 15 min, siendo finalmente filtrado nuevamente, esta muestra se preparó para el análisis por medio de HPLC.

R. Kongkachuichai, en la revista *Food Chemistry*, el artículo titulado “Beta-Carotene, lycopene, and alpha-tocopherol contents of selected Thai fruits”⁴ en este presenta una investigación realizada en Tailandia con base a 30 diferentes frutas de la región, realizando la extracción de β -caroteno, licopeno y alfa-tocoferol, en la búsqueda de evaluar la cantidad de estos materiales en las frutas consumidas, debido a sus propiedades antioxidantes para ayudar a reducir las muertes crónicas por enfermedades no transmitidas. Determinando que la sandía roja (*Citrulus vulgaris*) contenía la mayor cantidad de β -caroteno con un valor de

³ FUNGO, Robert, Michael Pilay. *β -Carotene content of selected banana genotypes from Uganda*. African Journal of Biotechnology, Vol. 10(28), 20 June 2011, p. 5423-5430.

⁴ KONGKACHUICHAI, R., Charoensiri, R., Suknicom, S., Sungpuag, P. “Beta-Carotene, lycopene, and alpha-tocopherol contents of selected Thai fruits”, *Food Chemistry* 113, 2009, p. 202-207.

1 040 µg por 100 g de material comestible. La extracción se realizó por medio del procedimiento de Speek, Schrijver y Scherurs.

Otra investigación llevada a cabo por Marisa M. Wall en el artículo titulado "Ascorbic acid, vitamin A, and mineral composition of banana (*Musa sp.*) and papaya (*Cariaca papaya*) cultivars grown in Hawaii"⁵ de la revista *Journal of Food Composition and Analysis*, se estudió el contenido de ácido ascórbico (vitamina C) y de provitamina A (β -caroteno, α -caroteno, β -criptoxantina), utilizando para su estudio frutas cultivadas de la región, empleando la variedad Williams, (*Musa sp.* AAA) y banana enana (*Musa sp.* AAB), el estudio se realizó por medio de un HPLC para cuantificar la cantidad de provitamina A. En la separación se utilizó carbonato de magnesio, sulfato de sodio anhídrido sobre el material vegetal homogenizado, tratándolo con THF para remover los carotenoides a través de un embudo al vacío. Se determinó que la mayor cantidad de β -caroteno lo poseía la especie banana enana con una cantidad de 131,4 µg por 100 gramos de materia prima.

Eliana Cardona en el artículo de la revista de la Facultad de Química Farmacéutica de la Universidad de Antioquia titulado *Extracción del carotenoide licopeno del tomate chonto (*Lycopersicum esculentum*)*⁶, se estudió el contenido de licopeno en una especie de tomate, comparando los métodos de extracción con arrastre de vapor y extracción con solventes, caracterizando los extractos obtenidos mediante espectrometría visible UV. Además se determinan otros parámetros del proceso de extracción, como la temperatura, relación masa pulpa a volumen de solvente, tiempo de extracción y número de etapas. Con estos

⁵ WALL, Marisa M. *Ascorbic acid, vitamin A, and mineral composition of banana (*Musa sp.*) and papaya (*Cariaca papaya*) cultivars grown in Hawaii*, *Journal of Food Composition and Analysis* 10 (2006) 434-445.

⁶ CARDONA, Eliana M., Rios, Luis A., Restrepo, Gloria M. *Extracción del carotenoide licopeno del tomate chonto (*Lycopersicum esculentum*)*. *Revista de la Facultad de Química Farmacéutica, Universidad de Antioquia, Medellín*, p. 44 – 53.

parámetros se propone el diseño básico de una planta piloto para la extracción de dicho carotenoide.

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Colorantes naturales

Se denomina colorante a las sustancias intensamente coloreadas que se pueden utilizar para dar color. Los colorantes quedan detenidos en las sustancias que colorean por la adsorción física, por la retención mecánica, por la formación de enlaces covalentes o de complejos, como sales o metales, o bien por disolución.

2.1.1. Definición

Los colorantes naturales son aquellos pigmentos o tintes que se obtienen a partir de materias animales o vegetales sin ser procesado. La mayor parte de los colorantes naturales importantes históricamente son aquellos que pertenecen a los grupos de las antraquinonas, naftoquinonas, indigoides y carotenoides.

Para que una sustancia coloreada sea considerada un colorante, deberá contener grupos cromóforos llamados auxócromos, los que dan a la sustancia afinidad con la fibra.

Los colorantes naturales que se usaron en otras épocas, han sido reemplazados casi en su totalidad por colorantes sintéticos, casi todos de estructura compleja. Hay que ejecutar una larga serie de operaciones, para convertir las materias primas y formar colorantes. En el curso de estas síntesis es necesario preparar un gran número de los productos llamados intermedios de colorantes, la mayor parte de estos son compuestos aromáticos con grupos

sustituyentes como -NH_2 , -OH , -NO_2 y $\text{-SO}_3\text{H}$, que alteran la reactividad de los compuestos cíclicos.

Todas las moléculas absorben energía en varias zonas del espectro electromagnético. La característica de las moléculas de un colorante, es que absorben radiación fuertemente en la región visible, que va desde los 4 000 hasta los 7 000 Å. Las únicas moléculas visibles para ser útiles como colorantes, son las que tienen una complejidad considerable y que contienen varios sistemas conjugados relacionados con grupos que atraen y separan electrones.

El tono y la permanencia de un cierto colorante puede variar, dependiendo del substrato, debido a las diferentes interacciones de los orbitales moleculares del colorante con dicho substrato, y a la facilidad con que el colorante puede disipar su energía absorbida, hacia el medio circundante sin descomponerse.

Un colorante consta de una estructura que produce color, el cromágeno (receptor de electrones) y una parte que regula las propiedades de coloración y solubilidad, el auxocromo (donador de electrones), sin ambas partes, el material es sencillamente un cuerpo con color.

El cromágeno es un cuerpo aromático que contiene un grupo que proporciona color, llamado cromóforo. La principal unidad estructural de un colorante es siempre no saturada. Los grupos cromóforos causan color al alterar las bandas de absorción en el espectro visible. Algunas moléculas pierden sus colores cuando se saturan los grupos cromóforos.

Los principales usos de los colorantes son: en la coloración de fibras textiles y de papel. Los substratos se agrupan en dos categorías, hidrófobas e hidrófilas. Las sustancias hidrófilas, tales como el algodón, la lana, la seda y el papel, se

hinchán con bastante rapidez al sumergirse en agua, lo cual hace que el colorante tenga acceso al substrato fácilmente. Por otra parte, la facilidad de penetración, también significa que el colorante puede desprenderse en los sistemas acuosos, por lo que es necesario usar técnicas especiales cuando se requiere alto grado de permanencia en húmedo.

2.1.2. Clasificación de colorantes naturales

Los colorantes naturales se pueden agrupar en diferentes formas: por tipo de teñido, composición química, características físicas entre otros.

2.1.3. Características físicas

- Colorantes directos: son los grupos de colorantes de antocianina, carotinoide derivados de la calcona. Son obtenidos de una solución acuosa y esta extracción se usan directamente para teñir o pintar en frío o en caliente. A veces se usan sustancias auxiliares como ácidos o sales. Por ejemplo: la flor de cártamo, cúrcuma, azafrán, entre otros.
- Mordentados: este tipo de colorantes no tienen por sí mismo el poder de entintar, solo con un tratamiento especial de sales metálicas solubles que reaccionan sobre la fibra. Esta técnica se aplica a la mayoría de las plantas que dan color como, la gardenia, rubia, cochinilla, palo de Campeche y de Brasil, entre otros.
- Tipo de reducción: derivados del indol, estas materias colorantes se encuentran en el interior de los cuerpos vegetales o animales, pero son insolubles. Para darles solubilidad, se les aplica una sustancia reductora,

obteniéndose una solución incolora que se aplica a las fibras y después, mediante una oxidación aparece el color, como ejemplo está el añil.

- Pigmentos: polvos de materiales minerales, son insolubles que no tienen poder de entintar, por lo cual solo pueden utilizarse mezclándose con otro cuerpo, como el engrudo, cola, resina, caseína, clara de huevo entre otros, con los que se forma una pasta para pintar.

2.1.4. Usos tradicionales

- Untado directamente sobre la fibra: se aprovecha directamente el color de la fibra.
- Exprimidos: el caracol púrpura da un color que aparece por la oxidación con el aire.
- Aprovechamiento de colorantes naturales rojos de la cochinilla mediante la aplicación de mordentes y calor.
- Cocción de colorantes: por extracto de cocción aparecen varios tonos con el uso de mordentes, por ejemplo, la flor de dalia.
- Separación de colorantes: las sustancias que permiten su separación pueden ser ácidas o cenizas como la flor de cártamo.
- Reducción y oxidación como el añil flora.
- Mordentes naturales: se sumerge la fibra previamente teñida con extractos de colorantes en agua de lago o pozo, que contenga alumbre, tequezquite

o hierro, el color aparece con diferentes tonos según las sales minerales que lo fijan.

2.1.5. Características químicas

- Colorantes flavonoides: son cuatro grupos principales, los cuales se muestran en la tabla I.

Tabla I. **Colorantes flavonoides**

Grupo	Color	Procedencia
Flavonol	Amarillo	Bidens
Flavonona	Crema amarillo	Perejil
Calcona	Rojo y amarillo	Cártamo
Antocianina	Rojo y violeta	Tintía

Fuente: YOSHIKO, Shirata. *Colorantes naturales*. p. 56.

- Colorantes carotenoides: Son dos grupos principales, estos se describen en la tabla II.

Tabla II. **Colorantes carotenoides**

Grupo	Color	Procedencia
Caroteno	Anaranjado	Zanahoria
Xentofila	Amarillo	Achiote

Fuente: YOSHIKO, Shirata. *Colorantes naturales*. p. 58.

- Colorantes tipo quinona: son dos grupos, estos se detallan en la tabla III.

Tabla III. **Colorantes tipo quinona**

Grupo	Color	Procedencia
Antroquina	Rojo	Rubia cochinilla
Naftoquinona	Violeta	Henna

Fuente: YOSHIKO, Shirata. Colorantes naturales. p. 100.

- Derivados de indol: color azul proveniente del añil.
- Derivados de delphinidina: color azul proveniente de la hierba de pollo.
- Derivados de dihidropirano: color rojo y violeta proveniente del palo de Brasil.
- Grupo betaleína: color rojo proveniente del betabel.
- Grupo xantonas: color amarillo proveniente de algunos líquenes.
- Grupo tanino-progallo y catecol: color café proveniente del castaño.
- Grupo clorofila: color verde proveniente de las plantas.

2.1.6. Carotenoides

Los carotenoides o tetraterpenoides son una clase de pigmentos terpenoides con 40 átomos de carbono, derivados biosintéticamente a partir de dos unidades de geranil-geranil-pirofosfato, en su mayoría son solubles en solventes apolares y de coloraciones que oscilan entre el amarillo (como el β -caroteno) y el rojo (como el licopeno).

2.1.6.1. Clasificación y nomenclatura

Los carotenoides se clasifican en dos grupos: carotenos y xantofila. Los carotenos solo tienen carbono e hidrógeno, como el β -caroteno, el licopeno, entre otros, mientras que las xantofilas contienen además, oxígeno como la luteína.

A los carotenoides, generalmente se les denomina con nombres comunes que incluyen las variaciones estructurales de los anillos laterales, en especial la posición del enlace doble. El β -caroteno, hoy denominado β,β -caroteno, para indicar que los dos anillos de los extremos tienen enlace doble en la misma posición relativa. El α -caroteno, ahora se denomina β,ϵ -caroteno.

2.1.6.2. Distribución y estado natural

Los carotenoides se encuentran ampliamente distribuidos en el reino vegetal, en bacterias y muy pocos se han reportado en animales, y particularmente invertebrados marinos como las esponjas, estrellas de mar, pepinos de mar, erizos de mar y otros. En los animales superiores el β -caroteno es un requerimiento dietario esencial, pues es un precursor de la vitamina A.

Se conocen más de 600 carotenoides y se les encuentra en forma libre, como ésteres de ácidos grasos como glicósidos. Sin embargo, los glicósidos son muy raros, un ejemplo de estos últimos es la crocina.

Los carotenoides se encuentran, principalmente en partes aéreas de las plantas, especialmente en hojas, tallos y flores, en frutos como el tomate y pimentón, y en menor proporción en raíces, por ejemplo, la zanahoria.

El caroteno más encontrado es el β -caroteno y normalmente constituye entre el 25-30 % del contenido total de carotenoides en las plantas. La luteína es la xantofila más abundante (40-45 %), pero siempre se encuentra en menor proporción que el β -caroteno.

Los carotenoides, junto con los flavonoides y las clorofilas, son los pigmentos vegetales más distribuidos. En especial existen carotenoides que confieren coloración amarilla, naranja, roja y violeta a tejidos vegetales y algunos órganos animales. Los flavonoides confieren también, coloraciones similares, inclusive coloración azul a muchas flores y frutos, mientras que las clorofilas se reconocen fácilmente por su coloración verde. Existen también vegetales tan conocidos como la remolacha *Beta vulgaris*, que deben su color característico a pigmentos nitrogenados denominados betacianinas, menos distribuidos que los primeros.

2.1.6.3. Extracción y aislamiento

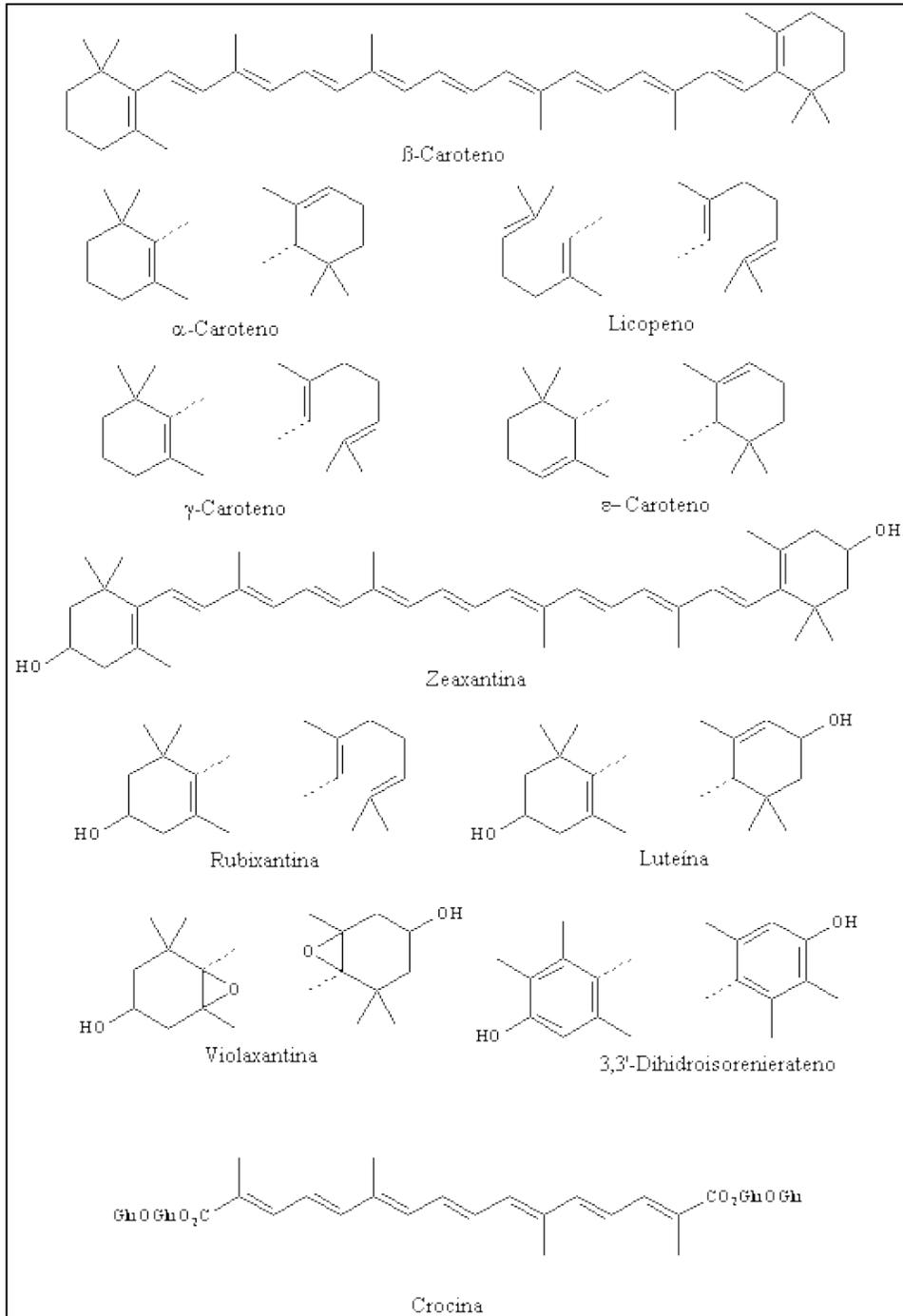
Los carotenoides debido a la alta conjugación de enlaces dobles presentes en sus moléculas se descomponen por efecto de la luz, la temperatura y el aire. La luz favorece reacciones fotoquímicas que cambian la estructura del carotenoide (por ejemplo, isomerismo cis y trans) es un factor a considerar al momento de realizar su extracción. El aire debido al oxígeno favorece la oxigenación de los enlaces dobles a funciones epóxido, hidroxilos y peróxidos, entre otros. Por esta razón, la extracción de carotenoides debe preferiblemente realizarse en condiciones de ausencia de luz, a temperatura ambiente o menor, y en ausencia de oxígeno. Además se debe realizar lo más rápido posible, y a partir de tejidos frescos, para evitar la degradación por la acción conjunta de estos factores adversos.

Si en el extracto existen carotenoides esterificados, estos se pueden hidrolizar disolviendo el extracto en un volumen pequeño de KOH 60 % alcohólico. Esta mezcla se deja en la oscuridad durante la noche, con atmósfera de nitrógeno, a temperatura ambiente y con agitación magnética, con lo cuál los carotenoides son liberados.

Las mezclas de carotenos y las xantofilas mono y dihidroxiladas pueden separarse agitando una solución en éter de petróleo con un volumen de metanol al 90 %. Las xantofilas dihidroxiladas quedan en la fase metanólica, las monohidratadas y los carotenos quedan en la fase etérea. Repitiendo este proceso con la fase etérea, se separa en la fase metanólica las xantofilas monohidroxiladas y en la fase etérea quedan los carotenos.

Debido a que los extractos de carotenoides, generalmente están impurificados por otras sustancias como los esteroides, estos se pueden eliminar dejando el extracto concentrado en solución de éter etílico, tapado y a -10 °C durante la noche. De esta manera, los esteroides se precipitan y pueden ser retirados por centrifugación o filtración.

Figura 1. **Carotenoides naturales ampliamente distribuidos**



Fuente: MARTINEZ, Alejandro. *Carotenoides*. p. 5

2.1.7. Mordientes

Son sustancias químicas naturales o sintéticas que preparan la fibra para recibir el tinte, es decir, fijan el tinte para que el color no se destiña. Cuando el método de tinción que se utiliza es indirecto se agrega un mordiente. Actualmente se utilizan, por su acción más energética, sales metálicas como la piedra de alumbre, crémor tártaro, carbonato de sodio, hierro y otros.

También se tienen registros del uso de ceniza en el proceso de teñido artesanal, preparando una legía para teñir con añil, scatinta.

Si el método utilizado es el teñido directo en agua caliente, este se realiza con plantas que son ricas en sustancias tánicas las que actúan como mordientes naturales.

2.1.8. Taninos

El tanino es una sustancia astringente contenida en algunos vegetales, que sirve para adherirse en las fibras y que, también se usa para curtir pieles. Se clasifican en fuertes y suaves. Entre los taninos fuertes se tiene el encino, la granada, el nance, el aguacate, y entre los taninos suaves, están el nogal negro y el aliso. Los taninos son también tintes al mismo tiempo de ser mordientes o fijadores.

La denominación de tanino deriva del francés *tanin* y este del germánico *tantanna*. Químicamente se define como cualquiera de los principios inmediatos vegetales, terciarios (C, H, O), que reaccionan en forma fácil con las sales de hierro originando productos de un color azul, negro o verde.

Por la propiedad que tienen los taninos de reaccionar en forma fácil con sales férricas, proporcionando productos de tonos muy variados, estos han sido utilizados universalmente en la tintorería y, por ende, en la elaboración de tintas.

2.2. Extracción sólido-líquido

Consiste en la separación preferencial de uno o más componentes de una mezcla sólida por disolución en un disolvente líquido. Existen, por tanto, dos fases: la sólida y la disolución. La separación química, normalmente la disolución selectiva, con difusión o sin ella. El constituyente soluble puede ser sólido o líquido y estar incorporado, combinado químicamente o adsorbido, o bien mantenido mecánicamente en la estructura porosa del material insoluble.

2.2.1. Variables de la extracción sólido-líquido

Dentro de las variables que afectan directamente la velocidad de extracción se encuentran:

- Tamaño de partícula
- Temperatura
- Concentración del solvente
- Porosidad
- Agitación
- Solvente

Una extracción sólido-líquido, generalmente se realiza con disolventes orgánicos que penetran en la materia vegetal y disuelven las sustancias, que son concentradas a baja temperatura. La selección del solvente debe cumplir los siguientes requisitos:

- Ser capaz de disolver rápidamente todos los principios activos.
- Disolver la menor cantidad de materia inerte.
- Tener un punto de ebullición bajo y uniforme que permita eliminarlo rápidamente, pero evitando pérdidas por evaporación.
- Ser químicamente inerte, para no reaccionar con los componentes a analizar.
- No ser inflamable.

Para conseguir una extracción lo más rápida y completa posible, se tiene que ofrecer al disolvente superficies de intercambio grandes y recorridos de difusión cortos. Ambas variables dependen directamente del tamaño de partícula a extraer, dado que si esta es muy grande se reduce la superficie de intercambio y se agranda el recorrido de difusión, por otro lado, si es demasiado pequeña puede causar, apelmazamiento que dificulta el paso del disolvente.

Al aumentar la temperatura, la solubilidad generalmente tiende a aumentar, por lo que se logra un mayor agotamiento del material a extraer, en comparación a temperatura ambiente, pero la temperatura máxima para cada sistema está limitada por: el punto de ebullición del solvente, el punto de degradación del material, solubilidad de impurezas y economía.

La concentración del solvente es importante en soluciones acuosas, debido a la saturación que puede frenar el proceso de extracción sólido-líquido.

La porosidad del material a extraer, permite que el líquido penetre a través de los canales formados por los poros dentro del sólido, aumentando así el área activa para la extracción.

2.2.2. Solvente

Es un líquido en el cuál se introduce una o más sustancias para constituir una fase homogénea: la solución. El solvente no es definido por su estructura química, sino más bien por su estado físico, el estado líquido y por su uso.

Un buen solvente debe presentar poder de solvatación, que es la capacidad de formar enlaces, el cual depende de un elevado momento dipolar y la naturaleza de los enlaces químicos formados.

2.2.3. Agua

El agua químicamente pura es un líquido inodoro e insípido; incoloro y transparente en capas de poco espesor, toma color azul cuando se mira a través de espesores de seis y ocho metros, porque absorbe las radiaciones rojas.

A la presión atmosférica de 760 milímetros, el agua hierve a temperatura de 100 °C y el punto de ebullición se eleva a 374 °C, que es la temperatura crítica a que corresponde la presión de 217,5 atmósferas; en todo caso, el calor de vaporización del agua asciende a 539 calorías/gramo a 100 °C.

El agua se comporta anormalmente; su presión de vapor crece con rapidez a medida que la temperatura se eleva y su volumen ofrece la particularidad de ser mínimo a la de 4 °C. A dicha temperatura, la densidad del agua es máxima y se ha tomado por unidad. A partir de 4 °C no solo se dilata cuando la temperatura se eleva, sino también cuando se enfría hasta 0 °C, a esta temperatura su densidad es 0,99980 y al congelarse desciende bruscamente hacia 0,9168, que es la densidad del hielo a 0 °C, esto significa que en la cristalización su volumen aumenta en un 9 por 100.

El agua es un compuesto de fórmula molecular H₂O. Como el átomo de oxígeno tiene solo 2 electrones no apareados, para explicar la formación de la molécula H₂O se considera, que de la hibridación de los orbitales atómicos 2s y 2p resulta la formación de 2 orbitales híbridos sp³. El traslape de cada uno de los 2 orbitales atómicos híbridos con el orbital 1s¹ de un átomo de hidrógeno se forman dos enlaces covalentes que generan la formación de la molécula H₂O, y se orientan los 2 orbitales sp³ hacia los vértices de un tetraedro triangular regular y los otros vértices son ocupados por los pares de electrones no compartidos del oxígeno. Esto cumple con el principio de exclusión de Pauli y con la tendencia de los electrones no apareados a separarse lo más posible.

2.2.4. Acetona

Es un compuesto sintético, que también ocurre naturalmente en el medio ambiente. Es un líquido incoloro de olor y sabor fáciles de distinguir. Se evapora fácilmente, es inflamable y es soluble en agua. También se le conoce como dimetil cetona, 2-propanona y beta-cetopropanol.

La acetona se usa en la fabricación de plásticos, fibras, medicamentos y en extractos vegetales. También para disolver otras sustancias químicas.

2.2.5. Etanol

Es un líquido incoloro, volátil, con olor característico y sabor picante. También se conoce como alcohol etílico. Sus vapores son más pesados que el aire.

Se obtiene, principalmente, al tratar etileno con ácido sulfúrico concentrado y posterior hidrólisis. De manera natural se obtiene a través de fermentación, por

medio de levaduras a partir de frutas, caña de azúcar, maíz, cebada, sorgo, papas y arroz, entre otros.

Es utilizado industrialmente para la obtención de acetaldehído, vinagre, butadieno, cloruro de etilo y nitrocelulosa, entre otros. Asimismo como disolvente en síntesis de fármacos, plásticos, lacas, perfumes, cosméticos, etc. Posee un punto de ebullición de 79 °C, es un solvente polar - prótico con una constante dieléctrica de 24,0.

2.2.6. Soxhlet

La forma más simple de extracción sólido-líquido es el tratamiento de un sólido con solvente. Un ejemplo de esto es la separación de la mezcla arena y sal usando agua. Al agitar unos pocos minutos y decantar la sal, forma una solución salina por su solubilidad con el agua. La arena que no es soluble queda entonces en la parte decantada. En todas las extracciones con solvente, lo que se intenta es tomar ventaja de las diferencias de solubilidades de las especies que van a ser separadas.

El aparato Soxhlet fue descrito por primera vez en 1879; es una herramienta versátil que puede ser usada para separar un simple gramo a cientos de gramos, con una recuperación cercana al 100 por ciento.

El procedimiento básico consiste en llenar un dedal poroso de celulosa con una muestra sólida del material al cual, el solvente condensado extraerá continuamente componentes afines o solubles a este.

La extracción Soxhlet se fundamenta en las siguientes etapas:

- Colocación del solvente en un balón.
- Ebullición del solvente que se evapora hasta condensar a reflujo.
- El condensado cae sobre un recipiente que contiene el cartucho poroso con la muestra en su interior.
- Ascenso del nivel del solvente, cubriendo el cartucho hasta un punto en que se produce el reflujo que vuelve el solvente con el material extraído al balón.
- Se vuelve a producir este proceso la cantidad necesaria para que la muestra quede agotada.

El cartucho consiste en un recipiente cilíndrico con base semiesférica para que se apoye perfectamente en la base del equipo extractor, y sea además resistente. Los materiales más utilizados son el algodón prensado y la porcelana porosa. Los cartuchos se llenan hasta la mitad o poco más, y en lo posible no es conveniente comprimir demasiado la muestra para que no se vea impedida la difusión.

Llegada la temperatura de ebullición del solvente, este comenzara a evaporarse y, luego de que caliente las paredes del equipo, comienza a condensar en el refrigerante y a caer en forma de gotas sobre el cartucho. A medida que el condensado va cayendo sobre el cartucho este comienza a escurrir por la parte inferior del mismo, llenando el recipiente de extracción hasta que llega al nivel de la bajada del sifón, llevando todo el material disuelto hacia el balón inferior. Una vez que el sistema está en régimen, las sifonadas se producen a intervalos regulares. La cantidad de sifonadas están estipuladas en las normas que se usen.

2.3. Lixiviación

Es un proceso de extracción sólido-líquido. El producto sólido posee una serie de compuestos solubles en un líquido extractante, que son los que se pretende extraer.

En este caso, el agente extractante suele ser agua, pero también se emplean otros líquidos como: vinagre, jugos, alcoholes o aceites aderezados con diversos ingredientes, que modificarán las propiedades de extracción del medio líquido.

La naturaleza de los compuestos extraídos depende de la materia prima empleada, así como del líquido de maceración. En los casos en que se utilice el producto extraído, suele emplearse una etapa de buen secado al sol, con calor o incluso una liofilización.

2.3.1. Lixiviación estática

Se asemeja a la extracción por disolventes, la diferencia es que el material permanece varios días sumergido; en este sistema se usa aceite, grasa fundida y aun alcohol etílico. El proceso clásico de lixiviación consiste en dejar la sustancia en contacto con disolventes durante varios días, con agitación ocasional.

2.3.2. Lixiviación dinámica

Para abreviar el tiempo de operación, la sustancia y el disolvente deben mantenerse en movimiento constante. Este procedimiento es conocido como lixiviación dinámica.

Tanto la lixiviación simple, como la dinámica pueden ser ejecutadas a una temperatura ambiente o a temperaturas elevadas. En este último caso, el procedimiento es conocido como digestión. La lixiviación fue un proceso importante antes de la introducción de los métodos modernos de extracción con solventes volátiles.

2.4. Espectrofotometría

El fundamento de la espectroscopía se debe a la capacidad de las moléculas para absorber radiaciones, entre ellas las radiaciones dentro del espectro UV-visible. Las longitudes de onda de las radiaciones que una molécula puede absorber y la eficiencia con la que se absorben dependen de la estructura atómica y de las condiciones del medio (pH, temperatura, fuerza iónica, constante dieléctrica), por lo que dicha técnica constituye un valioso instrumento para la determinación y caracterización.

Las moléculas pueden absorber energía luminosa y almacenada en forma de energía interna. Esto permite poner en funcionamiento ciclos vitales como la fotosíntesis en plantas y bacterias. Cuando la luz (considerada como energía) es absorbida por una molécula, se origina un salto desde un estado energético basal o fundamental, E1, a un estado de mayor energía (estado excitado), E2. Y solo se absorberá la energía que permita el salto al estado excitado. Cada molécula tiene una serie de estados excitados (o bandas), que las distingue del resto de moléculas. Como consecuencia, la absorción que a distintas longitudes de onda presenta una molécula (su espectro de absorción), constituye una señal de identidad de la misma.

En espectroscopía, el término luz no solo se aplica a la forma visible de radiación electromagnética, sino también a las formas UV e IR, que son invisibles.

En espectrofotometría de absorbancia se utilizan las regiones de ultravioleta (UV cercano, de 195-400 nm) y el visible (400–780 nm).

Tabla IV. **Colores absorbidos y reflejados a diferentes longitudes de onda**

Longitud de onda aproximada	Color de luz que se absorbe	Color de luz que se refleja o ve
390–435	Violeta	Amarillo verdoso
435–490	Azul	Amarillo
490–580	Verde	Rojo
580–595	Amarillo	Azul
595–650	Naranja	Azul verdoso
650-780	Rojo	Verde azulada

Fuente: DIAZ, Nieves. *Espectrofotometría: espectros de absorción y cuantificación colorimétrica de biomoléculas*. p 3.

2.4.1. Transmitancia y absorbancia

Cuando un rayo de luz de una determinada longitud de onda incide perpendicularmente sobre una disolución de un compuesto químico que absorbe luz o cromóforo, el compuesto absorberá una parte de la radiación incidente y dejará pasar el resto.

La transmitancia de una sustancia en solución es la relación entre la cantidad de luz transmitida que llega al detector, una vez que ha atravesado la muestra y la cantidad de luz que incidió sobre ella, y se representa normalmente en tanto por ciento. La transmitancia da una medida física de la relación de intensidad incidente y transmitida al pasar por la muestra.

La absorbancia es un concepto más relacionado con la muestra, puesto que indica la cantidad de luz absorbida por la misma. Cuando la intensidad incidente y transmitida son iguales, la transmitancia es del cien por ciento e indica que la muestra no absorbe a una determinada longitud de onda.

La cantidad de luz absorbida dependerá de la distancia que atraviesa la luz a través de la solución del cromóforo y de la concentración de este.

2.4.2. Ley de Lambert-Beer

Esta ley expresa la relación entre absorbancia de luz monocromática y concentración de un cromóforo en solución.

La absorbancia de una solución es directamente proporcional a su concentración, también depende de la distancia que recorre la luz por la solución, y por último, depende de una constante de proporcionalidad denominada coeficiente de extinción que es específica de cada cromóforo.

2.4.3. Obtención de un espectro de absorción

El espectro de absorción es una gráfica que indica la cantidad de luz absorbida a diferentes valores de longitud de onda.

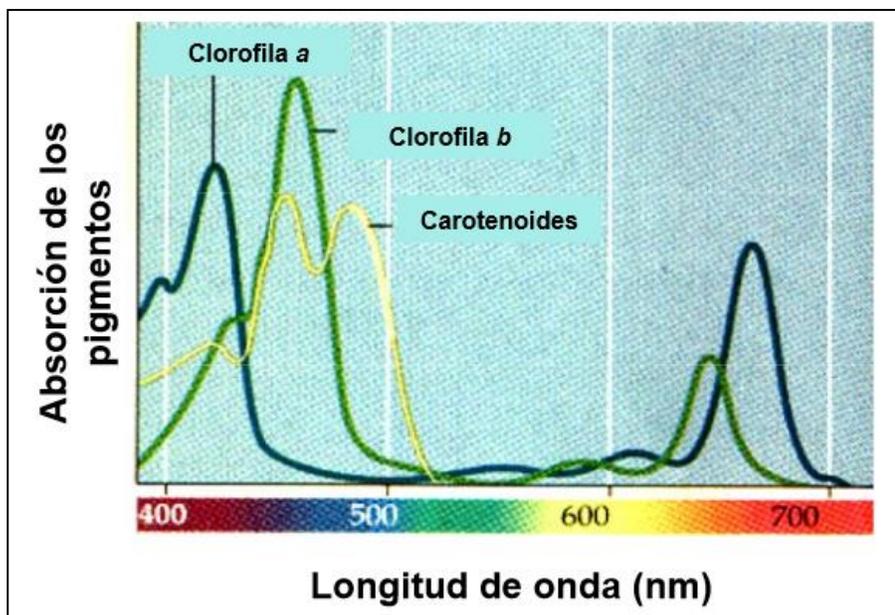
A partir de una solución diluida de un compuesto, cuya absorbancia máxima entra dentro del rango de medida del espectrofotómetro, se verá el valor de absorbancia a diferentes longitudes de onda frente a un blanco que contenga el disolvente de la solución de la muestra a caracterizar. A partir del espectro de absorción se obtendrá el valor de longitud de onda al que el compuesto presenta

la mayor absorbancia. Dicha longitud de onda se utilizará a la hora de hacer determinaciones cualitativas y cuantitativas del compuesto.

El espectro de absorción de un cromóforo depende, fundamentalmente, de la estructura química de la molécula.

No obstante, hay una gran cantidad de factores que originan variaciones en los valores, entre los que se incluye el pH, la polaridad del solvente o moléculas vecinas y la orientación de los cromóforos vecinos; y cada uno afecta de forma particular.

Figura 2. **Espectro de absorción de tres pigmentos fotosintéticos cloroplastídicos**



Fuente: DIAZ, Nieves. *Espectrofotometría: espectros de absorción y cuantificación colorimétrica de biomoléculas*. p 6.

2.5. Materia prima

Se le considera originario de las regiones tropicales y húmedas de Asia. Según la variedad de la planta del banano alcanza de 3 hasta 7 metros de altura, constituye una planta herbácea perenne. Su tallo está formado por pecíolos de hojas curvadas y comprimidas, dispuestas en bandas en espiral que desde el centro van formándose sucesivamente nuevas hojas y al extenderse comprimen hacia el exterior las bases de las hojas más viejas. Al emerger las hojas por la parte superior del tallo, se van desarrollando hasta alcanzar 2 o más metros de largo, 60 centímetros o más de ancho, con una nervadura central que divide la hoja en dos láminas.

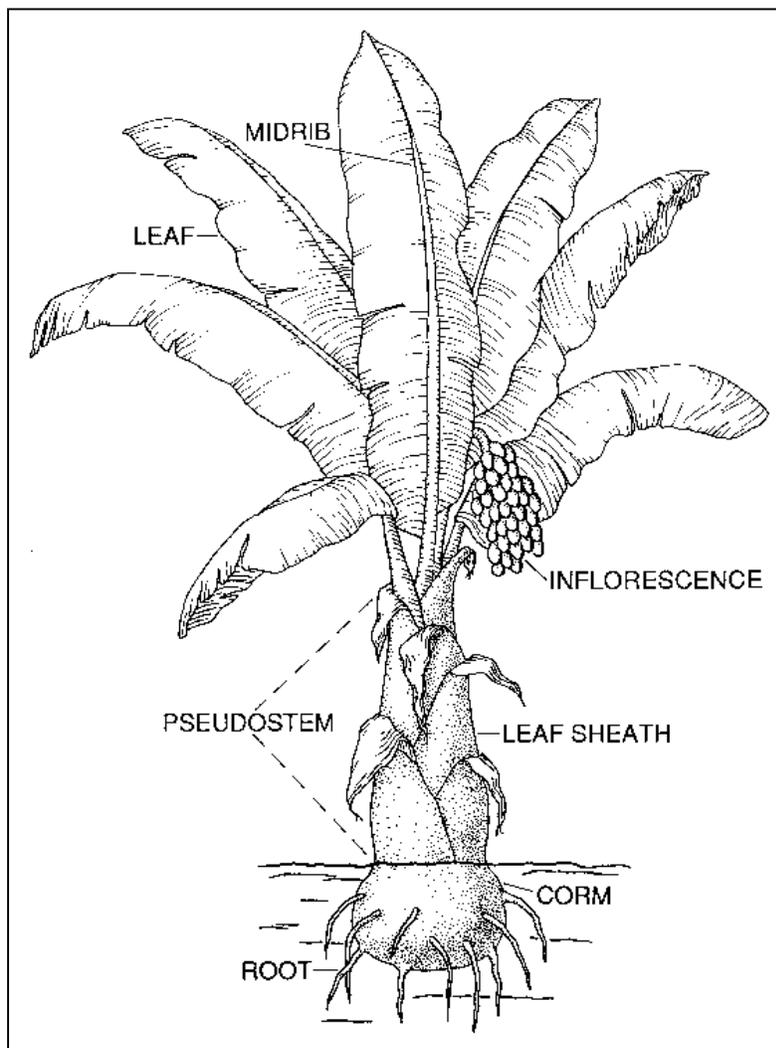
Su sistema radicular está formado por una rizoma central de cuya base se forman numerosas raíces, cortas y cilíndricas. Estos rizomas desarrollan varias yemas, de las cuales hacen hijuelos que al dejarlos desarrollar constituirán nuevas plantas y servirán para ir sustituyendo a las que han producido sus frutos. Estos rizomas son los que también se utilizan para iniciar nuevas plantaciones.

A los 10 meses después de sembrados los rizomas aparece el botón flora, entre el cilindro de hojas y su largo pedúnculo se arquea completamente. Este botón flora puede estar formado por flores femeninas y masculinas, abortivas, es decir, que no hay fecundación, formándose los frutos por ensanchamiento del ovario. Puede haber hasta 400 o más flores en un botón flora, estando dispuestas en grupos de 6 a 20, formándose hasta 10 o más grupos por racimo. Al principio las flores están dispuestas hacia abajo y conforme se van desarrollando los frutos se curvan hacia arriba.

De acuerdo con la variedad, un racimo puede llegar a tener 100 a 400 frutos, de 8 a 20 centímetro de largo con peso entre 1 y 4 onzas, cada fruto. A los 14

meses, después de la siembra de los rizomas o 4 meses después de aparecer la yema floral, los racimos están listos para ser cosechados.

Figura 3. **Estructura de la planta de banano**



Fuente: BRANDT, Steven. *The Tree Against Hunger*. p. 3.

2.5.1. Usos

El mercado de banano en el mundo es el de consumo en fresco, una cantidad mínima se destina a procesos industriales para la obtención de productos alimenticios. En general, el banano puede ser utilizado industrialmente como materia prima para la obtención de productos como: bananos pasos o deshidratados, secados, en almíbar, cremas, postres, pulpas, purés, compotas, mermeladas, conservas, harinas, hojuelas, fritos, jarabe, confitados y congelados, liofilizados, etanol, jaleas, bocadillo, néctares, jarabe de glucosa y fructosa, saborizantes y aromatizantes, dulce elaborado de su cáscara, alimento para el ganado y otros animales. Los desechos fibrosos del cultivo, también sirven como materia prima para la elaboración de pulpas celulósicas, almidón y productos químicos.

Los subproductos o abonos orgánicos que proceden del vástago se incorporan a la plantación y los residuos que se generan en la cosecha, fibras y papel a base de los troncos de la mata del banano, alcohol, aguardiente, vino, vinagre de la fermentación de la fruta. En otros países se está manejando el uso de los residuos de cosecha para la elaboración de gas biológico, láminas de cartón, material para embalaje y pita.

2.5.2. Beneficios

El banano es una de las frutas más vendidas, ya que es reconocida por sus fuentes de nutrición y energía. Frecuentemente, atletas y deportistas comen banano antes y durante sus actividades. Esto es porque la energía alterna que provee el banano ayuda a dar la resistencia necesaria.

Asimismo ayuda a incrementar la cantidad admitida de comida vegetal en las dietas, porque no necesitan ser cocidas, proceso durante el cual importantes nutrientes se pueden perder. Esta fruta se puede disfrutar en su estado natural y no necesita azúcar, salsas, sal, o grasa para resaltar su sabor.

2.5.3. Aspectos técnicos

Entre los aspectos técnicos de la materia se tienen los siguientes:

2.5.3.1. Altitud

El banano es una planta que se desarrolla en condiciones óptimas en las regiones tropicales, que son húmedas y cálidas. Las plantaciones comerciales se desarrollan a alturas sobre el nivel del mar que oscilan entre los 0 y 1 000 metros.

2.5.3.2. Latitud

Las mejores condiciones para el cultivo del banano se dan entre los 15° latitud norte y 15° latitud sur.

2.5.3.3. Temperatura

Requiere de temperaturas relativamente altas que varían entre los 21 y los 30 grados Celsius con una media de 27. Su mínima absoluta es de 15,60 y su máxima de 37,80 grados Celsius.

Exposiciones a temperaturas mayores o menores causan deterioro y lentitud en el desarrollo, además de daños irreversibles en la fruta.

2.5.3.4. Pluviosidad

Se considera suficiente suministrar de 100 a 180 milímetros de agua por mes, es decir, que haya una precipitación anual de 2 000 milímetros promedio, para cumplir con los requerimientos necesarios de la planta.

2.5.3.5. Luminosidad

La fuente de energía que utilizan las plantas es la radiación solar, y se considera que el mínimo de luz para producir una cosecha económicamente rentable es de 1 500 horas de luz por año, con un promedio de 4 horas de luz por día.

La duración del día es de gran importancia y depende de la altitud, nubosidad, latitud y cobertura vegetal.

2.5.3.6. Variedades importantes

- Variedad Gross Michel: tiene cualidades sobresalientes en manejo y conservación.
- Variedad Valery: las plantas de esta variedad alcanzan alturas que oscilan entre 2 y 4,5 metros. Su inflorescencia, al haber desarrollado sus frutos alcanzan una longitud que va de 50 a 150 centímetros. El tronco de la mata de ésta variedad alcanza un diámetro de 30 a 50 centímetros. Ha sido un éxito en el mercado internacional, sobre todo en cuanto a longitud, grosor, forma de las manos, sabor y color.

- Variedad Gran Nane: esta presenta un sistema radicular fibroso, grueso y succulento, alcanzando un largo de 50 a 150 centímetros. El tronco de la mata alcanza un grosor de 30 a 70 centímetros, siendo de un color café oscuro. La altura de esta variedad oscila entre 1,5 y 2,5 metros. Su inflorescencia alcanza tamaños desde 75 a 150 centímetros.
- Variedad William's: presenta un sistema radicular similar al Gran Nane, siendo una variedad de porte pequeño; alcanzando una longitud de inflorescencia de 75 a 150 centímetros. El tronco de la mata alcanza una altura que oscila entre los 1,5 a 2 metros. El diámetro del mismo es de 35 a 50 centímetros. Siendo de color verde. Esta variedad fue introducida recientemente, porque ha demostrado ser muy resistente a inundaciones y al viento por su excelente anclaje.

3. DISEÑO METODOLÓGICO

3.1. Variables

Como variable independiente se estableció el solvente a utilizar, siendo estos agua, acetona y etanol, así también se determinó como variables independientes a las pruebas realizadas al extracto utilizando la espectrofotometría UV-Vis, por último se tiene también la variable independiente de la materia prima.

Cada variable presentó una serie de variables dependientes como: el tiempo de extracción, porcentaje de humedad y rendimiento.

Tabla V. **Variables dependientes e independientes**

Variable	Independiente	Dependiente
Solvente	✓	
Tiempo de extracción		✓
Rendimiento		✓
Análisis del extracto	✓	
Contenido de β -caroteno		✓

Fuente: elaboración propia.

3.2. Delimitación del campo de estudio

El estudio se limitó a la extracción, caracterización y concentración de β -caroteno de la cáscara de banano (*Musa paradisiaca* L.), utilizando tres distintos solventes: agua, etanol y acetona; realizando la extracción por el método de Soxhlet a escala laboratorio.

3.2.1. Materia vegetal

Se utilizó banano de la variedad Williams, el tamaño de la fruta varía de 6 a 8 pulgadas de longitud con un diámetro de entre 1,5 a 2 pulgadas de diámetro. La fruta seleccionada no es totalmente curvada, sino más bien en forma de salchicha y su cáscara debe presentar un color amarillo uniforme con la menor cantidad de daño del tejido vegetal.

3.2.2. Solvente

Se realizó mediante el método de extracción por Soxhlet, utilizando tres diferentes solventes: etanol, acetona y agua. Evaluando el tiempo de extracción y el rendimiento del extracto, realizado en el Laboratorio de Investigación de Extracciones Vegetales (LIEXVE), Sección Química Industrial del Centro de Investigaciones de Ingeniería (CII)/USAC.

Tabla VI. **Constante dieléctrica y momento dipolar del agua, acetona y etanol**

Solvente	Constante dieléctrica (D)	Momento dipolar (debye)
Agua	80,1	1,85
Acetona	20,7	2,72
Etanol	24,5	1,68

Fuente: FERNANDEZ, Celeste, *Evaluación del contenido de licopeno en pastas de tomate comerciales*, p. 33.

3.2.3. Análisis del extracto

El análisis se lleva a cabo mediante el método de espectrofotometría para la determinación cuantitativa. Realizados en el Laboratorio de Investigación de Extracciones Vegetales (LIEXVE), Sección Química Industrial del Centro de Investigaciones de Ingeniería (CII) edificio T-5 Ciudad Universitaria.

3.3. Recursos humanos disponibles

- Investigador: Br. Luis Fernando Catalán López
- Asesor: Inga. Qca. Telma Maricela Cano Morales
- Asesor: Ing. Qco. Mario José Mérida Meré

3.4. Recursos materiales disponibles

Materia prima: cáscara de banano (*Musa paradisiáca L.*)

3.4.1. Equipo

- Rotavapor Büchi R-II, voltaje de operación de 110 V y 1 360 W, velocidad de rotación 20-280 rpm.
- Balanza analítica marca Adventur, voltaje 8-14.5 V frecuencia 50/60 Hz, máxima capacidad 150 g, lectura mínima 0,001 g.
- Campana de extracción de gases de 110 V, potencia de 900 Watts, marca Serproma de motor con capacidad de $\frac{3}{4}$ Hp.
- Balanza de humedad, voltaje de operación 115 V, potencia de 200 watts, rangos de temperatura de secado 50-160 °C.
- Plancha de calentamiento con agitación, marca Corning, voltaje de operación 120V/100V, potencia 1 113 W, rango 0-4800 °C y 0-1 100 rpm.
- Bomba de vacío Büchi V-700, voltaje de operación 100–240 V, potencia de 210 watts, vacío <10 mbar, nivel de sonido de 40-52 dB.
- Refrigerador.
- Espectrofotómetro UV-visible Shimadzu, voltaje de operación 110 V.
- Soportes universales y pinzas.
- Perilla de succión.

3.4.2. Cristalería

- Balones de fondo redondo
- Termómetro
- Embudo
- Condensadores
- Viales color ámbar
- *Beaker*
- Pipeta

- Varillas de agitación
- Probetas

3.4.3. Reactivos

- Agua
- Etanol
- Acetona

3.5. Técnica cuantitativa o cualitativa

La técnica cuantitativa describe parámetros medibles o cuantificables. La investigación realizada en el presente trabajo de graduación será de carácter cuantitativo, experimental y comparativo.

3.5.1. Procedimiento

A continuación se detalla el procedimiento seguido para cada uno de los tratamientos que se le dieron a la materia prima, así como la metodología de extracción y de los análisis que se le realizaron al extracto de la cáscara de banano.

3.5.1.1. Porcentaje de rendimiento del extracto de la cáscara de banano

Determina el punto de agotamiento del material vegetal, es decir, que independientemente del tiempo, ya no es posible extraer más del material vegetal.

- Reducir el tamaño de partícula a un ancho entre 2 a 3 mm y largo entre 1,5 a 2 cm.
- Pesar la muestra entre 20 a 30 g.
- Preparar la muestra en el dedal de celulosa.
- Introducir del dedal dentro de la cámara de extracción del equipo Soxhlet.
- Esperar el tiempo de llenado y de sifón de descarga a partir del cual se contabiliza el tiempo inicial de extracción.
- Tarar el balón del rotaevaporador y luego agregar el extracto.
- Utilizar sistema de reducción de vacío hasta llegar al punto de extracto seco, es decir, que ya no se aprecia la presencia de solvente en el extracto.
- Pesar el balón con el extracto seco y repetir el procedimiento con tiempo de extracción de 1, 2 y 4 horas.
- Realizar los cálculos necesarios.

$$\%R = \frac{E}{M_v} * 100 \quad \text{[Ecuación 1]}$$

Donde

%R: porcentaje de rendimiento

E: peso del extracto (g)

Mv: peso de materia vegetal (g)

3.5.1.2. Residuo por incineración de la cáscara de banano

Determina la cantidad de material inorgánico presente en la materia prima, tales como minerales, los cuales no son incinerados a alta temperaturas.

- Pesar un crisol adecuado para altas temperaturas, seco y limpio.
- Agregar entre 1 a 2 gramos de material vegetal.
- Incinerar el crisol con el material vegetal a una temperatura de 750 °C durante 4 horas.
- Almacenar el crisol en desecadoras con silica gel hasta temperatura ambiente.
- Pesar el crisol con el material vegetal incinerado.
- Realizar los cálculos necesarios.

$$\%Ri = \frac{PCf - PCo}{PMx} \quad \text{[Ecuación 2]}$$

Donde

%Ri: residuo por incineración (%)

PCf: peso de crisol incinerado (g)

PCo: peso de crisol inicial (g)

PMx: peso de muestra (g)

3.5.1.3. Densidad del extracto sin concentrar de la cáscara de banano

Es la relación entre la masa y el volumen de un cuerpo, es decir, que es la cantidad de material sólido dentro de un volumen determinado.

- Pesar el picnómetro vacío.
- Agregar el volumen necesario al picnómetro, colocar el termómetro y tapar.
- Pesar el picnómetro conteniendo el extracto.
- Realizar los cálculos necesarios.

$$\rho = \frac{m}{V} \quad \text{[Ecuación 3]}$$

Donde

ρ = densidad (g/mL)

m = peso del extracto (g)

V = volumen del extracto (mL)

3.5.1.4. ppm de β -caroteno del extracto de la cáscara de banano

Por medio de una espectrofotometría UV-Vis y mediante la Ley de Lambert-Beer, se puede determinar las concentraciones de sustancias a estudiar en soluciones, midiendo su absorbancia a una longitud de onda determinada.

- Disolver el extracto seco del porcentaje de rendimiento en 200 mL de agua desmineralizada.
- Transferir la cantidad necesaria a la celda de un espectrofotómetro de 1 cm.
- Leer a 326 nm utilizando agua como blanco.
- Realizar los cálculos necesarios.

$$ppm = \frac{3,332 * V * A}{w} \quad \text{[Ecuación 4]}$$

Donde

V: volumen de aforo con muestra (mL)

w: peso de la muestra (g)

A: absorbancia de la muestra

3.6. Diseño experimental

Este diseño es completamente al azar, obteniendo como variable respuesta el porcentaje de rendimiento y la cuantificación de β -caroteno obtenido de la cáscara de banano, evaluando 3 solventes de distinta polaridad, dando como resultado 9 tratamientos experimentales.

Tabla VII. **Evaluación del tiempo de extracción de β -caroteno obtenido de la cáscara de banano utilizando tres solventes, para fijar la variable del tiempo de extracción**

Solvente	Tiempo (h)	Peso de materia vegetal (g)	Peso del extracto (g)	Rendimiento (%)
Agua	1	13,69	1,51	11,03
	2	16,60	2,14	12,89
	4	24,78	1,16	4,68
Acetona	1	19,17	0,42	2,19
	2	18,31	0,23	2,89
	4	17,93	0,20	1,12

Continuación de la tabla VII.

Etanol	1	16,22	0,72	4,44
	2	17,55	0,6	4,56
	4	17,90	0,58	3,24

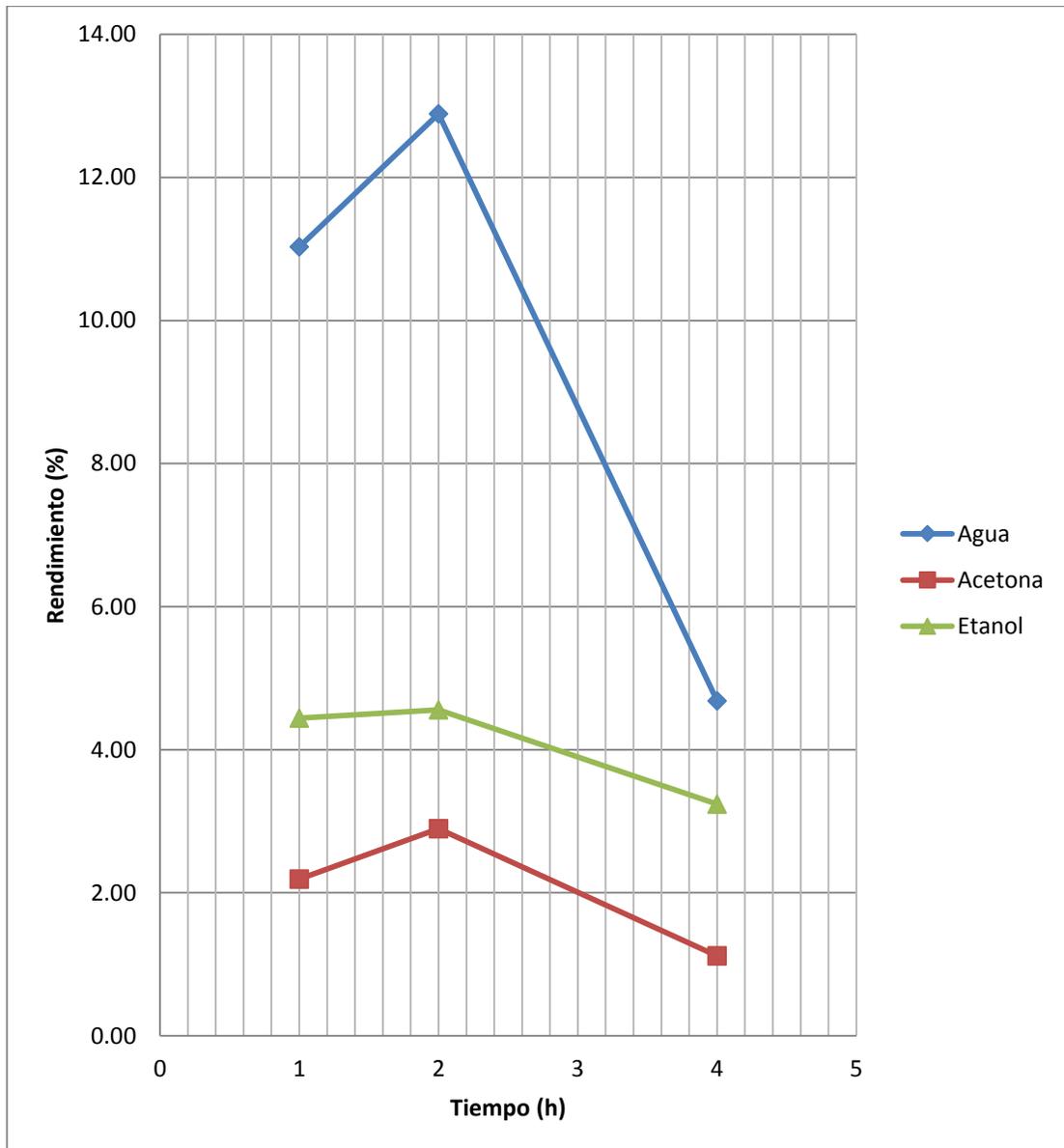
Fuente: elaboración propia, a partir de datos experimentales, LIEXVE CII/USAC.

Tabla VIII. Rendimiento del extracto de β -caroteno obtenido de la cáscara de banano utilizando tres solventes

Solvente	Corrida	Peso de materia vegetal (g)	Peso del extracto (g)
Agua	1	28,15	1,85
	2	29,36	1,80
	3	30,33	2,87
Acetona	1	28,69	1,56
	2	29,28	1,92
	3	30,88	3,10
Etanol	1	26,12	1,34
	2	20,72	1,11
	3	31,85	3,22

Fuente: elaboración propia, a partir de datos experimentales, LIEXVE CII/USAC

Figura 4. **Evaluación del tiempo de extracción de β -caroteno obtenido de la cáscara de banano utilizando tres solventes, para fijar la variable del tiempo de extracción**



Fuente: elaboración propia, a partir de datos experimentales, LIEXVE CII/USAC

Tabla IX. **Cuantificación de β -caroteno por espectrofotometría UV-Vis del extracto de la cáscara de banano**

Muestra	Corrida	Volumen (mL)	Peso (g)	Absorbancia
Agua	1	10	1,85	0,0512
	2	10	1,80	0,0485
	3	10	2,87	0,079
Acetona	1	10	1,56	0,0015
	2	10	1,92	0,002
	3	10	3,1	0,0033
Etanol	1	10	1,34	0,0137
	2	10	1,11	0,0123
	3	10	3,22	0,0386

Fuente: elaboración propia, a partir de datos experimentales, LIEXVE CII/USAC.

Tabla X. **Densidad del extracto de β -caroteno de la cáscara de banano sin concentrar**

Muestra	Corrida	Volumen de picnómetro (mL)	Peso de muestra (g)
Agua	1	1,088	1,0921
	2	1,054	1,1594
	3	1,088	1,0123
Acetona	1	1,088	0,8012
	2	1,054	0,8184
	3	1,054	0,7932
Etanol	1	1,054	0,9002

Continuación de la tabla X.

	2	1,088	0,9014
	3	1,088	0,9132

Fuente: elaboración propia, a partir de datos experimentales, LIEXVE CII/USAC.

Tabla XI. **Determinación del potencial de hidrógeno del extracto de β -caroteno sin concentrar de la cáscara de banano**

Muestra	Corrida	pH
Agua	1	6,23
	2	6,01
	3	6,49
	1	5,59
	2	5,83
	3	5,12
	1	6,00
	2	6,09
	3	6,50

Fuente: elaboración propia, a partir de datos experimentales, LIEXVE CII/USAC.

Tabla XII. **Residuo por incineración de la cáscara de banano fresca**

Corrida	Peso de crisol (g)	Peso de muestra (g)	Peso final de crisol (g)
1	16,6103	1,0003	16,6490
2	16,3927	1,0053	16,4282
3	16,4616	1,0010	16,4972

Fuente: elaboración propia, a partir de datos experimentales, LIEXVE CII/USAC.

3.6.1. Análisis estadístico

El tipo de diseño es totalmente al azar. Se realizaron 3 tratamientos distintos, los cuales consisten en la obtención de los extractos y su rendimiento de la cáscara de banano y concentración de β -caroteno en partes por millón, utilizando 3 solventes diferentes.

El análisis estadístico se llevó a cabo para determinar si existe una relación significativa entre dos variables o factores que influyen directamente en los resultados de un estudio, para ello se lleva a cabo un análisis de varianza (Andeva), el cual permite comparar parámetros que responden si hay o no relación entre las variables o factores comparados.

Tabla XIII. **Bloque de análisis con una variable y varias repeticiones**

Niveles de factor	Sujetos			Total
	Corrida 1	Corrida 2	Corrida 3	
Agua	Y_{11}	Y_{21}	Y_{31}	T_1
Acetona	Y_{12}	Y_{22}	Y_{32}	T_2
Etanol	Y_{13}	Y_{23}	Y_{33}	T_3
Total				T

Fuente: RAYMOND, Walpole. *Probabilidad y estadística*. p. 488.

Donde

- T_i : suma de observaciones para el i -ésimo nivel del factor.
- T : suma de todas las observaciones.
- Niveles de factor: solventes utilizados.
- Sujetos: corridas a un tiempo de extracción de 2 horas.

Tabla XIV. **Análisis de varianza para el experimento de un factor con n-repeticiones**

Fuente de Variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	F calculada
Tratamiento	SS	$k-1$	$S^2_1=SS/(k-1)$	$F=S^2_1/S^2$
Dentro de los grupos	SSE	$n-K$	$S^2=SSE/(n-k)$	
Total	SST	$n-1$		

Fuente: RAYMOND, Walpole. *Probabilidad y estadística*. p. 488.

Según los resultados del análisis de varianza (Andeva), para evaluar el rechazo de cada una de las hipótesis estadísticas planteadas, se siguió una distribución de Fisher con un nivel de confianza del 95 por ciento para encontrar la F crítica, y compararla con la F calculada, siguiendo el siguiente criterio:

- Si la F calculada es mayor a la F crítica se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alternativa.
- Si la F calculada es menor que la F crítica se acepta la hipótesis nula y se rechaza la hipótesis alternativa.

También será utilizada la prueba de Tukey para verificar si existe diferencia entre los grupos de datos y comparar cuáles de estos grupos difiere más. Para ello se calcula la diferencia honestamente significativa de la siguiente manera:

$$HSD_{Tukey} = q_{\alpha} \sqrt{\frac{MSE}{n}} \quad \text{[Ecuación 5]}$$

Donde

HSD_{Tukey} : diferencia honestamente significativa.

q_{α} : valor obtenido de la Tabla de valores críticos para la prueba de Tukey.

MSE: cuadrado del error medio.

n: número de elementos en cada grupo.

3.6.1.1. Análisis de varianza de para el porcentaje de rendimiento del extracto de la cáscara de banano

Se realizó el análisis de varianza para evaluar el efecto de cada uno de los solventes sobre el porcentaje de rendimiento extractivo, obteniéndose las siguientes tablas.

Tabla XV. Experimento del factor para el porcentaje de rendimiento del extracto de la cáscara de banano

Niveles de factor	Sujetos			Total
	Agua	Acetona	Etanol	
Corrida 1	6,57	5,44	5,13	17,14
Corrida 2	6,13	6,56	5,36	18,05
Corrida 3	9,46	10,04	10,11	29,61
Total				61,8

Fuente: elaboración propia, a partir de datos experimentales, LIEXVE CII/USAC.

Tabla XVI. Análisis de varianza para el experimento de un factor con n-repeticiones para el rendimiento del extracto.

Fuente de Variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	F calculada	F crítica	HSD
Entre grupos	0,50	2	0,25	0,04	5,14	5,54
Dentro de los grupos	33,86	6	5,64			
Total	34,36	8				

Fuente: elaboración propia, a partir de datos experimentales, LIEXVE CII/USAC.

Tabla XVII. **Cuadro comparativo para la prueba de Tukey del rendimiento del extracto de la cáscara de banano.**

	Agua	Acetona	Etanol
Agua		0,04	0,52
Acetona			0,48
Etanol			

Fuente: elaboración propia, a partir de datos experimentales, LIEXVE CII/USAC.

3.6.1.2. **Análisis de varianza para la concentración de β -caroteno del extracto de la cáscara de banano**

Se realizó el análisis de varianza para evaluar el efecto de cada uno de los solventes sobre la concentración de β -caroteno del extracto de la cáscara de banano, obteniéndose las siguientes tablas

Tabla XVIII. **Experimento del factor para la concentración de β -caroteno del extracto de la cáscara de banano**

Niveles de factor	Sujetos			Total
	Agua	Acetona	Etanol	
Corrida 1	0,032	0,3407	0,9222	1,2949
Corrida 2	0,0347	0,3692	0,8978	1,3017
Corrida 3	0,0355	0,3994	0,9172	1,3521
Total				3,9487

Fuente: elaboración propia, a partir de datos experimentales, LIEXVE CII/USAC.

Tabla XIX. **Análisis de varianza para el experimento de un factor con n-repeticiones para la concentración de β -caroteno del extracto de la cáscara de banano.**

Fuente de Variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	F calculada	F crítica	HSD
Entre grupos	1,1786	2	0,5893	1714,5207	5,14	0,04
Dentro de los grupos	0,0021	6	0,0003			
Total	1,1807	8				

Fuente: elaboración propia, a partir de datos experimentales, LIEXVE CII/USAC.

Tabla XX. **Cuadro comparativo para la prueba de Tukey de la concentración de β -caroteno del extracto de la cáscara de banano**

	Agua	Acetona	Etanol
Agua		-0,3357	-0,8783
Acetona			-0,5426
Etanol			

Fuente: elaboración propia, a partir de datos experimentales, LIEXVE CII/USAC.

Tabla XXI. **Experimento del factor para la densidad del extracto de β -caroteno sin concentrar obtenido de la cáscara de banano**

Niveles de factor	Sujetos			Total
	Agua	Acetona	Etanol	
Corrida 1	1,0038	0,7364	0,8541	2,5943
Corrida 2	1,1	0,7765	0,8285	2,705
Corrida 3	0,9304	0,7526	0,8393	2,5223
Total				7,8216

Fuente: elaboración propia, a partir de datos experimentales, LIEXVE CII/USAC.

Tabla XXII. **Análisis de varianza para el experimento de un factor con n-repeticiones para la densidad del extracto de β -caroteno sin concentrar obtenido de la cáscara de banano.**

Fuente de Variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	F calculada	F crítica	HSD
Entre grupos	0,1021	2	0,0511	19,6224	5,1433	0,1190
Dentro de los grupos	0,0156	6	0,0026			
Total	0,1177	8				

Fuente: elaboración propia, a partir de datos experimentales, LIEXVE CII/USAC.

Tabla XXIII. **Cuadro comparativo para la prueba de Tukey de la densidad del extracto de β -caroteno sin concentrar obtenido de la cáscara de banano**

	Agua	Acetona	Etanol
Agua		0,2562	0,1708
Acetona			-0,0855
Etanol			

Fuente: elaboración propia, a partir de datos experimentales, LIEXVE CII/USAC.

Tabla XXIV. **Experimento del factor para el potencial de hidrógeno del extracto de β -caroteno sin concentrar obtenido de la cáscara de banano**

Niveles de factor	Sujetos			Total
	Agua	Acetona	Etanol	
Corrida 1	6,23	5,59	6	17,82
Corrida 2	6,01	5,83	6,09	17,93
Corrida 3	6,49	5,12	6,5	18,11
Total				7,8216

Fuente: elaboración propia, a partir de datos experimentales, LIEXVE CII/USAC.

Tabla XXV. **Análisis de varianza para el experimento de un factor con n-repeticiones para el potencial de hidrógeno del extracto de β -caroteno sin concentrar obtenido de la cáscara de banano**

Fuente de Variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	F calculada	F crítica	HSD
Entre grupos	1,0020	2	0,5010	5,7987	5,1433	0,6856
Dentro de los grupos	0,5184	6	0,0864			
Total	1,5204	8				

Fuente: elaboración propia, a partir de datos experimentales, LIEXVE CII/USAC.

Tabla XXVI. **Cuadro comparativo para la prueba de Tukey del potencial de hidrógeno del extracto de β -caroteno sin concentrar obtenido de la cáscara de banano**

	Agua	Acetona	Etanol
Agua		0,73	0,0467
Acetona			-0,6833
Etanol			

Fuente: elaboración propia, a partir de datos experimentales, LIEXVE CII/USAC.

3.6.1.3. Media aritmética

Proporciona un valor promedio de los datos de una serie de repeticiones, se utilizará en la evaluación de las variables del experimento.

$$\bar{x} = \frac{\sum x_i}{n} \quad \text{[Ecuación 6]}$$

Donde

x: media aritmética de los datos experimentales.

x_i : valor del dato en la posición i.

n: número de repeticiones.

3.6.1.4. Desviación estándar

Medida de variabilidad de una serie de datos, aplicado al análisis del porcentaje de rendimiento.

$$s = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} \quad \text{[Ecuación 7]}$$

Donde

s: desviación estándar.

x: media aritmética de los datos experimentales.

x_i : valor del dato en la posición i.

n: número de repeticiones.

4. RESULTADOS

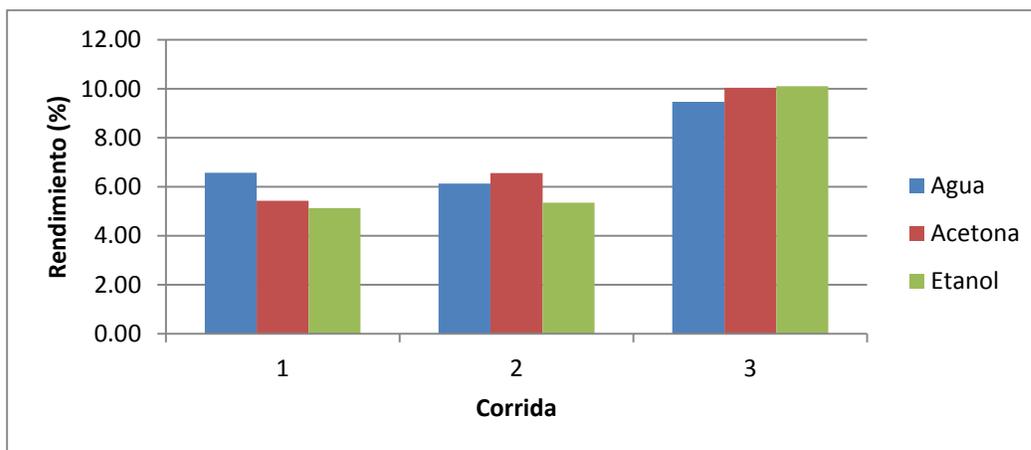
A continuación se presentan los resultados del porcentaje de rendimiento y concentración de β -caroteno contenido en la cáscara de banano, así también la densidad, el pH y residuo por incineración del extracto obtenido para cada solvente.

Tabla XXVII. Rendimiento del extracto de β -caroteno obtenido de la cáscara de banano utilizando tres diferentes solventes

Solvente	Corrida	Rendimiento (%)	Media	Desviación
Agua	1	6,57	7,39	1,81
	2	6,13		
	3	9,46		
Acetona	1	5,44	7,35	2,40
	2	6,56		
	3	10,04		
Etanol	1	5,13	6,87	2,81
	2	5,36		
	3	10,11		

Fuente: elaboración propia, a partir de datos experimentales, LIEXVE CII/USAC.

Figura 5. Rendimiento del extracto de β -caroteno obtenido de la cáscara de banano en función del solvente utilizado



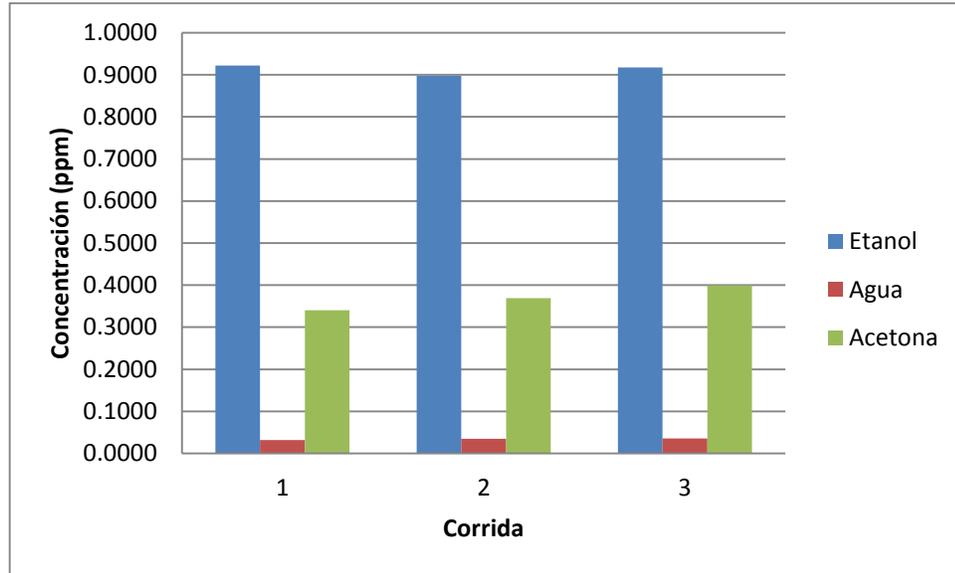
Fuente: elaboración propia, a partir de datos experimentales, LIEXVE CII/USAC.

Tabla XXVIII. Concentración de β -caroteno obtenido del extracto de la cáscara de banano utilizando tres diferentes solventes

Muestra	Corrida	Concentración (ppm)	Media	Desviación
Etanol	1	0,9222	0,9124	0,0129
	2	0,8978		
	3	0,9172		
Agua	1	0,0320	0,0341	0,0018
	2	0,0347		
	3	0,0355		
Acetona	1	0,3407	0,3698	0,0294
	2	0,3692		
	3	0,3994		

Fuente: elaboración propia, a partir de datos experimentales, LIEXVE CII/USAC.

Figura 6. **Concentración de β -caroteno obtenido del extracto de la cáscara de banano en función del solvente utilizado**



Fuente: elaboración propia, a partir de datos experimentales, LIEXVE CII/USAC.

Tabla XXIX. **Densidad del extracto de β -caroteno sin concentrar obtenido de la cáscara de banano**

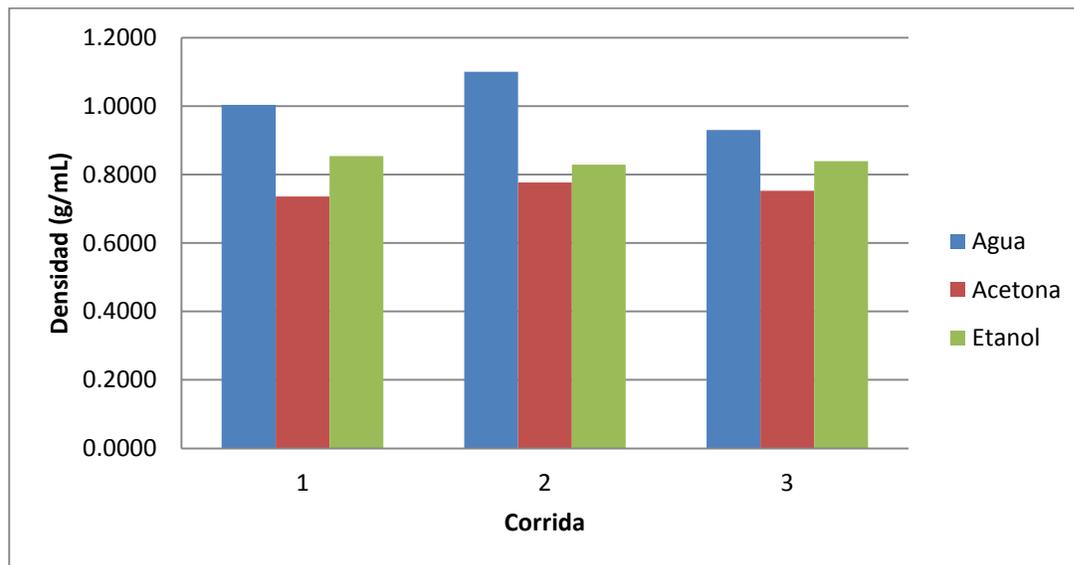
Muestra	Corrida	Densidad (g/mL)	Media	Desviación
Agua	1	1,0038	1,0114	0,0851
	2	1,1000		
	3	0,9304		
Acetona	1	0,7364	0,7552	0,0202
	2	0,7765		
	3	0,7526		
Etanol	1	0,8541	0,8406	0,0129

Continuación de la tabla XXIX

	2	0,8285		
	3	0,8393		

Fuente: elaboración propia, a partir de datos experimentales, LIXVE CII/USAC.

Figura 7. **Densidad del extracto de β -caroteno sin concentrar obtenido de la cáscara de banano**



Fuente: elaboración propia, a partir de datos experimentales, LIXVE CII/USAC.

Tabla XXX. **Resultado del potencial de hidrógeno del extracto de β -caroteno sin concentrar obtenido de la cáscara de banano**

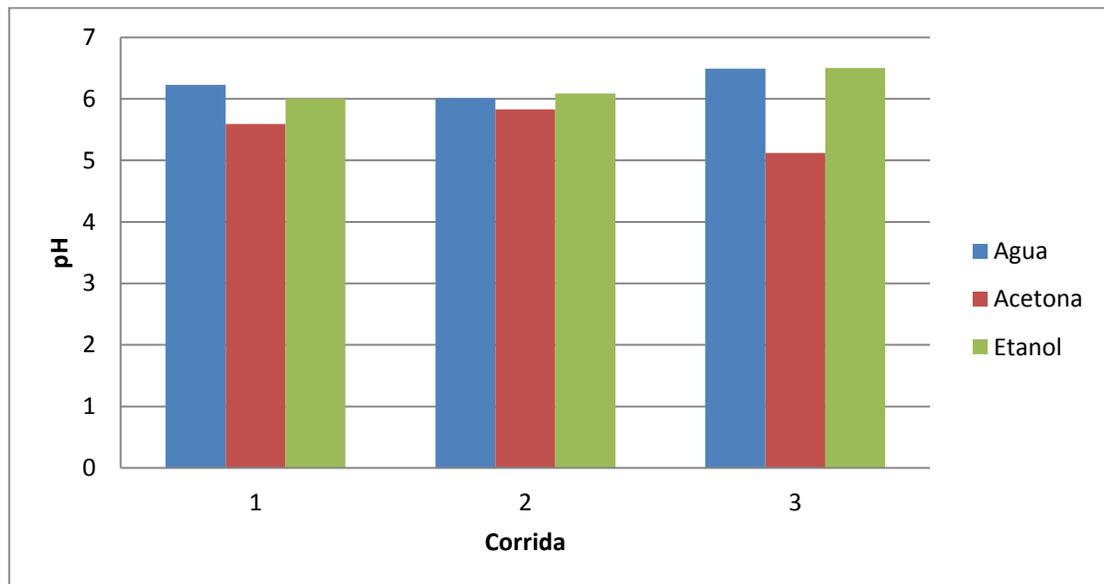
Muestra	Corrida	pH	Media	Desviación
Agua	1	6,23	6,24	0,2403
	2	6,01		
	3	6,49		

Continuación de la tabla XXX

Acetona	1	5,59	5.51	0.3612
	2	5,83		
	3	5,12		
Etanol	1	6,00	6.20	0.2665
	2	6,09		
	3	6,50		

Fuente: elaboración propia, a partir de datos experimentales, LIEXVE CII/USAC.

Figura 8. **Potencial de hidrógeno del extracto de β -caroteno sin concentrar obtenido de la cáscara de banano**



Fuente: elaboración propia, a partir de datos experimentales, LIEXVE CII/USAC.

Tabla XXXI. **Residuo por incineración de la cáscara de banano fresca**

Corrida	Residuo (%)
1	3,87
2	3,53
3	3,56

Fuente: elaboración propia, a partir de datos experimentales, LIXVE CII/USAC.

5. INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

El presente trabajo de investigación consistió en la extracción y caracterización de β -caroteno a nivel laboratorio, obtenido de la cáscara de banano (*Musa paradisiaca L.*), evaluando el rendimiento de tres diferentes solventes de distinta polaridad, realizado por medio de una extracción sólido líquido.

La materia prima se trabajó, de tal manera, que fuera fresca sin necesidad que haya oxidación por parte del ambiente y teniendo especial cuidado en la temperatura. Se utilizó banano de la variedad Williams siendo procesada solamente la cáscara a un tamaño de partícula de 1,5 a 2 cm.

Luego de haber procesado el material se procedió a realizar las extracciones por medio de la técnica extractiva Soxhlet. Para cada extracción se utilizó entre 20 a 30 gramos de material vegetal y 250 mililitros de solvente, los cuales se evaluaron tres de distinta polaridad, realizando 3 corridas por solvente, previamente se hizo una determinación para el tiempo de extracción evaluando diferentes tiempos con los solventes a utilizar.

Como se puede observar en la tabla VII se muestra los tiempos de extracción y los rendimientos porcentuales para cada uno, utilizando tres diferentes tipos de solventes de distinta polaridad. Para el solvente agua se obtuvo un porcentaje de rendimiento mayor en un tiempo de dos horas, seguido por los resultados con etanol donde se obtiene el porcentaje de rendimiento mayor en un tiempo de dos horas y, por último, los resultados con acetona el cuál presenta un mayor porcentaje de rendimiento en un tiempo de dos horas, estos

resultados pueden visualizarse en la figura 4, donde los puntos más altos para cada curva se tienen en dos horas, determinado así que la máxima extracción se obtiene en ese tiempo y se procede a establecer que ese será el tiempo de extracción, ya que en un tiempo mayor no se podrá obtener mejores resultados debido a que el material vegetal ya se encontrará agotado.

En la tabla XXI se muestran los resultados del rendimiento del extracto evaluado para para cada solvente en un tiempo de dos horas, se observa que para cada solvente varía el rendimiento porcentual del extracto de β -caroteno, disminuyendo del solvente más polar como el solvente agua donde su rendimiento es de 7,39 % hasta el menos polar como el solvente etanol, el cual tiene un rendimiento de 6,87 %, de esta manera el porcentaje de rendimiento del extracto no solamente varía en función del solvente sino también lo hace de forma directa y proporcional a la polaridad del mismo.

El análisis estadístico realizado para evaluar si existe una diferencia significativa entre el porcentaje de rendimiento del extracto en función de cada uno de los solventes, se puede observar en la tabla XVI, por la comparación de la F calculada y la F crítica que con un nivel de confianza del 95 por ciento, quien dice que no existe diferencia significativa del porcentaje de rendimiento en función de los solventes. En la tabla XVI del análisis estadístico, donde se resumen los parámetros de la prueba de Tukey para el análisis de medias se tiene que los valores obtenidos no son mayores a la diferencia honesta significativa, por lo que se puede concluir que no existe diferencia significativa entre las medias.

La tabla XXII muestra los resultados de la cuantificación de β -caroteno por espectrofotometría UV-Vis, donde los resultados de mayor magnitud los tiene el etanol, seguido de la acetona y, por último, el agua. Los β -carotenos son

hidrocarburos insaturados y, por lo tanto, bastante apolares y tomando en consideración que la solubilidad de sustancias apolares es más alta con otras sustancias apolares, se tiene que la solubilidad de β -caroteno incrementará al disminuir la polaridad, es decir la concentración es inversamente proporcional a la polaridad del solvente.

En la tabla XIX de igual manera por la comparación de la F calculada y la F crítica que, con un nivel de confianza del 95 por ciento determina que se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alterna donde el rendimiento de β -caroteno obtenido en la extracción varía significativamente, respecto al solvente utilizado.

En la tabla XX del análisis estadístico donde se resumen los parámetros de la prueba de Tukey para el análisis de medias, se tiene que los valores obtenidos son mayores a la diferencia honesta significativa (HSD), por lo que según la hipótesis nula la concentración tendrá que variar en función del solvente utilizado.

En la tabla XXIII se muestran las densidades de los extractos antes de ser concentrados para determinar la cantidad de sólidos en el extracto, como era de esperarse, las densidades son muy parecidas a las densidades de los solventes utilizados, debido a que se encuentran en mayor proporción que el extracto y sus desviaciones, muestran que los resultados están cercanos al valor medio y no difieren de este.

El análisis estadístico realizado para evaluar si existe una diferencia significativa entre la densidad del extracto sin concentrar en función de cada uno de los solventes se puede observar en la tabla XXII por la comparación de la F calculada y la F crítica que, con un nivel de confianza del 95 por ciento, quien

dice que no existe diferencia significativa de la densidad en función de los solventes.

En la tabla XXIII del análisis estadístico donde se resumen los parámetros de la prueba de Tukey para el análisis de medias se tiene que existen diferencias significativas entre la media los solventes agua-acetona y agua-etanol.

La tabla XXIV tiene los resultados del potencial de hidrógeno del extracto sin concentrar, determinando que este presenta valores cercanos a los del solvente utilizado, debido a que se encuentra en mayor proporción en relación al β -caroteno y otros carotenoides extraídos, es por eso que, para el agua se tienen valores entre 6 y 7 debido a la neutralidad de la misma; lo mismo ocurre en el etanol, que los resultados se encuentran entre 6 y 7, y finalmente la acetona posee un potencial de entre 5 y 6 es decir que se tiene una solución ácida, la desviación para estos resultados no difieren del valor medio. El análisis estadístico realizado para evaluar si existe una diferencia significativa entre el potencial de hidrógeno del extracto sin concentrar en función de cada uno de los solventes se puede observar en la tabla XXV, por la comparación de la F calculada y la F crítica que, con un nivel de confianza del 95 por ciento, quien dice que no existe diferencia significativa del potencial de hidrógeno en función de los solventes.

En la tabla XXVI del análisis estadístico, donde se resumen los parámetros de la prueba de Tukey para el análisis de medias se tiene que existen diferencias significativas de las medias de los solventes agua-acetona.

La tabla XXV tiene los resultados del residuo por incineración, estos muestran valores bajos en porcentaje, es decir que, por cada cien gramos de material vegetal, tres gramos serán materiales inorgánicos significa que el

material inorgánico está presente en la materia prima, como los minerales, los cuales no son incinerados a alta temperaturas y otras impurezas.

CONCLUSIONES

1. El rendimiento del extracto de la cáscara de banano (*Musa paradisiaca L.*), variedad Williams, no presenta diferencias significativas entre cada uno de los solventes, siendo el porcentaje de rendimiento del agua de 7,39 %, 7,35 para la acetona y 6,87 % para el etanol.
2. La concentración de β -caroteno en el extracto de la cáscara de banano (*Musa paradisiaca L.*), variedad William, presenta diferencias significativas entre cada solvente. Siendo el etanol con una mayor concentración de 0,9124 ppm.
3. La densidad del extracto de la cáscara de banano (*Musa paradisiaca L.*), variedad Williams, no presenta diferencias significativas, siendo la densidad del agua de 1,0114 g/mL, 0,8406 g/mL para el etanol y 0,7552 g/mL, para la acetona.
4. El pH del extracto de la cáscara de banano (*Musa paradisiaca L.*), variedad Williams, no presenta diferencias significativas, siendo el pH del agua 6,24, 6,20 para el etanol y 5,51 para la acetona.

RECOMENDACIONES

1. Evaluar el rendimiento del extracto obtenido de la cáscara de banano, utilizando solventes de baja polaridad.
2. Evaluar la concentración de β -caroteno en el extracto de la cáscara de banano, utilizando solventes de baja polaridad.
3. Determinar el rendimiento del extracto, utilizando otros métodos de extracción como la maceración estática.
4. Determinar la concentración de β -caroteno en el extracto de la cáscara de banano mediante el método HPLC, según lo indica la Farmacopea de los Estados Unidos (USP) edición 38.
5. Continuar estudiando la extracción y concentración de β -caroteno de distintas fuentes vegetales.
6. Realizar un estudio para determinar la concentración de β -caroteno de la cáscara de banano, en función del tiempo de maduración del fruto.

BIBLIOGRAFÍA

1. ANACAFE. *Cultivo de banano, programa de diversificación de ingresos en la empresa cafetalera*. 2004, 20 p.
2. BATRES, Jans. *Obtención y caracterización fisicoquímica de la fracción lipídica de la semilla del fruto del naranjo dulce (citrus sinensis L.) tipo blanca variedad valencia por lixiviación dinámica, método soxhlet y expresión a nivel laboratorio*. Trabajo de graduación de Ing. Química. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 2012, 102 p.
3. BRANDT, Steven, et. al. *The Tree Against Hunger. American Association for the Advancement Science, Awassa Agricultural Research Center, Kyoto University Center for Africa Area Studies, University of Florida*, 1997, 83 p.
4. CARDONA, Eliana M.; Ríos, Luis A.; Restrepo, Gloria M. *Extracción del carotenoide licopeno del tomate chonto (Lycopersicum esculentum)*. Revista de la Facultad de Química Farmacéutica, Universidad de Antioquia, Medellín, 53 p.
5. DEL CID, Henry. *Extracción a nivel laboratorio de los pigmentos colorantes del tipo flavonoides contenidos en la flor de subín (Acacia farnesiana L. Willd) Proveniente de un bosque silvestre guatemalteco*. Trabajo de graduación de Ing. Química. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 2004, 92 p.

6. DÍAZ, Nieves, J.; et. al. *Espectrofotometría: espectros de absorción y cuantificación colorimétrica de biomoléculas*, Cordoba, Universidad de Rabanales, Departamento de Bioquímica Molecular, Facultad de Medicina. 50 p.
7. FERNÁNDEZ, Celeste; et. al. *Evaluación del contenido de licopeno en pastas de tomate comerciales*. Universidad de Carabobo, Facultad de Ingeniería, Escuela de Ingeniería Química, Centro de Investigaciones Químicas, Valencia-Venezuela, 2007, 110 p.
8. FUNGO, Robert, Michael Pilay. *β -Carotene content of selected banana genotypes from Uganda*. African Journal of Biotechnology, 2011, 5538 p.
9. GUIROLA, Cristina. *Tintes Naturales su uso en Mesoamérica desde la época prehispanica*. México: FLAAR Mesoamérica, 2010, p. 1-13.
10. ISMAIL, Amin. *Carotenoids and their isomers: Color Pigments in Fruits and Vegetables*. Molecules, 2011, Volume 16, Issue 2, 1916 p.
11. KONGKACHUICHAJ, R., et. al. *Beta-Carotene, lycopene, and alpha-tocopherol contents of selected Thai fruits*, Food Chemistry 113. Thailand, 2009, 361 p.
12. MARTINEZ, Alejandro M. *Carotenoides*. Universidad de Antioquía, Facultad de Química Farmacéutica, Medellín, 2003, 140 p.
13. MARTÍNEZ, Feiber. *Recuperación de aceite en la tierra de blanqueo usada en la refinación de aceite de palma (Tonsil Actisil)*. Tecnológica FITEC, Colombia. 50 p.

14. PINE S., Hendricson J. et al, *Organic Chemistry*, McGraw-Hill Book Company. 387 p.
15. RAJYALAKSHMI P., et. al. *Total carotenoid and beta-carotene contents of forest green leafy vegetables consumed by tribals of south India*. Plant Food Hum. Nutr, 2001. 295 p.
16. RODRÍGUEZ-AMAYA, Delia B. Ph.D. *A guide to carotenoid analysis in foods*. Departamento de Ciencia de Alimentos, Facultad de Ingeniería de Alimentos, Universidad Estatal de Campinas, Brasil. 2001. ISBN 1-57881-072-8, 70 p.
17. WALL, Marisa M. *Ascorbic acid, vitamin A, and mineral composition of banana (Musa sp.) and papaya (cariaca papaya) cultivars grown in Hawaii*, Journal of Food Composition and Analysis, 2006. 476 p.
18. WANG, Koon-Hui, Ph.D.; et. al. *Brief Description of Banana Cultivars Available from the University of Hawaii Seed Program*. Department of Plant & Environmental Protection Sciences, University of Hawaii at Manoa, Honolulu, 2009, 190 p.
19. YOSHIKO, Shirata. Biblioteca Nacional de Antropología e Historia (INAH), México, 1996, 110 p.

APÉNDICES

Apéndice 1. **Equipos soxhlet en serie utilizados en la extracción de β -caroteno de la cáscara de banano**



Fuente: elaboración propia, fotografía tomada en LIEXVE CII/USAC.

Apéndice 2. **Reducción del tamaño de partícula manual de la cáscara de banano**



Fuente: elaboración propia, fotografía tomada en LIEXVE CII/USAC.

Apéndice 3. **Pesado de la cáscara de banano en su dedal de celulosa previo a su introducción al soxhlet**



Fuente: elaboración propia, fotografía tomada en LIEXVE CII/USAC.

Apéndice 4. **Equipo de rotaevaporación utilizado para la concentración del extracto**



Fuente: elaboración propia, fotografía tomada en LIEXVE CII/USAC.

Apéndice 5. **Extracto concentrado de β -caroteno obtenido de la cáscara de banano**



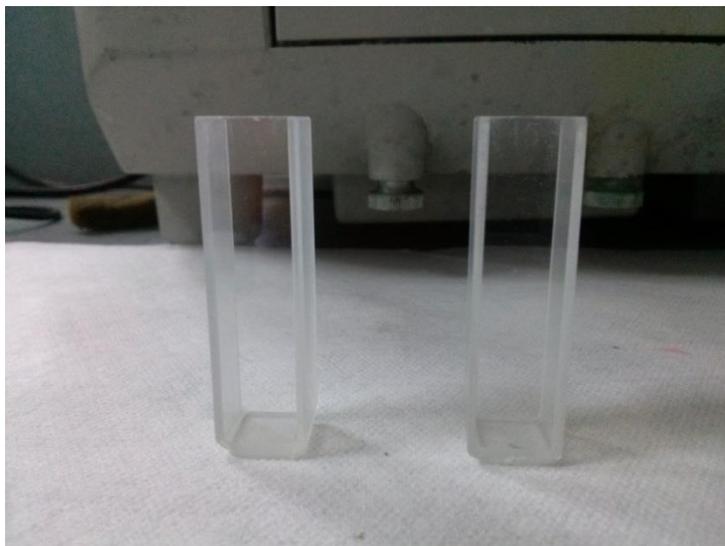
Fuente: elaboración propia, fotografía tomada en LIEXVE CII/USAC.

Apéndice 6. **Espectrofotómetro UV utilizado para la cuantificación de β -caroteno de la cáscara de banano**



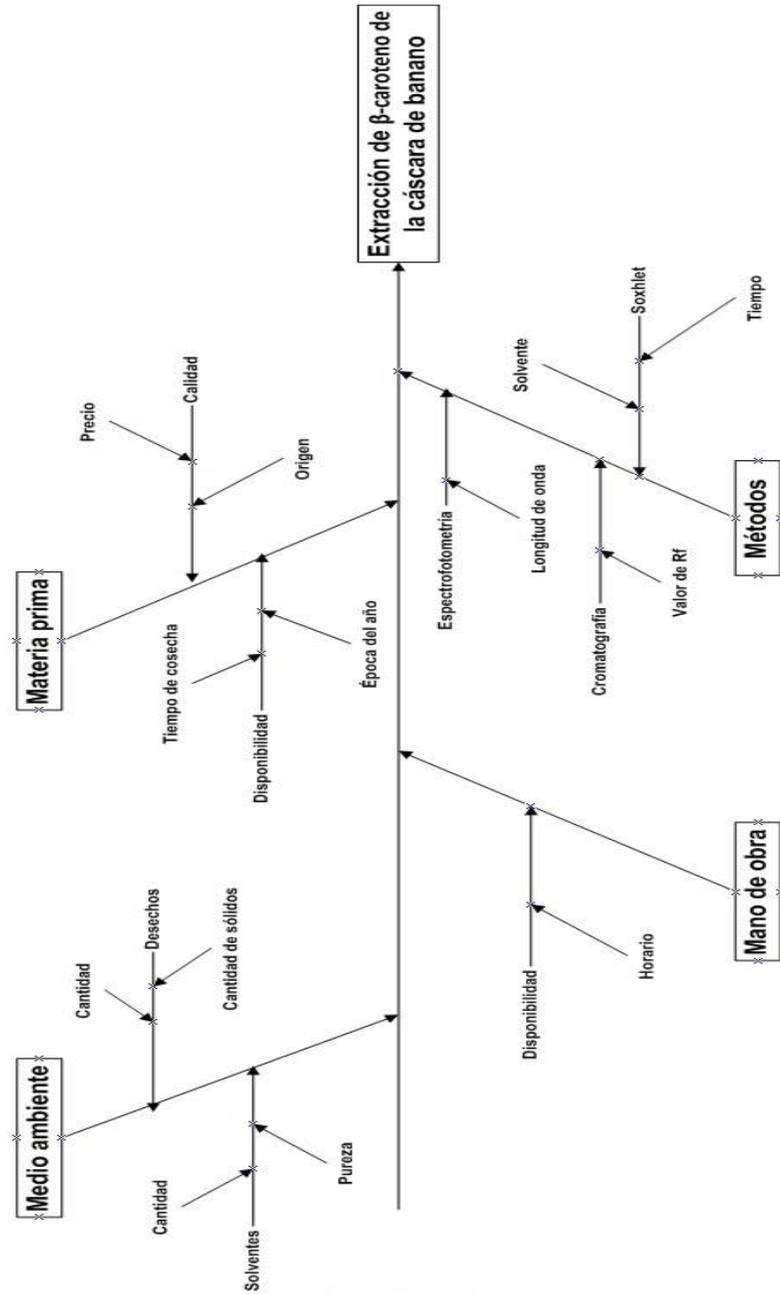
Fuente: elaboración propia, fotografía tomada en Laboratorios UNIPHAR S.A.

Apéndice 7. **Celdas del espectrofotómetro UV utilizados para la cuantificación de β -caroteno de la cáscara de banano**



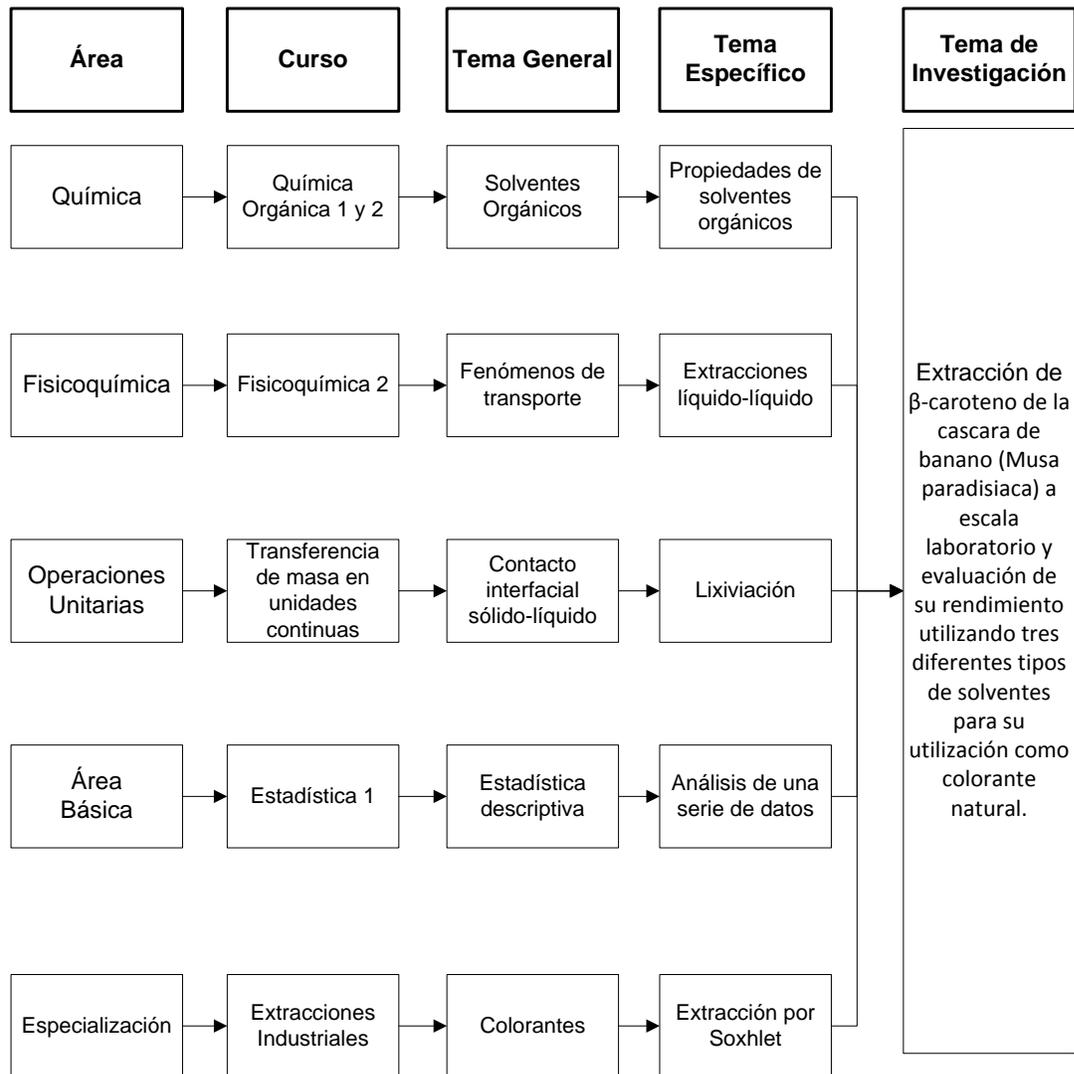
Fuente: elaboración propia, fotografía tomada en Laboratorios UNIPHAR S.A.

Apéndice 8. Diagrama de Ishikawa



Fuente: elaboración propia.

Apéndice 9. Tabla de requisitos académicos



Fuente: elaboración propia.

Apéndice 10. Informe de resultados obtenido en el Laboratorio de Investigación de Extractos Vegetales (LIEXVE), Sección Química Industrial, CII/USAC



**CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERIA
FACULTAD DE INGENIERIA
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA**



No. 4532

O.T. No. 34494
No. Informe LIEXVE-QI-12-2015

Interesado: Luis Fernando Catalán López
Estudiante de Ingeniería Química/USAC
Carné No. 2008-20514

Proyecto: Trabajo de de Graduación a nivel tesis "EXTRACCIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE β -CAROTENO OBTENIDO DE LA CÁSCARA DE BANANO (*MUSA PARADISIACA L.*) EVALUANDO EL RENDIMIENTO DE TRES DIFERENTES SOLVENTES DE DISTINTA POLARIDAD PARA SU UTILIZACIÓN COMO COLORANTE NATURAL, A ESCALA LABORATORIO".

Fecha: Guatemala, 18 de agosto de 2015

A continuación se presentan los resultados obtenidos del estudio de tesis titulado: "EXTRACCIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE β -CAROTENO OBTENIDO DE LA CÁSCARA DE BANANO (*MUSA PARADISIACA L.*) EVALUANDO EL RENDIMIENTO DE TRES DIFERENTES SOLVENTES DE DISTINTA POLARIDAD PARA SU UTILIZACIÓN COMO COLORANTE NATURAL, A ESCALA LABORATORIO".

Tabla No. 1 Porcentaje de rendimiento de extracto de β -caroteno con 3 diferentes solventes utilizando la técnica soxhlet.

SOLVENTE	RENDIMIENTO (%)	PROMEDIO RENDIMIENTO (%)
AGUA	6.57	7.39±1.80%
	6.13	
	9.46	
ACETONA	5.44	7.34±2.39%
	6.56	
	10.04	
ALCOHOL ETÍLICO	5.13	6.87±2.81%
	5.36	
	10.11	

Fuente: Datos experimentales -LIEXVE-

FACULTAD DE INGENIERIA –USAC–
Edificio T-5, Ciudad Universitaria zona 12
Teléfono directo: 2418-9115, Planta: 2418-8000 Exts. 86209 y 86221 Fax: 2418-9121
Página web: <http://cii.usac.edu.gt>

Página 1 de 3

Continuación del apéndice 10.



No. 4533

Tabla No. 2 Medición de pH del extracto de β -caroteno a temperatura de 25°C.

SOLVENTE	pH	PROMEDIO pH
AGUA	6.23	6.24±0.24
	6.01	
	6.49	
ACETONA	5.59	5.51±0.36
	5.83	
	5.12	
ALCOHOL ETÍLICO	6.00	6.19±0.26
	6.09	
	6.50	

Fuente: Datos experimentales -UEXVE-

Tabla No. 3 Medición de Densidad del extracto de β -caroteno a temperatura de 25°C.

SOLVENTE	DENSIDAD (g/mL)	PROMEDIO DENSIDAD (g/mL)
AGUA	1.0038	1.0114±0.0850
	1.1000	
	0.9304	
ACETONA	0.7364	0.7551±0.0202
	0.7765	
	0.7526	
ALCOHOL ETÍLICO	0.8541	0.8406±0.0128
	0.8285	
	0.8393	

Fuente: Datos experimentales -UEXVE-

Continuación del apéndice 10.



**CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERIA
FACULTAD DE INGENIERIA
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA**

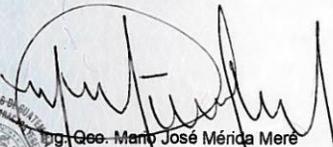


No. 4534

Tabla No. 4 Concentración (ppm) de extracto de β -caroteno, utilizando espectrofotometría UV-Vis.

SOLVENTE	ABSORBANCIA	CONCENTRACIÓN (ppm)	PROMEDIO CONCENTRACIÓN (ppm)
AGUA	0.0512	0.9222	0.9124±0.0129
	0.0485	0.8978	
	0.0790	0.9172	
ACETONA	0.0015	0.0320	0.0341±0.0002
	0.0020	0.0347	
	0.0033	0.0355	
ALCOHOL ETÍLICO	0.0137	0.3407	0.3698±0.0294
	0.0123	0.3692	
	0.0386	0.3994	

Fuente: Datos experimentales -LIEXVE-



Mg. Qce. Mario José Mérida Mere
COORDINADOR
 Laboratorio de Investigación de Extractos Vegetales
 -LIEXVE-
 Sección Química Industrial CII/USAC



Vo.Bo. Inga. Qca. Telma Maricela Cano Morales
DIRECTORA
 Centro de Investigaciones de Ingeniería/USAC

FACULTAD DE INGENIERÍA –USAC–
 Edificio T-5, Ciudad Universitaria zona 12
 Teléfono directo: 2418-9115, Planta: 2418-8000 Exts. 86209 y 86221 Fax: 2418-9121
 Página web: <http://cii.usac.edu.gt>

Página 3 de 3

Fuente: elaboración propia.

