



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

**EVALUACIÓN DEL RENDIMIENTO DE CONCRETOS OBTENIDOS EN LA SECUENCIA
EXTRACTIVA POR LIXIVIACIÓN MEDIANTE TÉCNICA *SOXHLET* CON TRES
SOLVENTES (HEXANO, ETANOL Y AGUA) A PARTIR DE FRUTOS DE ARRAYÁN (*Myrica
cerífera L.*) RECOLECTADOS DE LOS BOSQUES NATURALES DEL ÁREA NOR-CENTRAL
DE GUATEMALA**

Gustavo Adolfo Recinos Mendoza
Asesorado por Ing. Qco. César Alfonso García Guerra

Guatemala, mayo de 2004

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

EVALUACIÓN DEL RENDIMIENTO DE CONCRETOS OBTENIDOS EN LA SECUENCIA EXTRACTIVA POR LIXIVIACIÓN MEDIANTE TÉCNICA *SOXHLET* CON TRES SOLVENTES (HEXANO, ETANOL Y AGUA) A PARTIR DE FRUTOS DE ARRAYÁN (*Myrica cerifera L.*) RECOLECTADOS DE LOS BOSQUES NATURALES DEL ÁREA NOR-CENTRAL DE GUATEMALA

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A JUNTA DIRECTIVA DE LA

FACULTAD DE INGENIERÍA

POR

GUSTAVO ADOLFO RECINOS MENDOZA

ASESORADO POR Ing. Qco. César Alfonso García Guerra

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO QUÍMICO

Guatemala, mayo de 2004

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

Decano	Ing.	Sydney Alexander Samuels Milson
Vocal I	Ing.	Murphy Olympo Paiz Recinos
Vocal II	Lic.	Amahán Sánchez Alvarez
Vocal III	Ing.	Julio David Galicia Celada
Vocal IV	Br.	Kenneth Issur Estrada Ruiz
Vocal V	Br.	Elisa Yazminda Vides Leiva
Secretario	Ing.	Pedro Antonio Aguilar Polanco

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

Decano	Ing.	Sydney Alexander Samuels Milson
Examinador	Ing.	José Eduardo Calderón García
Examinador	Ing.	Victor Manuel Monzón Valdéz
Examinador	Ing.	Carlos Salvador Wong Davi
Secretario	Ing.	Pedro Antonio Aguilar Polanco

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

Cumpliendo 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 RENDIMIENTO DE CONCRETOS OBTENIDOS EN LA SECUENCIA EXTRACTIVA POR LIXIVIACIÓN MEDIANTE TÉCNICA *SOXHLET* CON TRES SOLVENTES (HEXANO, ETANOL Y AGUA) A PARTIR DE FRUTOS DE ARRAYÁN (*Myrica cerífera L.*) RECOLECTADOS DE LOS BOSQUES NATURALES DEL ÁREA NOR-CENTRAL DE GUATEMALA

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Química con fecha 15 de octubre de 2003.

Gustavo Adolfo Recinos Mendoza

AGRADECIMIENTOS

- A DIOS** Por permitirme llegar a esta etapa de mi vida y lograr que siempre siga adelante.
- A MI MAMÁ** Por su esfuerzo, apoyo y dedicación. Porque a pesar de todas las adversidades es debido a todo su amor que me encuentro aquí.
- A MI FAMILIA** Por estar pendiente de que logre mis metas.
- A MIS ASESORES** Ing. César García e Inga. Blanqui Chavéz por la revisión de este trabajo de graduación, por su paciencia, apoyo y consejo.
- A MIS AMIGOS** Por estar conmigo y ser bendición para mi vida.

DEDICATORIA

A DIOS

Mi Señor y Salvador

A MI MAMÁ

Patricia Judith Mendoza Hernández

Con admiración y mucho amor.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	III
LISTA DE SÍMBOLOS.....	V
GLOSARIO.....	VII
RESUMEN.....	XI
OBJETIVOS.....	XIII
HIPÓTESIS.....	XIV
INTRODUCCIÓN.....	XV

1. MARCO TEÓRICO

1.1. Antecedentes.....	1
1.2. Las plantas.....	2
1.2.1. Familia Bayberry.....	3
1.3. Solventes	
1.3.1. Clasificación de los solventes.....	6
1.3.2. Propiedades de los solventes.....	8
1.3.3. La función del solvente.....	9
1.3.4. Características de los solventes industriales.....	10
1.3.4.1. Hidrocarburos alifáticos.....	10
1.3.4.2. Alcoholes.....	12
1.3.4.3. Agua.....	13
1.3.5. Constante dieléctrica de los solventes.....	15
1.4. Extracción de sólidos con líquidos (lixiviación).....	17
1.4.1. Variables de la extracción sólido-líquido.....	18
1.4.2. Flujo a través de sólidos: capas límite.....	19

2. METODOLOGÍA	
2.1. Localización.....	23
2.2. Recursos humanos.....	23
2.3. Metodología experimental.....	23
2.3.1. Obtención del material.....	23
2.4. Método <i>Soxhlet</i>	25
2.4.1. Diagrama de flujo de operación de <i>Soxhlet</i>	26
2.4.2. Partes del aparato <i>Soxhlet</i>	28
2.4.3. Operación del equipo.....	43
2.5. Reactivos.....	44
2.6. Procedimiento.....	45
2.7. Análisis estadístico.....	46
2.8. Manejo de la fase experimental.....	50
3. RESULTADOS	
3.1. Rendimientos obtenidos de las fracciones extractables.....	53
3.2. Evaluación de rendimientos de extracción para lotes, solventes y combinación de solventes en las secuencias extractivas.....	54
3.3. Resultados de las fracciones extractables por lotes.....	57
4. DISCUSIÓN DE RESULTADOS	
4.1. Evaluación de la extracción de concretos.....	61
4.2. Análisis de rendimientos de las fracciones extractables del fruto arrayán.....	65
CONCLUSIONES.....	72
RECOMENDACIONES.....	73
BIBLIOGRAFÍA.....	74
APÉNDICE.....	77
ANEXO.....	82

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1	Detalles morfológicos del arrayán	4
2	Detalle de la morfología de la flor del arrayán	5
3	Esquema de clasificación de solventes	7
4	Esquema de un hidrocarburo alifático	12
5	Esquema general de un alcohol	12
6	Estructura electrónica del agua	14
7	Polarización permanente del agua	16
8	Cuadro con clasificación de solventes por su constante dieléctrica	17
9	Esquema de una transferencia sólido-líquido	20
10	Diagrama de flujo de operación de <i>Soxhlet</i>	26
11	Equipo de extracción <i>Soxhlet</i>	27
12	Condensador <i>Soxhlet</i>	30
13	Dedales de papel poroso de celulosa	32
14	Detalle de la morfología del fruto del arrayán	33
15	Marmita de la planta piloto (CII/USAC)	36
16	Fruto del arrayán y dedales de papel poroso de celulosa	39
17	Matraz de destilación con su plancha de calentamiento	41
18	Armazón utilizada para las extracciones con <i>Soxhlet</i>	42
19	Equipo de rota-evaporación utilizado	44
20	Fracciones del fruto de arrayán secuencia máxima W-Et-He (lote 1)	58
21	Fracciones del fruto de arrayán secuencia máxima Et-He-W (lote 2)	59

TABLAS

I	Fracciones extractables del fruto de arrayán	53
II	Capacidad extractiva por combinación lote-solvente (lote 1)	54
III	Capacidad extractiva por combinación lote-solvente (lote 2)	55
IV	Capacidad extractiva por combinación lote-pares de solventes (lote 1)	55
V	Capacidad extractiva por combinación lote-pares de solventes (lote 2)	56
VI	Capacidad extractiva por combinación lote-secuencia de tres solventes (lote 1)	56
VII	Capacidad extractiva por combinación lote-secuencia de tres solventes (lote 2)	57
VIII	Fracciones componentes del fruto de arrayán (lote 1)	57
IX	Fracciones componentes del fruto de arrayán (lote 2)	58
X	Análisis de varianza para la variable dependiente (S1)	77
XI	Análisis de varianza para la variable dependiente (S1+S2)	78
XII	Análisis de varianza para la variable dependiente (S1+S2+S3)	78
XIII	Análisis de varianza para la variable dependiente endocarpo	79
XIV	Valores promedio del endocarpo residual	79
XV	Análisis de varianza para la variable dependiente mesocarpo	80
XVI	Valores promedio del mesocarpo residual	81
XVII	Presencia o ausencia de metabolitos secundarios en el arrayán	82

LISTA DE SÍMBOLOS

C_A	Concentración del componente A (moles)
C_p	Capacidad calorífica
D_{AB}	Difusividad del componente A al solvente utilizado
f	Fricción
G	Flujo másico
g	Gravedad
g_c	Factor de corrección cuyo valor depende del sistema de medidas utilizado (sistema internacional o sistema inglés)
κ	Constante dieléctrica
K	Permeabilidad
N_A	Flujo molar
Sc	Número de <i>Schmidt</i>
Spr	Saturación residual promedio

U_x Velocidad en el eje x

U_y Velocidad en el eje y

U_z Velocidad en el eje z

Z Profundidad del lecho

ρ Densidad

Δp Variación de presión

μ Viscosidad

± Más o menos

GLOSARIO

Alifático	Nombre genérico de los compuestos orgánicos.
Amento	Espiga articulada por su base y compuesta de flores de un mismo sexo.
Baya	Fruto con el endocarpo y mesocarpo carnosos y con varias semillas menudas.
Capacitancia	Es la razón entre la carga (Q) de cualquiera de los conductores y la diferencia de potencial (V) entre ellos, en un capacitor.
Concreto	Es el producto sólido o semisólido obtenido tras la extracción de los principios activos de ciertas materias primas de origen vegetal, mediante el uso de solventes volátiles. Proviene especialmente de flores y frutos, cuando viene del tratamiento de raíces, granos, musgos recibe el nombre de resinoide.
Constante dieléctrica	Número adimensional que indica si una molécula es polar o no polar.

Difusividad	Se refiere al movimiento molecular que realiza una solución para alcanzar la uniformidad de forma espontánea, debido a un gradiente de concentración.
Dioica	Especie cuyas flores masculinas y femeninas están separados. Cada planta tiene todas las flores del mismo sexo.
Dipolo	Separación de cargas positivas y negativas en un átomo neutro.
Drupa	Pericarpio carnoso que tiene un solo hueso.
Edafológicas	Ciencia que trata de las condiciones y naturaleza del suelo, en su relación con las plantas
Estipulas	Apéndice foliáceo colocado en los lados del pecíolo o en el ángulo que este forma con el tallo.
Labiadas	Dícese de la corola irregular que está dividida en 2 partes o labios, a manera de boca, la superior con 2 pétalos y la inferior con 3. Se aplica también a la flor que tiene esta corola.
Maceración	Operación que consiste en sumergir una planta o fragmentos de la planta en un solvente para extraer de éstas las partes de ella.

Metabolitos Secundarios	Es (son) aquella (s) molécula (s) responsable (s) del efecto terapéutico comprobado que una planta medicinal o aromática posea.
Morfología	Parte de la historia natural que trata de la forma de los seres orgánicos y sus transformaciones.
Periantos	Envoltura de los órganos sexuales de una planta.
Permeabilidad	Paso de 1 ml/(s)*(cm ²) de un fluido con una viscosidad de 1 centipoise, bajo un gradiente de presión de 1 amt/cm a través de un lecho poroso.
Polaridad	Es la diferencia en la carga eléctrica sobre varias porciones de una molécula.
Principio activo	Metabolito secundario. Aquella molécula responsable del efecto terapéutico comprobado que una planta medicinal o aromática posea.
Solvatación	Se refiere a la capacidad que posee un solvente de formar enlaces y formar una fase homogénea.
Taxonómica	Pertenece a la taxonomía. Parte de la historia natural que trata sobre la clasificación de los seres
Toxicocinética	Se refiere a la forma en que los solventes son absorbidos, distribuidos, biotransformados y eliminados por el cuerpo.

Toxicodinámica

Es la forma en que se describe, cómo una sustancia ataca al cuerpo humano.

Umbelíferas

Plantas dicotiledóneas que tienen hojas por lo común alternas. Ej. : apio, perejil.

RESUMEN

El presente trabajo de graduación se elaboró integrando los conocimientos adquiridos durante el transcurso de la carrera de Ingeniería Química. Consiguiendo información valiosa para la extracción de concretos del palo de cera de arrayán (*Myrica cerifera L.*).

La técnica de extracción *Soxhlet* (lixiviación) se utilizó para separar el contenido de concreto del mesocarpo de arrayán de la almendra, con la ayuda de solventes orgánicos (hexano, etanol) y agua. El fruto es colocado dentro de un dedal de papel poroso de celulosa y situado en el extractor, el solvente condensado cae a un flujo de 5 a 6 gotas por segundo extrayendo continuamente. El licor lixiviado resultante se acumula por la acción del sifón extractor y se concentra en el matraz de destilación. El fruto es sometido a este procedimiento por un tiempo de 24 horas hasta el agotamiento.

Alternando los solventes se obtuvieron diferentes secuencias sucesivas y rendimientos. Se evaluó la diferencia significativa de los resultados obtenidos mediante un diseño experimental factorial totalmente al azar.

Los resultados demostraron que efectivamente existe diferencia en el rendimiento de extracción de concreto y endocarpo obtenido del fruto de arrayán (*Myrica cerifera* L.), siendo el lote 1 proveniente del bosque entre Sierra de las Minas y Chuacús, departamento del Progreso el que posee mayor rendimiento de extracción de concreto en relación al lote 2 proveniente de la finca de Los Cimientos, departamento de Baja Verapaz. Además se observó que independientemente del lote, el etanol presentó una mayor capacidad extractiva en relación al hexano y agua.

Todos los resultados obtenidos fueron evaluados utilizando el modelo estadístico de análisis de varianza mediante el uso de programa estadístico SAS. De los datos obtenidos se realizó un análisis de promedios de los tratamientos, y varianza para establecer si existen o no diferencias significativas en función de los factores lote, solvente y la interacción de ambos factores (lote-solvente), al 5% de nivel de significancia.

OBJETIVOS

- **General**

Evaluar el rendimiento de obtención de concretos que pueden obtenerse de frutos del palo de cera de arrayán (*Myrica cerifera L.*) de dos fuentes del área norcentral del país de Guatemala. (Bosque natural silvestre ubicado entre la Sierra de Chuacus y Sierra de las Minas y bosque natural silvestre de la finca de los Cimientos, ubicada en la aldea Matanzas, San Jerónimo, Baja Verapaz). Mediante la técnica de extracción *Soxhlet* con tres solventes (hexano, etanol y agua).

- **Específicos**

1. Determinar la secuencia adecuada de solventes para la máxima extracción de concreto de frutos del arrayán.
2. Realizar una comparación de los resultados obtenidos de rendimientos de concretos de frutos del arrayán.
3. Determinar el porcentaje de mesocarpo residual agotado y endocarpo al final de cada secuencia de extracciones.

HIPÓTESIS

Verdadera

Existen diferencias en el rendimiento de extracción de concreto, endocarpo y mesocarpo del fruto del palo de cera de arrayán proveniente de los bosques de Sierra de las Minas y Baja Verapaz de acuerdo a las secuencias alternativas de extracción de los solventes (hexano-etanol-agua). Y en el origen del fruto de arrayán recolectado.

$$\mu_0 \neq \mu_1 \neq \mu_2$$

Nula

No existen diferencias en el rendimiento de extracción de concreto, endocarpo y mesocarpo del fruto del palo de cera de arrayán proveniente de los bosques de Sierra de las Minas y Baja Verapaz de acuerdo a las secuencias alternativas de extracción empleada de los solventes (hexano-etanol-agua). Y en el origen del fruto de arrayán recolectado.

$$\mu_0 = \mu_1 = \mu_2$$

INTRODUCCIÓN

Las plantas son un recurso natural renovable múltiple para el hombre. Le proporcionan alimentos para su subsistencia, fibras textiles para vestirse y material para construir casas; curan o intoxican según sus propiedades.

En Guatemala las plantas son, pese a la deforestación, uno de los recursos naturales utilizados por la cultura indígena. Su uso se da tanto en medicina, por ejemplo: en gargarismos, pomadas, etc.; como en la industria: elaboración de velas, jabones, productos para pulir cuero, etc.

El palo de cera de arrayán (*Myrica cerifera L.*) se encuentra en varias regiones de Guatemala. Su importancia se debe a que actualmente el Proyecto Ecológico Quetzal, orienta a la recolección de cera cruda de arrayán, en la población rural, de la región nor-central de Guatemala. Además éste posee metabolitos secundarios que bien pueden ser aprovechados al igual que su cera, por la extracción con algún solvente.

El presente trabajo de graduación tuvo la intención de realizar una evaluación del rendimiento de concretos y por consiguiente de metabolitos secundarios* obtenidos por lixiviación utilizando técnica *Soxhlet* al alternar el orden de tres solventes (hexano, etanol y agua) y obtener en cada corrida el porcentaje de extracción de concreto para cada solvente y cada lote.

Con lo anterior se determinó la manera de obtener un máximo de aprovechamiento de concreto del arrayán con un orden secuencial de los solventes verificando si existe una diferencia entre las muestras de arrayán provenientes de la Sierra de las Minas y Baja Verapaz.

Los resultados que se obtuvieron son importantes ya que permiten extraer información del fruto del arrayán para el aprovechamiento de este arbusto silvestre y lograr un mayor rendimiento de sus partes (concreto-semilla) con fines científicos y tecnológicos, y también el desarrollo de una agroindustria del cultivo del fruto del arrayán.

1. MARCO TEORICO

1.1 Antecedentes

Se han realizado seis estudios de tesis dentro del enfoque de graduación, del fruto de arrayán (*Myrica cerífera L.*), las cuales han sido asesoradas por el Ing. César Alfonso García Guerra.

- a) “Evaluación preliminar de la cera extraída del árbol de Arrayán (*Myrica cerífera L.*)”. Realizado por el estudiante Héctor Estrada, en 1990.
- b) “Evaluación del proceso de blanqueo de la cera de arrayán (*Myrica cerífera L.*) en suspensión con hipoclorito de calcio ($\text{Ca}(\text{OCl})_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) a diferentes concentraciones y valores de pH”. Realizado por el estudiante Carlos Cardona Cabrera, en 1994.
- c) “Evaluación del proceso del blanqueo de la cera del fruto del árbol de arrayán (*Myrica cerífera lindeliana*), a $\text{pH} = 5$ y diferentes concentraciones de hipoclorito de calcio $\text{Ca}(\text{OCl})_2$ y tiempos de contacto”. Realizado por el estudiante Victor Monzón Valdez, en 1994.
- d) “Evaluación de la influencia de la temperatura y el tiempo de proceso en el blanqueo de la cera de arrayán (*Myrica cerífera L.*) a nivel de laboratorio, crudo fundido con hipoclorito de calcio dihidratado $\text{Ca}(\text{OCl})_2 \cdot \text{H}_2\text{O}_2$ ”. Realizado por el estudiante Gerson Pérez Cardoza, en 1994.

- e) “Evaluación de las propiedades fisicoquímicas de los concretos y cera refinada, obtenidos del fruto de arrayán (*Myrica cerífera L.*) mediante la extracción con solventes orgánicos (etanol y hexano) y agua. (Recolectados de los bosques naturales del área nor-central de Guatemala)”. Realizado por el estudiante Diego Omar Hernández Aguilar en octubre de 2003.

- f) “Identificación de familias de metabolitos secundarios en *Myrica cerífera*”. Siendo realizado por el estudiante de farmacia Ivo Santizo Rodas en febrero 2004.

También de la línea de investigación del Fondo Nacional de Ciencia y Tecnología (FONACYT), se realizó el proyecto No. 50-2000 denominado: Caracterización de las fracciones extractables contenidas en el fruto del palo de cera, palo de arrayán o palo de cera San Pascual (*Myrica cerífera L.*). Cuyo investigador principal es el Ing. César Alfonso García Guerra.

1.2 Las plantas

La ciencia fitoterapia (cura por las plantas) también ha hecho progresos. Antiguamente se sabía que ciertas hierbas servían para curar determinadas dolencias, pero no se sabía por qué. Hoy se explican los efectos por las causas.

Las virtudes de las plantas medicinales, se deben al contenido de metabolitos secundarios que éstas poseen. Estos metabolitos contienen principios activos* que son los responsables de las propiedades terapéuticas de las plantas.

La historia de la química abunda en intentos por separar sustancias puras de los vegetales. Entre ellos destacan el aislamiento de la sacarosa por Margraff en 1747 y la obtención por Scheele, entre 1769 y 1786, de los ácidos láctico, oxálico, málico, gálico y tartárico. En 1806, Serturmer señaló una etapa importante en la ciencia con la obtención del primer alcaloide: la morfina.

A partir de 1917, Robinsón empezó a estudiar la biogénesis de alcaloides, pigmentos vegetales y otros productos de las plantas, mientras que otros investigadores trataron de encontrar la relación entre las sustancias aisladas de los vegetales y su clasificación taxonómica*, sus condiciones de cultivo y otros factores externos. Se sabe que varios de los compuestos aislados, son productos de degradación o transposición que ocurren durante el aislamiento y se deben a la influencia de enzimas o agentes químicos.

1.2.1 Familia Bayberry

Se conforman de 150 géneros, de los que 74 especies están distribuidas en regiones tropicales y templadas. Existe referencia de su primer cultivo en 1699, el palo de cera de arrayán es un arbusto aromático, con hojas verdes de distribución alternada, dentadas, lobuladas con contenido de resina, sin estipulas*. Puede crecer de siete a ocho metros. Sus flores son pequeñas, monoicas y dioicas* con amentos* globulares u oblongos, flores solitarias en la bráctea, no posee periantes*, flor estaminífera, de 4 a 8 estambres, insertados en el receptáculo, con filamentos cortos distinguibles o muy poco unidos, flor con pistilo de una sola célula ovárica subtenida por 2 a 8 brácteas, óvulo solitario, ortóptero, estilo muy corto, los dos estigmas lineales, frutos o drupas pequeños, con exocarpo ceroso, semilla simple, endocarpo duro, cotiledón plano convexo.

Figura 1. **Detalles morfológicos del arrayán en el que se observan hoja, tallo, arbusto total detalle de la corteza, floración y frutos**



Fuente: FONACYT. **Caracterización del fruto de arrayán.** Pág. 3

El género *Myrica* L., cuenta con tres especies principales las cuales son: *Myrica cerífera*, *Myrica lindeliana* y *Myrica pringlei*. Su distinción se basa fundamentalmente en las hojas. La *Myrica cerífera*, es de hojas agudas acuminado, dentadas en forma sinuosa o subenteras, con hojas obtusas o muy obtusas. La *lindeliana* presenta hojas oblongasobloceadas, de 5 a 11 cm de longitud, conspícuamente dentadas o aserradas en toda su longitud. La *priinglei* presenta hojas ovaladas de 2 a 4 cm de longitud enteras o sinuosamente dentadas.

Las regiones en donde se han localizado mayores concentraciones de esta planta, han sido los departamentos de Alta y Baja Verapaz, Izabal, Zacapa, Chiquimula, Jalapa, Escuintla, Sacatepéquez, Chimaltenango, Quetzaltenango, Quiché y Huehuetenango.

Su cosecha depende la altitud de la región en donde se encuentra la planta. Para zonas altas se cosecha entre los meses de noviembre a enero, y para zonas bajas, de marzo a mayo.

Información complementaria del Palo de cera de arrayán: Abreviación MYRCER, sinónimos: **Gua-ut (kekchi)** que significa comida de pájaros, **Chac olol (Chiapas)**, Morella cerífera, Cerothismus pumilus, Cerothismus cerífera, Myrica carolinensis, Myrica pusilla, Myrica mexicana. Nombres comunes: Palo de Cera, Palo de Cera de San Pascual, Palo Cerero, Candleberry, Waxmyrtle, Bayberry.

Figura 2. **Detalle de la morfología de la flor del arrayán (Myrica cerífera L.)**



Fuente: FONACYT. **Caracterización del fruto de arrayán.** Pág. 4

1.3 Solventes

Un solvente es un líquido en cual se introduce una o más sustancias para constituir una fase homogénea: la solución. El solvente no es definido por su estructura química sino más bien por su estado físico, el estado líquido, y por su uso. Hay una infinita variedad de solventes: agua, compuestos orgánicos simples a la temperatura ambiente (alcoholes, ácidos e hidrocarburos, etc.). Éstos últimos los más tradicionales, pero los gases condensados a bajas presiones tales como el amoníaco o el dióxido de carbono, y muchas sales (por ejemplo, criolita líquida a más de 1000 °C) son también usados como solventes.

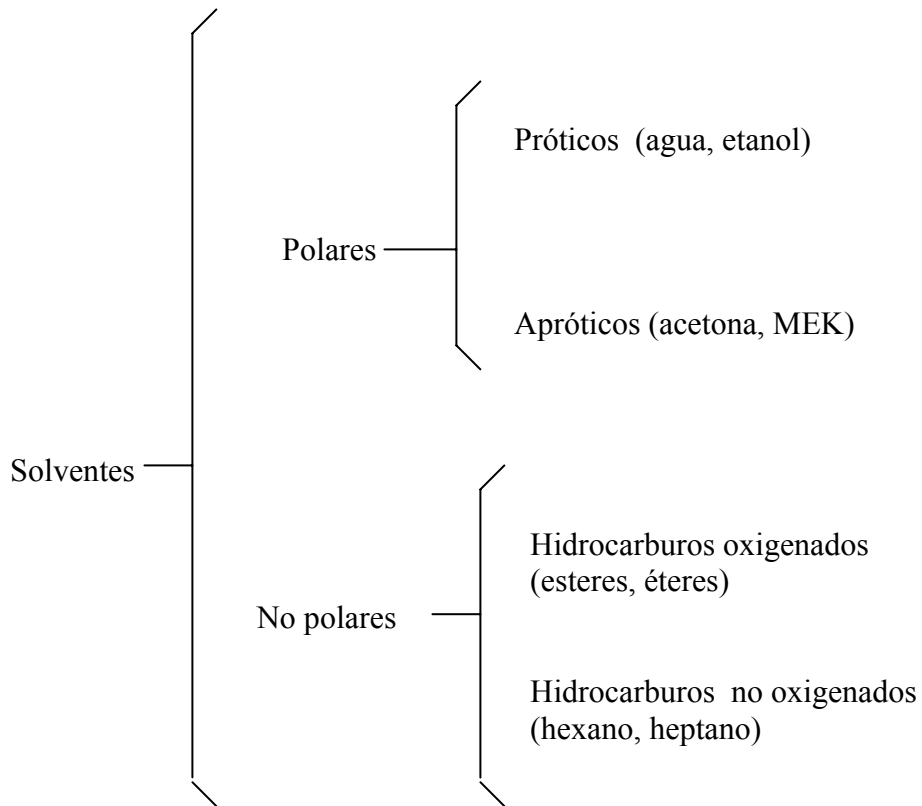
1.3.1 Clasificación de los solventes

La polaridad es una de las características más importantes de los solventes, ya que establece una diferencia en la carga eléctrica sobre varias porciones de una molécula. Ésta es la diferencia fundamental entre los solventes, ya que establece un punto a partir del cual pueden clasificarse. De lo anterior, los solventes pueden catalogarse de dos maneras: polares y no polares. Además pueden subdividirse en solventes polares próticos, polares apróticos, solventes no polares no oxigenados y no polares oxigenados.

Un solvente polar prótico es aquel que puede liberar un hidrógeno por ionización o bien es aquel que dona un protón, por ejemplo el agua. Caso contrario es el del solvente aprótico pues éste no libera ningún protón, ejemplo el n-propilacetato.

Así, un solvente no polar oxigenado, es aquel que contiene oxígeno en su estructura, pero éste no ayuda a la polaridad de la molécula, Ej. : éter metílico. Queda claro que un solvente no polar y que no es oxigenado son únicamente los formados por hidrocarburos. Ej. : hexano, heptano.

Figura 3. Esquema de clasificación de solventes



Los solventes polares poseen una mejor capacidad de solvatación que el resto de los solventes, en la industria son empleados para formar soluciones con resinas vinílicas, acrílicas, nitrocelulósicas, epóxicas, resinas con silicón y poliuretano. Su gran versatilidad las hace muy importantes, pero su alto costo hace que en muchas ocasiones se use una mezcla y no sólo un solvente para formar las soluciones.

1.3.2 Propiedades de los solventes

1.3.2.1 Volatilidad

Se refiere a la cantidad de presión de vapor mensurable en una sustancia, o bien a la concentración respectiva de un determinado componente en la fase líquida y en la fase gaseosa, la velocidad de evaporación generalmente es evaluada al ser comparada con otros como el acetato de butilo.

1.3.2.2 El grado de inflamabilidad

Es la temperatura a la cual el solvente emite suficiente vapor para formar una mezcla que puede explotar o bien inflamarse al ser puesta en contacto con una flama, superficie caliente, etc. Y tener contacto con el aire.

1.3.2.3 Riesgo de intoxicación en alimentos

Debido a su toxicidad, ciertos solventes son prohibidos en tintas para empaques de comida. Otros en cambio son tolerados, pero en cantidades limitadas. Su medida es expresada en miligramos por kilogramo de comida.

1.3.2.4 El peso molecular

El peso molecular de los solventes les permite mejores condiciones de movilidad y por lo tanto una mayor solvatación.

1.3.2.5 Olor

El solvente nunca es evaporado en su totalidad. Con la misma concentración, diferentes solventes poseen muy diferentes residuos olfativos.

1.3.3 La función del solvente

El papel del disolvente no es pequeño. Las moléculas del soluto no existen en solución como partículas desnudas; están solvatadas. Hay muchas moléculas de disolventes unidas por enlaces a cada partícula disuelta y es la formación de dichos enlaces la que proporciona la energía necesaria para que se rompan las fuerzas de atracción que mantienen unidas las partículas del soluto.

Dichas fuerzas de atracción o enlaces son las siguientes:

- a) Enlaces ion-ion: muestra la atracción entre las cargas opuestas de un catión y un anión.
- b) Enlaces dipolo-dipolo^{*}: atracción entre el extremo positivo de una molécula polar y el negativo de otra, también polar.
- c) Fuerzas de *Van der Waals*: es la atracción entre los extremos con cargas opuestas de dipolos momentáneos e inducidos en moléculas vecinas. Estas fuerzas actúan entre todas las moléculas, incluidas las no polares.
- d) Enlaces ion-dipolo: atracción de un ion positivo por el extremo negativo de las moléculas de un disolvente polar, y de un ion negativo por el extremo positivo.

Las características de la solubilidad de los solutos no iónicos dependen principalmente de su polaridad* y en particular de su capacidad para formar puentes de hidrógeno. La simple premisa que la estructura molecular determina el comportamiento químico y la que menciona que una sustancia disuelve a otra semejante, dan idea del porqué sustancias que son polares no son solubles en disolventes orgánicos

En realidad un buen solvente debe presentar el llamado poder de solvatación: o la capacidad de formar enlaces. El dicho poder no depende simplemente de un elevado momento dipolar, sino que también tiene que ver con la naturaleza de los enlaces químicos formados.

1.3.4 Efectos y características generales de los solventes industriales

1.3.4.1 Hidrocarburos alifáticos

Los hidrocarburos alifáticos* pueden ser saturados (parafinas) y no saturados (olefinas y alquinos). Los primeros poseen enlaces covalentes simples, lo cual les confiere bioquímicamente y químicamente cierta inercia y también son empleados como solventes del caucho natural. Las olefinas (alquenos) y los alquinos son relativamente inertes para el organismo. Sin embargo, son químicamente más reactivos que los hidrocarburos saturados. El problema primario con los alifáticos es la dermatitis y en algunos casos depresión del sistema nervioso central (S.N.C.).

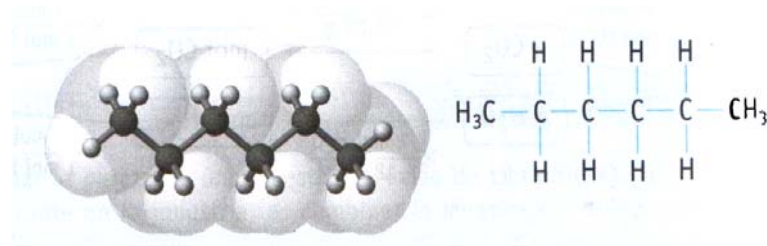
a) Toxicocinética*

- **Absorción:** los líquidos y gases de esta categoría tienen buena absorción por todas las vías. Las parafinas tienen absorción casi nula
- **Distribución:** difunden sobre todo al S.N.C. Sobre todo en la intoxicación aguda y si la exposición es crónica también al tejido adiposo. Puede presentarse fenómeno de redistribución.
- **Biotransformación:** en el hígado son convertidos en alcoholes secundarios o cetonas (más hidrosolubles), o puede fragmentarse la molécula.
- **Eliminación:** su nula hidrosolubilidad dificulta su excreción. Los metabolitos sólo se excretan por la orina, ya que su liposolubilidad favorece la reabsorción entero hepática.

b) Toxicodinámica*

Los alcanos de más de dos átomos de carbono producen impregnación del encéfalo alteración progresiva del nivel de conciencia hasta llegar al coma y paro respiratorio. Pueden presentarse poli neuropatías durante la exposición al hexano, también ocurren lesiones dérmicas por destrucción del manto ácido de la piel por el contacto de alcanos líquidos. Igualmente puede ocurrir hemólisis por alteración de la membrana eritrocitaria.

Figura 4. **Esquema de hidrocarburo alifático (hexano)**



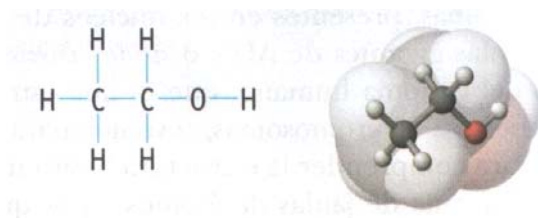
Fuente: John. Kotz. **Química**. Pág. 138

1.3.4.2 Alcoholes

Compuestos alquílicos con un grupo funcional hidroxilo. Constituyen una de las clases más importantes de solventes industriales. Los dos alcoholes industriales más importantes son el metanol y el etanol.

Estos alcoholes se absorben bien por todas las vías, aunque su absorción dérmica o mucosas difícilmente pueda dar intoxicaciones agudas. Sufren deshidrogenación por las enzimas: alcohol deshidrogenasa, MAOS y catalasas, transformándolos en formaldehído y luego en ácido fórmico. Su altísima hidrosolubilidad, como su volatilidad hacen que sean eliminados fácilmente tanto por vía renal como por vía respiratoria.

Figura 5. **Esquema general de un alcohol**



Fuente: John. Kotz. **Química**. Pág. 82

1.3.4.3 El agua

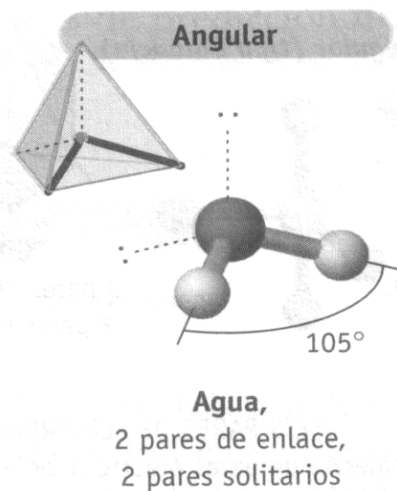
El agua es una sustancia tan común en la Tierra que con frecuencia se menosprecia su naturaleza única. El agua participa en todos los procesos vitales. Es un magnífico disolvente para muchos compuestos iónicos, como para otras sustancias que son capaces de formar enlaces de hidrógeno con el agua. Ej.: alcoholes.

El agua tiene un calor específico elevado ($4.184 \text{ J/g}^{\circ}\text{C}$). La razón de ello es que para elevar la temperatura del agua (es decir, para aumentar la energía cinética promedio de las moléculas), primero se deben romper muchos enlaces de hidrógeno intermoleculares. Por ello, puede absorber una gran cantidad de calor mientras que su temperatura aumenta ligeramente. De la misma manera, el agua puede proporcionar mucho calor con una ligera disminución de su temperatura. Por esta razón, las enormes cantidades de agua que se encuentran en los lagos y océanos pueden moderar de manera eficaz el clima de las zonas circundantes al absorber calor en verano y liberar calor en invierno, con pequeños cambios de temperatura.

La propiedad más sobresaliente del agua es que su forma sólida es menos densa que su forma líquida: el hielo flota en la superficie del agua líquida. Mientras que la densidad de casi todas las demás sustancias es mayor en el estado sólido que en el estado líquido.

La forma de comprender por qué el agua es distinta, es la de examinar su estructura electrónica, en el átomo de oxígeno hay dos pares de electrones no enlazantes, o pares libres:

Figura 6. Estructura electrónica del agua



Fuente: John. Kotz. **Química y reactividad química**. Pág. 361

Aunque muchos compuestos pueden formar enlaces de hidrógeno intermoleculares, la diferencia entre el agua y otras moléculas polares, como NH_3 y HF , es que cada átomo de oxígeno puede formar dos enlaces de hidrógeno, el mismo número de los pares libres de electrones del átomo de oxígeno. Así, las moléculas de agua se enlazan en una extensa red tridimensional en la que cada átomo de oxígeno forma casi un tetraedro con cuatro átomos de hidrógeno, dos unidos por enlaces covalentes y dos por enlaces de hidrógeno. Esta igualdad en el número de átomos de hidrógeno y de pares libres no es característica del NH_3 , ni del HF o, para ser más preciso, de ninguna otra molécula que sea capaz de formar enlaces de hidrógeno. Por consiguiente, esas moléculas pueden formar anillos o cadenas, pero no estructuras tridimensionales.

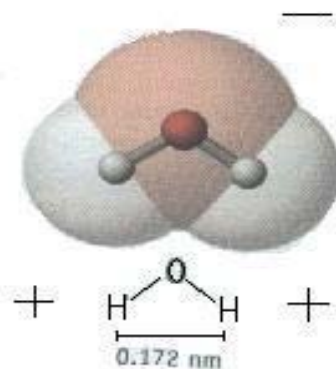
1.3.5 Constante dieléctrica de los solventes

Un dieléctrico es un material no conductor, como el caucho, el vidrio o el papel encerado. Cuando un material dieléctrico se inserta entre las placas de un capacitor aumenta la capacitancia* en un factor adimensional κ , conocido como la constante dieléctrica.

En cuanto a los solventes, la relación de la constante dieléctrica muestra que tanto una sustancia está polarizada y la capacidad de asociación del solvente a otras moléculas.

En el primer caso a escala atómica, se afirma que las moléculas están polarizadas cuando hay una separación entre el “centro de gravedad” de las cargas negativas y la correspondiente a las cargas positivas de la molécula. En algunas moléculas como el agua, esta condición siempre está presente. Esto puede entenderse al examinar la geometría de la molécula del agua. Ésta se encuentra arreglada de modo que el átomo de oxígeno está ligado a los átomos de hidrógeno con un ángulo de 105° entre los dos enlaces (ver figura 7). El centro de la carga negativa está cerca del átomo de oxígeno, y el centro de la carga positiva está en un punto a la mitad de la línea que une los átomos de hidrógeno (punto medio en el diagrama). Los materiales compuestos de moléculas que están polarizadas permanentemente de este modo tienen constantes dieléctricas elevadas. Por ejemplo, la constante dieléctrica del agua es de ($\kappa = 78.3$)

Figura 7. Polarización permanente de la molécula de agua



Fuente: John. Kotz. **Química y reactividad química**. Pág. 52

Si las moléculas del dieléctrico no poseen un momento de dipolo permanente, se les conoce como moléculas no polares. En este caso, un campo eléctrico externo produce cierta separación de carga y un momento de dipolo inducido.

La capacidad de asociación puede expresarse en términos de la constante dieléctrica. Cuanto más polar sea un solvente, mayor será su respectiva constante dieléctrica. Compuestos ionizables y/o altamente polares se disuelven en solventes de elevada constante dieléctrica; al igual que compuestos apolares se disolverán en solventes de baja constante dieléctrica. Los hidrocarburos oxigenados y no oxigenados quedan también dentro de esta clasificación y su solubilidad dependerá de su constante.

En algunos casos la capacidad de una mezcla de solventes de inducir un momento dipolar puede ser calculada. La constante dieléctrica del sistema depende de la constante de cada uno de ellos y de su respectivo porcentaje en la mezcla. Siendo así, se puede calcular la constante dieléctrica (κ) del sistema a través de la fórmula:

$$(\kappa) = \frac{(\kappa_A \times \%A + \kappa_B \times \%B + \dots + \kappa_n \times \%n)}{100}$$

Figura 8. Cuadro con clasificación de solventes con su respectiva constante dieléctrica

	División	Sub-división	Solvente	Cte. Dieléctrica a 25° C
Solventes	Polares	Próticos	Agua	78,3
			Etanol	24,3
		Apróticos	Acetona	20,7
			Acetato de etilo	6,02
	No Polares	Hidrocarburos oxigenados	Éter etílico	4,34
		Hidrocarburos no oxigenados	Hexano	1,89

1.4 Extracción de sólido con líquidos (lixiviación)

El intercambio de materia entre una fase sólida y una líquida interviene en numerosos procesos de interés químico-técnico. La disolución de materias sólidas, con o sin transformaciones químicas, constituye uno de los primeros pasos en un buen número de industrias (procesos metalúrgicos por vía húmeda, nítrico a partir de nitratos, caustificación de sosa, etc.), en las que se trata de utilizar un componente valiosos presente entre los sólidos.

En determinados procesos y operaciones el intercambio de materia tiene lugar de forma inversa: por paso de la fase líquida a la sólida (cristalización, tratamientos decolorantes, adsorción, cromatografía), o mixta (intercambio iónico).

En el caso de la lixiviación, se trata de la disolución en un disolvente apropiado de un componente o grupo de componentes que forman parte de un sólido, el cual contiene otros componentes insolubles. Existen, por tanto, dos fases: la sólida y la disolución. Las variables son temperatura, presión y concentración de soluto en la disolución. Todas ellas variables independientes.

Aplicaciones importantes de la extracción de sólidos con líquidos, son la extracción de aceites y grasas animales y vegetales, la lixiviación de minerales, el lavado de precipitados, la obtención de extractos de materias vegetales o animales, el proceso de disolución en obtención de azúcar de remolacha.

1.4.1 Variables de la extracción sólido-líquido

Como en el estudio de otras muchas operaciones, hay que considerar aquí el equilibrio que se tiende a alcanzar durante la operación y la velocidad con que se alcanza, en función de los diversos factores que pueden afectar a uno y a otra. El conocimiento que se posee de la interfase líquido-sólido es escaso y por ello el mecanismo primario del cambio de fase de un soluto presente inicialmente en forma sólida, de la cual depende como es lógico, la cinética del proceso, permanece oscuro, haciendo difícil el desarrollo de una teoría general para esta operación.

Los factores que influyen en el equilibrio son:

- a. La naturaleza del soluto.
- b. La naturaleza del disolvente.
- c. La presión.

d. La temperatura.

En cambio, en la cinética del proceso, influyen además de los anteriores, la forma en que está dividido los sólidos, la presencia de restos de organización celular cuando se trata de tejidos animales o vegetales y las características propias del aparato y sistema de extracción que se emplee.

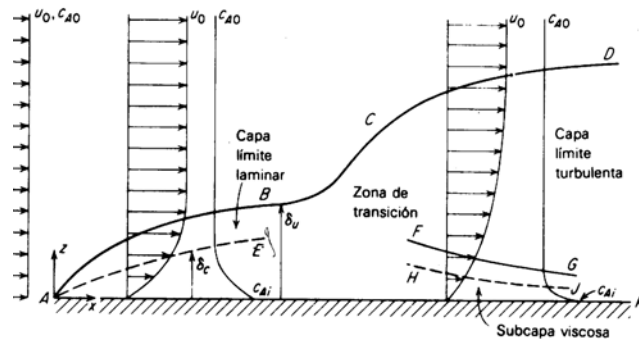
1.4.2 Flujo a través de sólidos: capas límite

En el caso cuando una de las fases es un sólido, la velocidad paralela a la superficie en la interfase debe ser cero.

En la figura 9, un fluido con una velocidad uniforme u_0 y una concentración uniforme de soluto c_{A0} , la cual puede ser cero, se encuentra con una superficie sólida lisa AK. Puesto que la velocidad u_x es cero en la superficie y aumento a u_0 a cierta distancia arriba de la placa, la curva ABCD separa la región de velocidad u_0 de la región de menor velocidad, llamada capa límite. La capa limite puede caracterizarse por un flujo laminar o turbulento.

Si la transferencia de masa se efectúa desde la superficie hasta el fluido, tal como sucede cuando un sólido se sublima en un gas o cuando un sólido se disuelve en un líquido, la concentración del soluto en el fluido es c_{Ai} , en la superficie del sólido y es mayor que c_{A0} . Va a existir una curva AE y también una HJ, que separa regiones de concentración uniforme c_{A0} de regiones con valores más elevados de c_A , que corresponden a una capa límite de concentración.

Figura 9. Esquema de una transferencia sólido-líquido



Fuente: Robert Treybal. **Operaciones de transferencia de masa.** Pág. 73

En el caso especial en que la velocidad es igual a cero y no hay reacción química, se utiliza la segunda ley de Fick

$$D_{AB} \left\langle \frac{d^2 c_A}{dx^2} + \frac{d^2 c_A}{dy^2} + \frac{d^2 c_A}{dz^2} \right\rangle = \frac{dc_A}{dt} \quad (1)$$

D_{AB} difusividad del soluto A en el disolvente B (distancia/ tiempo)

El balance de cantidad de movimiento o la ecuación de movimiento (Ecuación Navier-Stokes) para la dirección x se vuelve:

$$\left\langle \frac{d^2 u_x}{dx^2} + \frac{d^2 u_x}{dz^2} \right\rangle \nu = u_x \frac{du_x}{dx} + u_z \frac{du_x}{dz} \quad (2)$$

Si existe transferencia de calor entre el fluido y el sólido un balance general de energía proporciona:

$$\left\langle \frac{d^2 u_x}{dx^2} + \frac{d^2 u_x}{dz^2} \right\rangle \alpha = u_x \frac{du_x}{dx} + u_z \frac{du_x}{dz} \quad (3)$$

Estas ecuaciones deben de ser resueltas junto con la ecuación de continuidad de forma simultánea.

$$\frac{du_x}{dx} + \frac{du_y}{dy} + \frac{du_z}{dz} = 0 \quad (4)$$

Todas las ecuaciones tienen la misma forma, si u_x , c_A y t y las tres difusividades de cantidad de movimiento ν , masa D_{AB} y calor α se reemplazan entre sí en los lugares apropiados en las ecuaciones.

Al resolver dichas ecuaciones, generalmente se sustituyen formas adimensionales de las variables

$$\frac{u_y - (u_{x,z=0} = 0)}{u_o - (u_{x,z=0} = 0)} \quad \frac{c_A - c_{A,i}}{c_{A0} - c_{A,i}} \quad \text{y} \quad \frac{t - t_i}{t_o - t_i}$$

Entonces las condiciones de frontera se vuelven idénticas en $z = 0$ las tres variables son 0 y $z = \infty$, las tres son iguales a la unidad.

En consecuencia la forma de las soluciones, que proporcionan perfiles adimensionales de velocidad, concentración y temperatura, son iguales. Las pendientes iniciales de los perfiles de concentración, temperatura y velocidad proporcionan los medios para calcular los respectivos coeficientes de transferencia locales

$$N_A = -D_{AB} \left\langle \frac{dc_A}{dz} \right\rangle_{z=0} = k_L (c_{A,i} - c_{A0}) \quad (5)$$

$$q = -\alpha \left\langle \frac{d(tCp_A \rho)}{dz} \right\rangle_{z=0} = h (t_i - t_0) \quad (6)$$

$$g_c t = -v \left\langle \frac{d(u_x \rho)}{dz} \right\rangle_{z=0} = \frac{f u_0}{2} (\rho u_0 - 0) \quad (7)$$

En donde k_L , h y $(f u_0/2)$ son los coeficientes de transferencia de masa locales para masa, calor y cantidad de movimiento, el término t se refiere a la fuerza cortante sobre el plano y f es el factor fricción adimensional.

En las regiones en que existe una capa límite turbulento y una subcapa viscosa, los cálculos para los coeficientes de transferencia de masa, dependen de la expresión que se escoja para la variación de las difusividades de remolino con la distancia. Alternativamente, se confía bastante en las mediciones experimentales.

2. METODOLOGÍA

2.1 Localización

La parte experimental del proyecto se realizará en los laboratorios de química del Área de Química de la Escuela de Ingeniería Química y la Sección de Química Industrial, del Centro de Investigación de Ingeniería –CII- Edificio T-5.

2.2 Recursos humanos

Investigador:	Gustavo Adolfo Recinos Mendoza
Asesor:	Ing. Químico Cesar Alfonso García Guerra
Co-asesora:	Inga. Química Blanca Luz Chávez Quiñónez

2.3 Metodología experimental

2.3.1 Obtención del material

El material que se utilizó en el proyecto para la evaluación del rendimiento de extracción de concreto del palo de arrayán, se seleccionó basado en recolectar fruto de arrayán de la época de maduración de fruto en Guatemala, que corresponde a los meses comprendidos de agosto 2001 a enero 2002. Las regiones que se escogieron para recolectar fueron en base a la disponibilidad y su ubicación a distintas alturas sobre el nivel del mar.

Dicha cosecha se realizó en el ámbito cooperativo, entre las familias del Proyecto ecológico Quetzal. La cosecha se conservó por secado y se clasificó separándola de materiales extraños (palitos, hojas, tierra, etc.) a fin de obtener material idóneo para el estudio.

Descripción de las regiones en donde se tomo el material a utilizar:

a) Lote 1

Bosque natural silvestre, ubicado entre la Sierra de Chuacús y Sierra de las Minas.

- Coordenadas de muestreo: longitud de 90°07', latitud 14°55', altitud 2000-2499 ms-nm.
- Génesis del suelo: suelos desarrollados sobre esquistos a elevaciones medianas.
- Zona de vida vegetal subtropical muy húmeda y montano bajo húmedo.
- Climatología: carácter del clima semi-cálido; variación de la temperatura con invierno benigno y encinos, distribución de la lluvia sin estación seca bien definida .

b) Lote 2

Bosque natural silvestre de la finca de Los cimientos, ubicada en la aldea Matanzas, San Jerónimo, Baja Verapaz, desvío en Km 145 de la carretera a Alta Verapaz.

- Coordenadas de muestreo: longitud de $90^{\circ}15'$, latitud $15^{\circ}07'$, altitud 1730 ms-nm.
- Zonas de vida vegetal: subtropical muy húmeda y montano bajo húmedo.
- Climatología: carácter del clima semi-cálido, variación de la temperatura con invierno benigno; humedad semiseca, con vegetación natural característico de pastizales; distribución de lluvia sin estación definida.

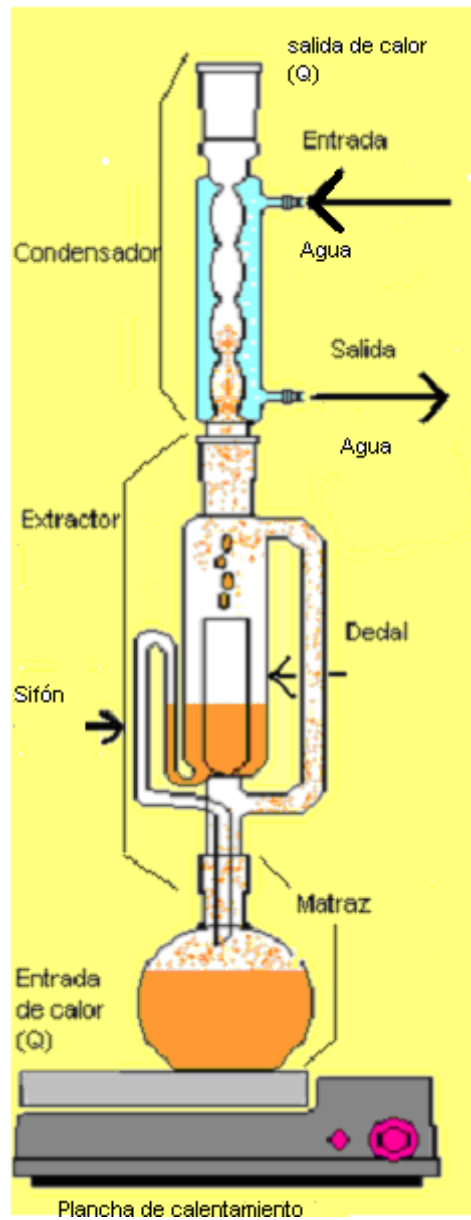
2.4 Método Soxhlet

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

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

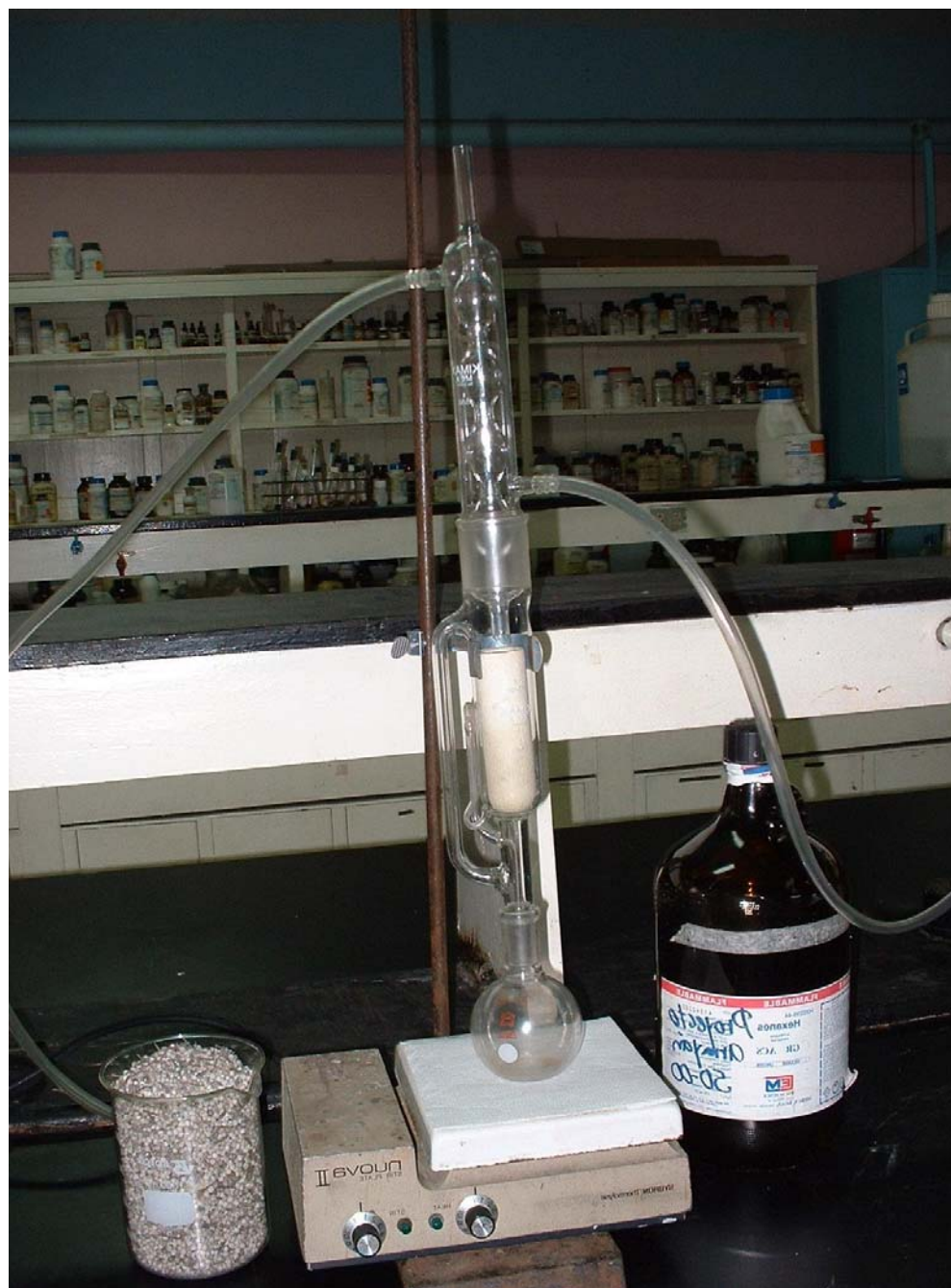
El procedimiento básico consiste en llenar un dedal poroso de celulosa con una muestra sólida del material, al cual el solvente condensado extraerá continuamente componentes afines o solubles a este.

2.4.1 Figura 10. Diagrama de flujo de operación del *Soxhlet*



Fuente: Guía de extracción *soxhlet* para principiantes. Pág. 2

Figura 11. Equipo de extracción Soxhlet



2.4.2 Partes del aparato *Soxhlet*

2.4.2.1 Condensador

Esta sección del aparato *Soxhlet* es la que permite que el flujo de solvente en estado gaseoso a temperatura de ebullición se condense por intercambio de calor con el agua que circula en la sección axial y así entre en contacto, el solvente condensado a reflujo, con el sólido proveniente del fruto de arrayán colocado en el dedal poroso de celulosa ubicado en la sección de extracción, para que se lleve a cabo la lixiviación (extracción sólido-líquido) en estado no estacionario.

La forma del condensador en la sección interna donde circula el solvente gaseoso y se condensa (ver diagrama de flujo, figura 10.) está diseñado con secciones de diámetro variado alterno cuya función es: la variación del diámetro fluctúa la velocidad del gas y permite que el contacto con la superficie de vidrio de la zona de enfriamiento condense el solvente y éste descienda como película originando el reflujo que cae en forma de gotas a flujo uniforme, sobre el dedal poroso de celulosa que contiene el sólido a lixiviar (fruto del arrayán).

El objetivo de este reflujo sobre el fruto es debido a que la transferencia de masa se promueve por un diferencial de concentración según la ley de Fick (ver ecuación No.8), en este caso del solvente al de los solutos solubles contenidos en el fruto. Esta diferencia es mayor en un solvente puro, que en uno con una cierta cantidad de soluto disuelto, es claro que la difusividad* de las moléculas de soluto soluble contenidas en el sólido al solvente, va ser mayor en el primer caso que en el segundo, es decir, con el solvente fresco, por lo tanto se tendrá un mayor rendimiento de licor lixiviado.

$$N_A = -D_{AB} \left\langle \frac{dc_A}{dz} \right\rangle \quad (8)$$

En donde:

N_A = Flujo del componente A. (moles/(tiempo)(área))

D_{AB} = Difusividad del componente A al solvente utilizado B. (distancia/ tiempo)

Otro factor importante en esta parte del aparato *Soxhlet* es la temperatura, aunque en esta etapa se elimina el calor de vaporización añadido en el matraz, la temperatura que se alcanza es la de ebullición del solvente a la presión de la atmósfera (640 mmHg). Esta temperatura que corresponde a la más alta que puede alcanzar un fluido en su fase líquida, es tal que al realizar la lixiviación, se desea tenga la temperatura más elevada posible, que permita una creciente solubilidad de los solutos en el disolvente seleccionado, debido a mayores difusividades por el aumento del movimiento molecular (energía cinética).

También a temperaturas elevadas la viscosidad del líquido es menor, incrementando la rapidez de lixiviación y favoreciendo la difusividad. Esta última relación (viscosidad-difusividad) puede comprenderse más fácilmente con el número de *Schmidt*:

$$\frac{Sc}{D_{AB}\rho_L} = \mu_L \quad (9)$$

En donde la viscosidad del líquido (μ_L) y la densidad del líquido (ρ_L) se encuentran a temperatura de condensación a la presión de trabajo.

En el número *Schmidt* puede apreciarse que la viscosidad es inversamente proporcional a la difusividad, esto concuerda debido a que en viscosidades más altas las moléculas de disolvente al soluto tardarán más tiempo en difundirse, un solvente que fluye de manera lenta tiene una alta viscosidad y tarda más en difundirse en todo el sólido (en este caso dentro del fruto del arrayán).

Figura 12. **Condensador Soxhlet**



2.4.2.2 Extractor

En esta parte del aparato *Soxhlet* se encuentra el fruto del arrayán, contenido dentro de un recipiente análogo al de un tanque de percolación. Las partículas sólidas por lixiviar descansan sobre un fondo falso, que consiste en una rejilla de tiras de madera colocadas en forma paralela unas con respecto a otras y lo suficientemente cercanas para sostener el sólido. En el aparato *Soxhlet* esta parte es representada por el dedal de papel poroso de celulosa, en el que se realiza la operación de lixiviación por semilotes (estado no estacionario) y en la que se manejará la técnica de goteo del líquido sobre el sólido.

El dedal de papel poroso está hecho de celulosa porque la orientación de los enlaces, los anillos de glucosa en la molécula de celulosa están ordenados linealmente. Así se produce una molécula larga y rígida. La ausencia de cadenas laterales permite que las moléculas lineales se alineen unas junto a otras. Formando series de fibras rígidas y alargadas, ideales para construir paredes mecánicamente fuertes y con excelente retentiva.

Existen diversos tamaños de dedales de papel poroso de celulosa para la extracción *Soxhlet*. El tamaño a seleccionarse debe ser de acuerdo a la capacidad correcta del extractor. El dedal poroso de celulosa debe estar de 5-10 mm del nivel de la parte más alta del tubo sifón y entrar con cierta facilidad al extractor. El dedal está fabricado para retener partículas hasta 10 micras de espesor. Los dedales que se utilizarán en la práctica serán de 33 mm de diámetro interior y 94 mm de longitud.

Figura 13. **Dedales de papel poroso de celulosa**



Fuente: Whatman. **Dedales de extracción para soxhlet** Pág. 1

El dedal poroso de celulosa funciona como un filtro permitiendo el paso únicamente de la disolución y no de las partículas diminutas de fruto de arrayán que no hayan podido ser disueltas y que al sifonar el solvente concentrado, sean arrastradas e impidan el paso de la solución de lixiviación al matraz.

El tamaño así como la forma en que se conservará el fruto de arrayán también es importante. El tamaño del fruto, en este caso de 4 a 6 mm en promedio es en donde el disolvente debe canalizarse a través de los frutos penetrando y extrayendo los solutos lixivados y difundiendo al exterior por acción del sifón, antes de poder lograr una saturación completa. Por lo tanto, el tamaño y la uniformidad de los sólidos acelerará bastante la acción de lixiviación, porque las porciones solubles son entonces más accesibles al disolvente.

Figura 14. **Detalle de la morfología del fruto del arrayán (*Myrica cerifera* L.)**



Fuente: FONACYT. **Caracterización del fruto de arrayán.** Pág. 5

Al implantar el trabajo de extracción sólido-líquido a una escala mayor (planta piloto o una planta industrial) la calidad del fruto del arrayán y el tamaño, que no cambia, al cual se va lixiviar, tendrán que estar sujetos a una evaluación experimental para identificar el número de etapas en las que el rendimiento sea rentable. Lo anterior tendría que estar sujeto a estudios posteriores.

La razón de la conservación del fruto de arrayán por secado para su posterior extracción se debe a que los cuerpos vegetales tienen una estructura celular, los productos naturales que se van a lixiviar a partir de estos materiales se encuentran generalmente dentro de las células. En el caso de muchos productos, recuperados a partir de raíces, tallos, frutos y hojas vegetales, el material vegetal con frecuencia se seca antes del tratamiento, a manera de favorecer la ruptura de paredes celulares y la liberación del soluto mediante la acción directa del disolvente y la inmiscibilidad del agua ante solventes no polares que reducen el efecto de contacto.

La forma en que se lleva a cabo la extracción es debido a la penetración del solvente en la célula en la que se induce a un momento dipolar en las moléculas de los principios activos que van a ser extraídos. De esta manera las sustancias extraíbles se disuelven en las moléculas del solvente. La capacidad de disolución puede entonces expresarse en términos de la constante dieléctrica. Cuanto más polar sea un solvente mayor será su respectiva constante dieléctrica. Compuestos ionizables y/o altamente polares se disuelven en solventes de elevada constante dieléctrica; al igual que compuestos no polares se disolverán en solventes de baja constante dieléctrica.

Lo anterior da pauta a que con una determinada secuencia extractiva de solventes con diferentes constantes dieléctricas puedan no sólo obtenerse distintos solutos (metabolitos secundarios) extraídos en el disolvente. Además podrán apreciarse las diferencias de rendimientos, debidos a la capacidad de disolución del disolvente que es el objetivo principal de este estudio.

En la parte del extractor también se encuentra el tubo de sifón, este es el encargado de retirar el licor de lixiviado resultante por gravedad al matraz. Así una vez que se ha llegado al nivel necesario en el que se encuentra totalmente sumergido el fruto de arrayán, y se alcanza la parte curva superior del tubo (ver diagrama flujo, figura 10) esto impulsa el flujo en la sección de extracción hacia el matraz inferior, con el fin de comenzar una nueva etapa de lixiviación con solvente totalmente fresco.

Cada etapa en el aparato *Soxhlet* comienza desde que las primeras gotas de solvente comienzan a caer dentro del dedal poroso de celulosa conteniendo el fruto de arrayán hasta que el licor lixiviado resultante llena el dedal y es evacuado por el tubo de sifón. Esta operación se repetirá hasta el agotamiento completo del material en un tiempo de 24 horas (mínimo recomendable). Debe procurarse que en el enésimo ciclo no se observe rastro de coloración alguna.

El tiempo de residencia, tiempo en el cual se realiza un ciclo o una etapa de extracción en el *Soxhlet*, es de 8 minutos. En un día se realizan 180 ciclos de extracción. El realizar la lixiviación hasta el agotamiento a nivel laboratorio compensa la falta de agitación que debe darse a los sólidos lixiviados para mejorar su contacto con el disolvente y la cinética en la disolución de los solutos. La agitación del sólido a lixiviar reduce bastante el número de etapas lo que es de beneficio en el momento de trabajar en una planta piloto o industrial.

En el ámbito de una planta cada etapa puede considerarse como la de un tanque lleno con sólido y un lote de disolvente, lo suficientemente grande para sumergir el sólido, y éste se puede agitar en el tanque y dejar que toda la masa se remoje durante cierto período. Entonces, el líquido puede drenarse del sólido a través del fondo falso del tanque. Toda esta operación se representaría en el caso de la planta piloto de extracción de la facultad de ingeniería la Universidad de San Carlos de Guatemala (CII/USAC), por el uso de la marmita.

La marmita está rodeada por una doble chaqueta, en su parte interna se tendría el fruto del arrayán inundado con el solvente seleccionado, mientras que en la parte exterior recorrería vapor. En la marmita se lleva a cabo la lixiviación, el solvente disuelve a los solutos solubles del fruto de arrayán hasta un estado estacionario al equilibrio. El licor lixiviado resultante se envía por una bomba a un filtro y a un concentrador con una torre de destilación, la que se encarga de separar los principios activos del lixiviado, con excepción de los aceites esenciales. El solvente sale de la parte de arriba de la torre es enviado a un condensador en donde se almacena y puede volverse a utilizar (reflujo) la parte de debajo de la torre (concentrador), concentra los principios activos.

Figura 15. **Marmita de la planta piloto de extracción (CII/USAC)**



La factibilidad de hacer el proyecto a una mayor escala representaría para un estudio posterior, un análisis económico en cuanto a gasto de combustible y equipo, número de etapas que deberían de hacerse para obtener una extracción total, consumo de solvente y la eficiencia por cada una de ellas. Esto con el fin de hacer un proyecto rentable y en el que se beneficien las comunidades artesanales que se dedican a la extracción de cera cruda del palo de arrayán pasando a una escala industrial.

En un trabajo de extracción mayor (planta) resulta significativo la retención del solvente después del drenado, éste representa el solvente que permanece en los huecos y pequeños ángulos entre las partículas como fajas, mantenidas en su lugar por la tensión superficial. Este solvente es de significancia porque en grandes cantidades éste representa un gasto extra para su reposición, y siendo los solventes caros, posee importancia el tratar de recuperarlos.

La siguiente ecuación resuelve este problema:

$$S_{pr} = \frac{(Z - Z_D)s_0}{Z} + \frac{Z_D}{Z} \quad (10)$$

En donde:

S_{pr} = saturación residual promedio

Z = profundidad del lecho

Z_D = altura en donde el valor de s es el promedio entre el rango desde s_0 a 1

s_0 = Valor que va desde el solvente en los huecos y pequeños ángulos hasta el líquido que está retenido en los espacios vacíos y los llena completamente $s = 1$.

Un gran número de mediciones de Z_D en gran variedad de condiciones muestra que, aproximadamente:

$$Z_D = \frac{0.275 (g_c/g)}{(K/g)^{0.5} (\rho_L/\sigma)} \quad (11)$$

En donde K es la permeabilidad* del lecho, ρ_L es la densidad del líquido y σ la tensión superficial del líquido. El valor s_0 depende del grupo $(K\rho_L/g\sigma)(g/g_c)$ llamado número capilar, como sigue:

$$S_o = \begin{cases} 0.075 & \frac{K\rho_L}{g\sigma} \frac{g}{g_c} < 0.02 \\ \frac{0.0018}{(K\rho_L/g\sigma) (g/g_c)} \frac{K\rho_L}{g\sigma} \frac{g}{g_c} & \frac{K\rho_L}{g\sigma} \frac{g}{g_c} > 0.02 \end{cases}$$

Para el fruto de arrayán la saturación residual depende de la permeabilidad, este valor que no ha sido calculado, puede obtenerse a través de la ecuación No.12 después de la medición experimental de la caída de presión para el flujo laminar a través del lecho.

$$G = \frac{K\rho_L\Delta p}{Z\mu_L} \frac{g}{g_c} \quad (12)$$

En donde G = Flujo, μ_L = viscosidad de líquido y Δp = caída de presión

Figura 16. Fruto de arrayán y dedales de papel poroso de celulosa



2.4.2.3 Matraz de destilación

La función del matraz es la de disponer de una cantidad adecuada de solvente fresco para proporcionar el flujo continuo hacia el condensador y servir de recipiente de almacenamiento del licor lixiviado. La cantidad de solvente que debe estar en el matraz debe ser equivalente a 3 veces el volumen máximo con que se llena la sección del extractor hasta el tubo sifón.

En esta parte el calor que se agrega para vaporizar el solvente que luego se condensará y pasará a realizar la lixiviación, es proporcionado por la plancha de calentamiento.

Al realizar la lixiviación las masas de soluto se disuelven en el disolvente lo que hace que el licor aumente su densidad, pues se tiene soluto incorporado. Los metabolitos secundarios, se caracterizan por grandes pesos moleculares y puntos de ebullición altos, una mayor masa indica más moléculas y más posibilidades de formar enlaces. De esta manera al mantener la temperatura de evaporación del disolvente seleccionado, únicamente se evaporará el solvente y no los solutos que hayan sido extraídos por él, a excepción de los aceites esenciales los que se evaporan a la presión atmosférica.

Con cada ciclo de licor lixiviado proveniente del extractor los principios activos se acumularan en el matraz, al llegar al agotamiento completo del material por el solvente (24 horas recomendado) el matraz con el licor lixiviado se retira y se lleva a la unidad de roto-evaporación. Esta unidad, separa el solvente de los solutos disueltos manteniendo la temperatura de ebullición constante del solvente en el matraz por medio de baño maría.

Figura 17. Matraz de destilación con su plancha de calentamiento



Figura 18. **Batería con 2 equipos Soxhlet armados en donde se realizaron las extracciones**



2.4.3 Operación del equipo Soxhlet

Para una extracción *soxhlet*, el solvente se coloca en el matraz de calentamiento y la muestra seca en su portadetal de papel de celulosa, se ubica en la parte superior del matraz, en el sitio indicado para la extracción. Si la muestra contiene más de 10% de humedad, se debe secar hasta peso constante a 95 - 100°C bajo presión de 100 mm de Hg alrededor de 5 horas. Se adopta el condensador (reflujo), y se hace circular el agua y el matraz previamente tarado, se aumenta la temperatura con una plancha de calentamiento. Cuando el solvente se evapora, se condensa y se cae en el dedal donde está la muestra, haciendo contacto con ella por un periodo que oscila entre 5 y 10 minutos. Cuando el sitio donde se encuentra la muestra, se llena de solvente, ocurre el sifón y todo el solvente con el extracto baja al balón o matraz y así se repite varias veces este procedimiento hasta que la muestra haya quedado completamente agotada. El método lleva un tiempo 24 a 36 horas aproximadamente. El solvente condensado debe caer a una velocidad de 5 ó 6 gotas por segundo (aproximadamente 4 horas) o por 16 horas a una velocidad de 2 ó 3 gotas/segundo.

Al terminar, el matraz en donde se recoge el licor lixiviado se pone en una unidad de roto-evaporación, el matraz se sumerge en un baño maría y se calienta mientras gira, así la solución tiene contacto con el agua caliente quien le transfiere calor y evapora el solvente, como los principios activos poseen puntos de ebullición más altos, se concentran en el matraz, la unidad de roto-evaporación posee otro matraz en donde se recoge el solvente ya separado por destilación.

Figura 19. **Unidad de rota-evaporación utilizada para separar el concreto del solvente utilizado para la extracción *Soxhlet***



2.5 Reactivos

Agua desmineralizada salvavidas

Alcohol etílico (etanol, $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}$)

Lote T-32C56

Absoluto anhidro desnaturalizado

Peso molecular: 46.06 g/mol

Composición: C: 52.1%, H:13.16%, O:34.74%

Hexano (C₆H₁₄) MERCK KgaA

Peso molecular: 86.17 g/mol

Mezcla de isómeros de hexano y metilciclopentano.

Hexano min. 85.0 %

Compuesto de sulfuro: 0.005 %

2.6 Procedimiento

- a) Armar el equipo *Soxhlet*.
- b) Pesar la cantidad inicial de material que va a ser extraído.
- c) Colocar el fruto dentro del dedal poroso de celulosa y colocarlo dentro del extractor del *Soxhlet*.
- d) Extraer por medio de solubilidad con diferentes solventes orgánicos (etanol y hexano) y por fusión (agua) el concreto de las partículas de almidón, hasta el agotamiento. Tiempo 24 horas.
- e) Separar el concreto del solvente utilizando la unidad de rota-evaporación.
- f) Preparar e identificar las muestras de cada concreto (hexánico, etanólico y acuoso).
- g) Pesar nuevamente la cantidad final de material con cada extracción a fin de obtener el porcentaje de rendimiento por cada solvente.

- h) Determinar el porcentaje de mesocarpo residual, endocarpo y rendimiento total después de cada secuencia de tres solventes consecutivos.
- i) Alternar el orden de los solventes para la extracción.
- j) Repetir los pasos 3 al 7 hasta que se agoten las formas posibles en las que se pueden combinar los solventes.
- k) Los solventes orgánicos utilizados deben ser recuperados utilizando la unidad de rota-evaporación al vacío, etiquetando cada uno de los frascos para su almacenamiento.

2.7 Análisis estadístico

El análisis de los resultados se basa en el hecho de que se trata de un experimento realizado de forma aleatoria, es decir, que todas las variaciones debidas a factores extraños no controlados como por ejemplo: tamaño del fruto, humedad, etc. puede incluirse en el término. De esta manera la aleatorización protege contra los efectos de factores que no se pueden vigilar a la perfección.

Los resultados que se obtienen son sometidos a un análisis de varianza. La idea de este método es expresar una medida de la variación total de un conjunto de datos como una suma de términos, que se pueden atribuir a fuentes o causas específicas de variación; en su forma más simple, se aplica a experimentos que se planifican como diseños completamente aleatorizados.

El análisis de varianza tendrá entonces que tomar en cuenta los siguientes factores:

- El lote
- El solvente
- Combinación lote-pares de solventes
- Combinación lote-secuencia de tres solventes utilizados
- El endocarpo residual
- El mesocarpo residual

El primero tendrá relación pues justifica si existe o no diferencia en cuanto a las muestras obtenidas de Sierra de las Minas y Baja Verapaz, empleando una misma secuencia de extracción con los solventes, mientras que el segundo establece el mayor rendimiento que puede obtenerse de concreto utilizando una determinada secuencia de los solventes en la extracción del fruto de arrayán. La interacción de ambos (lote-solvente) tiene importancia en cuanto a mostrar la diferencia sobre que datos, con una determinada secuencia, poseen un mayor porcentaje de rendimiento que otros, es decir, el lote 1 posee una mayor capacidad extractiva con agua-hexano, mientras que el lote 2 sujeto a las mismas condiciones posee su mayor capacidad extractiva con etanol-hexano, por ejemplo. Finalmente el endocarpo residual es el resultado del agotamiento del fruto al ser expuesto a la extracción secuencial de los tres solventes (hexano, etanol y agua) con relación a la frutilla inicial.

Lo anterior implicará por tanto una variación en el lote de un factor de 2, pues son dos muestras diferentes y una variación en la secuencia extractiva de solventes en un factor de 6, que representan las diferentes combinaciones posibles. Se repetirá cada experimento 3 veces con el fin de obtener una mayor confiabilidad en los resultados, por lo tanto se trabajó con 36 datos en total.

En la práctica se suele utilizar la tabla de análisis de varianza representada por lo siguiente:

Fuente de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Medias de cuadrados	Estadístico
Tratamientos	k-1	SS(Tr)	MS (Tr)	MS(Tr)/MSE
Error	k(n-1)	SSE	MSE	
Total	k(n-1)	SST		

En donde k representa el número tratamientos y n el número de experimentos por cada tratamiento.

Las fórmulas empleadas descritas con letras mayúsculas arriba son las siguientes:

$$SST = \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^n x_{ij}^2 - \frac{1}{kn} * T^2$$

$$SS(Tr) = \frac{1}{n} * \sum_{i=1}^k T_i^2 - \frac{1}{kn} * T^2$$

$$SSE = SST - SS(Tr)$$

$$MS(Tr) = SS(Tr)/k-1$$

$$MSE = SSE/k(n-1)$$

En donde T representa el total general de todos los datos.

Para el análisis estadístico también se realizó la desviación estándar siendo ésta, la medida de variación usada con mayor frecuencia, se utilizó para encontrar la variación de la media en los resultados de las extracciones con un solvente, con dos solventes sucesivos, secuencia consecutiva de tres solventes, fracciones extractables, mesocarpo y endocarpo residual.

La desviación estándar representa una medición de la variación de un conjunto de datos en los términos de las cantidades por las que se desvían los valores de su media, de esta forma se justifica los intervalos con el signo \pm , ya que con ello se muestra que los datos varían dentro de este rango con relación a la media. Si la desviación estándar de un conjunto es pequeña, los valores se concentran cerca de la media y si la desviación estándar es amplia, los valores se acumulan de forma esparcida alrededor de la media.

La fórmula de la desviación estándar se define como:

$$s = \frac{\sqrt{\sum (x - \chi)^2}}{n - 1}$$

En donde:

$\sum (x - \chi)^2$ = Representa la sumatoria de las diferencias de cada uno de los datos “x” con respecto a la media “ χ ” de estos, elevados al cuadrado.

n = número total de datos.

2.8 Manejo de la fase experimental

Los reactivos se obtuvieron de la sección de Química Industrial del Centro de investigación de Ingeniería.

2.8.1 Material y equipo para la realización del proyecto

- Computadora Intel Celeron
- Impresora Epson Stylus Color 440
- Fotocopias, bibliografía
- Marcadores, portaminas, disquetes
- Internet
- Papelería y útiles de oficina

2.8.2 Fase experimental

a) **Plancha de calentamiento Marca Corning**

Modelo	84303-20
Rango de velocidad	60 a 1100 RPM
Condiciones ambientales	41° F a 104° F (5 a 40° C)
Máxima capacidad para revolver	75 lb.
Dimensiones superiores de la placa	10 X 10 pulgadas
Gamma de temperatura de la placa caliente	77° F a 1022° F (25-550° C)
Dimensiones totales	2 ½" W X 41 ¾" H y 14 ¾" D

b) **Balanza analítica**

Ohaus Adventurer
Capacidad 210 gramos

c) **Horno con unidad de extracción al vacío**

Model No. 1415 M
Serial No. 1201189
Part No. 9100710
4 A, 120 V, 60 Hz
SHELDON MANUFACTURING INC
300 n 265 TH
CORNELIUS OR 97113

d) **Dedales de extracción de celulosa**

Marca Whatman. Catálogo No. 2800339
35 mm de diámetro externo
33 mm de diámetro interno
94 mm de longitud.

e) **Cristalería**

Beacker Kimax de 25, 50 y 200 mL
Earlenmeyers Kimax de 125 mL
Pizetas
Cristalería para *Soxhlet* (Condensador, extractor, matraces)
Termómetro de 0 a 100° C

3. RESULTADOS

3.1 Rendimientos obtenidos de fracciones extractables

La siguiente tabla muestra los resultados obtenidos de rendimientos individuales de concretos con cada uno de los solventes (hexano, etanol y agua) empleados en el procedimiento de extracción sólido-líquido (lixiviación) de las fracciones del fruto del arrayán (*Myrica cerifera* L.) utilizando técnica *Soxhlet*. Adjunto también con los porcentajes residuales de endocarpo y mesocarpo por lotes y por secuencia extractiva de solventes.

Tabla I. Fracciones extractables del fruto de arrayán (*Myrica cerifera* L.)

RENDIMIENTO POR SOLVENTE		PORCENTAJE DE FRACCION (%)					
		EXTRACTABLE			RESIDUAL		
MATERIAL RECOLECTADO	SECUENCIA SOLVENTES	SOLVENTE 1 (%)	SOLVENTE 2 (%)	SOLVENTE 3 (%)	ENDOCARPO (%)	MESOCARPO (%)	
LOTE	1	W-Et-He	12.22 ± 4.5	29.7 ± 1.5	3.23 ± 0.8	37.7 ± 1.7	18.5 ± 0.9
		Et-He-W	35.61 ± 4.2	0.69 ± 0.3	8.49 ± 1.5	35.2 ± 0.3	19.1 ± 2.2
		Et-W-He	37.95 ± 4.7	3.27 ± 2.0	0.82 ± 0.2	35.6 ± 1.2	20.4 ± 3.6
		He-W-Et	35.80 ± 0.3	3.85 ± 0.2	2.13 ± 0.3	32.7 ± 1.7	16.8 ± 2.1
		W-He-Et	10.76 ± 0.7	26.2 ± 1.0	2.62 ± 3.3	41.9 ± 0.7	20.4 ± 0.6
		He-Et-W	32.15 ± 0.8	2.47 ± 1.6	3.88 ± 1.6	38.3 ± 1.8	22.3 ± 1.1
LOTE	2	Et-He-W	31.50 ± 2.56	0.51 ± 0.2	5.85 ± 3.35	51.7 ± 3.3	13.3 ± 3.89
		W-Et-He	13.92 ± 5.09	17.80 ± 4.21	1.64 ± 0.51	40.7 ± 1.6	13.9 ± 2.69
		W-He-Et	15.39 ± 0.96	14.02 ± 0.33	2.03 ± 0.25	54.2 ± 0.88	15.1 ± 0.27
		He-W-Et	22.60 ± 0.48	4.91 ± 0.7	3.02 ± 0.49	56.4 ± 0.79	15.7 ± 0.53
		Et-W-He	20.51 ± 0.51	2.86 ± 1.12	5.11 ± 1.05	57.9 ± 0.78	15.4 ± 0.58
		He-Et-W	20.14 ± 3.52	3.28 ± 0.77	3.73 ± 0.34	58.1 ± 1.17	13.5 ± 1.03

Los resultados que se muestran en la tabla I, son obtenidos del concreto (cera + oleorresina) en función del solvente utilizado y según la secuencia de los tres solventes planificada para el diseño experimental. W= Agua; He =Hexano; Et = Etanol

3.2 Resultados de la evaluación de rendimientos de extracción para lotes, solventes y combinación de solventes en las secuencias extractivas

Los solventes se representan como S1, S2 y S3, el orden es dado por la secuencia extractiva que se utiliza y que corresponda a cada una de las tablas siguientes. Ej.: S1 para la primer corrida según la tabla II. es el etanol. El signo X representa la media de los datos y σ la desviación estándar (\pm).

Tabla II. **Capacidad extractiva por combinación lote-solvente (lote 1)**

LOTE-SOLVENTE
Variable dependiente S1

LOTE	Secuencia	Rendimiento total		Evaluación
		S1		
		X	σ	
1	Et	35.61	4.22	Máximo
	Et	37.95	4.72	
	He	32.15	0.82	
	He	35.80	0.34	
	W	12.22	4.49	
	W	10.76	0.65	Mínimo

Tabla III. Capacidad extractiva por combinación lote-solvente (lote 2)

LOTE-SOLVENTE
Variable dependiente S1

LOTE	Secuencia	Rendimiento total		Evaluación
		S1		
		X	σ	
2	Et	31.50	2.56	Máximo
	He	22.60	0.48	
	Et	20.51	0.51	
	He	20.14	3.52	
	W	15.39	0.96	
	W	13.92	5.09	Mínimo

Tabla IV. Capacidad extractiva por combinación lote-pares de solventes (lote 1)

LOTE-SOLVENTE
Variable dependiente S1S2

LOTE	Secuencia	Rendimiento total		Evaluación
		S1+ S2		
		X	σ	
1	W-Et	41.92	3.23	Máximo
	Et-W	41.23	3.25	
	He-W	39.65	0.38	
	W-He	37.00	1.29	
	Et-He	36.29	3.97	
	He-ET	34.62	1.42	Mínimo

Tabla V. Capacidad extractiva por combinación lote-pares de solventes (lote 2)

LOTE-SOLVENTE

Variable dependiente S1S2

LOTE	Secuencia	Rendimiento total		Evaluación
		S1+ S2		
		X	σ	
2	Et-He	32.01	2.69	Maximo
	W-Et	31.71	1.25	
	W-He	29.63	0.70	
	He-W	27.51	0.46	
	He-Et	23.43	4.23	
	Et-W	23.36	0.77	Mínimo

Tabla VI. Capacidad extractiva por combinación lote-secuencia sucesiva de tres solventes (lote 1)

LOTE-SOLVENTE

Variable dependiente S1S2S3

LOTE	Secuencia	Rendimiento total		Evaluación
		S1+ S2 + S3		
		X	σ	
1	W-Et-He	45.15	3.83	Máximo
	Et-He-W	44.79	4.80	
	Et-W-He	42.05	3.25	
	He-W-Et	41.78	0.57	
	W-He-Et	39.62	2.19	
	He-Et-W	38.49	2.52	Mínimo

Tabla VII. Capacidad extractiva por combinación lote-secuencia sucesiva de tres solventes (lote 2)

LOTE-SOLVENTE

Variable dependiente S1S2S3

LOTE	Secuencia	Rendimiento total		Evaluación
		S1+ S2 + S3		
		X	σ	
2	Et-He-W	37.86	5.80	Máximo
	W-Et-He	33.35	1.12	
	W-He-ET	31.66	0.94	
	He-W-Et	30.52	0.11	
	Et-W-He	28.48	0.44	
	He-Et-W	27.16	4.57	Mínimo

3.3 Resultados obtenidos de las fracciones extractables (semilla y mesocarpo agotado) para los lotes 1 y 2

Tabla VIII. Fracciones componentes del fruto (lote 1)

DISTRIBUCION PORCENTUAL DE FRACCIONES	FRACCIONES COMPONENTES DEL FRUTO (%)				
	SECUENCIA	EXTRACTABLE TOTAL	RESIDUAL		
			AGOTADA	ENDOCARPO	MESOCARPO
LOTE 1	W-Et-He	45.15 ± 3.83	56.27 ± 2.42	37.74 ± 1.67	18.53 ± 0.85
	Et-He-W	44.79 ± 4.80	54.36 ± 2.23	35.24 ± 0.34	19.12 ± 2.15
	Et-W-He	42.05 ± 3.25	56.00 ± 4.69	35.62 ± 1.21	20.38 ± 3.56
	He-W-Et	41.78 ± 0.57	49.54 ± 0.41	32.73 ± 1.71	16.80 ± 2.09
	W-He-Et	39.62 ± 2.19	62.24 ± 1.31	41.86 ± 0.69	20.38 ± 0.62
	He-Et-W	38.49 ± 2.52	60.67 ± 2.81	38.34 ± 1.80	22.32 ± 1.08

Tabla IX. Fracciones componentes del fruto (lote 2)

DISTRIBUCIÓN PORCENTUAL DE FRACCIONES	FRACCIONES COMPONENTES DEL FRUTO (%)				
	SECUENCIA	EXTRACTABLE TOTAL	RESIDUAL		
			AGOTADA	ENDOCARPO	MESOCARPO
LOTE 2	Et-He-W	37.86 ± 5.80	64.98 ± 2.71	51.73 ± 3.30	13.25 ± 3.90
	W-Et-He	33.35 ± 1.12	54.54 ± 1.62	40.65 ± 1.60	13.89 ± 2.69
	W-He-Et	31.66 ± 0.94	69.26 ± 1.15	54.21 ± 0.89	15.06 ± 0.27
	He-W-Et	30.52 ± 0.11	72.14 ± 1.32	56.43 ± 0.79	15.71 ± 0.53
	Et-W-He	28.48 ± 0.44	73.30 ± 0.74	57.88 ± 0.78	15.42 ± 0.58
	He-Et-W	27.16 ± 4.57	71.61 ± 0.45	58.08 ± 1.17	13.53 ± 1.03

Figura 20. Fracciones del fruto de arrayán resultados de la secuencia máxima W-Et-He (lote 1)

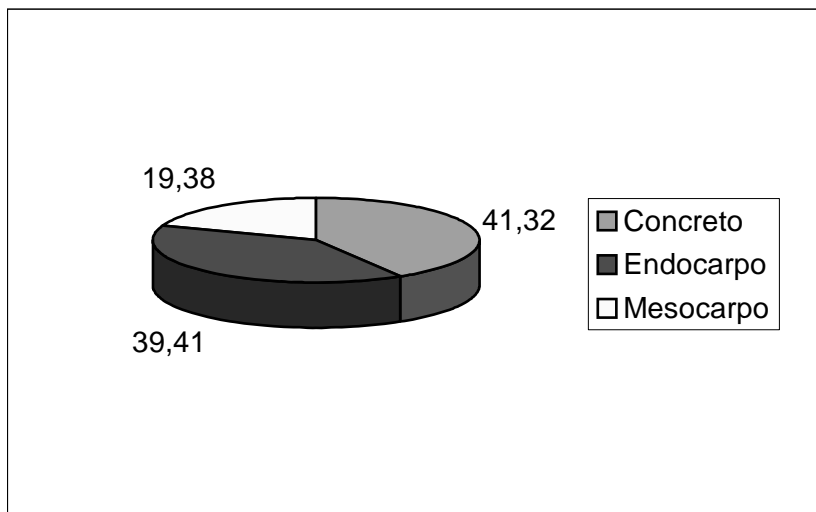
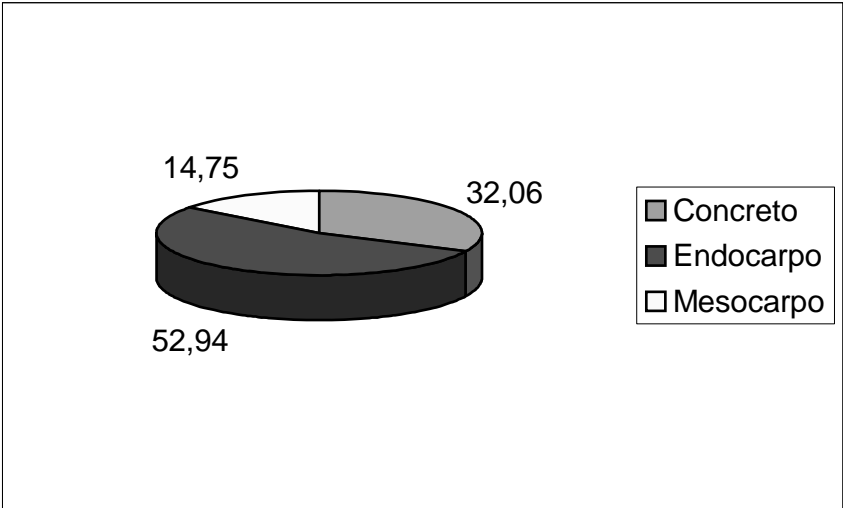


Figura 21. Fracciones del fruto de arrayán resultados de la secuencia máxima Et-He-W (lote 2)



4. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

4.1 Evaluación de la extracción de concretos

La interpretación de los resultados obtenidos del análisis de varianza del proyecto de extracción de concretos de frutos del arrayán (*Myrica cerífera* L.), se evaluó en base a los factores siguientes:

- a) El lote
- b) El solvente
- c) Las combinaciones lote-solventes
- d) Mesocarpo y endocarpo residual

En el caso del lote se identifica como **lote 1 ó L1** al proveniente del bosque natural entre Sierra de las Minas y Sierra de Chuacús, departamento de El Progreso y el **lote 2 ó L2** al proveniente del bosque de la finca Los Cimientos, aldea Matanzas, departamento de Baja Verapaz. Con respecto al solvente, se utilizaron tres solventes con diferentes capacidades extractivas y constantes dieléctricas como: agua (**W**), etanol (**Et**) y hexano (**He**).

El mesocarpo y la endocarpo son productos residuales agotados resultado de las extracciones sucesivas utilizando técnica *Soxhlet* con los tres solventes seleccionados. Estas porciones se separaron y fueron pesadas a fin de evaluar el porcentaje residual y la fracción extractable del fruto. Se identifica como semilla al endocarpo agotado, mientras que la frutilla se reconoce por el mesocarpo agotado, la parte carnosa o pulpa del fruto del arrayán.

Los resultados son basados en el análisis estadístico contenido en los cuadros del apéndice A realizado por programa estadístico SAS y las tablas mencionadas en cada uno de ellos:

- a) Existe diferencia significativa en el factor lote al 5 por ciento de nivel de significancia. El **lote 1** proveniente del bosque entre Sierra de las Minas y Chuacús, departamento del Progreso posee mayor rendimiento de concreto que el **lote 2** proveniente de la finca Los Cimientos, departamento de Baja Verapaz.
- b) Existe diferencia significativa en el factor solvente para la primera extracción al 5 por ciento de nivel de significancia. El etanol (**Et**) presenta la mayor capacidad extractiva, luego los hexanos (**He**) y la menor el agua (**W**) no variando entre los tipos de lotes (L1 ó L2) solamente la capacidad extractiva. En promedio se tiene L1-Et 36.78%, L2-Et 26.01%, L1-He 33.98%, L2-He 21.37%, L1-W 11.49%, L2-W 14.66%. Tablas II y III. Págs. 54 y 55.
- c) En cuanto a la interacción lote-solvente, se encuentra que existe diferencia significativa y que el origen del fruto recolectado influye en el porcentaje de rendimiento con el mismo solvente. **L1-Et 37.95%** y **L2-Et 31.50%** Tabla II y III. Págs. 54 y 55.
- d) Existe diferencia significativa al 5% de nivel de significancia, en las combinaciones pares de solventes ya que se observa que considerando el origen del lote, las secuencias pares de solventes poseen distintos rendimientos. **L1-W-ET 41.92%** y **L2-W-ET 31.71%**. Tablas IV y V. Págs. 55 y 56.

- e) Existe diferencia en la interacción lote-pares de solvente. El lote 1 tiene una mayor capacidad extractiva con la combinación **L1-W-Et** con $(41.92\% \pm 3.23)$ mientras que el lote 2 presente su mayor capacidad extractiva con la combinación **L2-Et-He** $(32.01\% \pm 2.69)$. Tabla IV y V. Págs. 55 y 56.
- f) Existe diferencia significativa al 5% de nivel de significancia en el factor combinación de los tres solventes, tomando en cuenta el origen (lote) del fruto se observa que existen diferentes rendimientos de extracción para una misma secuencia sucesiva de tres solventes. **L1-W-Et-He 45.15%** y **L2-W-Et-He 33.35%** Tablas VI y VII. Págs. 56 y 57.
- g) Respecto a la interacción lote-combinación de los tres solventes se observa que no existe diferencia significativa y que el lote 1 presenta una mayor capacidad extractiva con la combinación **L1-W-Et-He (45.15% \pm 3.83)** mientras que el lote 2 la tiene con la interacción **L2-Et-He-W (37.86% \pm 5.80)**. Tablas VI y VII. Págs. 56 y 57.
- h) En el porcentaje de endocarpo (semilla) residual, se observa que existe diferencia significativa en el factor lote, y que es el **lote 1** el que presenta menor porcentaje de endocarpo residual con un promedio de **36.92%** mientras que el **lote 2** posee un promedio de **53.16%**. Tabla VIII y IX. Págs. 57 y 58.
- i) Existe diferencia significativa en la combinación de los tres solventes, para el **lote 1** el endocarpo residual varió desde **41.86% a 32.73%** mientras que el **lote 2** varió desde **58.08% a 40.65%**. Tabla VIII y IX. Págs. 57 y 58.

- j) A nivel de interacciones existe diferencia significativa en la interacción lote-combinación de los tres solventes, ya que la combinación **L1-W-He-Et** presenta el mayor porcentaje de endocarpo residual ($41.86\% \pm 0.69$) mientras que la combinación **L2-He-Et-W** presenta el mayor porcentaje de endocarpo residual ($58.08\% \pm 1.17$). Tabla VIII y IX. Págs. 57 y 58.
- k) Existe diferencia significativa para el mesocarpo (frutilla) en el factor lote. El **lote 1** posee mayor porcentaje de mesocarpo con un promedio de **19.59%** mientras que el **lote 2** posee un promedio de **14.48%**. Tabla VIII y IX. Págs. 57 y 58.
- l) Para el mesocarpo agotado no existe diferencia entre la secuencia de tres solventes utilizada. El lote 1 posee una cantidad de mesocarpo que varía del **22.32% al 16.80%**, mientras que lote 2 posee un mesocarpo que varía del **15.71% al 13.25%**. Tabla VIII y IX. Págs. 57 y 58.
- m) En cuanto a la interacción lote-secuencia de tres solventes para el mesocarpo agotado se observa que no existe diferencia significativa al 5% de nivel de significancia y que el lote 1 presenta mayor porcentaje de mesocarpo en la secuencia **L1-He-Et-W con ($22.32\% \pm 1.08$)** mientras que el lote 2 lo presenta un mayor porcentaje en la secuencia **L2-He-W-Et con ($15.71\% \pm 0.53$)**. Tabla VIII y IX. Págs. 57 y 58.

4.2 Análisis de rendimientos de las fracciones extractables del fruto de arrayán

Las diferencias significativas resultado de las extracciones de concretos del fruto del arrayán (*Myrica cerífera* L.) por técnica *Soxhlet* con tres solventes (hexano, etanol y agua) anteriormente expuestos fueron analizados con el programa estadístico SAS tomando en cuenta análisis de varianza y sus respectivas desviaciones estándar para cada secuencia sucesiva de tres solventes. Permitiendo establecer diferencias en cuanto al rendimiento de lote, secuencia de extracción de los solventes, capacidad extractiva de cada solvente, secuencia de solventes, mesocarpo y endocarpo residual. Lo que se discute a continuación.

Se analizaron dos lotes, de donde se recolectó el fruto del arrayán, el lote 1 proveniente del bosque natural entre Sierra de las Minas y Sierra de Chuacús, departamento del Progreso y el lote 2 proveniente de finca Los Cimientos, aldea Matanzas, departamento de Baja Verapaz.

En cuanto a la capacidad extractiva de los solventes se analizaron en base a su capacidad de disolución expresada en la constante dieléctrica (κ). Una constante dieléctrica elevada representa mayor polaridad por parte del solvente. Se escogieron tres solventes que representan condiciones de alta, mediana y baja polaridad así se pudieron evaluar los rendimientos de concretos individuales (tabla I, pág. 55) tomando en cuenta los diferentes tipos de solutos (metabolitos secundarios) que se encuentran en el fruto del arrayán y poderlos extraer a todos de forma completa. Se escogieron los solventes agua ($k = 78.3$) W, etanol ($k = 24.3$) Et, hexano ($k = 1.89$) He.

En la primera extracción ambos lotes presentan un mayor porcentaje de rendimiento sin llegar al agotamiento con el etanol, luego el hexano y el de menor porcentaje el agua, el lote 1 presenta en promedio: L1-Et 36.78% y el lote 2 L2-Et 26.00% (tablas II y III, págs. 56 y 57). El promedio es por las dos combinaciones (Et-He-W y Et-W-He), mostrando que el etanol posee una más efectiva capacidad extractiva al ser utilizado como un único solvente en comparación al hexano y el agua, quienes presentaron los rendimientos: L1-He 33.98%, L2-He 21.37%, L1-W 11.49% y L2-W 14.66%. Tanto para el lote 1 como para el lote 2 el origen del fruto influye en el porcentaje de rendimiento, según el tipo de solvente, aunque el experimento se realizó tratando de mantener uniforme las condiciones, la diferencia de rendimientos, para un mismo lote se debe a factores como la no igualdad de la maduración del fruto recolectado, el tamaño del mesocarpo y las condiciones individuales en las que crece cada arbusto de arrayán, etc.

En cuanto a la constante dieléctrica (κ) se observa que en la primera extracción el valor $\kappa = 24.3$, correspondiente al etanol es un valor intermedio entre las constantes dieléctricas del hexano ($\kappa = 1.89$) un solvente no polar y el agua ($\kappa = 74.3$) solvente polar. Debido a lo anterior el etanol puede extraer compuestos tanto polares y no polares aumentando de esta manera su capacidad extractiva, sin embargo no puede ser selectivo como el hexano y el agua, al no poder extraer únicamente compuestos altamente polares y no polares. La ventaja del etanol es que puede extraer metabolitos que se encuentran entre los compuestos polares y no polares (cera-oleorresina), obteniendo con ello un licor lixiviado más rico (apéndice B) y un rendimiento también mayor.

Al utilizar la combinación pares de solventes, en la que se sigue una secuencia de agotamiento con cada uno, se observó que para el lote 1 las combinaciones fueron decreciendo en función de la constante dieléctrica, si se suman cada una de las constantes en forma individual se obtiene para L1-W-Et y L1-Et-W ($\kappa = 102.6$) con la que se tiene un máximo rendimiento, L1-He-W y L1-W-He ($\kappa = 80.19$), finalmente la de menor rendimiento con L1-Et-He y L1-He-Et ($\kappa = 26.19$). En las combinaciones anteriores la variación de rendimiento de concreto debido al orden del primer solvente en relación al segundo S1+S2 ó S2+S1 no presenta diferencia significativa en la capacidad extractiva cuando se trata del mismo lote (lote 1). Tabla IV, pág. 57.

Para el lote 2 la secuencia L2-Et-He es la que presenta el mayor rendimiento con 32.01% mientras que L2-Et-W 23.36% es la que tiene una menor capacidad extractiva, no siguiendo un decrecimiento de la constante dieléctrica, sin embargo la segunda secuencia con mejor rendimiento L2-W-Et 31.71% y la antepenúltima L2-He-Et 23.43% (tabla V, pág. 58) si presentan este comportamiento al igual que las secuencias de en medio L2-W-He y L2-He-W, para este caso el orden de los solventes S1+S2 y viceversa si presenta diferencias en sus rendimientos cuando se trata del mismo lote.

Al realizar las extracciones con las combinaciones lote-pares de solventes se encuentra que las combinaciones con mayor capacidad extractiva son: lote 1 W-Et con 41.92% y lote 2 Et-He 32.01% (tablas IV y V, págs. 57 y 58). En las secuencias con los lotes se puede apreciar que para el lote 1 el orden que se sigue es el de un compuesto polar tras otro que tiene una menor polaridad (P-P) mientras que el lote 2 tiene la combinación polar-no polar (P-NP). Este resultado determina que el lote 1 posee un alto contenido de metabolitos secundarios polares y una cantidad mayor de concreto, con lo que se obtiene un rendimiento más grande de extracción en relación al lote 2.

Ambas plantas poseen las mismas familias de metabolitos secundarios según los resultados del análisis fitoquímico (anexo A). El análisis fitoquímico consiste en una serie de pruebas cualitativas que determina la presencia de familias de metabolitos secundarios presentes en la oleorresina, estas pruebas no determinan por lo tanto la cantidad de cada uno de los metabolitos, sólo indican la presencia de ellos. Las diferencias en los lotes se deben a la relación (cera-oleorresina) desarrollada por cada planta según las condiciones de suelo, agua, clima, condiciones del lugar (bosque vírgen), etc. A las que fueron expuestas, marcando una diferencia en la cantidad de metabolitos secundarios y la clase de ellos (polares o no polares) presentes en la planta.

Para las secuencias lote-combinación sucesiva de tres solventes consecutivos en el lote 1 la secuencia que presenta máximo rendimiento es L1-W-Et-He o (P-P-NP) 45.15%, la que presenta una disminución de la constante dieléctrica, mientras que el mínimo rendimiento se da cuando la constante dieléctrica va aumentando L1-He-Et-W 38.49%. El lote 2 muestra que aunque la secuencia L2-Et-He-W con 37.86% o (P-NP-P) sea la de máximo rendimiento, la segunda secuencia L2-W-Et-He 33.35% presenta esta disminución de la constante dieléctrica al igual que el mínimo rendimiento obtenido L2-He-Et-W con 27.16% se observa con un aumento de la constante dieléctrica. Tablas VI y VII. Págs. 58 y 59.

Todo lo anterior demuestra que para el lote 1 y el lote 2 empleando un solo solvente, el etanol, presenta una mayor capacidad extractiva en ambos casos, mientras que si se realiza la extracción con dos o más solventes en forma sucesiva el lote 1 tiene un máximo rendimiento al seguir la secuencia de agotamiento de forma, que cada extracción se haga en función de la disminución de la constante dieléctrica del solvente empleado y la mínima cuando se realiza de forma contraria. Mientras que para el lote 2 aunque no se presenta el máximo rendimiento de esta forma se tiene un rendimiento aceptable con una diferencia de sólo el 4.51%.

A nivel general el lote 1 tiene mayor rendimiento 45.15% al 38.49% con una media del 41.98% mientras que el lote 2 varió del 37.86% a 28.48% con una media del 31.50%, tablas VI y VII, págs. 58 y 59. Al ser totalmente agotado dependiendo de la secuencia sucesiva de tres solventes empleada. Aunque el rendimiento de ambos lotes puede justificarse debido a las condiciones de clima, suelo, etc. (características edafológicas) en las que se desarrolló cada lote de arbustos de arrayán, también puede justificarse debido al contenido de cera de cada planta, según el origen y región donde se obtuvieron los frutos del arrayán.

En las plantas la celulosa forma parte esencial en la formación estructural y aunque no se disuelve en agua la absorbe en grandes cantidades. Como consecuencia, las paredes celulares se hallan en un estado altamente hidratado. Las paredes celulares de la epidermis generan lípidos afines (compuestos grasos), de propiedades cerasas que hacen dichas paredes considerablemente menos permeables al agua. El lote 1 se encuentra a una altura de (2000-2499) msnm mayor que el lote 2 (1730) msnm, encontrándose en una zona con más humedad, entonces las plantas generan más compuestos cerosos para protegerse de la hidratación, en consecuencia poseen mayor cera y material extractable. Un mayor rendimiento refleja una mejor capacidad de la planta para formar cera, oleoresina y aceite esencial que forman el concreto, y condiciones más favorables de desarrollo para el lote 1 que para el lote 2.

La cantidad tanto de endocarpo y mesocarpo agotado también tiene que ver con el porcentaje de rendimiento del fruto del arrayán. El porcentaje de mesocarpo residual en el lote 1 varía del 22.32% al 16.80% con una media del 19.58% fue mayor que en el lote 2 que varió del 15.71% al 13.25% con una media del 14.47% (tablas VIII y IX, pág. 60), esto se debe a que en el mesocarpo es en donde se lleva a cabo la extracción sólido-líquido con el *Soxhlet*, una cantidad residual de mesocarpo alta, refleja mayor desecho y más cantidad de extracción por parte del lote 1, además la cantidad de endocarpo residual para el lote 1 menor que la del lote 2 (tabla VII y IX, pág. 60.) Demuestra que el tamaño del endocarpo (semilla) proveniente del lote 2 es mayor que la del lote 1 y que por tanto, se tiene una cantidad de fruto menor del que se pueda realizar la extracción.

Los diagramas circulares muestran la relación que corresponde a las fracciones extractables en las que se obtuvo un máximo rendimiento en las secuencias L1-W-Et-He y L2-Et-He-W (pág. 61). En las que se puede establecer que los frutos recolectados del fruto del arrayán poseen diferentes rendimientos y que el lote 2 rindió una menor fracción extractable de concreto y presentó un contenido mayor de endocarpo residual en comparación al lote 1.

En el caso de los concretos individuales acuosos, orgánicos y etanólicos, se recomienda realizar un estudio en cuanto a la importancia de la calidad del contenido de metabolitos secundarios obtenidos por técnica *Soxhlet* y maceración. En estudios recientes (anexo A), se ha encontrado que algunas familias de metabolitos secundarios no se encuentran presentes en la extracción *Soxhlet* (caliente) mientras que en la maceración (extracción sólido-líquido) en frío si se encuentran presentes. El estudio debe hacerse evaluando temperaturas menores a las temperaturas de ebullición utilizadas para la extracción *Soxhlet* por un tiempo de 24 horas.

El principal uso del concreto de la familia Myricaceae en Sudáfrica y Norteamérica es en la manufactura de velas de muy alta calidad y para el revestimiento de las mechas de velas. Las velas de concreto de “bayberry” emiten un olor fragante resultado de la volatilización de la combustión simultánea de la oleoresina con la cera. En el proyecto ecológico “Ecoquetzal” las comunidades indígenas del lugar fabrican velas con las que surten el mercado, evitando de esta manera la tala inmoderada de árboles.

La importancia de extracción de concreto del fruto de arrayán (*Myrica cerifera* L.) con una secuencia apropiada de solventes radica en que al realizar el trabajo a un nivel más alto de producción, planta piloto o planta industrial, se debe tener conciencia en los rendimientos máximos que puede alcanzarse con esta planta, el consumo de solvente y la cantidad de endocarpo residual para su aprovechamiento, pues contiene ciertas porciones de grasa, fibra, proteínas, etc. (Proyecto 50-2000, CONCYT). Que pueden tener un valor nutricional por ejemplo, en alimentación avícola y porcina. A manera de que todas las porciones extractables poseen un valor útil y puedan aprovecharse de la mejor manera posible, obteniendo un proyecto rentable.

El uso del fruto de arrayán (*Myrica cerifera* L.) representa un recurso valioso para el país y propone un recurso renovable evitando la tala inmoderada de árboles al proponer una fuente alternativa de ingreso a las comunidades indígenas como lo hace el proyecto ecológico Ecoquetzal.

CONCLUSIONES

1. Sobre la base de los dos lotes analizados se establece que si se presentan diferencias significativas y que es lote 1 recolectado del bosque natural ubicado entre de Sierra de las Minas y Sierra Chuacús, departamento del Progreso, el que posee mayor rendimiento de extracción de concreto.
2. Independientemente del lote, se observa que el etanol presenta mayor capacidad extractiva que el hexano y que el agua, por lo que es el solvente adecuado a utilizar por su eficiencia de agotamiento.
3. La secuencia de extracción de concretos con los 3 solventes (hexano, etanol y agua) en forma consecutiva si depende del orden de extracción, obteniéndose rendimientos máximos en las secuencias en función del lote L1-W-Et-He 45.15% y L2 Et-He-W 37.86%.
4. Se establece que el lote 2 rindió menos y presentó más cantidades de endocarpo residual en relación al lote 1.

RECOMENDACIONES

1. Realizar un estudio técnico económico a nivel industrial (planta piloto) para el aprovechamiento y la rentabilidad respectivas de los extractos del fruto del arrayán.
2. Elaborar un análisis de la relación cera-oleorresina contenida en el extracto (concreto) de fruto del arrayán (*Myrica cerífera* L.) en función de la secuencia de solventes más eficiente con *Soxhlet* (lixiviado) y a temperatura ambiente para un tiempo de lixiviación de 24 horas.
3. Se recomienda impulsar un nuevo estudio sobre evaluar la calidad de metabolitos secundarios obtenidos en las extracciones en frío (maceración) y a temperaturas menores de ebullición (*Soxhlet*) para el fruto del arrayán.
4. Realizar nuevos estudios para determinar otros usos del concreto del fruto del arrayán como materia prima, por ejemplo: jabón.

BIBLIOGRAFÍA

1. Cardona Cabrera, Carlos. Evaluación del proceso de blanqueo de la cera de arrayán (*Myrica cerifera* L.) en suspensión con hipoclorito de calcio ($\text{Ca}(\text{OCl})_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) a diferentes concentraciones y valores de pH. Tesis Ing. Qco. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 1994. 65 pp.
2. Domínguez, Alejandro Xorge. **Métodos de investigación fotoquímica**. Argentina: Agencia para el desarrollo internacional, 1973. 279pp.
3. Estrada, Héctor. Evaluación preliminar de la cera extraída del árbol de arrayán. (*Myrica lindeliana*). Tesis Ing. Qco. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 1991. 72pp.
4. Fondo Nacional de Ciencia y Tecnología (FONACYT). **Caracterización de las fracciones extractables contenidas en el fruto del palo de cera, palo de arrayán o Palo de cera San Pascual (*Myrica cerifera* L.)** Proyecto 50-2000. Guatemala: CII/USAC, 2002. 53 pp.
5. Fuller R. Wayne. **Solventes**. Estados Unidos de América: Federación de Sociedades para la Tecnología en pintura, 1967. 51pp.
6. Fuller J. Harry y otros. **Botánica**. México: Editorial Interamericana, 1974. 235 pp.
7. Goodman, A. **Las bases farmacológicas de la terapéutica**. Buenos Aires: Editorial Panamericana, 1987. 1,751 pp.

8. Hernández Aguilar, Diego. Evaluación de las propiedades fisicoquímicas de los concretos y cera refinada obtenidos del fruto de arrayán. (Myrica cerífera) mediante la extracción con solventes orgánicos (etanol y hexano) y agua. Tesis Ing. Qco. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 2003. 56pp.
10. Kotz, John. **Química y reactividad química**. 5^a. Ed. México: Editorial Thomson, 2003. 997pp.
11. Litter, M. **Compendio de farmacología**. 14^a. Ed. Buenos Aires: Editorial el Ateneo, 1998. 932pp.
12. Ministerio de Comunicaciones y obras públicas. **Atlas nacional de Guatemala**. Guatemala: Instituto Geográfico Nacional de Guatemala, 1972.
13. Monzón Valdez, Víctor. Evaluación del proceso de blanqueo de la cera del fruto de arrayán (Myrica cerífera) a pH = 5 y diferentes concentraciones de Hipoclorito de Calcio. $\text{Ca}(\text{OCl})_2$ y tiempos de contacto. Tesis Ing. Qco. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 1994. 68pp.
14. Pérez Cardoza, Gerson. Evaluación de la temperatura y tiempo de proceso en el blanqueo de la cera de arrayán (Myrica cerífera) crudo fundido con hipoclorito de Calcio dihidratado $\text{Ca}(\text{OCl})_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ a nivel de laboratorio. Tesis Ing. Qco. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 1994. 59pp.
15. Santizo Rodas, Ivo Mahelly. Identificación de familias de metabolitos secundarios en Myrica cerífera. Tesis Químico Biólogo. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 2004. 100pp.
16. Sharapin, Nikolai. **Fundamentos de tecnología de productos fitoterapéuticos**. Colombia: Publicación del Convenio Andrés Bello (C_{AB}) y el Programa Iberoamericano de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo (C_{YTED}), 2000. 247 pp.

17. Simon, Gary A y otros. **Estadística elemental**. Octava edición. México: Editorial Prentice may Hispanoamericana, S.A., 1994. 565 pp.
18. Robert, Treybal. **Operaciones de transferencia de masa**. Segunda edición. México: Editorial McGraw-Hill, 2001. 845 pp.
19. Wingrove, Allan y otros. **Química orgánica**. México: HARLA, 1984. 1,569 pp.
20. “Anabolicminds Archive”. *Beginners guide to soxhlet extractions*, 2003.
<http://www.rhodium.ws/pdf/soxhlet4dummies.pdf>
21. “Extraction Thimbles” . *Laboratory filtration speciality*, 2004.
http://www.whatman.com/products/analytical/specialty/a_pd_speci_0

APENDICE A

Tablas con los resultados estadísticos del análisis de varianza con el programa estadístico SAS.

Tabla X. **Análisis de varianza utilizando como variable dependiente el primer solvente (S1)**

Prueba de efectos entre factores					
Variable dependiente: S1					
Fuente	Tipo III suma de cuadrados	df	Media de los cuadrados	F	Sig
LOTE	408.714	1	408.714	45.484	5.634E-07
SOLVENTE	2,334.641	5	466.928	51.962	4.293E-12
LOTE-SOLVENTE	587.149	5	117.43	13.068	3.341E-06
ERROR	215.663	24	8.986		
TOTAL CORRECTO	3,546.167	35			
R cuadrado = 0.939 (R cuadrado ajustado = 0.911)					

Tabla XI. **Análisis de varianza utilizando como variable dependiente la secuencia de extracción del primer solvente más el segundo solvente en forma consecutiva (S1+S2)**

Prueba de efectos entre factores					
Variable dependiente: S1S2					
Fuente	Tipo III suma de cuadrados	df	Media de los cuadrados	F	Sig
LOTE	994.246	1	994.246	174.069	1.713E-12
SOLVENTE	194.374	5	38.875	6.806	4.442E-04
LOTE-SOLVENTE	158.881	5	31.776	5.563	1.533E-03
ERROR	137.083	24	5.712		
TOTAL CORRECTO	1,484.584	35			
R cuadrado = 0.908 (R cuadrado ajustado = 0.865)					

Tabla XII. **Análisis de varianza utilizando como variable dependiente la secuencia de tres solventes en forma consecutiva (S1+S2+S3)**

Prueba de efectos entre factores					
Variable dependiente: S1S2S3					
Fuente	Tipo III suma de cuadrados	df	Media de los cuadrados	F	Sig
LOTE	987.74	1	987.74	101.687	4.174E-10
SOLVENTE	278.137	5	55.627	5.727	1.293E-03
LOTE-SOLVENTE	47.393	5	9.479	0.976	4.525E-01
ERROR	233.126	24	9.714		
TOTAL CORRECTO	1,546.396	35			
R cuadrado = 0.849 (R cuadrado ajustado = 0.780)					

Tabla XIII. **Análisis de varianza utilizando como variable dependiente el endocarpo del fruto de arrayán resultado del agotamiento de la secuencia extractiva con los tres solventes (hexano, etanol, y agua) de forma consecutiva**

Prueba de efectos entre factores					
Variable dependiente: ENDOCARPO					
Fuente	Tipo III suma de cuadrados	Df	Media de los cuadrados	F	Sig
LOTE	2,374.126	1	2,374.126	1,024.07	0.000E+00
SOLVENTE	352.417	5	70.483	30.403	1.224E-09
LOTE-SOLVENTE	445.162	5	89.032	38.404	1.091E-10
ERROR	55.64	24	2.318		
TOTAL CORRECTO	3,227.334	35			

R cuadrado = 0.983 (R cuadrado ajustado = 0.975)

Tabla XIV. **Valores promedio del endocarpo residual como resultado del agotamiento de la secuencia extractiva de tres solventes en forma consecutiva del fruto de arrayán**

LOTE-SOLVENTE

Variable dependiente: ENDOCARPO

	SOLVENTE	Media
LOTE 1	Et-He-W	35.237
	Et-W-He	35.62
	He-Et-W	38.343
	He-W-Et	32.733
	W-Et-He	37.737
	W-He-Et	41.857
LOTE 2	Et-He-W	51.727
	Et-W-He	57.88
	He-Et-W	58.08
	He-W-Et	56.43
	W-Et-He	40.653
	W-He-Et	54.207

Tabla XV. **Análisis de varianza utilizando como variable dependiente el mesocarpo del fruto de arrayán resultado del agotamiento de la secuencia extractiva con los tres solventes (hexano, etanol, y agua) de forma consecutiva**

Prueba de efectos entre factores
Variable dependiente: MESOCARPO

Fuente	Tipo III suma de cuadrados	df	Media de los cuadrados	F	Sig
LOTE	235.367	1	235.367	58.763	6.662E-08
SOLVENTE	24.095	5	4.819	1.203	3.376E-01
LOTE-SOLVENTE	45.849	5	9.17	2.289	7.776E-02
ERROR	96.128	24	4.005		
CORRECTED TOTAL	401.439	35			
R cuadrado = 0.761 (R cuadrado ajustado = 0.651)					

Tabla XVI. **Valores promedio del mesocarpo residual como resultado del agotamiento de la secuencia extractiva de tres solventes en forma consecutiva del fruto de arrayán**

LOTE-SOLVENTE

Variable dependiente: MESOCARPO

	SOLVENTE	Media
LOTE 1	Et-He-W	19.12
	Et-W-He	20.377
	He-Et-W	22.323
	He-W-Et	16.803
	W-Et-He	18.53
	W-He-Et	20.38
LOTE 2	Et-He-W	13.25
	Et-W-He	15.42
	He-Et-W	13.527
	He-W-Et	15.707
	W-Et-He	13.89
	W-He-Et	15,057

ANEXO

Tabla XVII. **Presencia o ausencia de metabolitos secundarios en el fruto del arrayán (*Myrica cerifera* L.)**

Metabolitos presentes	Extracción con <i>Soxhlet</i>			Extracción en frío		
	He	Et	W	He	Et	W
Aceites esenciales	-			+		
Esteroles	-			-		
Carotenoides	+			+		
Acidos grasos	+			+		
Alcaloides	-			-		
Cumarinas	+			+		
Taninos gálicos		-			-	
Taninos catéquicos		+			+	
Compuestos reductores		+			+	
Alcaloides		-			-	
Antocianinas		+			+	
Leucoantrocianinas		+			+	
Cumarinas		+			+	
Antracénoides		+			+	
Chalconas y uronas		+			+	
Triterpenos		-			+	
Principios amargos		+			+	
Esteroles insaturados		-			+	
Lactonas insaturadas		-			+	
Azúcares 2-desoxigenadas		+			+	
Polisacáridos			+			+
Saponinas			+			+
Taninos gálicos			-			+
Taninos catéquicos			+			+
Compuestos reductores			-			+
Alcaloides			-			-
Antocianinas			+			+
Antracénoides			-			+
Cumarinas			+			+
Chalconas y uronas			+			+
Esteroles/triterpenos			+			+

Fuente: Ivo Santizo. Metabolitos secundarios en el

arrayán. Pág. 74