



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

**EVALUACIÓN DEL APROVECHAMIENTO DE LA FRACCIÓN SOLUBLE EN  
AGUA DEL FRUTO DEL ÁRBOL DE CARAMBOLA (*Averrhoa carambola L.*),  
PARA LA ELABORACIÓN DE UN PRODUCTO DE CONSUMO HUMANO**

**María Alejandra Salguero Herrera**

Asesorado por el Ing. Jorge Emilio Godínez Lemus

Coasesorado por el Ing. Adrián Antonio Soberanis Ibáñez

Guatemala, noviembre de 2014

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**EVALUACIÓN DEL APROVECHAMIENTO DE LA FRACCIÓN SOLUBLE EN  
AGUA DEL FRUTO DEL ÁRBOL DE CARAMBOLA (*Averrhoa carambola L.*),  
PARA LA ELABORACIÓN DE UN PRODUCTO DE CONSUMO HUMANO**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA  
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR

**MARÍA ALEJANDRA SALGUERO HERRERA**

ASESORADO POR EL ING. JORGE EMILIO GODÍNEZ LEMUS

COASESORADO POR EL ING. ADRIÁN ANTONIO SOBERANIS IBÁÑEZ

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

**INGENIERA QUÍMICA**

GUATEMALA, NOVIEMBRE 2014

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERÍA



**NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA**

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
VOCAL I	Ing. Alfredo Enrique Beber Aceituno
VOCAL II	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL III	Ing. Elvia Miriam Ruballos Samayoa
VOCAL IV	Br. Narda Lucía Pacay Barrientos
VOCAL V	Br. Walter Rafael Véliz Muñoz
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

**TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO**

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
EXAMINADOR	Ing. Jorge Emilio Godínez Lemus
EXAMINADOR	Ing. Jorge Mario Estrada Asturias
EXAMINADORA	Inga. Hilda Piedad Palma Ramos
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:

**EVALUACIÓN DEL APROVECHAMIENTO DE LA FRACCIÓN SOLUBLE EN  
AGUA DEL FRUTO DEL ÁRBOL DE CARAMBOLA (*Averrhoa carambola L.*),  
PARA LA ELABORACIÓN DE UN PRODUCTO DE CONSUMO HUMANO**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Química, con fecha 27 de julio de 2012.



**María Alejandra Salguero Herrera**

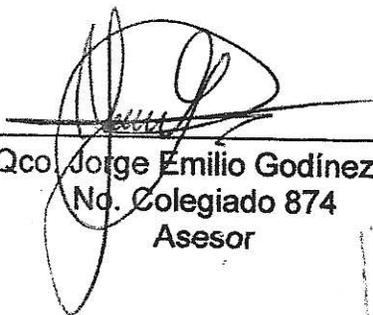
Guatemala, Septiembre del 2014

Ing. Victor Monzón  
Director de Escuela  
Ingeniería Química

Esperando que todas sus actividades las este culminando con éxito diariamente, por medio de la presente me dirijo a usted para informar que aprobé el Informe Final de Trabajo de Graduación de la estudiante María Alejandra Salguero Herrera con carné No. 2008-15360, titulado "EVALUACIÓN DEL APROVECHAMIENTO DE LA FRACCIÓN SOLUBLE EN AGUA DEL FRUTO DEL ÁRBOL DE CARAMBOLA (*Averrhoa carambola* L.), PARA LA ELABORACIÓN DE UN PRODUCTO DE CONSUMO HUMANO", cumpliendo con todas las modificaciones solicitadas.

Sin más que decir nos despedimos de usted.

Atentamente

  
Ing. Qco. Jorge Emilio Godínez Lemus  
No. Colegiado 874  
Asesor

Ing. Jorge Emilio Godínez Lemus  
INGENIERO QUÍMICO  
Colegiado 874



Guatemala, 15 de octubre de 2014  
Ref. EIQ.TG-IF.047.2014

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

Estimado Ingeniero Monzón:

Como consta en el registro de evaluación del informe final EIQ-PRO-REG-007 correlativo **042-2012** le informo que reunidos los Miembros de la Terna nombrada por la Escuela de Ingeniería Química, se practicó la revisión del:

**INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADUACIÓN**

Solicitado por la estudiante universitaria: **María Alejandra Salguero Herrera**.  
Identificada con número de carné: **2008-15360**.  
Previo a optar al título de **INGENIERA QUÍMICA**.

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:

**EVALUACIÓN DEL APROVECHAMIENTO DE LA FRACCIÓN SOLUBLE EN AGUA DEL FRUTO DEL ÁRBOL DE CARAMBOLA (*Averrhoa carambola* L.), PARA LA ELABORACIÓN DE UN PRODUCTO DE CONSUMO HUMANO**

El Trabajo de Graduación ha sido asesorado por el Ingeniero Químico: **Jorge Emilio Godínez Lemus**.

Habiendo encontrado el referido informe final del trabajo de graduación **SATISFACTORIO**, se autoriza al estudiante, proceder con los trámites requeridos de acuerdo a las normas y procedimientos establecidos por la Facultad para su autorización e impresión.

**"ID Y ENSEÑAD A TODOS"**

Licda. Ingrid Lorena Benítez Pacheco  
COORDINADORA DE TERNA  
Tribunal de Revisión  
Trabajo de Graduación



C.c.: archivo



ACAAI



Ref.EIQ.TG.264.2014

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 de la estudiante, **MARÍA ALEJANDRA SALGUERO HERRERA** titulado: "EVALUACIÓN DEL APROVECHAMIENTO DE LA FRACCIÓN SOLUBLE EN AGUA DEL FRUTO DEL ÁRBOL DE CARAMBOLA (*AVERRHOA CARAMBOLA* L), PARA LA ELABORACIÓN DE UN PRODUCTO DE CONSUMO HUMANO". Procede a la autorización del mismo, ya que reúne el rigor, la secuencia, la pertinencia y la coherencia metodológica requerida.



Ing. Víctor Manuel Monzón Valdez  
DIRECTOR  
Escuela de Ingeniería Química



Guatemala, noviembre 2014

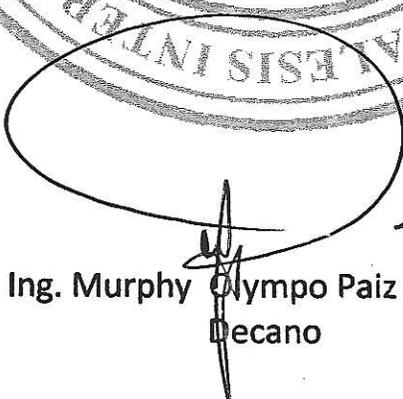
Cc: Archivo  
VMMV/cle



DTG. 693.2014

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: **EVALUACIÓN DEL APROVECHAMIENTO DE LA FRACCIÓN SOLUBLE EN AGUA DEL FRUTO DEL ÁRBOL DE CARAMBOLA (Averrhoa carambola L.), PARA LA ELABORACIÓN DE UN PRODUCTO DE CONSUMO HUMANO**, presentado por la estudiante universitaria **María Alejandra Salguero Herrera**, y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, se autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:



Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos  
Decano

Guatemala, 24 de noviembre de 2014

/gdech



## **ACTO QUE DEDICO A:**

<b>Dios</b>	Por darme sabiduría y discernimiento a lo largo de mi carrera profesional.
<b>Mi esposo</b>	Samuel Prado, por su amor y apoyo incondicional a lo largo de mi carrera profesional.
<b>Mi madre</b>	Erika Salguero, por su amor, apoyo y lucha incondicional a lo largo de mi vida, y por ser mi ejemplo a seguir.
<b>Victor Boche</b>	Por su apoyo incondicional y consejos.
<b>Mis sobrinos</b>	Sean Makepeace, Sebastián Ortíz, Jose Dubón, Xavier Dubón e Isabella Dubón, para que en un futuro mi logro les sirva de inspiración y yo pueda ser un ejemplo a seguir en su carrera profesional.
<b>Mis asesores</b>	Por compartir conmigo su valioso tiempo, sus conocimientos y orientarme en el desarrollo de mi trabajo de graduación.
<b>Mi revisora</b>	Por el tiempo dedicado a la revisión de mi trabajo de graduación.

## **AGRADECIMIENTOS A:**

<b>Dios</b>	Por darme fuerza y perseverancia para poder luchar día con día y permitirme así alcanzar este éxito en mi vida profesional.
<b>Mi esposo</b>	Samuel Prado, por todo su amor, paciencia y apoyo incondicionales que me animaron a seguir adelante y así poder alcanzar este logro.
<b>Mi madre</b>	Erika Salguero, por su amor, apoyo y lucha incondicional, demostrándome que con el apoyo y la fe en Dios todo es posible.
<b>Victor Boche</b>	Por su apoyo incondicional y consejos de vida para saber afrontar las cosas de una mejor manera.
<b>Mis asesores</b>	Por compartir conmigo su valioso tiempo, sus conocimientos y orientarme en el desarrollo de mi trabajo de graduación.
<b>Mi revisora</b>	Licda. Ingrid Benítez, por el tiempo dedicado a la revisión de mi trabajo de graduación.

**Universidad de San  
Carlos de Guatemala**

Por ese apoyo que le brinda a tantas personas y por su proyección social para con Guatemala, para poder continuar estudios profesionales.

**Mis amigos**

Edwin Cortez, Mario Maldonado, Kenneth Figueroa, Gabriela Caballeros, Lesly Perez y Jose Soto, por todos los momentos compartidos y brindarme su sincera amistad a lo largo de mi carrera.

**Luis Pedro Ríos**

Por su amistad sincera, cariño y apoyo incondicional a lo largo de la carrera

**Ma. Renée Santa Cruz**

Por brindarme su amistad a lo largo de estos años, por escucharme y por compartir conmigo tanto los buenos como los malos momentos y brindarme su apoyo incondicional siempre.



2.4.	Análisis fisicoquímico .....	22
2.5.	Análisis bromatológico .....	24
3.	MARCO METODOLÓGICO .....	27
3.1.	Variables .....	27
3.2.	Delimitación de campo de estudio .....	28
3.3.	Recursos humanos disponibles .....	28
3.4.	Recursos materiales disponibles.....	28
3.5.	Técnica cualitativa y cuantitativa .....	29
3.5.1.	Análisis estadístico de los datos.....	30
3.6.	Recolección y ordenamiento de la información .....	31
3.7.	Tabulación, ordenamiento y procesamiento de la información.....	40
3.8.	Análisis estadístico.....	45
4.	RESULTADOS.....	51
5.	INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS .....	55
	CONCLUSIONES.....	59
	RECOMENDACIONES .....	61
	BIBLIOGRAFÍA.....	63
	APÉNDICES.....	67
	ANEXOS.....	73

## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

### FIGURAS

1.	Árbol de carambola.....	3
2.	Fruto carambola.....	4
3.	Fisura.....	8
4.	Poros .....	9
5.	Clasificación de los solventes .....	19
6.	Análisis químico .....	26

### TABLAS

I.	Esfericidades .....	10
II.	Fracciones huecas para empaques apilados o rellenos al azar .	16
III.	Constantes dieléctricas de solventes.....	19
IV.	Técnicas generales a aplicar en un análisis fitoquímico .....	21
V.	Definición de variables dependientes .....	27
VI.	Definición de variables independientes.....	27
VII.	Recursos humanos .....	28
VIII.	Equipos, cristalería y reactivos .....	29
IX.	Masa del solvente .....	31
X.	Masa del sólido .....	32
XI.	Volumen del lecho .....	32
XII.	Determinación del tiempo de extracción para la variación 1 de porosidad, corrida 1 .....	33

XIII.	Determinación del tiempo de extracción para la variación 1 de porosidad, corrida 2.....	33
XIV.	Determinación del tiempo de extracción para la variación 1 de porosidad, corrida 3.....	33
XV.	Determinación del tiempo de extracción para la variación 2 de porosidad, corrida 1.....	34
XVI.	Determinación del tiempo de extracción para la variación 2 de porosidad, corrida 2.....	34
XVII.	Determinación del tiempo de extracción para la variación 2 de porosidad, corrida 3.....	35
XVIII.	Determinación del tiempo de extracción para la variación 3 de porosidad, corrida 1.....	35
XIX.	Determinación del tiempo de extracción para la variación 3 de porosidad, corrida 2.....	35
XX.	Determinación del tiempo de extracción para la variación 3 de porosidad, corrida 3.....	36
XXI.	Determinación de la masa del extracto .....	36
XXII.	Análisis bromatológico.....	37
XXIII.	Cromatografía en capa fina para la determinación de saponinas .....	37
XXIV.	Cromatografía en capa fina para la determinación de cumarinas .....	38
XXV.	Cromatografía en capa fina para la determinación de flavonoides .....	38
XXVI.	Cromatografía en capa fina para la determinación de alcaloides .....	39
XXVII.	Cromatografía en capa fina para la determinación de aceites esenciales .....	40
XXVIII.	Densidad inicial del solvente .....	41

XXIX.	Densidad del sólido.....	41
XXX.	Densidad del lecho .....	42
XXXI.	Porosidad del lecho .....	42
XXXII.	Determinación de la densidad del extracto .....	43
XXXIII.	Determinación de la masa del soluto .....	44
XXXIV.	Determinación de la masa del soluto total .....	44
XXXV.	Rendimiento de la extracción.....	45
XXXVI.	Prueba de hipótesis de varianzas poblacionales iguales o desiguales para tratamientos 1 y 2 .....	46
XXXVII.	Prueba de hipótesis de varianzas poblacionales iguales o desiguales para tratamientos 1 y 3 .....	46
XXXVIII.	Prueba de hipótesis de varianzas poblacionales iguales o desiguales para tratamientos 2 y 3 .....	47
XXXIX.	Prueba de hipótesis de medias iguales o desiguales para tratamientos 1 y 2 .....	48
XL.	Prueba de hipótesis de medias iguales o desiguales para tratamientos 1 y 3 .....	49
XLI.	Prueba de hipótesis de medias iguales o desiguales para tratamientos 2 y 3 .....	50
XLII.	Porcentaje de rendimiento de la extracción en función de la variación de la porosidad del lecho.....	51
XLIII.	Caracterización fitoquímica de la fracción soluble en agua de la carambola ( <i>Averrhoa carambola L.</i> ).....	51
XLIV.	Caracterización fisicoquímica de la fracción soluble en agua de la carambola ( <i>Averrhoa carambola L.</i> ).....	52
XLV.	Análisis bromatológico de la fracción soluble en agua de la carambola ( <i>Averrhoa carambola L.</i> ).....	52



## LISTA DE SÍMBOLOS

<b>Símbolo</b>	<b>Significado</b>
<b>S</b>	Área superficial
<b><math>\Delta p</math></b>	Caída de presión
<b><math>\rho</math></b>	Densidad
<b>D</b>	Diámetro
<b>Rf</b>	Distancia de la muestra desde el origen
<b><math>\Phi</math></b>	Esfericidad
<b>F</b>	Estadístico de prueba distribución Fisher
<b>t</b>	Estadístico de prueba distribución T
<b>EE</b>	Extracto etéreo
<b>ELN</b>	Extracto libre de nitrógeno
<b><math>\Lambda</math></b>	Factor de corrección
<b>F</b>	Factor de fricción
<b>FC</b>	Fibra cruda
<b>°C</b>	Grados Celsius
<b>v</b>	Grados de libertad
<b>g</b>	Gramos
<b>Ha</b>	Hipótesis alternativa
<b>Ho</b>	Hipótesis nula
<b>=</b>	Igual
<b>L</b>	Longitud
<b>M</b>	Masa
<b>MST</b>	Materia seca total

<b>&gt;</b>	Mayor que
<b><math>\bar{x}</math></b>	Media muestral
<b><math>\mu_x</math></b>	Media poblacional
<b>&lt;</b>	Menor que
<b>m</b>	Metros
<b>ml</b>	Mililitro
<b>mm</b>	Milímetros
<b>min</b>	Minutos
<b><math>\alpha</math></b>	Nivel de significancia
<b><math>\neq</math></b>	No igual
<b>No.</b>	Número
<b>n</b>	Número de datos
<b>Re</b>	Número de Reynolds
<b>%</b>	Porcentaje
<b><math>\epsilon</math></b>	Porosidad
<b>T</b>	Temperatura
<b>s</b>	Varianza muestral
<b><math>\sigma</math></b>	Varianza poblacional
<b><math>\bar{V}</math></b>	Velocidad
<b><math>\mu</math></b>	Viscosidad
<b>V</b>	Volumen

## GLOSARIO

<b>Aceite esencial</b>	Aceite sintetizado por plantas, es el responsable del aroma característico de algunas plantas, flores, árboles, frutos, hierbas, especias, semillas y a ciertos extractos de origen animal.
<b>Alcaloide</b>	Metabolito secundario de las plantas sintetizado, generalmente, a partir de aminoácidos, que tienen en común su hidrosolubilidad a pH ácido y su solubilidad en solventes orgánicos a pH alcalino.
<b>Análisis bromatológico</b>	Estudiar los alimentos, su composición química, su acción en el organismo, su valor alimenticio y calórico, así como sus propiedades físicas, químicas, toxicológicas.
<b>Análisis fisicoquímico</b>	Estudiar las propiedades físicas y químicas de un compuesto.
<b>Análisis fitoquímico</b>	Determinar los metabolitos secundarios presentes en la especie vegetal a estudiar.
<b>Cumarina</b>	Metabolito secundario orgánico perteneciente a la familia de las benzopironas, se caracteriza por una estructura cristalina e incolora.

<b>Extracto</b>	Sustancia obtenida por medio de una extracción de una materia prima con un solvente.
<b>Flavonoide</b>	Metabolito secundario natural presente en los vegetales y que protegen al organismo de los daños producidos por sustancias o elementos oxidantes.
<b>Fracción soluble</b>	La fracción de los sólidos totales, soluble en un disolvente específico.
<b>Lecho</b>	Conjunto de capas horizontales colocadas una encima de otra.
<b>Poros</b>	Espacio vacío entre las partículas o moléculas que constituyen un cuerpo o un lecho.
<b>Porosidad</b>	Medida de espacios vacíos en un material, y es una fracción del volumen de huecos sobre el volumen total.
<b>Saponina</b>	Metabolitos secundarios que son glucósidos de esteroides o de triterpenoides, llamadas así por sus propiedades semejantes a las del jabón.
<b>Solvente</b>	Medio disolvente de una solución; normalmente es el componente de una solución presente en mayor cantidad.

## RESUMEN

El objetivo del trabajo de graduación fue evaluar, a nivel laboratorio, el aprovechamiento de la fracción soluble en agua del fruto del árbol de carambola (*Averrhoa carambola L.*), para la elaboración de un producto de consumo humano.

Para ello se llevó a cabo una lixiviación por percolación a través de un lecho estacionario de sólidos, evaluando tres diferentes porosidades del lecho, las cuales se establecieron dejando fija la masa del lecho y variando por medio de compresión el volumen que ocupa el mismo.

Para realizar la extracción, primero se secó la materia prima en un horno de convección en un rango de temperatura de 30 a 35 grados Celsius, y luego se redujo el tamaño de la partícula por medio de un molino de cuchillas con una malla No. 4, para la extracción se utilizó una torre de extracción a nivel laboratorio con recirculación por medio de una bomba de aire y un tiempo de extracción de dos horas para cada corrida.

Posteriormente se realizó un análisis fisicoquímico, fitoquímico y bromatológico a cada uno de los extractos obtenidos de las diferentes variaciones de porosidad del lecho, para evaluar el valor nutricional del extracto obtenido.

El rendimiento de las extracciones fue analizado por medio de pruebas de hipótesis para determinar con un 99,9 por ciento de confianza si la variación de la porosidad del lecho incide significativamente o no en la igualdad del

rendimiento de la extracción, obteniendo que, para las corridas dos y tres el rendimiento es el mismo, mientras que para la corrida uno es significativamente diferente.

Con base en los resultados de los análisis fisicoquímicos, fitoquímicos y bromatológicos se concluyó que la variación de la porosidad no incide considerablemente en los resultados.

A partir de las caracterizaciones obtenidas puede concluirse también, que el extracto acuoso de carambola sí puede utilizarse como un producto para el consumo humano.

## OBJETIVOS

### General

Evaluar a nivel laboratorio el aprovechamiento de la fracción soluble en agua del fruto del árbol de carambola (*Averrhoa carambola L.*), para la elaboración de un producto de consumo humano.

### Específicos

1. Evaluar el rendimiento de la fracción soluble en agua de la carambola (*Averrhoa carambola L.*) en función de la porosidad del lecho a temperatura ambiente.
2. Realizar la caracterización fitoquímica de la fracción soluble en agua de la carambola (*Averrhoa carambola L.*).
3. Realizar la caracterización fisicoquímica de la fracción soluble en agua de la carambola (*Averrhoa carambola L.*).
4. Hacer un análisis bromatológico de la fracción soluble en agua de la carambola (*Averrhoa carambola L.*).
5. Determinar si es posible la utilización del extracto para la elaboración de un producto de consumo humano (concentrado).

# Hipótesis

## Hipótesis científica

La variación de la porosidad del lecho, en la extracción de la fracción soluble en agua de la carambola puede afectar el rendimiento fitoquímico, fisicoquímico y bromatológico del extracto.

## Hipótesis estadística

### Hipótesis nula

El rendimiento de la extracción es igual para todas las variaciones de la porosidad del lecho.

$$\mu_0 = \mu_i$$

### Hipótesis alternativa

El rendimiento de la extracción no es igual para todas las variaciones de la porosidad del lecho

$$\mu_0 \neq \mu_i$$

## INTRODUCCIÓN

El cultivo del árbol de carambola (*Averrhoa carambola L.*) fue introducido en Guatemala en 1984 a través del Instituto Científico Tecnológico Agrícola (ICTA) con el apoyo de La Misión Técnica Agrícola China, su cultivo fue difundido por el interior del país gracias al proyecto “Pro-Fruta” impulsado por el Ing. Agrónomo Jorge Mario Cabrera.

Sin embargo, la cultura del país no es similar a la de Indonesia y Malasia (países de origen de la carambola), por lo que el cultivo de dicho fruto no tuvo auge, y hasta la fecha, únicamente es consumida en refrescos elaborados de forma artesanal.

Por esta razón surge la idea de evaluar a nivel laboratorio el aprovechamiento de la fracción soluble en agua de la carambola y determinar a través de un análisis fisicoquímico, fitoquímico y bromatológico, el contenido nutricional y con ello definir la mejor aplicación para la fabricación de productos de consumo humano.

Por medio de este estudio podría recuperarse el auge del cultivo de dicho fruto y aumentar los ingresos económicos de los productores nacionales, ya que gracias al clima sí puede cultivarse en el territorio durante todo el año, y posteriormente, culminar la cadena productiva integral e incluso escalar a nivel industrial dicha extracción.



## 1. ANTECEDENTES

La carambola es una fruta tropical originaria de Indonesia, es cultivada en el área costera al sur de Guatemala, debido al clima cálido, favoreciendo así el crecimiento y la cosecha del mismo.

Dentro del país no se encuentran estudios profundos sobre las propiedades de los nutrientes, ni sobre la generación de productos para un mejor consumo de dicho fruto, sin embargo, otros países cuentan con estudios para la determinación de nutrientes del fruto, como los métodos de siembra, cosecha y manipulación del fruto.

Estos estudios están enfocados al aseguramiento de la calidad de los frutos exportados, mas no se basan en el procesamiento de la misma para la fabricación de jaleas, conservas, saborizantes, esencias, entre otros.

En el 2009, Claudia Beatriz Montenegro Franco de la Universidad de San Carlos de Guatemala, realizó su trabajo de graduación titulado: *Estudio experimental de la operación unitaria de Separación sólido-líquido a nivel laboratorio, mediante la evaluación de diversos parámetros de interacción influyentes y de respuesta*, concluyendo que las variables respuesta, en forma independiente, diferencia significativa notable. Mientras que para la combinación de dos o tres de ellas, resultan en diferencias significativas variadas en magnitud.

En el 2009, David Alejandro Reynoso Revolorio de la Universidad de San Carlos de Guatemala, realizó su trabajo de graduación titulado: *Desarrollo de un*

*sistema tutorial inteligente –STI- utilizando Visual Basic 6.0 para la fundamentación teórica de la operación unitaria de lixiviación inducida (Extracción sólido-líquido) orientado a materiales biológicos (metabolitos), concluyendo que el STI de lixiviación sirve como recurso didáctico para el estudio de la operación unitaria de lixiviación inducida y como apoyo al catedrático para motivar adecuadamente al estudiante a obtener, completar y generar conocimientos.*

En el 2011, Blanca Estela Martínez Navarro de la Universidad Veracruzana, México, realizó un estudio bromatológico sobre la carambola llamado: *Análisis bromatológico del carambolo (Averrhoa carambola L.) y determinación de su capacidad antioxidante*, en el cual se analizan distintos parámetros y propiedades del fruto para determinar su capacidad de ser utilizado como antioxidante, concluyendo que el análisis fitoquímico y la cuantificación de los compuestos fenólicos totales indican que el fruto tiene gran capacidad como antioxidante, características que le dan un valor agregado al incluirlo en la alimentación.

En el 2012, Jans Amilkar Batres Santizo de la Universidad de San Carlos de Guatemala, realizó un estudio sobre la obtención y caracterización de la fase lipídica del naranjo dulce titulado: *Obtención y Caracterización Físicoquímica 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*, en el que se compararon los tres métodos de extracción y se llegó a la conclusión que el método de extracción con mayor rendimiento fue el de Soxhlet con hexano.

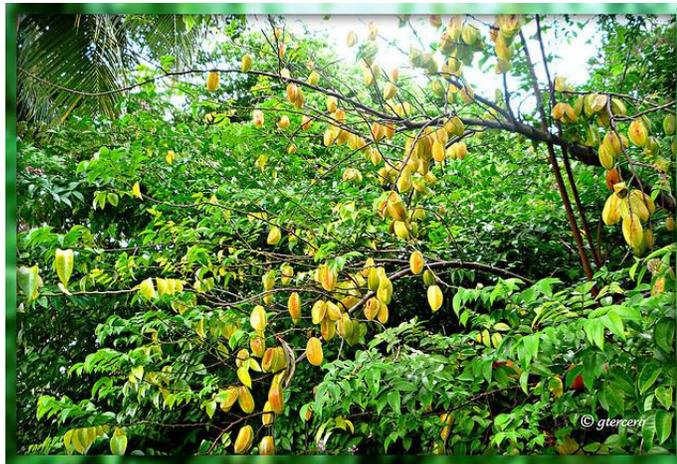
## 2. MARCO TEÓRICO

### 2.1. Averrhoa carambola

La carambola es una fruta originaria y propia de Indonesia y Malasia. Su cultivo se ha extendido a otros países tropicales de Asia y América. Los principales países productores son: Tailandia, Brasil, Colombia y Bolivia.

El árbol es bastante resistente, en comparación con otras especies tropicales; se cultiva mejor en áreas libres de charcos y sitios soleados, mide alrededor de 5 a 12 metros de altura. Tiene hojas verde oscuras, flores rosadas a púrpura, con un diámetro de 6 milímetros.

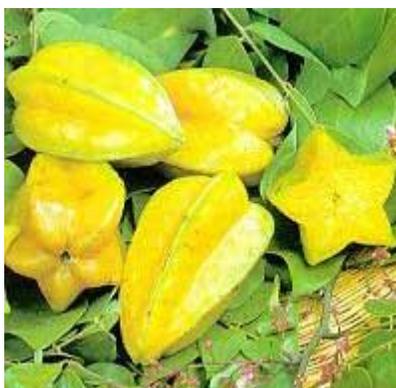
Figura 1. **Árbol de carambola**



Fuente: <http://www.flickr.com/photos/gtercero/4255401376/>. Consulta: 12 de abril de 2012.

El fruto es entre oblongo y elipsoidal, mide de 6 a 15 centímetros de largo, tiene 5 aristas, por lo que al ser cortada en secciones transversales la fruta tiene forma de estrella, tiene un sabor agridulce, la piel es translúcida, suave y cerosa, el color varía del blanco a un profundo amarillo dorado.

Figura 2. **Fruto carambola**



Fuente: <http://articulos.infojardin.com/Frutales/fichas/carambola-carambolos-tamarindo-chino-averrhoa-carambola.htm>. Consulta: 12 de abril de 2012.

### **2.1.1. Usos**

Es una fruta excelente para consumo fresco, al procesarla se pueden llegar a obtener: jaleas, dulces, mermeladas, concentrados, entre otros. Además se utiliza para el tratamiento de hemorroides, sedativo para pacientes con asma, diurético, vermífugo, antídoto contra venenos y alivia el malestar por el exceso de licor.

### **2.1.2. Variedades**

Las variedades de carambola que se cultivan en Guatemala son la Arkin, Kary, Mih Tao y Dah Pon; dichas variedades fueron introducidas al país en

1984, a través de Pro-Fruta, proyecto impulsado por el Ing. Agrónomo Jorge Mario Cabrera.

La diferencia entre ambas se debe a que una es ácida, es decir, tiene mayor contenido de ácido oxálico y de menor tamaño que la otra.

En el territorio de Guatemala dicho fruto se cultiva, principalmente en Escuintla, y las variedades cultivadas en dicho departamento son: Arkin y Kary.<sup>1</sup>

## **2.2. Lixiviación**

Es el retiro de una fracción soluble, en la forma de solución de una fase sólida permeable e insoluble con que se asocia. La separación implica, por lo común, la disolución selectiva, con difusión o sin ella; pero en el caso extremo del lavado simple, consiste solo en el desplazamiento (con cierta combinación) de un líquido intersticial por otro, con el que es miscible. 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. El sólido insoluble puede ser masivo y poroso; con mayor frecuencia es de partículas y estas últimas pueden ser de poros abiertos, de celdas, con paredes celulares selectivamente permeables o con superficies activadas. La trituración y molienda del sólido aceleran el proceso de lixiviación debido a que las porciones solubles del sólido son más accesibles para el disolvente.<sup>2</sup>

---

<sup>1</sup>CABRERA, Jorge Mario. *Entrevista personal no estructurada, 22 de mayo del 2012.*

<sup>2</sup>PERRY. *Biblioteca del ingeniero químico.* p.19-47.

## **2.2.1. Tipos de lixiviación**

Debido a su gran variedad de aplicaciones y su importancia para varias industrias antiguas, la lixiviación tiene varios tipos, en la práctica de la ingeniería química están: percolación, infusión, lavado, decantación por sedimentación, extracción, y extracción sólido-líquido.

### **2.1.1.1. Lixiviación por percolación a través de un lecho estacionario de sólidos**

Se realiza en un tanque con un fondo falso perforado para soportar los sólidos y permitir la salida del solvente. Los sólidos se cargan en el tanque, se rocían con el solvente hasta reducir su contenido de soluto a un valor económicamente mínimo y luego se vacían. En algunos casos, la velocidad de disolución es tan rápida que es suficiente un solo paso del solvente a través del material, pero es más frecuente utilizar flujo en contracorriente del solvente a través de una batería de tanques.<sup>3</sup>

### **2.1.1.2. Lixiviación en lecho móvil**

Los sólidos que forman lechos impermeables, bien antes o durante la lixiviación, se tratan dispersándolos en el disolvente mediante agitación mecánica en un tanque o mezclador de flujo. El residuo lixiviado se separa después de la solución concentrada por sedimentación o filtración.

Entre los factores que afectan la lixiviación se encuentran:

---

<sup>3</sup> McCABE. *Operaciones unitarias en ingeniería química*. p. 800-802.

- Temperatura: al aumentar la temperatura se aumenta la velocidad porque la solubilidad es mayor, el aumento de temperatura es muy usado en procesos de reacción química. La temperatura máxima para cada sistema está limitada por: el punto de ebullición del solvente, el punto de degradación del producto o del solvente, solubilidad de impurezas y por economía.
- Concentración del solvente: la concentración del solvente es importante para soluciones acuosas, debido a la saturación y a la existencia de reacciones químicas, es de poca importancia cuando la extracción es controlada por difusión.
- Tamaño de las partículas: la reducción de partículas tiene gran importancia, porque aumenta el área de contacto y disminuye el tiempo necesario para la extracción, sobre todo para sólidos de baja porosidad.
- Agitación: da una mayor eficiencia en la extracción debido a que disminuye la película de fluido que cubre la superficie del sólido en reposo y que actúa como una resistencia a la difusión.
- Densidad aparente: es una magnitud aplicada en materiales porosos como el suelo, los cuales forman cuerpos heterogéneos con intersticios de aire u otra sustancia normalmente más ligera, de forma que la densidad total del cuerpo es menor que la densidad del material poroso si se compactase.
- Viscosidad: las moléculas en los líquidos se mueven a distancias muy cortas entre colisiones y la mayor parte de la transferencia de momentum ocurre mientras las moléculas se deslizan a gran velocidad pasándose

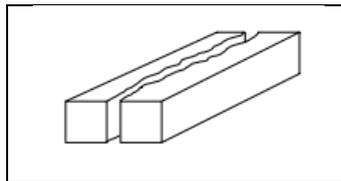
unas a otras. Esta, generalmente aumentan a mayor peso molecular y decae rápidamente con el incremento de la temperatura debido a la leve expansión del líquido que hace que sea más fácil para las moléculas deslizarse unas junto a otras.

- Porosidad: 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.<sup>4</sup>

Los diferentes tipos de poros son clasificados en dos grandes grupos:

Las fisuras y fracturas: que se caracterizan por el hecho de que dos de sus dimensiones son muy grandes con respecto a la tercera.

Figura 3. **Fisura**



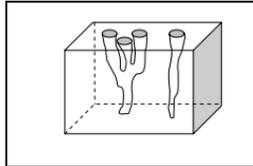
Fuente: MASSCHELEIN-KLEINER, Liliane. *Los solventes*. p. 6

Los poros: que tienen una dimensión más grande que las dos otras.

---

<sup>4</sup> MASSCHELEIN-KLEINER, Liliane. *Los solventes*. p. 6.

Figura 4. **Poros**



Fuente: MASSCHELEIN-KLEINER, Liliane. *Los solventes*. p. 6

### **2.2.2. Flujo a través de lechos de sólidos**

En numerosos procesos técnicos circulan líquidos o gases a través de lechos de partículas sólidas. Ejemplos importantes de estos procesos son la filtración y el flujo en contracorriente de las dos fases, líquida y gaseosa, a través de torres empacadas. En filtración, el lecho de sólidos está formado por pequeñas partículas que se separan del líquido mediante una tela filtrante o un tamiza fino. En otros procesos, tales como el intercambio iónico o en reactores catalíticos, un solo fluido (líquido o gas) fluye a través de un lecho de sólidos granulares.

La resistencia al flujo de un fluido a través de los huecos de un lecho de sólidos, es la resultante del rozamiento total de todas las partículas del lecho. De acuerdo con el número de Reynolds, el flujo será laminar o turbulento y habrá rozamiento de forma, separación y formación de estela. Igual que en el rozamiento debido a una sola partícula sólida, no hay transición brusca entre el flujo laminar y turbulento, como ocurre para el caso de flujo a través de tuberías y canales de conducción de sección transversal constante.

Los métodos más comunes para calcular la caída de presión a través de lechos de sólidos, se basan en estimar el rozamiento total del fluido sobre las

superficies sólidas, al pasar por los canales tortuosos formados por el lecho de partículas. Los canales reales son de forma irregular, tienen una sección transversal y orientación variables, y están altamente interconectados. De cualquier manera, para calcular el diámetro de un canal equivalente, se supone que el lecho tiene un conjunto de canales circulares uniformes, los cuales tienen un área total de superficie y un volumen de espacio vacío que concuerda con aquellos del lecho. El área total de la superficie es el área de la superficie de cada partícula por el número de partículas, pero es más conveniente basar el cálculo de acuerdo con las partículas en la fracción de volumen en el lecho y la relación superficie-volumen para las partículas. Para partículas irregulares, la ecuación para la relación superficie-volumen incluye una esfericidad  $\Phi_s$ , definida como la relación superficie-volumen para una esfera de diámetro  $D_p$  dividida entre la relación superficie-volumen para la partícula, cuyo tamaño nominal es  $D_p$ :

$$\Phi_s = \frac{6/D_p}{s_p/V_p}$$

[Ecuación 1]

$$\frac{s_p}{V_p} = \frac{6}{\Phi_s D_p}$$

[Ecuación 2]

Tabla I. **Esfericidades**

Material	Esfericidad
Esferas, cubos, cilindros cortos ( $L = D_p$ )	1,0

Continuación de la tabla I.

Anillos rasching ( $L = D_p$ )	
$L = D_0, \quad D_i = 0,5D_0$	0,58
$L = D_0, \quad D_i = 0,75D_0$	0,33
Silletas Berl	0,3

Fuente: McCABE. *Operaciones unitarias en ingeniería química*. p. 174.

La fracción de volumen de partículas en el lecho es  $1 - \varepsilon$ , donde  $\varepsilon$  es la porosidad o fracción hueca. Si las partículas son porosas, los poros por lo general son muy pequeños para permitir que cualquier flujo significativo pase a través de ellos, así que  $\varepsilon$  toma como la fracción hueca externa del lecho y no como la porosidad total.

Para determinar el diámetro equivalente  $D_{eq}$  del canal, el área de superficie para  $n$  canales paralelos de longitud  $L$  se establece igual al volumen de la partícula  $s_0L(1 - \varepsilon)$ , por la relación superficie-volumen, donde  $s_0$  es el área de la sección transversal del lecho:

$$n\pi D_{eq}L = s_0L(1 - \varepsilon) \frac{6}{\Phi_s D_p}$$

[Ecuación 3]

El volumen total de los  $n$  canales es igual al volumen hueco en el lecho:

$$s_0L\varepsilon = \frac{1}{4}n\pi D_{eq}^2L$$

[Ecuación 4]

Al combinar las ecuaciones 3 y 4 se obtiene una ecuación para  $D_{eq}$ :

$$D_{eq} = \frac{2}{3} \Phi_s D_p \frac{\varepsilon}{1 - \varepsilon}$$

[Ecuación 5]

Para la fracción hueca típica de 0,4,  $D_{eq} = 0,44 \Phi_s D_p$ , o el diámetro equivalente es aproximadamente la mitad del tamaño de la partícula.

La caída de presión depende de la velocidad media en los canales  $\bar{V}$ , que es proporcional a la velocidad superficial o de la torre vacía  $\bar{V}_0$  e inversamente proporcional a la porosidad:

$$\bar{V} = \frac{\bar{V}_0}{\varepsilon}$$

[Ecuación 6]

Con la velocidad media y el tamaño del canal expresados ahora en términos de parámetros medibles  $\bar{V}_0, D_p, \varepsilon$ , la forma de la correlación para la caída de presión se calcula utilizando el modelo del canal. Para flujo con números de Reynolds muy bajos, la caída de presión varía con la primera potencia de la velocidad y de manera inversa con el cuadrado del tamaño del canal, de acuerdo con la ecuación de Hagen-Poiseuille, para el flujo laminar en tubos rectos. Las ecuaciones para  $\bar{V}$  y  $D_{eq}$  se utilizan con un factor de corrección  $\lambda_1$  para considerar el hecho de que los canales son en realidad tortuosos y no completamente rectos ni paralelos:

$$\frac{\Delta p}{L} = \frac{32 \bar{V} \mu}{D^2} = \frac{32 \lambda_1 \bar{V}_0 \mu}{\frac{4}{9} \varepsilon \Phi_s^2 D_p^2} \frac{(1 - \varepsilon)^2}{\varepsilon^2}$$

[Ecuación 7]

$$\frac{\Delta p}{L} = \frac{72\lambda_1 \bar{V}_0 \mu (1 - \varepsilon)^2}{\Phi_s^2 D_p^2 \varepsilon^3}$$

[Ecuación 8]

Varios estudios han mostrado que la forma de la ecuación 8 es correcta, y los experimentos proporcionan una constante empírica de 150:

$$\frac{\Delta p}{L} = \frac{150 \bar{V}_0 \mu (1 - \varepsilon)^2}{\Phi_s^2 D_p^2 \varepsilon^3}$$

[Ecuación 9]

La ecuación 9 se conoce como la ecuación de Kozeny-Carman y se aplica para el flujo a través de lechos de partículas con números de Reynolds hasta 1,0. En este número de Reynolds no hay cambios de forma en la transición brusca a un fluido turbulento; pero a números de Reynolds elevados, hay cambios frecuentes en la forma y dirección de los canales en el lecho, los cuales llevan a pérdidas significantes de energía cinética. Un valor razonable para el factor de tortuosidad es la constante 150 que corresponde a  $\lambda_1 = 2,1$ . Para un sistema determinado, la ecuación 9 indica que el flujo es proporcional a la caída de presión e inversamente proporcional a la viscosidad del fluido. Este enunciado se conoce como la Ley de Darcy, la cual se utiliza con frecuencia para describir el flujo de líquidos a través de medios porosos.

Cuando la velocidad de flujo a través de lechos empacados aumenta, la pendiente de la gráfica de  $\Delta p$  contra  $\bar{V}_0$  aumenta en forma gradual; y a números de Reynolds muy elevados,  $\Delta p$  varía cuando el exponente de la velocidad superficial es de 1,9 o 2,0. si la ecuación común para el flujo turbulento en

tuberías se aplica al lecho empacado, el factor de corrección  $\lambda_2$  considera la tortuosidad y la ecuación esperada es:

$$\frac{\Delta p}{L} = \frac{2f\rho\bar{V}_0^2}{D_{eq}} = 2f\lambda_2\rho\left(\frac{\bar{V}_0}{\varepsilon}\right)^2 \frac{3(1-\varepsilon)}{2\Phi_s D_p \varepsilon}$$

[Ecuación 10]

$$\frac{\Delta p}{L} = \frac{3f\lambda_2\rho\bar{V}_0^2(1-\varepsilon)}{\Phi_s D_p \varepsilon^3}$$

[Ecuación 11]

La ecuación de Burke-Plummer es una correlación empírica para la caída de presión en lechos empacados cuando los números de Reynolds son elevados ( $Re_p > 1000$ )

$$\frac{\Delta p}{L} = \frac{1,75\rho\bar{V}_0^2(1-\varepsilon)}{\Phi_s D_p \varepsilon^3}$$

[Ecuación 12]

Aunque esta ecuación tiene la misma forma que la ecuación 11, la constante 1,75 es mucho más elevada que la esperada, cuando se basa en los factores de fricción para el flujo en la tubería. Si  $Re_p$  es  $10^4$  y el Re basado en  $D_{eq}$  es por lo tanto alrededor de 4000, el factor de fricción para la tubería lisa es  $f \cong 0,01$ . Esto significa que el factor de corrección  $\lambda_2$  es  $1,75/0,03=58$ , esto requiere de una explicación mucho más extensa por la tortuosidad de los canales o la rugosidad de la superficie de la partícula. La principal contribución a la caída de presión la constituyen las pérdidas de energía cinética causadas por los cambios en el área de la sección transversal y la dirección del flujo del canal. A medida que el fluido pasa entre las partículas, el canal se vuelve

pequeño y en seguida largo, y la velocidad máxima es mucho mayor que la velocidad promedio. La mayoría de la energía cinética del fluido se pierde como una pérdida de expansión, puesto que el área del canal cambia rápidamente.

Para enfatizar la magnitud de las pérdidas de la energía cinética, la caída de presión de la ecuación 12 se divide entre  $\rho \bar{V}_0^2 / 2$  para obtener el número de cargas de velocidad. Utilizando la velocidad promedio  $\bar{V}_0 / \varepsilon$  para  $\bar{V}$  se obtiene:

$$\frac{\Delta p}{(\rho/2)(\bar{V}_0/\varepsilon)^2} = 2 * 1,75 \left( \frac{1 - \varepsilon}{\varepsilon} \right) \frac{L}{\Phi_s D_p}$$

[Ecuación 13]

Para una fracción hueca típica de 0,4 y un lecho de esferas, la caída de presión correspondiente a la pérdida de las cargas de velocidad de 5,25 para cada capa de partículas ( $2 * 1,75 * 0,6/0,4$ ). Este número es mayor que 1,0, debido a que la velocidad local en lugares estrechos en los canales de flujo será de 2 a 3 veces la velocidad promedio  $\bar{V}$ , y mucha de la energía cinética se pierde a medida que el fluido pasa a través de cada capa de partículas.

Una ecuación que abarque todo el intervalo de velocidades de flujo se obtiene suponiendo que las pérdidas de viscosidad y energía cinética son aditivas. El resultado se conoce como la ecuación de Ergun:

$$\frac{\Delta p}{L} = \frac{150 \bar{V}_0 \mu (1 - \varepsilon)^2}{\Phi_s^2 D_p^2 \varepsilon^3} + \frac{1,75 \rho \bar{V}_0^2 (1 - \varepsilon)}{\Phi_s D_p \varepsilon^3}$$

[Ecuación 14]

Ergun demostró que la ecuación 14 es adecuada para datos obtenidos con esferas, cilindros y sólidos triturados, sobre un intervalo amplio de

velocidades de flujo. También varió la densidad de empaque para algunos materiales con la finalidad de verificar el término  $(1 - \varepsilon)^2/\varepsilon^3$  para la parte de pérdida de viscosidad de la ecuación y el término  $(1 - \varepsilon)/\varepsilon^3$  para la de energía cinética. Un pequeño cambio en  $\varepsilon$  tiene un efecto muy grande en  $\Delta p$ , lo cual dificulta predecir con exactitud  $\Delta p$  y reproducir los valores experimentales después de que el lecho es reempacado.

En el caso de las fracciones huecas para esferas y empaques granulares, el intervalo, por lo general es 0,3 a 0,6, dependiendo de la relación del tamaño de partícula al tamaño del tubo y del método de empaquetamiento. Algunos datos obtenidos por Leva y Grymmer para empaques apilados se proporcionan en la tabla II. La vibración aplicada al lecho da como resultado en las fracciones huecas un porcentaje un poco menor que los empaques rellenos al azar. Las partículas con una superficie rugosa tienen en las fracciones huecas un porcentaje un poco mayor que las partículas lisas. Para una distribución irregular de tamaño de las partículas, las fracciones huecas son más bajas que para las partículas uniformes.

Tabla II. **Fracciones huecas para empaques apilados o rellenos al azar**

$D_p/D_t$	$\varepsilon$ para esferas	$\varepsilon$ para cilindros
0	0,34	0,34
0,1	0,38	0,35
0,2	0,42	0,39
0,3	0,46	0,45
0,4	0,50	0,53
0,5	0,55	0,60

Fuente: McCABE. *Operaciones unitarias en ingeniería química*. p. 177.

Para anillos rasching y silletas berl, que tienen porosidades entre 0,60 a 0,75, la ecuación 14 predice las caídas de presión menores que las que se obtienen en forma experimental. Para estos materiales y otros empaques con área de superficie y porosidad elevadas, la caída de presión se obtiene utilizando los factores de empaque que proporcione el proveedor.<sup>5</sup>

### **2.1.1.3. Solventes**

Es un líquido en cual se introduce una o más sustancias para constituir una fase homogénea: la solución. No es definido por su estructura química sino más bien por su estado físico, el estado líquido, y por su uso. Hay una infinita variedad de solventes: agua, compuestos orgánicos simples a la temperatura ambiente (alcoholes, ácidos e hidrocarburos, etc.)

Entre gran importancia de la función de un solvente es la solubilidad de los solutos no iónicos dependen, principalmente de la polaridad. Un buen solvente no se rige por lo barato, es más por la funcionalidad lo cual se rige como la solvatación.

#### **2.1.1.3.1. Solventes polares**

Son sustancias en cuyas moléculas la distribución de la nube electrónica es asimétrica; por lo tanto, la molécula presenta un polo positivo y otro negativo separados por una cierta distancia. Hay un dipolo permanente.

---

<sup>5</sup> McCABE. *Operaciones unitarias en ingeniería química*. p. 173-177.

### 2.1.1.3.2. Solventes apolares

Son sustancias de tipo orgánico y en cuyas moléculas la distribución de la nube electrónica es simétrica; por lo tanto, estas sustancias carecen de polo positivo y negativo en sus moléculas. No pueden considerarse dipolos permanentes.

Las fuerzas de interacción que un solvente debe vencer para introducirse entre las moléculas o las micelas de las sustancias a disolver dependen de la naturaleza de dichas sustancias.

Las fuerzas eléctricas entre los iones, llamadas fuerzas de Coulomb son mayores en la medida en que las cargas de las moléculas sean mayores, pero disminuyen cuando las distancias entre los iones aumentan y cuando la constante dieléctrica del solvente aumenta. La constante dieléctrica es una medida relacionada a la conductibilidad eléctrica.

Solo los solventes de gran constante dieléctrica podrán vencer las poderosas fuerzas que unen a los iones entre sí y provocar así la disociación.

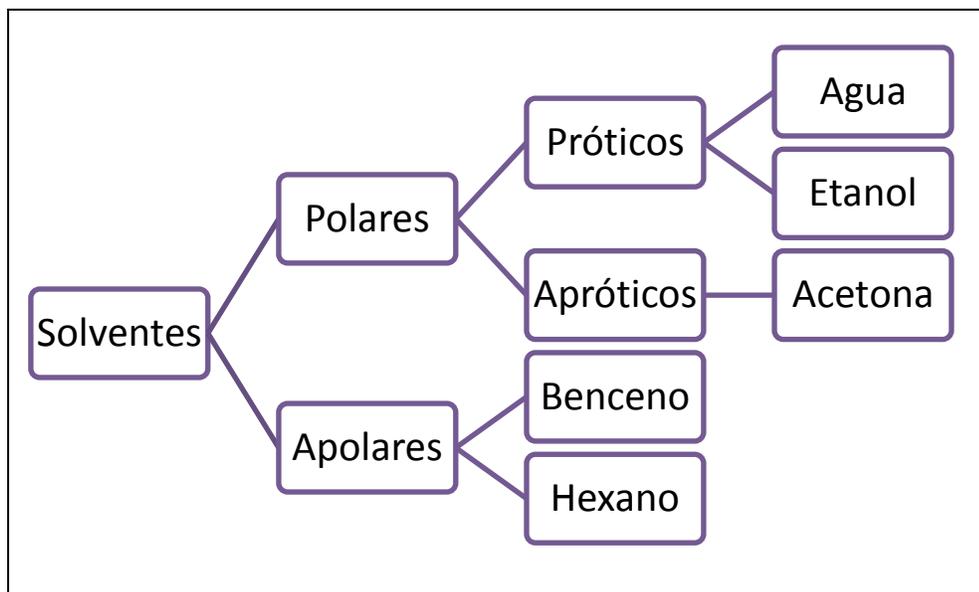
Estos solventes son llamados solventes disociadores. El poder disociador de un solvente no está necesariamente ligado a su poder ionizante, que es la capacidad de transformar un enlace covalente en enlace iónico (ionización). El poder ionizante depende de la capacidad de un solvente para captar o dar electrones.

El agua tiene las dos características, lo que explica en parte su excepcional poder solvente.<sup>6</sup>

---

<sup>6</sup> MASSCHELEIN-KLEINER, Liliane. *Los solventes*. p. 49-51.

Figura 5. **Clasificación de los solventes**



Fuente: FULLER R. Wayne. *Solvente*. p. 7.

Tabla III. **Constantes dieléctricas de solventes**

Solvente	Constante dieléctrica	Solvente	Constante dieléctrica
N-metilformamida	182,4	Butanol	17,1
N-metilacetamida	175,7	Eter monoetil	15,9
Formamida	109,5	Isoamil Alcohol	14,7
Agua	78,5	Alcohol Bencílico	13,1
Carbonato de Propileno	65,1	Piridina	12,3
Dimetilsulfoxida	48,9	Ter-butanol	12,2
Nitrometano	38,6	1,2-dicloroetano	10,4
Dimetilacetamida	37,6	Diclorometano	8,9

Continuación de la tabla III.

Etilenglicol	37,7	Tetrahidrofutano	7,4
Acetonitrilo	37,5	Ácido acético	6,2
Dimetilformamida	36,7	Acetato de etilo	6,0
Nitrobenceno	34,8	Clorobenceno	5,6
Metanol	32,6	Cloroformo	4,7
Dietilenglicol	29,4	Éter dietílico	4,2
Benzonitrilo	25,2	Diisopropileter	3,9
Etanol	24,3	Bencneo	2,3
Acetona	20,7	Tolueno	2,4
Propanol	20,1	Sulfuro de carbono	2,6
Metiletilacetona	18,5	Tetracloruro de carbono	2,8
Isopropanol	18,3	Trietilamina	2,4
Ciclohexanona	18,3	Ciclohexanona	2,0
Acetofenona	17,4	Hexano	1,9

Fuente: MASSCHELEIN-KLEINER, Liliane. *Los solventes*. p. 51.

### 2.2.3. Fracción soluble

Se refiere a la fracción de los sólidos totales, soluble es un disolvente específico.<sup>7</sup>

<sup>7</sup> MARTÍNEZ NAVARRO, Blanca Estela. *Análisis bromatológico del carambolo*. p. 16.

### 2.3. Análisis fitoquímico

Tiene como objetivo determinar los metabolitos secundarios presentes en la especie vegetal a estudiar, por ejemplo, en las plantas medicinales, aplicando para ello una serie de técnicas de extracción, de separación y purificación y determinación estructural.<sup>8</sup>

Tabla IV. **Técnicas generales a aplicar en un análisis fitoquímico**

Tipo	Técnicas
Extracción	<ol style="list-style-type: none"><li>1. Soxhlet</li><li>2. Percolación</li><li>3. Lixiviación lecho estacionario</li><li>4. Lixiviación lecho móvil</li><li>5. Arrastre de vapor</li><li>6. Fluido supercrítico</li></ol>
Separación y purificación	<ol style="list-style-type: none"><li>1. Cromatografía de papel (CP)<ul style="list-style-type: none"><li>• Ascendente (CPA)</li><li>• Descendente (CPD)</li><li>• Circular (CPC)</li><li>• Preparativa (CPP)</li></ul></li><li>2. Cromatografía de capa delgada (CCD)<ul style="list-style-type: none"><li>• Analítica (CCD)</li><li>• Preparativa (CCDP)</li><li>• Bidimensional (CCDB)</li></ul></li><li>3. Cromatografía líquida de columna (CC)<ul style="list-style-type: none"><li>• Adsorción</li><li>• Partición</li><li>• Exclusión</li><li>• Flash</li><li>• Al vacío</li></ul></li></ol>

<sup>8</sup> LOCK, Olga. *Análisis fitoquímico y metabolitos secundarios*. p. 42-44.

Continuación de la tabla IV.

Separación y purificación	<ul style="list-style-type: none"><li>• Intercambio iónico</li><li>• High performance, (HPLC)</li><li>4. Cromatografía en contracorriente (CCC)</li><li>• A la gota (DCCC)</li><li>• Alta velocidad (HSCCC)</li><li>5. Cromatografía gas-líquido, electroforesis (CGL)</li></ul>
Determinación estructural	<ol style="list-style-type: none"><li>1. Espectrométricas<ul style="list-style-type: none"><li>• Ultravioleta visible (UV-Vis)</li><li>• Infrarrojo (IR)</li><li>• Resonancia magnética nuclear de protón (RMN-H)</li><li>• Resonancia magnética nuclear de carbón-13 (RMN-C)</li><li>• De masa (EM)</li></ul></li><li>2. Rayos X</li><li>3. Reacciones de coloración y de precipitación</li><li>4. Propiedades físicas</li></ol>

Fuente: LOCK, Olga. *Análisis fitoquímico y metabolitos secundarios*. p. 44.

## 2.4. Análisis fisicoquímico

Es necesario realizar un análisis de alimentos para asegurar que sean aptos para el consumo y para asegurar que cumplen con las características y composición que se espera de ellos. El análisis de alimentos comprende tres grandes aspectos:

- Análisis de composición y valor nutritivo
- Análisis de impurezas
- Detección de fraudes

En los dos primeros casos se tienen dos tipos de análisis:

- Análisis inmediato: en el que se realiza una evaluación de los componentes globales de los alimentos. Se evalúa el contenido global en grasa, proteínas, hidratos de carbono, humedad y cenizas.
- Análisis último: en el que se evalúan los componentes concretos y se determinan las impurezas que se puedan detectar.

Un fraude es una acción que implica un engaño al consumidor. Hay cinco tipos de fraudes:

- Adulteración: consiste añadir o eliminar alguna sustancia en el alimento con el fin de variar su composición, peso o volumen; o bien corregir u ocultar algún defecto que lo haga de menor calidad.
- Falsificación: consiste en sustituir un alimento por otro de menor precio.
- Alimentos alterados: un alimento está alterado cuando por causas no provocadas presenta características o composición que mermen o anulen su valor nutritivo (aunque el alimento sea inocuo al consumirlo).
- Alimentos contaminados: un alimento se considera contaminado cuando contiene gérmenes patógenos, toxinas o parásitos productores o transmisores de enfermedades. También alimentos que contienen agentes polucionantes o isótopos radioactivos en cantidades superiores a las legales.
- Alimentos nocivos: es cuando produce daño en el consumidor. Se puede dar a tres niveles:
  - Toxicidad aguda: consumo en una sola vez de cantidades grandes del tóxico.

- Toxicidad crónica: como consumir agua con plomo, que no se elimina y puede dar lugar a la enfermedad conocida como saturnismo.
- Toxicidad selectiva: productos nocivos para un grupo de consumidores, como que un celíaco coma pan.<sup>9</sup>

Consiste en la caracterización de las propiedades físicas y químicas de la fracción soluble en agua extraída; incluye:

- Índices físicos:
  - Índice de refracción
  - Densidad
  - Punto de solidificación
  - Punto de fusión
  - Índices químicos
  - Índice de acidez
  - Reactividad

## **2.5. Análisis bromatológico**

Es una disciplina científica que estudia íntegramente los alimentos. Consiste en estudiar los alimentos, su composición química, su acción en el organismo, su valor alimenticio y calórico así como sus propiedades físicas, químicas, toxicológicas, y también adulterantes, contaminantes, entre otros.

La bromatología se divide en:

---

<sup>9</sup> Técnicas de análisis físico-químico de alimentos:  
<http://www.analizacalidad.com/docftp/fi1441ene2007.pdf>. Consulta: 12 de abril de 2012.

Antropobromatología: estudio de los alimentos destinados al consumo humano.

Zoobromatología: estudio del alimento destinado al consumo de las diferentes especies de animales.

Los propósitos de un análisis bromatológico son:

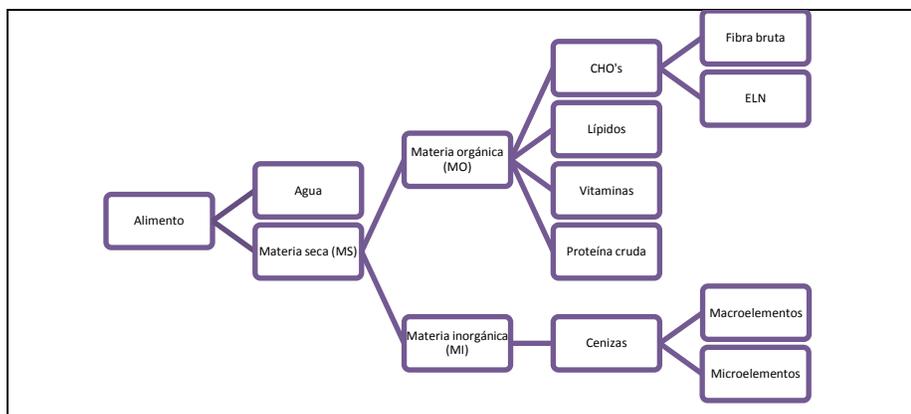
- Conocer la composición cualitativa y cuantitativa tanto del alimento como de las materias primas.
- Verificar su estado higiénico y toxicológico (bromatología sanitaria).
- Sirve para poder hacer la medición de la dieta de los consumidores, de acuerdo con sus regímenes alimenticios específicos (bromatología dietológica).
- Analizar si el alimento o materias primas cumplen con lo establecido por el productor, además de ver si tiene alteraciones o contaminantes.
- Sirve para legislar y fiscalizar los alimentos.

Entre los análisis que se realizan al alimento se encuentran:

- Análisis microbiológico: presencia de microorganismos patógenos (E.coli, salmonella, estafilococos, entre otros) mediante pruebas microbiológicas (cultivos).

- Análisis toxicológico: evaluación de la inocuidad de los alimentos (presencia de micotoxinas, plaguicidas, insecticidas, rodenticidas, entre otros).
- Evaluación organoléptica: evaluación de las características que se pueden percibir de los alimentos, a través de la visión, el olfato, el gusto, el tacto y la audición. La medición se realiza con un análisis estadístico poblacional para conocer las preferencias del consumo. Con este análisis se pretende mejorar la calidad y el consumo del alimento.
- Análisis químico:<sup>10</sup>

Figura 6. Análisis químico



Fuente:<http://www.corpoica.org.co/SitioWeb/Documento/JatrophaContrataciones/ANALISISBROMATOLOGICO.pdf>. Consulta: 12 de abril de 2012.

<sup>10</sup> Análisis bromatológico:

<http://www.corpoica.org.co/SitioWeb/Documento/JatrophaContrataciones/ANALISISBROMATOLOGICO.pdf>. . Consulta: 12 de abril de 2012.

### 3. MARCO METODOLÓGICO

#### 3.1. Variables

A continuación se enlistan, describen y definen las unidades de las variables dependientes e independientes involucradas en el desarrollo de este estudio.

Tabla V. **Definición de variables dependientes**

Variable	Descripción	Unidades
%Rendimiento	Porcentaje de rendimiento	<i>Adimensional</i>
$D_p$	Diámetro de partícula	<i>mm</i>
$\mu$	Viscosidad	<i>cP</i>
$T$	Temperatura	<i>K</i>
$\rho$	Densidad	<i>g/mL</i>
$P$	Presión	<i>mmHg</i>
$S_T$	Sólidos suspendidos	<i>Adimensional</i>

Fuente: elaboración propia.

Tabla VI. **Definición de variables independientes**

Variable	Descripción	Unidades
$\varepsilon$	Porosidad del lecho	<i>Adimensional</i>

Fuente: elaboración propia.

### 3.2. Delimitación de campo de estudio

El estudio se realizará a la fracción soluble en agua, obtenido a través de una lixiviación por percolación a través de un lecho estacionario de sólidos, variando la porosidad del lecho.

Es de tipo cuantitativo, ya que se evaluará el rendimiento de la extracción en función de la variación de la porosidad del lecho.

### 3.3. Recursos humanos disponibles

En la siguiente tabla se describe la función y el responsable de los recursos humanos necesarios para el desarrollo de este estudio.

Tabla VII. **Recursos humanos**

Función	Responsable
Investigador	María Alejandra Salguero Herrera
Asesor	Ing. Jorge Emilio Godínez Lemus
Co-asesor	Ing. Adrian Antonio Soberanis Ibañez
Analistas de Laboratorio	Según corresponda

Fuente: elaboración propia.

### 3.4. Recursos materiales disponibles

En la tabla que se presenta a continuación se detallan todos los recursos materiales disponibles y necesarios para el desarrollo del estudio.

Tabla VIII. **Equipos, cristalería y reactivos**

Descripción	Equipos	Cristalería	Reactivos
Agitador de plato caliente.			
Termómetros			
Horno convectivo.			
Potenciómetro.			
Balanza analítica.			
Balanza de humedad.			
Torre de extracción			
Beacker			
Vial			
Probeta			
Picnómetro			
Carambola ( <i>Averrhoa carambola L.</i> )			
Agua Potable (Salvavidas)			

Fuente: elaboración propia.

### 3.5. Técnica cualitativa y cuantitativa

Para la evaluación del aprovechamiento de la fracción soluble en agua del fruto del árbol de carambola (*Averrhoa carambola L.*), para la elaboración de un producto de consumo humano se utilizaron las siguientes técnicas cuantitativas:

- Secado del material fresco: para ello se cortaron los frutos en rodajas de 5 mm y se utilizó un horno de convección en un rango de temperatura de 30-35°C.

- Reducción del tamaño de partícula: se utilizó un molino de cuchillas con una malla No. 4.
- Para la extracción de la fracción soluble en agua se utilizó una torre de extracción a nivel laboratorio, y para la recirculación del fluido una bomba de aire.
- Para cada extracción se agregaron 30 gramos de materia prima y se añadieron 300 mL de agua destilada para dar una relación materia prima/solvente de 1:10. La duración de cada extracción fue de 2 horas.
- Análisis bromatológico: consistió en la cuantificación de humedad, materia seca total, extracto etéreo, fibra cruda, proteína cruda, cenizas, y extracto libre de nitrógeno. Este fue realizado en el Laboratorio de Bromatología de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia.
- Análisis fitoquímico: se utilizó la técnica de cromatografía en capa fina para la identificación de los metabolitos secundarios: saponinas, cumarinas, flavonoides, alcaloides, y aceites esenciales. Fue realizado en el Laboratorio de Investigación de Productos Naturales (LIPRONAT).

### **3.5.1. Análisis estadístico de los datos**

El diseño utilizado para el análisis de los datos es bloques al azar con diferentes tratamientos (variación de la porosidad del lecho). El análisis estadístico consiste en probar si la variación en la porosidad del lecho incide o no en el rendimiento de la extracción.

Para ello se realizará una prueba para comprobar si las varianzas de los bloques son iguales para luego probar la hipótesis de que las medias de cada bloque son iguales o no, y con base en estos resultados concluir la influencia de la porosidad del lecho en la extracción.

### 3.6. Recolección y ordenamiento de la información

En el presente trabajo de investigación se recolectaron y ordenaron los datos de la masa del solvente, masa del sólido, volumen del lecho, determinación del tiempo de extracción, análisis bromatológico y análisis fitoquímico obteniendo las siguientes tablas:

Tabla IX. **Masa del solvente**

No.	m (g)	m <sub>pic</sub> (g)	m <sub>solv</sub> (g)
1	56,6	31,5	25,1
2	56,6	31,5	25,1
3	56,6	31,5	25,1
4	56,6	31,5	25,1
5	56,6	31,5	25,1
6	56,6	31,5	25,1
7	56,6	31,5	25,1
8	56,6	31,5	25,1
9	56,6	31,5	25,1

Fuente: elaboración propia, con base en las técnicas cuantitativas.

Tabla X. **Masa del sólido**

No.	m (g)	m <sub>pro</sub> (g)	m <sub>sólido</sub> (g)
1	30,6	27,0	3,6
2	30,7	27,0	3,7
3	30,7	27,0	3,7
4	30,8	27,0	3,8
5	30,7	27,0	3,7
6	31,0	27,0	4,0
7	31,0	27,0	4,0
8	30,8	27,0	3,8
9	30,9	27,0	3,9

Fuente: elaboración propia, con base en las técnicas cuantitativas.

Tabla XI. **Volumen del lecho**

No.	m (g)	V <sub>lecho</sub> (mL)
1	30	80
2	30	80
3	30	80
4	30	105
5	30	105
6	30	105
7	30	130
8	30	130
9	30	130

Fuente: elaboración propia, con base en las técnicas cuantitativas.

Tabla XII. **Determinación del tiempo de extracción para la variación 1 de porosidad, corrida 1**

Tiempo (min)	m (g)	m <sub>pic</sub> (g)	m <sub>extracto</sub> (g)
30	57,4	31,5	25,9
60	57,8	31,5	26,3
90	57,2	31,5	25,7
120	57,2	31,5	25,7

Fuente: elaboración propia, con base en las técnicas cuantitativas.

Tabla XIII. **Determinación del tiempo de extracción para la variación 1 de porosidad, corrida 2**

Tiempo (min)	m (g)	m <sub>pic</sub> (g)	m <sub>extracto</sub> (g)
30	57,2	31,5	25,7
60	57,2	31,5	25,7
90	57,3	31,5	25,8
120	57,3	31,5	25,8

Fuente: elaboración propia, con base en las técnicas cuantitativas.

Tabla XIV. **Determinación del tiempo de extracción para la variación 1 de porosidad, corrida 3**

Tiempo (min)	m (g)	m <sub>pic</sub> (g)	m <sub>extracto</sub> (g)
30	57,2	31,5	25,7
60	57,3	31,5	25,8
90	57,3	31,5	25,8

Continuación de la tabla XIV.

120	57,3	31,5	25,8
-----	------	------	------

Fuente: elaboración propia, con base en las técnicas cuantitativas.

Tabla XV. **Determinación del tiempo de extracción para la variación 2 de porosidad, corrida 1**

Tiempo (min)	m (g)	m <sub>pic</sub> (g)	m <sub>extracto</sub> (g)
30	57,3	31,5	25,8
60	57,3	31,5	25,8
90	57,4	31,5	25,9
120	57,4	31,5	25,9

Fuente: elaboración propia, con base en las técnicas cuantitativas.

Tabla XVI. **Determinación del tiempo de extracción para la variación 2 de porosidad, corrida 2**

Tiempo (min)	m (g)	m <sub>pic</sub> (g)	m <sub>extracto</sub> (g)
30	57,4	31,5	25,9
60	57,4	31,5	25,9
90	57,4	31,5	25,9
120	57,5	31,5	26,0

Fuente: elaboración propia, con base en las técnicas cuantitativas.

Tabla XVII. **Determinación del tiempo de extracción para la variación 2 de porosidad, corrida 3**

Tiempo (min)	m (g)	m <sub>pic</sub> (g)	m <sub>extracto</sub> (g)
30	57,4	31,5	25,9
60	57,4	31,5	25,9
90	57,5	31,5	26,0
120	57,5	31,5	26,0

Fuente: elaboración propia, con base en las técnicas cuantitativas.

Tabla XVIII. **Determinación del tiempo de extracción para la variación 3 de porosidad, corrida 1**

Tiempo (min)	m (g)	m <sub>pic</sub> (g)	m <sub>extracto</sub> (g)
30	57,4	31,5	25,9
60	57,5	31,5	26,0
90	57,5	31,5	26,0
120	57,6	31,5	26,1

Fuente: elaboración propia, con base en las técnicas cuantitativas.

Tabla XIX. **Determinación del tiempo de extracción para la variación 3 de porosidad, corrida 2**

Tiempo (min)	m (g)	m <sub>pic</sub> (g)	m <sub>extracto</sub> (g)
30	57,4	31,5	25,9
60	57,5	31,5	26,0
90	57,5	31,5	26,0

Continuación de la tabla XIX.

120	57,5	31,5	26,0
-----	------	------	------

Fuente: elaboración propia, con base en las técnicas cuantitativas.

Tabla XX. **Determinación del tiempo de extracción para la variación 3 de porosidad, corrida 3**

Tiempo (min)	m (g)	m <sub>pic</sub> (g)	m <sub>extracto</sub> (g)
30	57,4	31,5	25,9
60	57,4	31,5	25,9
90	57,5	31,5	26,0
120	57,5	31,5	26,0

Fuente: elaboración propia, con base en las técnicas cuantitativas.

Tabla XXI. **Determinación de la masa del extracto**

No.	m (g)	m <sub>pic</sub> (g)	m <sub>extracto</sub> (g)
1	57,3	31,5	25,8
2	57,2	31,5	25,7
3	57,3	31,5	25,8
4	57,4	31,5	25,9
5	57,5	31,5	26,0
6	57,4	31,5	25,9
7	57,5	31,5	26,0

Continuación de la tabla XXI.

8	57,5	31,5	26,0
9	57,4	31,5	25,9

Fuente: elaboración propia, con base en las técnicas cuantitativas.

Tabla XXII. **Análisis bromatológico**

No.	Base	%Agua	%M.S.T	%E.E.	%F.C.	%Proteína cruda	%Cenizas	%E.L.N.
1	Seca	91,61	2,49	0,00	11,56	27,64	24,53	36,18
	Como alimento	-----	-----	0,00	0,29	0,69	0,60	-----
2	Seca	96,85	3,15	3,78	5,54	19,58	21,75	49,35
	Como alimento	-----	-----	0,12	0,17	0,62	0,69	-----
3	Seca	96,71	3,29	3,18	4,57	35,53	15,38	41,33
	Como alimento	-----	-----	0,10	0,15	1,17	0,51	-----

Fuente: elaboración propia, con base en las técnicas cuantitativas.

Tabla XXIII. **Cromatografía en capa fina para la determinación de saponinas**

Fase móvil: cloroformo :metanol: agua (64:50:10)			
Revelador: vainillina-ácido sulfúrico			
Muestra	Banda	Color	Rf
1	1	verde	0,66
2	1	verde	0,66

Continuación de la tabla XXIII.

3	1	verde	0,65
Estandar saponinas 0,2 %	1	naranja	0,87

Fuente: elaboración propia, con base en las técnicas cuantitativas.

Tabla XXIV. **Cromatografía en capa fina para la determinación de cumarinas**

Fase móvil: tolueno: acetato de etilo (93:7)			
Revelador: solución etanólica de KOH 5%			
Muestra	Banda	Color	Rf
1	1	azul	0,22
2	1	azul	0,1
3	1	azul	0,22
Estandar cumarina 1% en metanol	1	verde	0,66

Fuente: elaboración propia, con base en las técnicas cuantitativas.

Tabla XXV. **Cromatografía en capa fina para la determinación de flavonoides**

Fase móvil: acetato de etilo: ácido fórmico: ácido acético: agua (100:11:11:27)			
Revelador: NP/PEG			
Muestra	Banda	Color	Rf
1	1	verde	0,35
	2	morado	0,43

Continuación de la tabla XXV.

	3	verde	0,54
	4	morado	0,61
2	1	verde	0,29
	2	morado	0,39
	3	verde	0,48
	4	morado	0,58
3	1	verde	0,30
	2	morado	0,39
	3	verde	0,48
	4	morado	0,59
Estandar de rutina	1	naranja	0,34
Estandar de ácido clorogénico	1	celeste	0,48
Estandar de quercetina	1	naranja	0,59

Fuente: elaboración propia, con base en las técnicas cuantitativas.

Tabla XXVI. **Cromatografía en capa fina para la determinación de alcaloides**

Fase móvil: tolueno: acetato de etilo: dietilamina (70:20:10)			
Revelador: dragendorff			
Muestra	Banda	Color	Rf
1	-----	-----	-----
2	-----	-----	-----
3	-----	-----	-----
Estandar atropina	1	naranja	0,35

Continuación de la tabla XXVI.

Estandar papaverina	1	naranja	0,68
---------------------	---	---------	------

Fuente: elaboración propia, con base en las técnicas cuantitativas.

Tabla XXVII. **Cromatografía en capa fina para la determinación de aceites esenciales**

Fase móvil: tolueno: acetato de etilo (93:7)			
Revelador: anisaldehído-ácido sulfúrico			
Muestra	Banda	Color	Rf
1	-----	-----	-----
2	-----	-----	-----
3	-----	-----	-----
Estandar eugenol	1	violeta	0,59
Estandar citroneral	1	rosado	0,81
Estandar nerol	1	morado	0,35
Estandar timol	1	rosado	0,66
Estandar menta	1	fusia	0,72

Fuente: elaboración propia, con base en las técnicas cuantitativas.

### 3.7. Tabulación, ordenamiento y procesamiento de la información

En el presente trabajo de investigación se tabularon, ordenaron y procesaron los datos obtenidos de la masa del solvente, masa del sólido, volumen del lecho, determinación del tiempo de extracción, análisis bromatológico y análisis fitoquímico obteniendo de la tabla XXVIII a la XXXVI.

Tabla XXVIII. **Densidad inicial del solvente**

No.	$m_{\text{solv}}$ (g)	$V_{\text{solv}}$ (mL)	$\rho_{\text{solv}}$ (g/mL)
1	25,1	25,597	0,981
2	25,1	25,597	0,981
3	25,1	25,597	0,981
4	25,1	25,597	0,981
5	25,1	25,597	0,981
6	25,1	25,597	0,981
7	25,1	25,597	0,981
8	25,1	25,597	0,981
9	25,1	25,597	0,981

Fuente: elaboración propia, con base en la recolección y ordenamiento de la información de la tabla IX.

Tabla XXIX. **Densidad del sólido**

No.	$m_{\text{sólido}}$ (g)	$V_{\text{sólido}}$ (mL)	$\rho_{\text{sólido}}$ (g/mL)
1	3,6	10	0,360
2	3,7	10	0,370
3	3,7	10	0,370
4	3,8	10	0,380
5	3,7	10	0,370
6	4,0	10	0,400
7	4,0	10	0,400
8	3,8	10	0,380

Continuación de la tabla XXIX.

9	3,9	10	0,390
---	-----	----	-------

Fuente: elaboración propia, con base en la recolección y ordenamiento de la información de la tabla X.

Tabla XXX. **Densidad del lecho**

No.	$m_{\text{lecho}}$ (g)	$V_{\text{lecho}}$ (mL)	$\rho_{\text{lecho}}$ (g/mL)
1	30	80	0,375
2	30	80	0,375
3	30	80	0,375
4	30	105	0,286
5	30	105	0,286
6	30	105	0,286
7	30	130	0,231
8	30	130	0,231
9	30	130	0,231

Fuente: elaboración propia, con base en la recolección y ordenamiento de la información de la tabla XI.

Tabla XXXI. **Porosidad del lecho**

No.	$\rho_{\text{sólido}}$ (g/mL)	$\rho_{\text{lecho}}$ (g/mL)	$\epsilon_{\text{lecho}}$
1	0,360	0,375	0,040
2	0,370	0,375	0,013
3	0,370	0,375	0,013
4	0,380	0,286	0,330

Continuación de la tabla XXXI.

5	0,370	0,286	0,295
6	0,400	0,286	0,400
7	0,400	0,231	0,733
8	0,380	0,231	0,647
9	0,390	0,231	0,690

Fuente: elaboración propia, con base en la recolección y ordenamiento de la información de las tablas X y XI.

Tabla XXXII. **Determinación de la densidad del extracto**

No.	$m_{\text{extracto}}$ (g)	$V_{\text{extracto}}$ (mL)	$\rho_{\text{extracto}}$ (g/mL)
1	25,8	25,597	1,008
2	25,7	25,597	1,004
3	25,8	25,597	1,008
4	25,9	25,597	1,012
5	26,0	25,597	1,016
6	25,9	25,597	1,012
7	26,0	25,597	1,016
8	26,0	25,597	1,016
9	25,9	25,597	1,012

Fuente: elaboración propia, con base en la recolección y ordenamiento de la información de las tablas XII a la XX.

Tabla XXXIII. **Determinación de la masa del soluto**

No.	m <sub>extracto</sub> (g)	m <sub>solv</sub> (g)	m <sub>soluto</sub> (g)
1	25,8	25,1	0,7
2	25,7	25,1	0,6
3	25,8	25,1	0,7
4	25,9	25,1	0,8
5	26,0	25,1	0,9
6	25,9	25,1	0,8
7	26,0	25,1	0,9
8	26,0	25,1	0,9
9	25,9	25,1	0,8

Fuente: elaboración propia, con base en la recolección y ordenamiento de la información de la tabla XI.

Tabla XXXIV. **Determinación de la masa del soluto total**

No.	m <sub>soluto</sub> (g)	V (mL)	V <sub>total</sub> (mL)	m <sub>Total soluto</sub> (g)
1	0,7	25,597	300	8,2
2	0,6	25,597	300	7,0
3	0,7	25,597	300	8,2
4	0,8	25,597	300	9,4
5	0,9	25,597	300	10,5
6	0,8	25,597	300	9,4
7	0,9	25,597	300	10,5
8	0,9	25,597	300	10,5

Continuación de la tabla XXXIV.

9	0,8	25,597	300	9,4
---	-----	--------	-----	-----

Fuente: elaboración propia, con base en la recolección y ordenamiento de la información de la tabla XXXIII.

Tabla XXXV. **Rendimiento de la extracción**

No.	m <sub>Total soluto</sub> (g)	m <sub>mp</sub> (g)	% Rendimiento
1	8,2	30	27,35
2	7,0	30	23,44
3	8,2	30	27,35
4	9,4	30	31,25
5	10,5	30	35,16
6	9,4	30	31,25
7	10,5	30	35,16
8	10,5	30	35,16
9	9,4	30	31,25

Fuente: elaboración propia, con base en la recolección y ordenamiento de la información de la tabla XXXIV.

### 3.8. Análisis estadístico

Se analizó por medio de una prueba de hipótesis de varianzas poblacionales iguales o desiguales, y posteriormente con una prueba de hipótesis de medias iguales o desiguales para cada variación o tratamiento.

Tabla XXXVI. **Prueba de hipótesis de varianzas poblacionales iguales o desiguales para tratamientos 1 y 2**

	Tratamiento 1	Tratamiento 2
1	27,35	31,25
2	23,44	35,16
3	27,35	31,25
$\bar{x}$	26,04	32,56
s	2,26	2,26
n	3,00	3,00
$\alpha$	0,01	
Ho: $\sigma_1 = \sigma_2$		
Ha: $\sigma_1 \neq \sigma_2$		
F <sub>calculada</sub>	1,00	
V <sub>numerador</sub>	2,00	
V <sub>denominador</sub>	2,00	
F <sub>tabulada</sub>	99,00	
Decisión	F <sub>calculada</sub> < F <sub>tabulada</sub> , aceptar Ho	
Conclusión	varianzas iguales	

Fuente: elaboración propia, con base en las técnicas cuantitativas.

Tabla XXXVII. **Prueba de hipótesis de varianzas poblacionales iguales o desiguales para tratamientos 1 y 3**

	Tratamiento 1	Tratamiento 3
1	27,35	35,16
2	23,44	35,16

Continuación de la tabla XXXVII.

3	27,35	31,25
$\bar{x}$	26,04	33,86
s	2,26	2,26
n	3,00	3,00
$\alpha$	0,01	
Ho: $\sigma_1 = \sigma_3$		
Ha: $\sigma_1 \neq \sigma_3$		
F <sub>calculada</sub>	1,00	
V <sub>numerador</sub>	2,00	
V <sub>denominador</sub>	2,00	
F <sub>tabulada</sub>	99,00	
Decisión	F <sub>calculada</sub> < F <sub>tabulada</sub> , aceptar Ho	
Conclusión	varianzas iguales	

Fuente: elaboración propia, con base en las técnicas cuantitativas.

Tabla XXXVIII. **Prueba de hipótesis de varianzas poblacionales iguales o desiguales para tratamientos 2 y 3**

	Tratamiento 2	Tratamiento 3
1	31,25	35,16
2	35,16	35,16
3	31,25	31,25
$\bar{x}$	32,56	33,86
s	2,26	2,26
n	3,00	3,00

Continuación de la tabla XXXVIII.

$\alpha$	0,01
Ho: $\sigma^2 = \sigma^3$	
Ha: $\sigma^2 \neq \sigma^3$	
F <sub>calculada</sub>	1,00
V <sub>numerador</sub>	2,00
V <sub>denominador</sub>	2,00
F <sub>tabulada</sub>	99,00
Decisión	$F_c < F_{calculada} < F_{tabulada}$ , aceptar Ho
Conclusión	varianzas iguales

Fuente: elaboración propia, con base en las técnicas cuantitativas.

Tabla XXXIX. **Prueba de hipótesis de medias iguales o desiguales para tratamientos 1 y 2**

	Tratamiento 1	Tratamiento 2
1	27,35	31,25
2	23,44	35,16
3	27,35	31,25
$\bar{x}$	26,04	32,56
s	2,26	2,26
n	3,00	3,00
$\alpha$	0,01	
Ho: $\mu_1 = \mu_2$		
Ha: $\mu_1 \neq \mu_2$		
t <sub>calculada</sub>	5,76	

Continuación de la tabla XXXIX.

v	4,00
t <sub>tabulada</sub>	4,60
Decisión	t <sub>calculada</sub> > t <sub>tabulada</sub> , rechazar Ho
Conclusión	medias no son iguales

Fuente: elaboración propia, con base en las técnicas cuantitativas.

Tabla XL. **Prueba de hipótesis de medias iguales o desiguales para tratamientos 1 y 3**

	Tratamiento 1	Tratamiento 3
1	27,35	35,16
2	23,44	35,16
3	27,35	31,25
$\bar{x}$	26,04	33,86
s	2,26	2,26
n	3,00	3,00
$\alpha$	0,01	
Ho: $\mu_1 = \mu_3$		
Ha: $\mu_1 \neq \mu_3$		
t <sub>calculada</sub>	6,91	
v	4,00	
t <sub>tabulada</sub>	4,60	
Decisión	t <sub>calculada</sub> > t <sub>tabulada</sub> , rechazar Ho	
Conclusión	medias no son iguales	

Fuente: elaboración propia, con base en las técnicas cuantitativas.

Tabla XLI. **Prueba de hipótesis de medias iguales o desiguales para tratamientos 2 y 3**

	Tratamiento 2	Tratamiento 3
1	31,25	35,16
2	35,16	35,16
3	31,25	31,25
$\bar{x}$	32,56	33,86
s	2,26	2,26
n	3,00	3,00
$\alpha$	0,01	
Ho: $\mu_2 = \mu_3$		
Ha: $\mu_2 \neq \mu_3$		
$t_{\text{calculada}}$	1,15	
v	4,00	
$t_{\text{tabulada}}$	4,60	
Decisión	$t_{\text{calculada}} < t_{\text{tabulada}}$ , aceptar Ho	
Conclusión	medias son iguales	

Fuente: elaboración propia, con base en las técnicas cuantitativas.

## 4. RESULTADOS

De la tabla XLII a la XLIV se presentan los resultados obtenidos durante el desarrollo del estudio de la fracción soluble en agua del fruto del árbol de carambola.

Tabla XLII. **Porcentaje de rendimiento de la extracción en función de la variación de la porosidad del lecho**

$\epsilon$	%Rendimiento
0,022	26,04
0,342	32,56
0,690	33,86

Fuente: elaboración propia, con base en la tabulación, ordenamiento y procesamiento de la información de las tablas XXXI y XXXV.

Tabla XLIII. **Caracterización fitoquímica de la fracción soluble en agua de la carambola (*Averrhoa carambola L.*).**

Metabolito	Resultado
Saponinas	Presencia
Cumarinas	Presencia
Flavonoides	Presencia
Alcaloides	Ausencia

Continuación de la tabla XLIII.

Aceites esenciales	Ausencia
--------------------	----------

Fuente: elaboración propia, con base en la tabulación, ordenamiento y procesamiento de la información de las tablas XXIII a la XXVII.

Tabla XLIV. **Caracterización fisicoquímica de la fracción soluble en agua de la carambola (*Averrhoa carambola L.*).**

Propiedad	Resultado
Apariencia	Líquido
Color	Amarillo
Aroma	Característico al fruto
Densidad	1,011 g/mL

Fuente: elaboración propia

Tabla XLV. **Análisis bromatológico de la fracción soluble en agua de la carambola (*Averrhoa carambola L.*).**

No.	Base	%Agua	%M.S.T	%E.E.	%F.C.	%Proteína cruda	%Cenizas	%E.L.N.
1	Seca	91,61	2,49	0,00	11,56	27,64	24,53	36,18
	Como alimento	-----	-----	0,00	0,29	0,69	0,60	-----
2	Seca	96,85	3,15	3,78	5,54	19,58	21,75	49,35
	Como alimento	-----	-----	0,12	0,17	0,62	0,69	-----
3	Seca	96,71	3,29	3,18	4,57	35,53	15,38	41,33

Continuación de la tabla XLV.

	Como alimento	-----	-----	0,10	0,15	1,17	0,51	-----
--	------------------	-------	-------	------	------	------	------	-------

Fuente: elaboración propia, con base en la tabulación, ordenamiento y procesamiento de la información de la tabla XXII.



## 5. INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

En el presente trabajo de investigación se evaluó el aprovechamiento de la fracción soluble en agua del fruto del árbol de carambola (*Averrhoa carambola* L.), para la elaboración de un producto de consumo humano.

Para ello se procedió a evaluar el rendimiento de la extracción para cada una de las variaciones de la porosidad del lecho, cuyos resultados se muestran en la tabla XLII, mostrando que el tratamiento número tres da el mejor rendimiento, es decir, que a mayor porosidad del lecho mayor rendimiento se obtendrá en la extracción.

Posteriormente se realizó la caracterización fitoquímica del extracto por medio de una cromatografía en capa fina, los resultados se presentan en la tabla XLIII.

En el caso de la determinación de saponinas se utilizó un estándar al 0,2 por ciento de saponinas, el cual presenta una banda color naranja, sin embargo, las muestras de extracto acuoso de carambola presentaron una banda verde, lo que indica que dicho metabolito se encuentra presente, pero en un porcentaje distinto al del estándar, y como los  $r_f$  y los colores de las bandas no son iguales, no se trata del mismo tipo de saponina utilizado como estándar.

Para las cumarinas se utilizó un estándar al 1 por ciento que presenta una banda verde, no obstante las muestras de extracto acuoso de carambola presentaron una banda azul, con lo que se determinó que este metabolito se

encuentra presente, pero es distinto al utilizado como estándar, ya que los  $r_f$  y los colores de las bandas son diferentes.

Para la identificación de flavonoides se utilizaron tres estándares diferentes: de rutina, de ácido clorogénico y de quercetina con bandas naranja, celeste y naranja respectivamente; mas las muestras de extracto acuoso de carambola presentaron bandas verde, morado, verde comparativamente con cada estándar respectivamente, dando como resultado que sí hay presencia de distintos flavonoides como indica la literatura que dicha especie es rica en flavonoides de diferente tipo, pero no son los utilizados como estándar, ya que los  $r_f$  y los colores de las bandas son distintos.

En el caso de la determinación de los alcaloides y aceites esenciales, el resultado fue negativo, ya que no se presentaron bandas de ningún color y por ello no se reporta ningún  $r_f$ . Para los alcaloides esto se debe al proceso extractivo, porque los alcaloides son poco solubles en agua, y en el caso de los aceites esenciales coincide con la literatura, ya que no se reporta la presencia de dichos metabolitos en esta especie.

Así puede concluirse que la variación de la porosidad del lecho no incide en la caracterización fitoquímica, debido que en todas las muestras se encontraron presentes y ausentes en el caso de los alcaloides y los aceites esenciales, los mismos metabolitos secundarios.

Luego se realizó la caracterización fisicoquímica del extracto, dichos resultados se muestran en la tabla XLIV, la mayoría de las propiedades analizadas no se ven afectadas en gran medida por la variación de la porosidad del lecho. La única propiedad en la que incide dicha variación es en la

densidad, ya que esta aumenta proporcionalmente con el aumento de la porosidad del lecho.

Después se realizó un análisis bromatológico del extracto, los resultados obtenidos se presentan en la tabla XLV, en la cual se aprecia que el porcentaje de materia seca y el de cenizas aumenta directamente proporcional con la porosidad del lecho, mientras que el porcentaje de humedad y el de fibra cruda son inversamente proporcionales al aumento de la porosidad del lecho.

Los demás nutrientes analizados presentan variaciones sin una tendencia notable. Sin embargo, en todos los casos el extracto acuoso de carambola que presenta mayor cantidad de nutrientes es el tercero, lo que indica que a mayor porosidad del lecho, mayor extracción de nutrientes.

Seguidamente se realizó un análisis estadístico para determinar si la variación de los resultados del rendimiento de la extracción es significativa o no.

Para ello se corrió primero una prueba de hipótesis para definir si las varianzas poblacionales son iguales, estos resultados se tabulan en las tablas XXVI a la XXXVIII, dando como resultado que, para las tres variaciones de la porosidad del lecho puede asumirse que la varianza es la misma.

Finalmente se hizo una prueba de hipótesis para definir si las medias, es decir el promedio de las tres corridas realizadas para cada variación de porosidad del lecho, son iguales o no deduciendo así si la diferencia reportada es significativa o no.

Los resultados de las prueba de hipótesis para diferencia de medias se reporta en las tablas XXXIX a la XLI, y de ellas se obtuvo que las variaciones de

porosidad del lecho numero dos y tres pueden tomarse como iguales, sin embargo, la variación uno si presenta una diferencia significativa razón por la cual no puede tomarse como igual.

## CONCLUSIONES

1. El rendimiento de la extracción de la fracción soluble en agua del fruto de carambola aumenta directamente proporcional con la variación de la porosidad del lecho.
2. Los resultados de la caracterización fitoquímica no se ven afectados por la variación de la porosidad del lecho.
3. La densidad del extracto acuoso de carambola aumenta directamente proporcional con la variación de la porosidad del lecho, mientras que las demás propiedades no se ven afectadas directamente por la misma.
4. La mejor extracción de nutrientes se obtuvo con la mayor porosidad en el lecho.
5. A partir de las caracterizaciones fisicoquímicas, fitoquímicas y bromatológicas puede concluirse que el extracto acuoso de carambola si puede utilizarse como un producto para el consumo humano.
6. Las varianzas poblacionales para los tres tratamientos pueden asumirse como iguales con un nivel de confianza de 99,99.
7. El rendimiento de la extracción con porosidades 0,342 y 0,690 puede asumirse como igual con un nivel de confianza de 99,99.

8. Puede decirse con un nivel de confianza de 99,99 que el rendimiento de la extracción con porosidad 0,022 presenta diferencia significativa, por lo que no puede asumirse como igual.

## RECOMENDACIONES

1. Evaluar la porosidad del lecho óptima para la extracción.
2. Evaluar la extracción y su rendimiento con solventes como etanol y hexano, para determinar la presencia de otros metabolitos secundarios que puedan ser aprovechados.
3. Realizar el mismo proceso extractivo y análisis con diferentes frutos para verificar si es posible utilizar los extractos como un producto para el consumo humano.
4. Realizar un estudio cuantitativo de los metabolitos presentes en la fracción soluble del fruto de carambola.
5. Realizar el escalamiento a nivel planta piloto para poder evaluar si es económicamente viable y posteriormente evaluar a nivel industrial.



## BIBLIOGRAFÍA

1. ANAYA DURAND, Alejandro. *Escalamiento, el arte de la ingeniería química: plantas piloto, el paso entre el huevo y la gallina*. Tecnología, ciencia, Educación, enero-junio, 2008/vol. 23, número 001, Instituto Mexicano de Ingenieros Químicos, México. 39 p.
2. BATRES SANTIZO, Jans Amilkar. *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. 108 p.
3. COULSON, J. M. *Ingeniería química operaciones básicas*. Tercera Edición. Editorial reverté, S. A. España, 1981. 1.035 p.
4. CRANE, J. H., *La carambola en florida*. Miami dade county. Universidad de florida (IFAS EXTENSION). 7 p.
5. LOCK, Olga. *Análisis fitoquímico y metabolitos secundarios*. Pontificia Universidad Católica del Perú, 2012. 24 p.
6. MALDONADO ENRÍQUEZ, Emilio Jesús, *“Análisis de cambios fisicoquímicos en carambola (Averrhoa carambola L.) mínimamente procesada, mediante la metodología de superficie de respuesta”*. División Académica de Ciencias Agropecuarias

(DACA). XVII Congreso Nacional de Ingeniería Bioquímica. Universidad Juárez Autónoma de Tabasco (UJAT), 2012. 150 p.

7. MARTÍNEZ NAVARRO, Blanca Estela. *Análisis bromatológico del carambolo (Averrhoa carambola L.) y determinación de su capacidad antioxidante*. Trabajo de graduación de Ing. Química. Universidad Veracruzana, Facultad de Ciencias Químicas, México, 2011. 54 p.
8. MASSCHELEIN-KLEINER, Liliane. *Los solventes*. Santiago de Chile, 2004. 142 P.
9. MCCABE, Warren. *Operaciones unitarias en ingeniería química*. Séptima Edición. Editorial Mc Graw Hill, 2007. 1.189 p.
10. MONTENEGRO FRANCO, Claudia Beatriz. *Estudio experimental de la operación unitaria de separación sólido-líquido a nivel laboratorio, mediante la evaluación de diversos parámetros de interacción influyentes y de respuesta*. Trabajo de graduación de Ing. Química. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 2009. 157 p.
11. PERRY, Roberth H. *Biblioteca del ingeniero químico*. Quinta Edición. Editorial Mc Graw Hill, México. Tomo 5, Sección 19, 1986. 90 p.
12. PRIETO SOSA, Zobeida Ayia, *Estudio sobre la toxicidad aguda, el efecto antioxidante y antiinflamatorio del jugo de carambola (Averrhoa carambola L.)*. Laboratorio de Genética Escuela Nacional de Ciencias Biológicas. XVII Congreso Nacional de

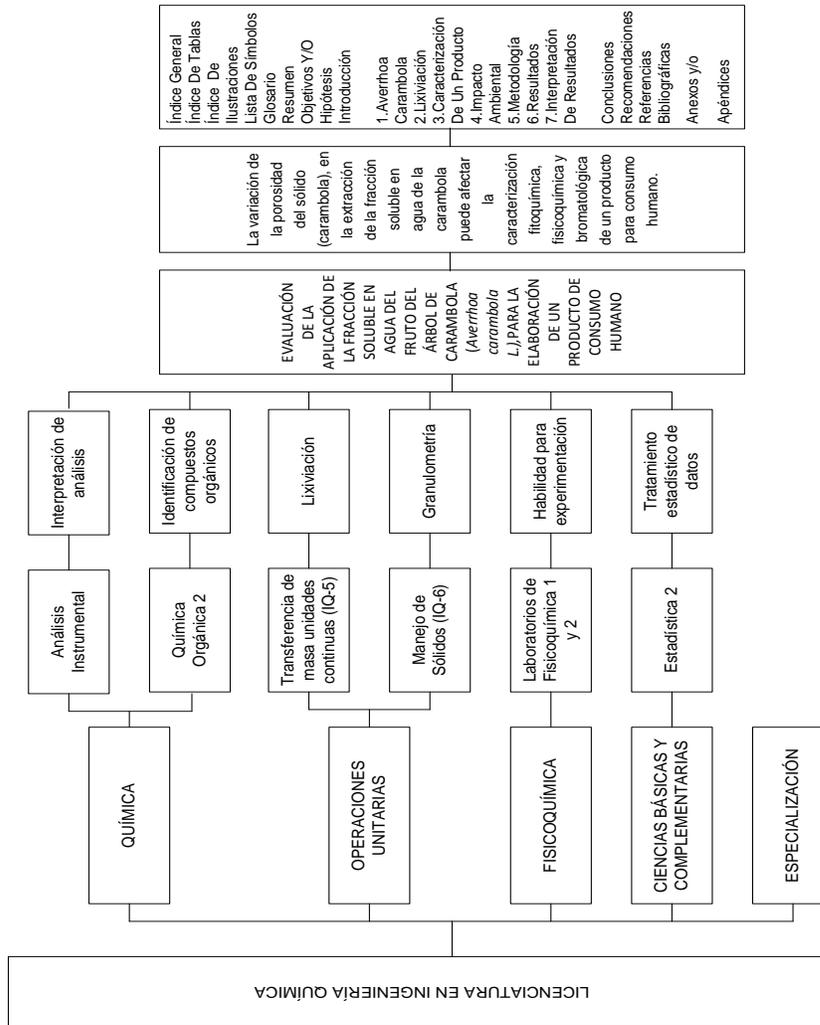
Ingeniería Bioquímica. Universidad Juárez Autónoma de Tabasco (UJAT), 2010. 138 p.

13. REYNOSO REVOLORIO, David Alejandro. *Desarrollo de un sistema tutorial inteligente –STI- utilizando Visual Basic 6.0 para la fundamentación teórica de la operación unitaria de lixiviación inducida (extracción sólido-líquido) orientado a materiales biológicos (metabolitos)*. Trabajo de graduación de Ing. Química. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 2009. 129 p.
14. SALAZAR, Gustavo Andrés. *Análisis Bromatológico*. <http://www.corpoica.org.co/SitioWeb/Documento/JatrophaContrataciones/ANALISISBROMATOLOGICO.pdf>. Consulta: 12 de abril de 2012.
15. *Técnicas de análisis físico-químico de alimentos*. <http://www.analizacalidad.com/docftp/fi1441ene2007.pdf>. Consulta: 12 de abril de 2012.



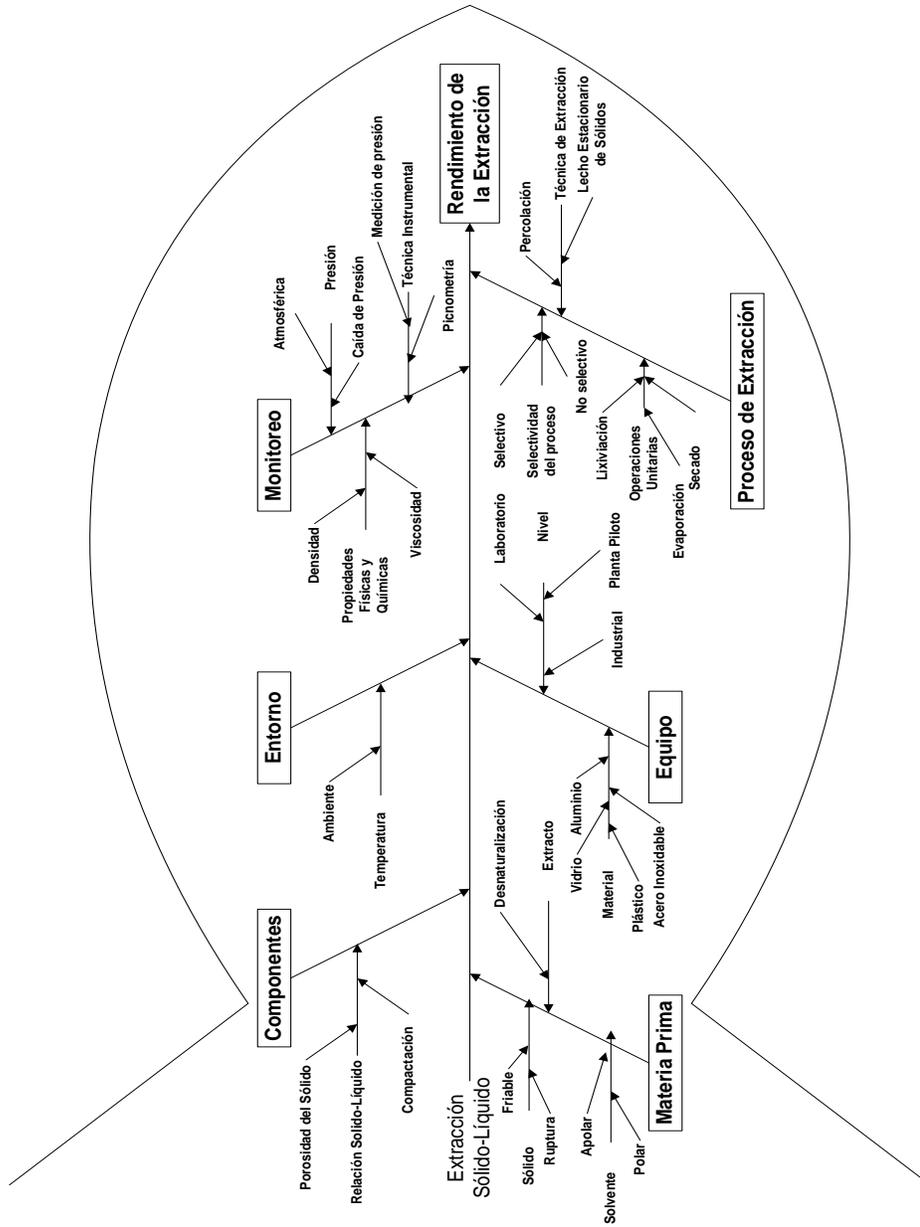
# APÉNDICES

## Apéndice 1. Requisitos académicos



Fuente: elaboración propia.

## Apéndice 2. Diagrama de Ishikawa



Fuente: elaboración propia.

### Apéndice 3. Preparación de la materia prima



Fuente: elaboración propia, con el apoyo del Laboratorio de Química.

#### Apéndice 4. Proceso de extracción



Continuación del apéndice 4.



Fuente: elaboración propia, con el apoyo del Laboratorio de Química.



# ANEXOS

## Anexo 1. Hoja de resultados análisis bromatológico

Elaborado por: Aura Marina de Marroquin  
Autorizado por: Lic. Miguel Ángel Rodenas

### FORMULARIO BROMATO 7

## INFORME DE RESULTADO DE ANÁLISIS

**BROMATO**  
ANÁLISIS DE ALIMENTOS

Edificio M6, 2° Nivel, Ciudad U.I.  
Centro de Guatemala  
Teléfono: 24183307  
E-mail: bromato2000@yahoo.com  
No. 123

Solicitado por: **MARIA ALEJANDRA SALGUERO**  
Fecha de recibido la muestra: **11-03-2014.**

Dirección: **CIUDAD, GUATEMALA.**  
Fecha de realización: **DEL 10 AL 14-03-2014.**

Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia  
Escuela de Zootecnia  
Unidad de Alimentación Animal

Req.	Descripción de la muestra	BASE	Agua %	M.S.T. %	E.E. %	F.C. %	PROTEINA CRUDA %	Cenizas %	E.L.N. %	Calcio %	Fósforo %	F.A.D. %	F.N.D. %	Lignina %	Dig. Pepsina %	Dig. K.O.H. %	T.N.D. %	E.B. Cal/kg
175	AGUA DEL FRUTO DEL ÁRBOL DE CARAMBOLA NO. 1	SECA	91.61	2.49	0.00	11.56	27.64	24.53	36.18	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....
		COMO ALIMENTO	.....	.....	0.00	0.29	0.69	0.61	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....
176	AGUA DEL FRUTO DEL ÁRBOL DE GUAYABA NO. 2	SECA	98.85	3.15	3.78	5.54	19.58	21.75	48.35	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....
		COMO ALIMENTO	.....	.....	0.12	0.17	0.62	0.69	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....
177	AGUA DEL FRUTO DEL ÁRBOL DE CARAMBOLA NO. 3	SECA	96.71	3.29	3.18	4.57	35.53	15.38	41.33	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....
		COMO ALIMENTO	.....	.....	0.10	0.15	1.17	0.51	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....
.....	.....	SECA	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....
.....	.....	COMO ALIMENTO	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....

**OBSERVACIONES:** Dichos resultados fueron calculados en base a materia seca total y fresca. Se prohíbe la producción pécunio total de 494 unidades que mayor información contactarse al Teléfono 24183307.

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia

Escuela de Zootecnia

Unidad de Alimentación Animal

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

LABORATORIO DE BROMATOLOGIA

Dr. Miguel Ángel Rodenas  
Jefe Laboratorio de Bromatología

Resultados 2014/125Z  
14/03/14

Fuente: Laboratorio de Bromatología de la Universidad de San Carlos de Guatemala.

## Anexo 2. Hoja de resultados análisis fitoquímico



Laboratorio de Investigación de  
Productos Naturales (LIPRONAT)

**Análisis:** Tamizaje Fitoquímico de Soluciones Acuosas de Carambola

**Solicitante:** María Alejandra Salguero Herrera

**Fecha:** 23 de abril de 2014

**No. L-20140203**

### 1. Técnica:

Cromatografía en capa fina para la identificación de cada uno de los diferentes metabolitos secundarios.

### 2. Resultados:

#### 2.1. Cromatografía en capa fina para la determinación de saponinas en muestras acuosas de carambola

Fase Móvil: Cloroformo: Metanol: Agua (64:50:10)			
Revelador: Vainillina-ácido sulfúrico			
Muestra	Banda	Color	Rf
Mx1	1	Verde	0.66
Mx2	1	Verde	0.66
Mx3	1	Verde	0.65
Estándar Saponinas 0.2%	1	Naranja	0.87

Fuente: Datos Experimentales

Todas las muestras presentaron una banda de color verde con el revelador, dicho color coincide con una identificación positiva de saponinas. Según lo reportado por Thomas, *et al.*, (2008) la carambola presenta saponinas entre sus metabolitos secundarios.

#### 2.2 Cromatografía en capa fina para la determinación de cumarinas en muestras acuosas de carambola

Fase Móvil: Tolueno: Acetato de Etilo (93:7)			
Revelador: Solución Etanólica de KOH 5%			
Muestra	Banda	Color	Rf
Mx1	1	Azul	0.22
Mx2	1	Azul	0.10
Mx3	1	Azul	0.22
Estándar Cumarina 1% en metanol	1	Verde	0.66

Fuente: Datos Experimentales

Todas las muestras dieron positivo para la identificación de cumarinas, prestándose una banda de fluorescencia azul después de aspear la solución de KOH 5%, con lo que se confirma la presencia de cumarinas en la muestra. Esto coincide con lo reportado en la literatura que indica que hay compuesto fenólicos en la carambola, siendo las cumarinas compuestos fenólicos se determina que si cumple (Jáuregui, 2007).

## Continuación del anexo 2.

### 2.3 Cromatografía en capa fina para la determinación de flavonoides en muestras acuosas de carambola

Fase Móvil: Acetato de Etilo – ácido fórmico – ácido acético – agua (100:11:11:27)			
Revelador: NP/PEG			
Muestra	Banda	Color	Rf
Mx1	1	Verde	0.35
	2	Morado	0.43
	3	Verde	0.54
	4	Morada	0.61
Mx2	1	Verde	0.29
	2	Morado	0.39
	3	Verde	0.48
	4	Morado	0.58
Mx3	1	Verde	0.30
	2	Morado	0.39
	3	Verde	0.48
	4	Morado	0.59
Estándar de Rutina	1	Naranja	0.34
Estándar de Ácido Clorogénico	1	Celeste	0.48
Estándar de Quercetina	1	Naranja	0.59

Fuente: Datos Experimentales

Las muestras presentaron cuatro bandas características de flavonoides, ninguna de las muestras marcas coincide con los estándares empleados, lo que indica que los flavonoides presentes en las muestras son distintos. La identificación de flavonoides coincide con lo reportado, ya que dicha especie es rica en flavonoides de diferente tipo (Thomas, 2008).

### 2.4 Cromatografía en capa fina para la determinación de alcaloides en muestras acuosas de carambola

Fase Móvil: Tolueno – acetato de etilo – dietilamina (70:20:10)			
Revelador: Dragendorff			
Muestra	Banda	Color	Rf
Mx1	---	----	---
Mx2	----	----	---
Mx3	----	----	---
Estándar atropina	1	Naranja	0.35
Estándar Papaverina	1	Naranja	0.68

Fuente: Datos Experimentales

Thomas *et al.*, (2008) reportan la presencia de alcaloides en la carambola, pero las soluciones acuosas analizadas fueron negativas en la identificación de alcaloides, esta diferencia se pudo deber al proceso de extracción de la solución acuosa que no extrajo dicho metabolito secundario.

## Continuación del anexo 2.

### 2.5 Cromatografía en capa fina para la determinación de aceites esenciales en muestras acuosas de carambola

Fase Móvil: Tolueno – acetato de etilo (93:7)			
Revelador: Anisaldehído – ácido sulfúrico			
Muestra	Banda	Color	Rf
Mx1	---	----	---
Mx2	----	----	---
Mx3	----	----	---
Estándar Eugenol	1	Violeta	0.59
Estándar citroneral	1	Rosado	0.81
Estándar nerol	1	Morado	0.35
Estándar timol	1	Rosado	0.66
Estándar menta	1	Fusia	0.72

Fuente: Datos Experimentales

No se identificaron aceites esenciales lo que coincide con la literatura, ya que no se han reportado dichos compuestos en la carambola.

### 3. Referencias Bibliográficas:

1. LIPRONAT (2013). *PROCESO ESTANDAR DE OPERACIÓN Manual de tamizaje fitoquímico*. Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia. Universidad San Carlos de Guatemala. Guatemala.
2. Jáuregui, A., Ramos, F., Alvarado, C. & Castañeda, B. (2007). Evaluación de la Capacidad Antioxidante y Contenido de Compuestos Fenólicos en Recursos Vegetales Promisorios. *Rev Soc Quím Perú*. 3: 142-149
3. Thomas S, Patil DA, Patil AG & Chandra N. (2008). Pharmacognostic evaluations and Physicochemical analysis of *Averrhoa carambola* L. fruit. *J Herb Med Toxicol* 2: 51 - 54.

Licda. Nereida Marroquín  
Auxiliar de Laboratorio

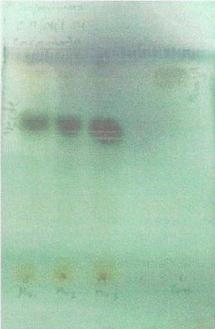
Dra. Sully Cruz  
Coordinadora de LIPRONAT



Continuación del anexo 2.

Anexos

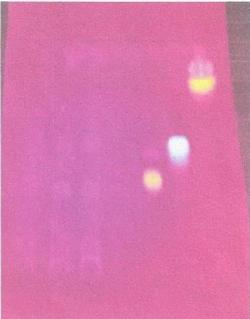
Cromatografía en Capa Fina de Identificación de Saponinas



Cromatografía en Capa Fina de Identificación de Cumarinas



Cromatografía en Capa Fina de Identificación de Flavonoides

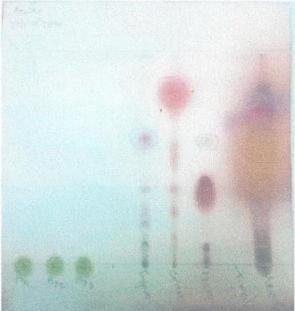


Continuación del anexo 2.

Cromatografía en Capa Fina de Identificación de Alcaloides



Cromatografía de Capa Fina de Identificación de Aceites Esenciales



Fuente: Laboratorio de Investigación de Productos Naturales.