



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

**TAMIZAJE FITOQUÍMICO DEL FRUTO DEL ÁRBOL DE LA
SAPINDUS SAPONARIA (JABONCILLO), IDENTIFICANDO LAS
PRINCIPALES FAMILIAS DE METABOLITOS SECUNDARIOS, EN
MUESTRAS PROVENIENTES DE CUNÉN, DEPARTAMENTO DEL
QUICHÉ, GUATEMALA**

CÉSAR ARIEL VILLELA RODAS

Asesorado por: Ing. César Alfonso García Guerra

Guatemala, octubre de 2005

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**TAMIZAJE FITOQUÍMICO DEL FRUTO DEL ÁRBOL DE LA
SAPINDUS SAPONARIA (JABONCILLO), IDENTIFICANDO LAS
PRINCIPALES FAMILIAS DE METABOLITOS SECUNDARIOS, EN
MUESTRAS PROVENIENTES DE CUNÉN, DEPARTAMENTO DEL
QUICHÉ, GUATEMALA**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

CÉSAR ARIEL VILLELA RODAS
ASESORADO POR ING. CÉSAR ALFONSO GARCÍA GUERRA

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE
INGENIERO QUÍMICO

GUATEMALA, OCTUBRE 2,005

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NOMINA JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
VOCAL I	
VOCAL II	Ing. Amahán Sánchez Álvarez
VOCAL III	Ing. Julio David Galicia Celada
VOCAL IV	Br. Kenneth Issur Estrada Ruiz
VOCAL V	Br. Elisa Yazminda Vides Leiva
SECRETARIO	Inga. Marcia Ivonne Véliz Vargas

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Sydney Alexander Samuels Milson
EXAMINADOR	Ing. José Manuel Tay Oroxom
EXAMINADOR	Ing. Eduardo Calderón
EXAMINADOR	Inga. Rosa María Girón
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:

TAMIZAJE FITOQUÍMICO DEL FRUTO DEL ÁRBOL DE LA SAPINDUS SAPONARIA (JABONCILLO), IDENTIFICANDO LAS PRINCIPALES FAMILIAS DE METABOLITOS SECUNDARIOS, EN MUESTRAS PROVENIENTES DE CUNÉN, DEPARTAMENTO DEL QUICHÉ, GUATEMALA

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Química con fecha 20 de enero de 2005.

César Ariel Villela Rodas

Guatemala, 27 de septiembre de 2005

Ing. Federico Salazar
Director Escuela de Ingeniería Química
Facultad de Ingeniería
Su despacho

Estimado Ingeniero:

Atentamente me dirijo a usted para informarle que ha sido concluido satisfactoriamente el trabajo de graduación titulado: **TAMIZAJE FITOQUÍMICO DEL FRUTO DEL ÁRBOL DE LA SAPINDUS SAPONARIA (JABONCILLO), IDENTIFICANDO LAS PRINCIPALES FAMILIAS DE METABOLITOS SECUNDARIOS, EN MUESTRAS PROVENIENTES DE CUNÉN, DEPARTAMENTO DEL QUICHÉ, GUATEMALA**, desarrollado por el estudiante de Ingeniería Química **César Ariel Villela Rodas**, Carné 92 13357.

Me permito informarle que después de haber realizado la revisión del respectivo informe y haberle hecho las correcciones pertinentes, considero que llena los requisitos para su aprobación.

Atentamente,

“ID Y ENSEÑAD A TODOS”

Ing. Qco. César Alfonso García Guerra
Director del Centro de Investigaciones
Facultad de Ingeniería
Asesor del Trabajo de Graduación

Guatemala, 05 de octubre del 2005

Ing. Federico Salazar
Director Escuela de Ingeniería Química
Facultad de Ingeniería
Su despacho

Estimado Ingeniero:

Atentamente me dirijo a usted para informarle que ha sido concluido satisfactoriamente el trabajo de graduación titulado: **TAMIZAJE FITOQUÍMICO DEL FRUTO DEL ÁRBOL DE LA SAPINDUS SAPONARIA (JABONCILLO), IDENTIFICANDO LAS PRINCIPALES FAMILIAS DE METABOLITOS SECUNDARIOS, EN MUESTRAS PROVENIENTES DE CUNÉN, DEPARTAMENTO DEL QUICHÉ, GUATEMALA**, desarrollado por el estudiante de Ingeniería Química **César Ariel Villela Rodas**, Carné 92 13357.

Me permito informarle que después de haber realizado la revisión del respectivo informe y haberle hecho las correcciones pertinentes, considero que llena los requisitos para su aprobación.

Atentamente,

“ID Y ENSEÑAD A TODOS”

Ing.Qco. José Manuel Tay Oroxom
Coordinador de Laboratorios de Fisicoquímica
Escuela de Ingeniería Química
Revisor del Trabajo de Graduación

El Director de la Escuela de Ingeniería Química, Ing. Federico Guillermo Salazar Rodríguez, después de conocer el dictamen del Asesor con el Visto Bueno del Jefe de Departamento al trabajo de Graduación del estudiante CÉSAR ARIEL VILLELA RODAS titulado: **TAMIZAJE FITOQUÍMICO DEL FRUTO DEL ÁRBOL DE LA SAPINDUS SAPONARIA (JABONCILLO), IDENTIFICANDO LAS PRINCIPALES FAMILIAS DE METABOLITOS SECUNDARIOS, EN MUESTRAS PROVENIENTES DE CUNÉN, DEPARTAMENTO DEL QUICHÉ, GUATEMALA** procede a la autorización del mismo.

Ing. Federico Guillermo Salazar Rodríguez
DIRECTOR ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA

Guatemala, octubre de 2005.

El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Química, al trabajo de graduación titulado: **TAMIZAJE FITOQUÍMICO DEL FRUTO DEL ÁRBOL DE LA SAPINDUS SAPONARIA (JABONCILLO), IDENTIFICANDO LAS PRINCIPALES FAMILIAS DE METABOLITOS SECUNDARIOS, EN MUESTRAS PROVENIENTES DE CUNÉN, DEPARTAMENTO DEL QUICHÉ, GUATEMALA**, presentado por el estudiante universitario, **César Ariel Villela Rodas**, procede a la autorización para la impresión del mismo.

IMPRIMASE:

Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
DECANO

Guatemala, octubre del 2,005

DEDICATORIA

A:

DIOS

Porque a través de su palabra comprendo que pasos debo dar cada día para llegar a ser una mejor persona y soportar los tropiezos.

MIS PADRES

César Augusto Villela Pérez y Olga Esperanza Rodas Valenzuela de Villela, por darme la vida, haber formado la persona que soy, darme todo el amor que necesita un hijo y enseñarme día a día a seguir adelante con pasos firmes. Gracias Papás. Son los mejores. Los amo.

MI ESPOSA

Brenda Alicia de Villela, por su amor, comprensión y dedicación como esposa y madre, enseñándome a ser paciente en los momentos difíciles y ser mi apoyo siempre. Cielo te amo.

MI HIJO

Abddel Ariel, por ser mi razón de ser, de amor, de comprensión, de dedicación y sobre todo ser un buen ejemplo, hijo te amo.

MIS HERMANOS

Luis Eduardo y Linda Rocío, por estar conmigo en los momentos de tristeza y alegría, y en especial por acompañarme en cada triunfo de mi vida.

A MI CUÑADA Y MIS SOBRINOS

Luis Eduardo, Linda Sarai, César Emilio y María Alejandra, gracias por su amor y hacer feliz a mi hijo. Y a Sara Ortiz gracias por ser una gran cuñada.

AGRADECIMIENTO

A:

Dios

Por darme la fuerza y la oportunidad de culminar una meta más en mi vida.

Mi patria

Guatemala, por verme crecer y ser el país más hermoso del mundo.

La Universidad de San Carlos de Guatemala y la Facultad de Ingeniería

Por haberme formado como profesional para poder servir a mi nación.

Laboratorio de Química-Industrial la Facultad de Ingeniería y Laboratorio de Fitoquímica de la Facultad de Farmacia

Por haber permitido llevar a cabo la labor experimental del presente trabajo.

Mis padres

Por confiar y guiarme con amor y comprensión en cada momento difícil de mi vida y llenar de alegría mi corazón.

Mis hermanos

Luis Eduardo por darme un ejemplo de rectitud y comprensión del valor a la vida, y a Linda Rocío por ser la mejor hermana que Dios me pudo regalar.

Mi esposa y a mi hijo

Por darme la alegría, amor y admiración que necesita todo esposo y padre.

Mis suegros

Víctor Hugo y Brenda De Jesús, gracias por confiar en mí y darme la mejor esposa del mundo.

Mis abuelos (Q.E.P.D), tíos y primos

Por haberme dado una infancia llena de alegría e ilusión y estar siempre a mi lado brindándome todo el apoyo familiar que el ser humano necesita.

Ingeniero César Alfonso García Guerra

Por ser un excelente amigo y catedrático, y que gracias a él fue posible terminar con éxito este trabajo de graduación.

Ingeniero Manuel Tay

Por realizar una excelente revisión en el presente trabajo y por su amistad.

Ingeniero Arturo Samayoa

Por su amistad, confianza y apoyo en el Departamento de Matemática de la Facultad de Ingeniería.

Licenciada Sully Cruz

Por su apoyo incondicional en el desarrollo experimental del presente trabajo.

Mis amigos catedráticos

Ing. Federico Salazar, Ing. Murphy Paiz, Ing. Francisco Rosales, Inga. Telma Cano, Ing. Williams Álvarez, Ing. Ángel Sic, Ing. Otto Raúl De León, Ing. Renaldo Girón, Inga. Vera Marroquín, Licda. Mayra Castillo, Ing. Pabb Zúñiga, Inga. Ilonkka Cabrera, Ing. Orlando López, Ing. Mario de León, Ing. Carlos Garrido, Ing. Alejandro Estrada, Eduardo Calderón, Inga. Helen Ramírez, en especial al Ing. Oscar Montes, Inga. Casta Zeceña, Ing. Edgar Gamaliel De León y Ing. Byron Aguilar.

Mis amigos auxiliares

Francisco De La Rosa, Silvia Salazar, Joaquín Reyes, Ricardo Ríos, Carlos Bolaños, Nelson Santos, Keyla Barahona, Óseas Castañón, Daniela Velásquez, Julia Lemus, Angélica Piló, Hilma Goshop, Álvaro Ramírez, Alicia Morales, Alberto Pineda, Jorge David.

Mis mejores amigos

Francisco López, Absalon Jereda, Jeremy Aguilar, Jorge Leonel González, Tamara Baldetty, Estelita Solís y Marla Arreaga (Q.E.P.D) gracias por su apoyo y buenos deseos siempre.

Mis amigos de la Universidad

Adria Contreras, Juan José Oliva, Oscar Jiménez, Tamara Menéndez, Héctor Perdomo, Paola Toc, Mercedes Ponciano, Ricardo Álvarez, Lorena Duarte, Julio Guzmán, Julio Vargas, Alvaro Guerra, Adrián Soberanis, Marisol Amado, Liz Rodríguez, Cinthya Ortiz, Iván Pineda, Juan Carlos Castañeda, Emmett Echeverría, Roberto Romero, Aldo, y especialmente a Carlos Türk y Carolina Maldonado.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	VII
LISTA DE SÍMBOLOS	XVII
GLOSARIO	XIX
RESUMEN	XXI
OBJETIVOS	XXV
HIPÓTESIS	XXVII
INTRODUCCIÓN	XXIX
JUSTIFICACIÓN	XXXI
1. MARCO TEÓRICO	1
1.1 Sapindus Saponaria	1
1.1.1 Descripción	1
1.1.2 Clasificación	1
1.1.3 Flores y frutos	2
1.1.4 Especies parecidas	4
1.2 Distribución nacional	4
1.2.1 Origen	5
1.2.2 Clima	5
1.2.3 Temperatura	5
1.2.3.1 Humedad	6
1.2.3.2 Geología	6
1.2.4 Hidrología	6
1.2.5 Génesis del suelo	7
1.2.6 Susceptibilidad de erosión	8

1.2.7 Zona de vida vegetal	8
1.2.8 Uso de la tierra	8
1.3 Investigación Fitoquímica	9
1.3.1 Tamizaje Fitoquímico	9
1.3.2 Familias de compuestos a identificar	9
1.4 Propiedades de los solventes	22
1.4.1 Volatilidad	22
1.4.2 El grado de inflamabilidad	22
1.4.3 Riesgo de intoxicación en alimentos	22
1.4.4 El peso molecular	22
1.4.5 Olor	23
1.4.6 La función del solvente	23
1.5 Efectos y características generales de los solventes industriales	24
1.5.1 Hidrocarburos Alifáticos	24
1.5.1.1 Tóxico cinética	25
1.5.1.1.1 Absorción	25
1.5.1.1.2 Distribución	25
1.5.1.1.3 Biotransformación	25
1.5.1.1.4 Eliminación	25
1.5.1.2 Tóxico dinámica	25
1.5.2. Alcoholes	26
1.5.3 El Agua	27
1.6 Constante dieléctrica de los solventes	29

1.7 Preparación de los extractos vegetales de la Sapindus	
Saponaria	31
1.7.1 Extracción	32
1.7.2 Extracción sólido-líquido	34
1.7.3 Turbo extracción y la digestión con maceraciones modificadas	34
1.8 Extracción de sólido con líquidos (Lixiviación)	35
1.8.1 Variables de la extracción sólido-líquido	36
1.8.2 Flujo a través de sólidos; capas límite	37
2. ANTECEDENTES	41
2.1 Premio Coca Cola 2000, Perú	41
2.2 Paraparo (Sapindus Saponaria)	42
2.3 Parapara o parapiola	43
2.4 Parapara la semilla	44
2.4.1 Instrumento de pesca	44
2.4.2 Instrumento de limpieza	44
2.4.3 Instrumento de restauración de obras de arte	44
2.4.4 Ingrediente culinario	44
2.4.5 Ingrediente en medicinas	45
2.4.6 Instrumento artesanal	45
2.5 Los frutos Ricos en Saponina reducen liberación de metano y mejoran uso de nitrógenos	45
2.6. Utilización de las saponinas	46

2.7 Tesis. “Caracterización física y química del fruto Sapindus Saponaria -jaboncillo - y su potencial de industrialización como fuente de saponinas”	49
3. METODOLOGÍA	51
3.1 Muestra	51
3.2 Materiales	51
3.3. Métodos	55
3.3.1 Obtención de la muestra vegetal	55
3.3.2 Maceración	56
3.3.3 Rotaevaporación	57
3.3.4 Determinación de las principales familias de metabolitos secundarios presentes en los extractos de hexano, etanol y agua del fruto del árbol de la Sapindus Saponaria -jaboncillo-	58
3.3.4.1 Determinación de la presencia de aceite esencial	58
3.3.4.2 Determinación de la presencia de mucílagos	60
3.3.4.3 Extracción etanólica, hexánica y acuosa	60
4. RESULTADOS	67
4.1 Tipo de lixiviación utilizada en la obtención de los extractos de etanol, agua y hexano del polvillo del fruto del árbol de la Sapindus Saponaria -jaboncillo-	67

4.2 Resultados cuantitativos realizados fruto del árbol de la Sapindus Saponaria -jaboncillo-, al polvillo y a los extractos realizados en los solventes etanol, agua y hexano.	68
4.3 Resultados cualitativos de la obtención de los extractos por medio de maceración y método soxleth al polvillo del fruto del árbol de la Sapindus Saponaria -jaboncillo-	71
4.4 Resultados cualitativos de los metabolitos secundarios	72
DISCUSIÓN DE RESULTADOS	83
CONCLUSIONES	103
RECOMENDACIONES	105
BIBLIOGRAFÍA	107
APÉNDICES	111

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1. Tamaño y forma de las flores y hojas del árbol de la Sapindus Saponaria -jaboncillo-.	2
2. Tamaño y forma del fruto y de la semilla del árbol de la Sapindus Saponaria -jaboncillo-.	3
3. Esquema molecular tridimensional de un hidrocarburo alifático -Hexano-.	25
4. Esquema molecular tridimensional de un alcohol -etanol-.	26
5. Estructura electrónica y ángulo de polaridad de la molécula del agua.	27
6. Esquema de la polarización permanente de la molécula de agua.	29
7. Polvillo utilizado en la maceración y hojuelas obtenidas en la trituración y tamizaje 100 del fruto seco del árbol de la Sapindus Saponaria -jaboncillo-.	31
8. Fotografía del equipo Soxhlet utilizado para la realización de la extracción hexánica del polvillo del fruto del árbol de la Sapindus Saponaria -jaboncillo-.	33

9. Fotografía de la extracción y turbo extracción en serie para maceración con solventes etanol, agua y hexano del fruto del árbol de la Sapindus Saponaria -jaboncillo-.	34
10. Esquema ilustrativo de la transferencia sólido-líquido, en el proceso de lixiviación, transferencia de masa.	37
11. Fotografía del Parapara llamada así en Venezuela la cual es la semilla de la Sapindus Saponaria -jaboncillo-.	42
12. Fotografía de un regalo de navidad o mini nacimiento fabricado a partir del fruto de la Sapindus Saponaria -jaboncillo-.	44
13. Detalle de la distribución del fruto de jaboncillo colocado en bandejas para su secamiento -10.13 % de humedad final en el secador por convección Forzada -Planta piloto Facultad de Ingeniería-.	53
14. Equipo de maceración en serie utilizado en la extracción de los metabolitos secundarios en los solventes etanol, agua y hexano al fruto del árbol de la Sapindus Saponaria -jaboncillo- a 25 y a 55 grados centígrados.	54
15. Equipo de rota evaporación para la concentración de los extractos del fruto del árbol de la Sapindus Saponaria -jaboncillo- obtenidos de la maceración y método Soxhlet en los solventes etanol y hexano.	55

16. Equipo de filtración por vacío utilizado en la filtración de los extractos del fruto del árbol de la Sapindus Saponaria -jaboncillo-, en los extractos de etanol y hexano .	122
17. Balanza analítica utilizada para medición de rendimientos de extracción del fruto del árbol de la Sapindus Saponaria -jaboncillo-.	122
18. Residuo de la extracción por maceración con etanol del fruto del árbol de la Sapindus Saponaria -jaboncillo-.	123
19. detalle del contraste en color de los extractos de etanol, agua y hexano obtenidos en la maceración y método Soxleth del polvillo del fruto del árbol de la Sapindus Saponaria -jaboncillo-.	123
20. Detalle del grado de avance en la cromatografía en capa fina realizada para la determinación de los metabolitos secundarios del fruto del árbol de la Sapindus Saponaria -jaboncillo- en los extractos de etanol, agua y hexano.	124
21. Revelado con luz ultravioleta ($\lambda = 440 \text{ nm}$) de las manchas por cromatografía en capa fina a los extractos de etanol, agua y hexano obtenidos de la maceración.	124
22. Detalle de las pruebas de identificación de Alcaloides en los extractos de etanol, agua y hexano del fruto del árbol de la Sapindus Saponaria -jaboncillo-.	125

23. Sistema en serie de tratamientos de maceración en la extracción con los solventes etanol, agua y hexano del polvillo del fruto de árbol de la Sapindus Saponaria -jaboncillo-.	125
24. Extracción etanólica a reflujo y a temperatura de 55 °C del polvillo del fruto del árbol de la Sapindus Saponaria -jaboncillo-.	126
25. Extracción etanólica a temperatura ambiente del polvillo del fruto del árbol de la Sapindus Saponaria -jaboncillo-.	126
26. Extracción acuosa a 55 °C del polvillo del fruto del árbol de la Sapindus Saponaria -jaboncillo-.	127
27. Extracción etanólica a temperatura ambiente del polvillo del fruto del árbol de la Sapindus Saponaria -jaboncillo-.	127
28. Extracción hexánica a 55 °C en soxleth del polvillo del fruto del árbol de la Sapindus Saponaria -jaboncillo-.	128
29. Extracción hexánica a reflujo a temperatura ambiente del polvillo del fruto del árbol de la Sapindus Saponaria -jaboncillo-.	128
30. Filtrado del extracto acuoso con manta de la maceración del fruto del árbol de la Sapindus Saponaria -jaboncillo-.	129
31. Filtrado de la extracción acuosa saturación de espuma del polvillo del fruto del árbol de la Sapindus Saponaria -jaboncillo-.	129
32. Detalle de la generación notable de espuma del extracto acuoso del polvillo del fruto de la Sapindus Saponaria -jaboncillo-.	130

33. Equipo para la determinación de aceites esenciales según la Farmacopea Brasileña.	131
---	-----

TABLAS

I. Clasificación científica del árbol de la Sapindus Saponaria -jaboncillo-.	1
II. Distribución regional de la Sapindus Saponaria -jaboncillo- en la República Guatemala.	4
III. Distribución de las vertientes de agua que alimentan la República Guatemala.	6
IV. Clasificación de solventes por su polaridad con su respectiva constante dieléctrica.	30
V. Tipo de sistema utilizado en la lixiviación en la obtención de extractos de los metabolitos secundarios del polvillo del fruto del árbol de la Sapindus Saponaria -jaboncillo-.	65
VI. Porcentaje de humedad fruto fresco traído del municipio de Cunén, Quiché, Guatemala del árbol de la Sapindus Saponaria -jaboncillo-.	65

VII. Porcentaje de humedad fruto seco, realizado al fruto seco en secado al sol y secado en horno de tiro forzado.	66
VIII. Comparación de masas del mesodermo -cáscara- con el endodermo -semilla- del fruto seco del árbol de la Sapindus Saponaria -jaboncillo-.	66
IX. Rendimiento porcentual del proceso de molienda a tamiz 100 del fruto seco del árbol de la Sapindus Saponaria -jaboncillo-.	66
X. Rendimiento de pulverización de las hojuelas de la primera pulverización del fruto del árbol de la Sapindus Saponaria -jaboncillo-.	67
XI. Rendimiento porcentual de maceración del fruto del árbol de la Sapindus Saponaria -jaboncillo- en los solventes etanol, agua y hexano a 25 y 55 grados centígrados.	67
XII. Densidad de los extractos obtenidos por maceración y método soxleth al polvillo del árbol de la Sapindus Saponaria -jaboncillo-.	68
XIII. Índice de hinchamiento obtenido en la identificación del metabolito secundario, mucílago, en el tamizaje realizado a la materia prima del fruto del árbol de la Sapindus Saponaria -jaboncillo-.	68
XIV. Propiedades de los extractos en los solventes etanol, agua y hexano durante la maceración a las temperaturas de 25 y 55 grados centígrados.	69

XV. Propiedades de los extractos filtrados obtención de los extractos por medio de maceración y método soxleth al polvillo del fruto del árbol de la Sapindus Saponaria -jaboncillo-.	70
XVI. Pruebas realizadas al fruto fragmentado de la Sapindus Saponaria -jaboncillo- en la identificación de las principales familias de metabolitos secundarios.	70
XVII. Pruebas realizadas en la identificación de las principales familias de metabolitos secundarios al extracto acuoso del fruto del árbol de la Sapindus Saponaria -jaboncillo-.	71
XVIII. Pruebas realizadas en la identificación de las principales familias de metabolitos secundarios al extracto etanólico del fruto del árbol de la Sapindus Saponaria -jaboncillo-.	72
XIX. Pruebas realizadas en la identificación de las principales familias de metabolitos secundarios al extracto de hexano del fruto del árbol de la Sapindus Saponaria -jaboncillo-.	73
XX. Resultados esperados al realizar el tamizaje fitoquímico en el extracto vegetal en etanol utilizado como solvente .	74
XXI. Resultados esperados al realizar el tamizaje fitoquímico en el extracto vegetal en agua utilizado como solvente.	76
XXII. Resultados esperados al realizar el tamizaje fitoquímico en el extracto vegetal en hexano utilizado como solvente.	78

XXIII. Porcentaje de humedad fruto fresco del fruto del árbol de la Sapindus Saponaria -jaboncillo-.	105
XXIV. Porcentaje de humedad secado al sol del fruto de la Sapindus Saponaria -jaboncillo-.	105
XXV. Porcentaje de humedad secado en horno del fruto del árbol de la Sapindus Saponaria -jaboncillo-.	105
XXVI. Comparación de masas del fruto del árbol de la Sapindus Saponaria -jaboncillo-; mesodermo y endodermo.	106
XXVII. Rendimiento del pulverizado del fruto seco de la Sapindus Saponaria -jaboncillo-.	106
XXVIII. Rendimiento del pulverizado de las hojuelas de la primera pulverización del fruto seco del árbol de la Sapindus Saponaria -jaboncillo-.	106
XXIX. Rendimiento de la maceración del polvillo del fruto del árbol de la Sapindus Saponaria -jaboncillo-.	107
XXX. Densidad de los extractos de etanol, agua y hexano del fruto del árbol de la Sapindus Saponaria -jaboncillo-.	107
XXXI. Índice de hinchamiento en la determinación de la presencia de mucílagos en el material fraccionado del fruto seco del árbol de la Sapindus Saponaria -jaboncillo-.	108

XXXII. Porcentaje de humedad fruto fresco traído del municipio de Cunén, Quiché, Guatemala del árbol de la Sapindus Saponaria -jaboncillo-.	115
XXXIII. Porcentaje de humedad fruto seco, realizado al fruto seco en secado al sol y secado en horno de tiro forzado.	115
XXXIV. Comparación de masas del mesodermo (cáscara) con el endodermo (semilla) del fruto seco del árbol de la Sapindus Saponaria -jaboncillo-.	116
XXXV. Rendimiento porcentual del proceso de molienda a tamiz 100 del fruto seco del árbol de la Sapindus Saponaria -jaboncillo-.	116
XXXVI. Rendimiento de pulverización de las hojuelas de la primera Pulverización.	117
XXXVII. Rendimiento porcentual de maceración del fruto del árbol de la Sapindus Saponaria -jaboncillo- en los solventes etanol, agua y hexano a 25 y 55 grados centígrados.	117
XXXVIII. Densidad de los extractos obtenidos por maceración y método soxleth al polvillo del árbol de la Sapindus Saponaria -jaboncillo-.	118
XXXIX. Índice de hinchamiento obtenido en la identificación del metabolito secundario, mucílago, en el tamizaje realizado a la materia prima del fruto del árbol de la Sapindus Saponaria -jaboncillo-.	118

XL. Análisis estadístico método ANDEVA para el porcentaje de rendimiento de los extractos con solventes etanol, agua y hexano a 25 grados centígrados del fruto del árbol de la Sapindus Saponaria -jaboncillo-.	119
XLI. Análisis estadístico método ANDEVA para el porcentaje de rendimiento de los extractos con solventes etanol y agua a 55 grados centígrados del fruto del árbol de la Sapindus Saponaria -jaboncillo-.	119
XLII. Análisis estadístico método ANDEVA para el porcentaje de humedad del fruto secado al sol y secado en horno del fruto del árbol de la Sapindus Saponaria -jaboncillo-.	120
XLIII. Análisis estadístico método ANDEVA Densidades de los extractos de los solventes etanol, agua y hexano a 25 grados centígrados del fruto del árbol de la Sapindus Saponaria -jaboncillo-.	120
XLIV. Análisis estadístico método ANDEVA Densidades de los extractos de los solventes etanol, agua y hexano a 55 grados centígrados del fruto del árbol de la Sapindus Saponaria -jaboncillo-.	121

LISTA DE SÍMBOLOS

a	Alfa.
β	Beta.
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-.
?	Constante dieléctrica.
K	Permeabilidad.
N_A	Flujo molar.
Sc	Número de Schmidt.

Spr	Saturación residual promedio.
Ux	Velocidad en el eje x.
Uy	Velocidad en el eje y.
Uz	Velocidad en el eje z.
Z	Profundidad del lecho.
?	Densidad.
? p	Variación de presión.
μ	Viscosidad.
±	Más o menos.
%	Porcentaje.
∞	Infinito.

GLOSARIO

Alifático	Nombre genérico de los compuestos orgánicos.
Capacitancia	Es la razón entre la carga (Q) de cualquiera de los conductores y la diferencia de potencial (V) entre ellos, en un capacitor.
Constante dieléctrica	Numero 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.
Dipolo	Separación de cargas positivas y negativas en un átomo neutro.
Maceración	Operación que consiste en sumergir una planta o fragmentos de la planta en un solvente para extraer de estas las partes de ella.
Metabolitos Secundarios	Son aquellas moléculas responsables 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.
Permeabilidad	Paso de $1 \text{ ml/s} \cdot \text{cm}^2$ de un fluido con una viscosidad de 1 centipoise, bajo un gradiente de presión de 1 atm/cm a través de un lecho poroso.
Polaridad	Es la diferencia en la densidad electrónica de la carga ubicada en relación a dos 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 una fase homogénea.
Tóxico cinética	Se refiere a la forma en que los solventes son absorbidos, distribuidos, biotransformados y eliminados por el cuerpo.
Tóxico dinámica	Es la forma en que se describe como una sustancia ataca al cuerpo humano.

RESUMEN

Se realizó la identificación de las principales familias de **metabolitos secundarios**, por medio de la realización del **tamizaje fitoquímico** al fruto del árbol de la **Sapindus Saponaria** -jaboncillo-, se realizó la obtención de los extractos por medio de lixiviación, colocando en contacto directo tres solventes diferentes etanol, agua y hexano a dos temperaturas diferentes, una a 25 ° C y la otra a 55 ° C con polvillo del fruto a tamiz 100.

Para los tratamientos a temperatura ambiente de los tres solventes etanol, agua y hexano se realizó por medio de maceración; y, para los tratamientos en temperatura sobre la ambiental se utilizó para etanol y agua, también, maceración y para el solvente hexano se utilizó el método soxleth, debido a que el hexano como solvente en maceración y el polvillo utilizado a 55 ° C provoca la formación de masas endurecidas entre mayor se realizaba el incremento de la temperatura.

Se calculó que para trabajar con el material pulverizado del fruto del árbol del jaboncillo debe contener una **humedad del 10 %**, aproximadamente, un poco más arriba en humedad y el material forma gomas, por lo que dió un punto de partida de ver la identificación de mucílagos. **La proporción del cascarón con respecto al fruto es de un 73 %**, aproximadamente, que es un porcentaje alto de aprovechamiento del material.

Respecto a la **pulverización, éste tiene un rendimiento bajo del 6 %**, aproximadamente, en relación al tamaño de partícula deseado, pero es efectivo, comparado con un molino que forma gomas al absorber agua.

En la extracción con los diferentes solventes se obtiene en promedio una **rendimiento de extracción del material a analizar referido para etanol, agua y hexano a 25 ° C de 55 %,66 % y 3.0 %**, respectivamente, y para etanol, agua y hexano a 55° C de 62 %, 75 % y 7.0 %, respectivamente.

Se analizaron las propiedades físicas del extracto, observando para el agua un extracto café claro, para el etanol extracto café rojizo y para el solvente hexano un extracto color amarillo pálido, la tendencia de la densidad en los extractos fue igual para los tres, un aumento en el valor de esta respecto de las densidades de los solventes puros.

Las familias de metabolitos secundarios identificadas en etanol a temperatura ambiente son taninos catéquicos, antocianinas, chalconas, triterpenos/esteroles, esteroides insaturados, azúcares 2-desoxigenados, saponinas, principios amargos y compuestos fenólicos, para la temperatura de 55 ° C se identificaron, las leucoantocianinas, flavonoides, chalconas, triterpenos/esteroides, esteroides insaturados, saponinas, principios amargos y compuestos fenólicos.

Para el extracto acuoso se identificó a temperatura ambiente, taninos catéquicos, alcaloides, compuestos fenólicos, triterpenos/esteroides, saponinas -esteroidales, triterpenoides-, triterpenos saturados y esteroides, para la temperatura de 55 ° C alcaloides, compuestos fenólicos, triterpenos/esteroides, saponinas -esteroidales, triterpenoides-, triterpenos insaturados y esteroides.

Y para el extracto hexánico se encontraron solamente para ambas temperaturas triterpenos/esteroles. Por lo que se encuentra una amplia gama de metabolitos en solventes polares, no siendo así para solventes no polares.

Las condiciones en las que se trabajó son a presión atmosférica en Guatemala de 640 mm de Hg, a temperatura ambiente de 25 ° C y con calentamiento a 55 ° C.

OBJETIVOS

Generales:

- Identificar a través de un **Tamizaje Fitoquímico** las principales Familias de **Metabolitos Secundarios** presentes en el fruto del árbol de la **Sapindus Saponaria** -jaboncillo-.

Específicos:

1. Evaluar el **Tamizaje Fitoquímico** en condiciones diferentes de extracción, en función del solvente utilizando hexano, alcohol, agua y de la temperatura, trabajando a temperatura ambiente y a una mayor, para determinar la eficiencia de extracción en cada una de las variables.
2. Realizar un monitoreo del pH respecto la extracción de esencia del fruto de la Sapindus Saponaria, en donde se encuentran los **Metabolitos Secundarios**.
3. Adecuar una metodología para **Tamizaje Fitoquímico**, mediante la utilización un método químico y no instrumental.

HIPÓTESIS

- Es posible realizar un **Tamizaje Fitoquímico** utilizando los extractos hexano, etanol y agua, para la identificación de las principales familias químicas de **Metabolitos Secundarios** presentes en el fruto del árbol de la **Sapindus Saponaria** -jaboncillo-.

Hipótesis Estadística

- **Ho:** no existe diferencia significativa en los rendimientos de los extractos realizados con etanol, agua y hexano como solvente, al mesodermo del fruto del árbol de la Sapindus Saponaria -jaboncillo- sin variar la metodología utilizada.

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

- **Hi:** si existe diferencia significativa en los rendimientos de los extractos realizados con etanol, agua y hexano como solvente, al mesodermo del fruto del árbol de la Sapindus Saponaria -jaboncillo- sin variar la metodología utilizada.

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

INTRODUCCIÓN

Las plantas son una fuente inagotable de compuestos químicos y complejas sustancias activas. Esto es algo conocido y explotado por el hombre desde hace muchos años. Herbolarios y recetas magistrales obtenidas de la “farmacia de la naturaleza” son fruto de la inagotable biodiversidad de nuestro planeta, lo que en la actualidad ha adquirido un enorme protagonismo y divulgación.

Grandes grupos industriales y farmacéuticos trabajan activamente en la detección y caracterización de sustancias producidas por diferentes especies y que pueden tener aplicación en diversos campos. En medicina y farmacia -anticancerígenos, antibióticos-, lucha contra plagas -insecticidas-, en la industria alimentaría -conservantes, pigmentos-, en la industria cosmética -esencias y colorantes-. Todos estos productos, muy difíciles o imposibles de sintetizar en laboratorio, se agrupan bajo el nombre de **Metabolitos Secundarios**.

En la actualidad, sólo unos pocos **metabolitos secundarios** como las shikoninas y ácido rosmarínico, entre otros, se utilizan de forma industrial, aunque el caudal de conocimientos adquiridos sobre los **metabolitos secundarios** ha alcanzado un elevado nivel y muchos de los problemas planteados de aplicación industrial han sido resueltos con éxito, lo que sin duda permitirá nuevos avances.

Al observar la necesidad que presenta la industria nacional y mundial acerca de la explotación de los **metabolitos secundarios** que se tiene, se realiza la obtención de los **metabolitos secundarios** principales, dando énfasis en las saponinas, en el fruto de la **Sapindus Saponaria** -jaboncillo o boliche-.

JUSTIFICACIÓN

Guatemala es un país que se caracteriza por la diversidad de sus zonas agro ecológicas, sus riquezas naturales y que posee una gran variedad de plantas nativas. Existe infinidad de plantas a explotar, pero en este caso en particular se basa la investigación en el fruto de la **Sapindus Saponaria** -jaboncillo-, dado que el recurso esta disponible y no ha sido investigado fitoquímicamente.

El recurso se utiliza artesanalmente, para lavar, para bañarse, para intoxicación de peces y favorecer así el crecimiento de camarones, como antiflatulante en los rumiantes, como medicina y alimento.

Los metabolitos secundarios son utilizados en la actualidad como fuente industrial en el tratamiento de la tos, bronquitis, antihistamínico, anti inflamatorio, problemas cardíacos y otros problemas de salud.

La implementación y fusión de metodologías utilizadas por investigadores de fitoquímica del país y del exterior, permiten unificar las técnicas para obtener un procedimiento enriquecido que amplía el margen de identificación de **metabolitos secundarios**, logrando una mayor cobertura de todas las familias químicas de importancia industrial; por las características de los métodos incluidos en esta investigación éstos podrán ser utilizados en estudio de tamizaje de familia químicas en las plantas de uso médico artesanal comúnmente utilizadas en Guatemala.

1. MARCO TEÓRICO

1.1 *Sapindus saponaria*

1.1.1 Descripción

Árbol que alcanza de 10 a 25 m de altura y de 20 a 50 cm de diámetro. Copa amplia, densa e irregular. Tronco recto y cilíndrico, ramificado a baja altura. Corteza externa cremosa-amarillenta, lenticelada. Ramitas terminales cilíndricas, a veces, ligeramente, aristadas y con lenticelas granulares. Hojas imparipinadas, alternas, con 5 a 15 folíolos, alternos a lo largo del raquis.

Folíolos de 10-16 cm de largo y de 3-5 cm de ancho, oblongos o lanceolados, con ápice acuminado, bordes enteros, base aguda a obtusa. Los folíolos son glabros y asimétricos, a veces con manchas cloróticas en el haz. Pecíolo pulvinado en la base. Raquis a veces surcado y, ligeramente, alado.

1.1.2 Clasificación

La familia Sapindácea consiste, aproximadamente, de 140 géneros y 1500 especies, difundida en regiones tropicales y subtropicales. Uno de sus géneros es la **Sapindus Saponaria** o jaboncillo; su clasificación es la siguiente:

Tabla I. Clasificación científica del árbol de la Sapindus Saponaria -jaboncillo-.

Reino	Vegetal	Reino	Vegetal
Subreino	Embryobiontha	Familia	Sapindaceae 5
División	Magnoliophyta	Genero	Sapindus
Clase	Magnoliopsida	Especie	Saponaria
Subclase	Rosidae V	Nombre Científico	Sapindus Saponaria
Orden	Sapindales 16	Nombre Vulgar	Jaboncillo, boliche

FUENTE: Caracterización física y química del fruto Sapindus Saponaria -jaboncillo- y su potencial de industrialización como fuente de saponinas. Álvarez De León, Carmen Ileana

1.1.3 Flores y frutos

La especie es polígama, presenta flores blancas, pequeñas, visitadas por abejas y otros insectos. Florece y fructifica de noviembre a mayo. El fruto es una **drupa globosa**, se encuentran unidos en grupos de 2 ó 3, verde, tornándose amarillo y rodeado por una bolsa **mucilaginoso** y transparente al madurar. Las semillas son dispersadas por animales, a veces son dañadas por un coleóptero de la familia Cerambycidae.

Figura 1. Tamaño y forma de las flores y hojas del árbol de la Sapindus Saponaria -jaboncillo-.



Fuente: Página de Internet

Figura 2. Tamaño y forma del fruto y de la semilla del árbol de la Sapindus Saponaria -jaboncillo-.



Fuente : Autor presente tesis.

1.1.4 Especies parecidas

Cuando Sapindus tiene el raquis de la hoja alado, puede confundirse con Dipteryx oleífera, pero Dipteryx es un árbol de mayor tamaño, con flores rosadas o, ligeramente, púrpuras y el fruto es una drupa de mayor tamaño.

1.2 Distribución nacional

En Guatemala el árbol se encuentra en áreas espesas de arbustos, lugares húmedos o bosques tropicales húmedos, a lo largo del camino en las corrientes de ríos y cerca de caseríos. El árbol se encuentra en los siguientes departamentos.

Tabla II. Distribución regional de la Sapindus Saponaria -jaboncillo- en la República Guatemala.

Departamento	Altura (m)	Departamento	Altura
Petén	142	Alta Verapaz	1361.91
El Progreso	516.9	Zacapa	184.69
Jalapa	1361.91	Quiché	2021.46
Huehuetenango	1901.64	Quetzaltenango	2333.06
San Marcos	2398	Retalhuleu	239.39

FUENTE: Caracterización física y química del fruto Sapindus Saponaria -jaboncillo- y su potencial de industrialización como fuente de saponinas. Álvarez De León, Carmen Ileana.

1.2.1 Origen

El fruto de la **Sapindus Saponaria** -jaboncillo- recolectado es originario de la **aldea Cunén, Departamento del Quiché, República de Guatemala** . La altura a que se encuentra en metros sobre el nivel del mar es de 1,827 metros -msnm-. Latitud 15 grados, 20 minutos y 10 segundos. Longitud 91 horas, 1 minuto y 35 segundos.

1.2.2 Clima

Desde el punto de vista climatológico, Guatemala presenta características por demás variadas e interesantes. Su posición intertropical y el hecho de contar con dos litorales distintos de gran proximidad, son factores que al conjugarse producen una variada gama en sus condiciones macro-climatológicas. A continuación se describe, en forma general, los elementos que han sido analizados para definir el clima de Cunén.

1.2.3 Temperatura

Con base en la clasificación del clima del Thornthwaite, se ha definido como “**gradiente térmico**” medio para el territorio nacional. Cuyo valor es de 176, m^oC. Con este criterio se determina que el clima es, semi-cálido, 18.7 ° C a 23.9 ° C. El tipo de variación de temperatura, carácter del clima es “**sin estación fría bien definida**”.

1.2.3.1 Humedad

En el altiplano occidental del territorio nacional se registra 120 días de lluvia anual, el carácter del clima es “**Húmedo**” y la vegetación natural característica es “**Bosque**”. El tipo de distribución de la lluvia se define como “**Sin estación seca bien definida**”.

1.2.3.2 Geología

Según la leyenda geológica, **Cunén, Quiché** se encuentra en el período Cretácico, el cual está conformado por, Rocas de Carbonato Neocomiano-Campiano. Incluye formaciones Cobán, Ixcoy, Cambur, Sierra Madre y Grupo Yojoa. No presenta fallas, conos volcánicos, cúpula volcánica, ni estructura de hundimiento volcánico.

1.2.4 Hidrología

El declive natural por donde corre o puede correr el agua se denomina **vertiente**. Por cuenca hidrológica, se entiende el área limitada por todos aquellos puntos altos, desde donde el agua corre para formar el drenaje superficial, -quebradas, arroyos y ríos- que recolecta la lluvia caída sobre la misma. Guatemala posee tres grandes vertientes en que se divide el país.

Tabla III. Distribución de las vertientes de agua que alimentan la República Guatemala.

Vertiente	Área (Km²)
Del Pacífico	23,900
Del Mar de Las Antillas	57,005
Del Golfo de México	50,803
Total	131,708

FUENTE Atlas nacional de Guatemala.

De estas tres vertientes el que alimenta la sección en donde se encuentra Cunén, Quiché es la vertiente del Golfo de México. Aquí le alimenta Chisiguan con un promedio de caudal de 36 m³/segundo.

1.2.5 Génesis del suelo

En Cunén, Quiché es de Suelos Desarrollados sobre Rocas Calcáreas a Elevaciones Medianas. Dentro de ellos se encuentran molisoles y suelos maduros; su textura es arcillosa, color negro, neutros a, ligeramente, alcalinos de menos de treinta centímetros de espesor, que descansan sobre subsuelos arcillosos, de color rojo cafésacéo, o bien amarillo cafésacéo. En la mayoría, la roca madre se encuentra a menos de dos metros de profundidad. Sin embargo, en algunos lugares se encuentran suelos hasta de tres metros de espesor.

1.2.6 Susceptibilidad de erosión

Esta depende de la resistencia de la superficie de la tierra a la degradación, ya sea por procesos epigénicos naturales que producen la erosión geológica, la cual mantiene un perfil de equilibrio dinámico en las formas de la tierra que reduce; o por la erosión antrópica o acelerada, en la cual el hombre altera el equilibrio dinámico, acrecentando el proceso denudativo. La susceptibilidad de erosión en Cunén, Quiché se encuentra en la clase de “**Grande o Alta**”, de una clasificación de ninguna, ligera, moderada, grande o alta, muy grande o muy alta y superficie de agua.

1.2.7 Zona de vida vegetal

La vida vegetal es un conjunto de asociaciones de plantas que existen al momento de realizar las observaciones, sin tomar en cuenta en consideración la estabilidad de sus componentes. En base a esto Cunén, Quiché se encuentra en una zona de vida vegetal ‘**Montano bajo húmedo**’, esto significa que se encuentra en un nivel subtropical.

1.2.8 Uso de la tierra

El uso que se da a la tierra en Cunén, Quiché es “**Cultivos Anuales**”. Está representada por la intensidad de uso y explotación de los recursos naturales y determinan cualquier tipo de regionalización agrícola. La precipitación, insolación, temperatura, vientos, estaciones y otras pulsaciones climáticas se reflejan en las tierras cultivadas, alterando los paisajes naturales, e imprimiendo no solo el cambio de cubierta vegetal, sino también la presencia de elementos, totalmente, artificiales como los diferentes cultivos, tierras en rotación y baldías e infraestructura mecánica.

1.3 Investigación Fitoquímica

Para la investigación fitoquímica del fruto de la Sapindus Saponaria - jaboncillo-, es necesario realizar extracciones reproducibles y cualificables.

1.3.1 Tamizaje Fitoquímico

Consiste en realizar una extracción por maceración a temperatura ambiente, con varios disolventes de diferentes polaridades, generalmente, diclorometano o hexano, éter o etanol y agua. Por la toxicidad y efectos farmacológicos de estos disolventes, **es preciso concentrar los extractos evaporando el disolvente a presión reducida y temperatura controlada** hasta alcanzar un estado de miel -rota evaporación-.

En el caso de los extractos acuosos, se suele concentrar por medio de liofilización. En esta forma los extractos son más estables y fáciles de almacenar y dosificar. **Además de extraer la planta con solventes apropiados, se aplican, posteriormente, reacciones de coloración que permiten la evaluación rápida, con reacciones sensibles, reproducibles y de bajo costo.**

1.3.2 Familias de compuestos a identificar

1.3.2.1 Aceites Esenciales

Son aceites muy livianos, contenidos en diferentes partes de las llamadas plantas aromáticas, algunas de las cuales contienen la esencia principalmente, en sus semillas -anís, eneldo, coriandro-, en las cáscaras de su fruto -limón, bergamota, naranja-, en las hojas -menta, eucalipto, tea-tree-, en la

madera -canela, sándalo, cedro-, en las flores -jazmín, lavanda, ylang-ylang- en sus raíces -vetiver, jengibre, angélica- y otras, finalmente, en su resina - incienso, benjuí, mirra-.

Estos aceites son, debido a su estructura molecular específica, tan livianos, que algunas de sus fracciones se evaporan a temperatura ambiente, hecho que es determinante para su uso en perfumes. Los aceites esenciales, generalmente, no dejan manchas, tal como sus parientes más pesados que son los aceites vegetales normales -girasol, sésamo, soja-, los que a su vez tampoco dejarían manchas -por lo menos no de grasa-, si se evaporan, exactamente, en su punto de evaporación, el cuál a presión atmosférica, está arriba de 700 °C.

Se obtienen a partir de diferentes plantas mediante destilación, prensado o extracción por agentes. Usados, diferentemente, para fabricar fragancias, también tienen aplicación como sustancia beneficiosa en la aromaterapia y son muy apreciados para perfumar ambientes o como productos de baño.

1.3.2.2 Ácidos Grasos

Son compuestos constituyentes de las grasas, producto de la hidrólisis básica de grasas animales o vegetales. Éstos pueden ser saturados, monoinsaturados o polinsaturados. Si un ácido graso tiene todos los átomos de hidrógeno que puede soportar, se le llama saturado -serie esteárica-. En cambio, si algunos de los átomos de hidrógeno están ausentes y la unión sencilla entre los átomos de carbón se ha reemplazado por una unión doble, es insaturada -serie oleica-. Si hay sólo una unión doble, es monoinsaturada. Si hay más de una es polinsaturada -series linoléica y linolénica-.

1.3.2.3 Agliconas de Flavonoides

Grupo alquilo o arilo que se encuentra unido a un azúcar -residuo glucósido- y constituyente parte de los denominados glucósidos naturales, que son sustancias derivadas de la glucosa, que se obtienen por el metabolismo de la misma, dando lugar a una parte activa en forma de aglicóna -ésta posee efectos terapéuticos-. Se extraen de las plantas mediante quimiosíntesis. Se usan en fitoterapia y medicina como laxantes -ruibarbo, cambromera-, reguladoras del ritmo cardíaco -digital, lirio de los vales, eléboro-, aromáticas -sauce, arándano, brezo-.

1.3.2.4 Alcaloides

Compuestos nitrogenados de origen vegetal. Pueden ser sólidos, solubles en alcohol o insolubles en el agua. Se extraen mediante el agua, alcohol, con álcalis y con disolvente. Son el resultado del metabolismo de los aminoácidos. Su función es reguladora y protege a la planta contra los insectos y parásitos. En medicina, farmacología y fitoterapia se emplea en estado puro o por infusiones se utiliza su cafeína -café, té- y en bebidas refrescantes -colas-. Existen innumerables plantas que contienen alcaloides: opio, cafeto, té, cornezuelo del centeno, ruda, cicuta, belladona, eléboro.

1.3.2.5 Amidas

Cada uno de los compuestos orgánicos que se pueden considerar derivados de un ácido carboxílico por sustitución del grupo —OH del ácido por un grupo —NH₂, —NHR o —NRR -siendo R y R radicales orgánicos-. Formalmente, también se pueden considerar derivados del amoníaco, de una amina primaria o de una amina secundaria por sustitución de

un hidrógeno por un radical ácido, dando lugar a una amida primaria, secundaria o terciaria, respectivamente.

Todas las amidas, excepto la primera de la serie, son sólidas a temperatura ambiente y sus puntos de ebullición son elevados, más altos que los de los ácidos correspondientes. Presentan excelentes propiedades disolventes y son bases muy débiles. Uno de los principales métodos de obtención de estos compuestos consiste en hacer reaccionar el amoníaco -o aminas primarias o secundarias- con ésteres.

Las amidas son comunes en la naturaleza, y una de las más conocidas es la urea, una diamida que no contiene hidrocarburos. Las proteínas y los péptidos están formados por amidas. Un ejemplo de poliamida de cadena larga es el nailon. Las amidas también se utilizan mucho en la industria farmacéutica.

1.3.2.6 Antocianinas

Técnicamente, son conocidos como Flavonales. Son pigmentos hidrosolubles, a los que las flores, las hojas -sobre todo amarillas u otoñales- y los frutos, deben sus tintes rojos, violetas o azules. Fortalecen y hacen de puente entre las proteínas de colágeno. Las antocianidinas, siendo solubles en agua, también recogen radicales libres que se encuentran en los fluidos de los tejidos. Esta es una potente habilidad que beneficia, especialmente, a atletas y otras personas dedicadas a la actividad deportiva y física, debido a que el ejercicio extenuante genera gran cantidad de radicales libres. Se emplea como antioxidantes.

1.3.2.7 Antraquinonas y antracénoides

Las antraquinonas son una clase de metabolitos secundarios vegetales con una funcionalidad p-quinoides en un núcleo antracénico, cuyos carbonos se enumeran.

Los compuestos antracénicos vegetales pueden clasificarse según su estado de oxidación en siete grupos estructurales:

- Antraquinonas
- Antronas
- Diantronas
- Antranoles
- Oxantronas
- Naftodiantronas
- Antrahidroquinonas
- Emoides

Las estructuras básicas de estas siete clases de compuestos antracénicos. Puede observarse en el caso de las diantronas -dímeros de las antronas-, que el enlace que une las dos unidades básicas, es decir el enlace entre los carbonos 10 y 10', genera la posibilidad de isómeros CIS y TRANS a través del mismo. Además, si las dos unidades básicas son idénticas, se dice que son HOMODIANTRONAS -por ejemplo las senidinas A y B-, mientras que si son diferentes, se las llama HETERODIANTRONAS -por ejemplo las senidinas C y D-, **los emoides son derivados de ácido de la antraquinona, relacionado con pigmentos en plantas, hongos, líquenes e insectos.**

1.3.2.8 Carotenoides

Son polisoprenoides. Responsables del color amarillo, naranja, verde y rojo de diversas frutas y vegetales, como el tomate, perejil, naranja, espinaca, entre otros, y en algunos alimentos de origen animal como la yema del huevo. **Algunos de los carotenoides tienen la capacidad de transformarse en vitamina A en nuestro cuerpo de acuerdo a las necesidades.** Presentan una importante acción antioxidante. El alto consumo de carotenoides se asocia con un menor riesgo de cáncer. Además, tienen un efecto favorable sobre el sistema inmunológico y protegen a la piel de la radiación ultravioleta.

1.3.2.9 Compuestos Reductores

Compuestos que poseen una o varias funciones alcohólicas y una función pseudo aldehídica -aldosas- o cetónica -cetosas-. Son importantes en la alimentación, la glucosa y la fructosa, que son, directamente, asimilables. La glucosa es producida en la escala industrial por la hidrólisis ácida del almidón. Se utiliza para preparar el suero glucosado en medicina y líquidos fisiológicos.

1.3.2.10 Cumarinas

Sustancia que se encuentra en muchos vegetales, siendo más abundantes cuando se secan. Se encuentra en hojas, frutas, semillas y raíces, mayormente, en las gramíneas y umbelíferas. Da un olor agradable en el espliego, la asperilla olorosa, el tabaco, etc. Tipo de lactonas, se prohíbe su uso como saborizante por ser tóxico. Anticoagulante y aromatizante.

Características generales: Compuestos, ampliamente, repartidos en el Reino Vegetal. Presentan una estructura básica de 2H-1-benzopiran-2-ona. Se originan por lactonización del ácido cis-O-hidroxicinámico o ácido cumarínico.

Clasificación: Hidroxi o metoxi cumarinas, Cumarinas isoprenílicas, Piranocumarinas, Furanocumarinas.

1.3.2.11 Esteroles

En la naturaleza se encuentran una gran cantidad y **diversidad de sustancias con el núcleo esteroide, las cuales incluyen a los esteroides -o 3-hidroxiesteroides-**, los esteroides con grupos carbonilo -también denominados oxa- o cetoesteroides-, los esteroides con grupos amino en el núcleo o la cadena lateral -alcaloides esteroidales- y los cardenólidos -o cardiotónicos- entre otros. Estos a su vez se les encuentra en forma libre, esterificados con ácidos grasos o glicosidados. A continuación se describen algunos aspectos generales de los esteroides más distribuidos, haciendo un énfasis especial en su elucidación estructural.

Los esteroides se encuentran, ampliamente, distribuidos en los reinos animal y vegetal; y se les encuentra en forma libre -también llamados agliconas esteroides-, como ésteres o como glicósidos. Todos contienen un núcleo ciclopentanoperhidrofenantreno y presentan un grupo hidroxilo en el carbono 3.

La mayoría de esteroides naturales o esteroides insaturados poseen una cadena lateral de 8 a 10 átomos de carbono y un enlace doble en el C-5. En los animales superiores -incluido el hombre- se encuentra, principalmente, el colesterol, el cual es un constituyente importante de

membranas y precursor de sustancias, fisiológicamente, importantes -hormonas, ácidos biliares, vitamina D, etc.-.

En las plantas superiores se encuentran, principalmente, los denominados fitosteroles: β -Sitosterol, ampesterol y Estigmasterol. Un esteroles menos común es el Fucosterol, el cual es el esteroide principal de muchas algas pardas y también se le ha detectado en el coco -*Cocos nucifera* L-.

Los esteroides naturales conocidos presentan las siguientes características estructurales:

- Los enlaces dobles en el núcleo se presentan, principalmente, en C-5, C-7, C-8 y C-9.
- Los enlaces dobles en la cadena lateral se presentan, especialmente, en C-22, y con menor frecuencia en C-24 y C-25.
- Además de los grupos metilos 18, 19, 21, 26 y 27, es frecuente encontrar grupos metilo en C-24, menos frecuente en el C-4.
- La cadena lateral presenta grupos alquilo -metilo, etilo, isopropilo, propilo-, principalmente, en C-24.
- Algunos organismos poco evolucionados -invertebrados marinos, orquídeas- presentan esteroides con modificaciones en la cadena lateral anillos ciclopropano, dobles enlaces alélicos, metilaciones en C-26 y C-27, ausencia del C-25, y con núcleos modificados.

1.3.2.12 Flavonoides

Derivados polihidroxiados de las estructuras básicas del 2 fenil cromano. Reduce fragilidad capilar, protegen frente a estados tóxicos, antiinflamatorios y colorantes, combaten alergias, agregados plaquetarios, radicales libres, microbios, virus, tumores, hipertensión, protegen el sistema circulatorio. Reducen el riesgo de varios tipos de cáncer y algunos trastornos de la vista. Se encuentra, por ejemplo, en la manzanilla.

1.3.2.13 Glucósidos cianogénicos

Los glucósidos cianogénicos son sustancias constituidas de una porción esteroide, una porción glicosídica y un anillo de -lactona, β -insaturada o -lactona-, β -insaturada, que actúan sobre el músculo cardíaco y por tanto se utilizan como medicamentos contra la insuficiencia cardíaca. Se conocen entonces según el anillo lactónico dos grandes clases de cardiotónicos: Los CARDENOLIDOS, con anillo de lactona, y los BUFANOLIDOS O ESCILANOLIDOS, con anillo de lactona. Dentro de las recetas o pócimas que utilizaban las brujas para curar enfermedades estaba como ingrediente la piel de sapo, muchos años después se comprobó la presencia de sustancias bioactivas: los bufanólidos, presentes en ranas del género Bufus.

1.3.2.14 Mucílagos

Se componen en su mayor parte de polisacáridos -pentosanas y hexosanas-, fermentos, productos de oxidación y elementos minerales. Al mezclarse con el agua da como resultado una sustancia viscosa de aspecto gelatinosa. Poseen un amplio espectro de actuación: como antiinflamatorias, emolientes -ablandan- y vulnerarias -cicatrizan-, protectoras de las mucosas

antidiarréicas -baja dosis- y laxantes -altas dosis-, antibióticas. En fitoterapia se emplean a modo de infusiones para resolver problemas del aparato respiratorio y como cataplasmas para aliviar los dolores producidos por traumatismos. Se encuentran en gran proporción en algas, algunos bulbos, tubérculos, plantas carnosas. Dentro de los mucílagos, se distinguen también las pectinas que se hallan en frutas y verduras.

1.3.2.15 Polisacáridos

Los polisacáridos son polímeros de cadena lineal o ramificada, unidos a través de enlaces glicosídicos, sus monosacáridos son galactosa, fructosa y glucosa, siendo esta última la mayoría, pues está presente en un gran número. Estos carbohidratos tienen un alto peso molecular y son insolubles en agua. De los polisacáridos más utilizados en la industria de alimentos se tiene almidones, celulosas, pectinas, gomas, exudados de plantas, entre otros.

1.3.2.16 Saponinas

Son glucósidos presentes en muchas plantas. Son compuestos solubles en agua, incoloros y amorfos. Forman emulsiones muy espumosas y coloideas, por lo que son empleadas para la fabricación de jabones y lejías. La solubilidad en agua de estos compuestos está facilitada por su alto peso molecular y la presencia de los residuos de monosacáridos y de otros grupos polares en la aglicona. En fitoterapia, se usan porque produce un aumento en la liberación de glóbulos rojos -esto hace de ellas sustancias peligrosas, pues pueden llegar a ser tóxicas-. En medicina se emplean como diuréticos, expectorantes, desinfectantes del aparato genitourinario.

Plantas ricas en saponinas son el gordolobo, ginseng y saponaria, entre otras. **Presentan un grupo de características generales que sirven de base para su identificación rápida:** a) **producción de espuma al ser agitadas sus soluciones acuosas, lo cual es la base de la reacción de selivoflo empleada en el tamizaje fitoquímico;** b) producción de hemólisis de los glóbulos rojos por la mayoría de ellas, propiedad que se aprovecha en las técnicas en que se cuantifica la potencia de estas sustancias; c) producción de una reacción positiva en la prueba de Liebermann-Burchad. Por lo general, las saponinas esteroidales en esta prueba manifiestan colores que van desde el azul hasta el verde, y las saponinas triterpénicas, rosada, rojo o violeta. Además, la mayoría de las saponinas son solubles en diferente grado en soluciones de etanol al 80% propiedad que se emplea en diversas técnicas para su extracción y purificación.

1.3.2.16.1 Efectos antinutricionales

Los efectos antinutricionales de las saponinas han sido, fundamentalmente, estudiados con la alfalfa. En no rumiantes -pollos, conejos, cerdos, ratas-, el efecto principal es el retardo en el crecimiento debido a la disminución en el consumo. Tal reducción puede ser debida a la baja palatabilidad producida porque las saponinas tienen un efecto irritante sobre la membrana bucal y la garganta. Algunos autores han planteado que las saponinas pueden inhibir la fermentación y síntesis bacteriana en el rumen de las ovejas.

1.3.2.16.2 Toxicidad

Así como las agliconas tienen un efecto irritante sobre las membranas, algunas pueden hacerlas permeables a los glóbulos rojos. En los casos más

severos, las membranas pueden ser destruidas, provocándose una hemorragia. El efecto varía, considerablemente, entre especies de plantas, tipo de animales, clima, hábitat.

Históricamente, las saponinas han estado asociadas al rumen inflado -bloat- que se produce en los rumiantes que consumen alfalfa fresca. Hay sin embargo, variedades de esta planta con bajos niveles de saponinas que también lo producen. Este fenómeno, prácticamente, no se aprecia en áreas tropicales.

1.3.2.16.3 Como aliviar los efectos adversos

Los efectos no deseables de las saponinas pueden ser evitados o aliviados mediante lavado del producto. Este tratamiento lo hace palatable por reducción del amargor asociado con las saponinas. Tiene, desde luego, la dificultad de que se pierden nutrientes solubles.

1.3.2.17 Taninos Catéquicos y Taninos Gálicos

Son cada uno de los compuestos ternarios del carbono, hidrógeno y oxígeno. Suelen en la familia de las fanerógamas -roble, encinas- y en algunas criptógamas. Son solubles en agua, acetona y alcohol. En medicina natural se emplean para combatir la tos, la bronquitis, las quemaduras, heridas -coagulante-, hemorroides, diarreas, excesiva sudoración. Industrialmente, se usan para dar al cuero un aspecto más curtido. Los taninos catéquicos son sustancias que los ácidos no hidrolizan; los ácidos fuertes con calor o los agentes de oxidación, los convierten en rojas u oscuras.

Tienen propiedades astringentes de uso externo y antidiarreico. **Los taninos gálicos son ésteres del ácido gálico y ácido digálico con dos osas, generalmente, la glucosa y la hamamelosa -derivado de la ribosa-.**

1.3.2.18 Triterpenos

Constituyen los llamados aceites esenciales, que son compuestos de varias sustancias orgánicas volátiles o aromáticas, que pueden estar constituidos por alcoholes, acetonas, cetonas, éteres aldehídos y que se producen y almacenan en los canales secretores de las plantas. Se les extrae, preferentemente, por arrastre de vapor o por solventes orgánicos. Las plantas con aceites esenciales se ubican, principalmente, en las familias de las Labiadas y las Umbelíferas. Las propiedades curativas son variadas y abundantes. Por lo general, poseen propiedades sedantes, antiespasmódicas y desinfectantes. Dado que son compuestos volátiles, son eliminados por las vías respiratorias y actúan como expectorantes.

Algunas plantas poseen aceites esenciales que aumentan la diuresis -caléndula- y otras poseen efectos anti-histamínicos -manzanilla-. Útiles en perfumería, farmacia y en la preparación de determinados alimentos. Previenen las caries y actúan como agentes anti-ulcerativos. Se unen al estrógeno e inhiben los procesos inflamatorios por supresión de la actividad de ciertas enzimas.

1.4 Propiedades de los solventes

1.4.1 Volatilidad

Se refiere a la cantidad de presión de vapor mensurable en una sustancia, o bien a la concentración respectiva de una determinada 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.

1.4.2 El grado de inflamabilidad

Es la temperatura a la cual el solvente emite suficiente vapor como 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.

1.4.3 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.

1.4.4 El peso molecular

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

1.4.5 Olor

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

1.4.6 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:

Enlaces ion-ion: muestra la atracción entre las cargas opuestas de un catión y un anión.

Enlaces dipolo-dipolo: atracción entre el extremo positivo de una molécula polar y el negativo de otra, también polar.

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. 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 porque 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 poder de solvatación no depende, simplemente, de un elevado momento dipolar, sino que también tiene que ver con la naturaleza de los enlaces químicos formados.

1.5 Efectos y características generales de los solventes industriales

1.5.1 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.).

1.5.1.1 Tóxico cinética

1.5.1.1.1 Absorción

Los líquidos y gases de esta categoría tienen buena absorción por todas las vías. Las parafinas tienen absorción casi nula.

1.5.1.1.2 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.

1.5.1.1.3 Biotransformación

En el hígado son convertidos en alcoholes secundarios o cetonas -más hidrosolubles-, o puede fragmentarse la molécula.

1.5.1.1.4 Eliminación

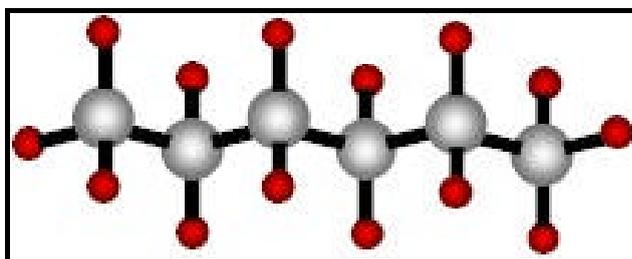
Su nula hidrosolubilidad dificulta su excreción. Los metabolitos solo se excretan por la orina, ya que su liposolubilidad favorece la reabsorción entero hepática.

1.5.1.2 Toxico dinámica

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 mediado por el contacto de alcanos líquidos. Igualmente, puede ocurrir hemólisis por alteración de la membrana eritrocitaria.

Figura 3. Esquema molecular tridimensional de un hidrocarburo alifático -Hexano-.



Fuente: Página de Internet

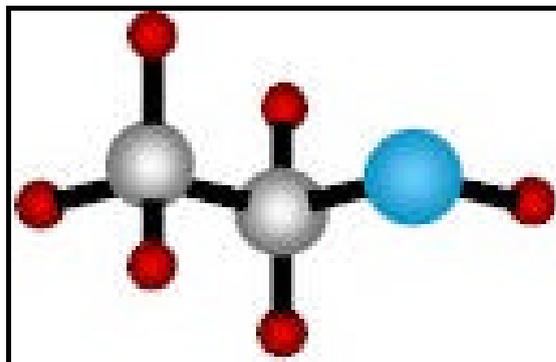
1.5.2. Alcoholes

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 mucosa, 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 hace que sean eliminados, fácilmente, tanto por vía renal como por vía respiratoria.

Figura 4. Esquema molecular tridimensional de un alcohol -etanol-.



Fuente: Página de Internet

1.5.3 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, así como para otras sustancias que son capaces de formar enlaces de hidrógeno con el agua. Ejemplo: alcoholes.

El agua tiene un calor específico elevado ($4.184 \text{ J/g} \cdot ^\circ \text{C}$). 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 sólo aumenta, ligeramente.

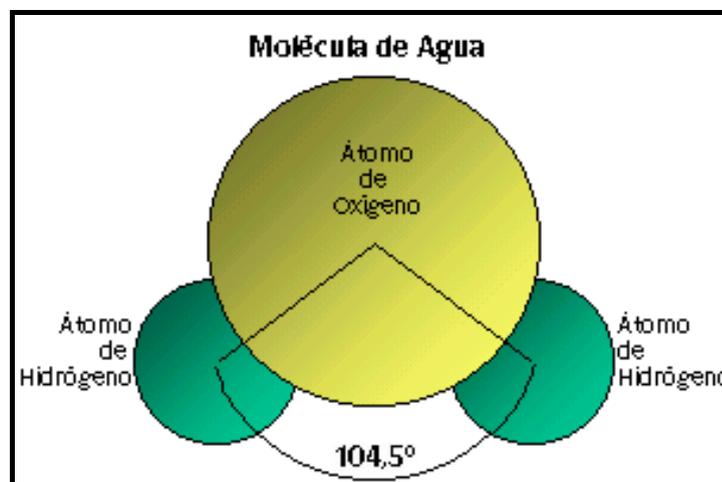
De la misma manera, el agua puede proporcionar mucho calor con sólo una ligera disminución de su temperatura. Por esta razón, las enormes cantidades de agua que se encuentran en los lagos y océanos pueden moderar

de manera eficaz el clima de las zonas circundantes al absorber calor en verano y liberar calor en invierno, con solo 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 el 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 5. Estructura electrónica y ángulo de polaridad de la molécula del agua.



Fuente: Página de Internet

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.

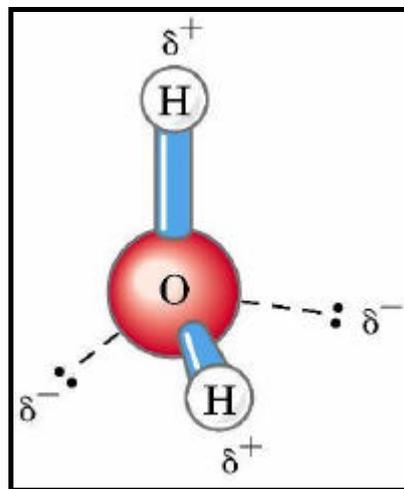
1.6 Constante dieléctrica de los solventes

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 ϵ , 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. Esta se encuentra arreglada de modo que el átomo de oxígeno está ligado a los átomos de hidrógeno con un ángulo de 104.5° entre los dos enlaces.

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. 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 ($\epsilon = 78.3$)

Figura 6. Esquema de la polarización permanente de la molécula de agua.



Fuente: Página de Internet

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 (?) del sistema a través de la fórmula:

$$(\epsilon) = \frac{(\epsilon_A \times \%A + \epsilon_B \times \%B + \dots + \epsilon_n \times \%n)}{100}$$

Tabla IV. Clasificación de solventes por su polaridad con su respectiva constante dieléctrica.

	DIVISION	SUBDIVISION	SOLVENTE	CONSTANTE DIELECTRICA 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

FUENTE Manual del Ingeniero Química, séptima edición en español. Perry.

1.7 Preparación de los extractos vegetales de la *Sapindus Saponaria*

Los extractos de drogas, animales o vegetales, plantas o trozos de plantas pertenecen a las formas farmacéuticas más antiguas. La extracción, propiamente, dicha envuelve la separación de porciones, biológicamente, activas de los componentes inertes o inactivos, a partir de la utilización de un solvente seleccionado y de un proceso de extracción adecuado.

En cada extracción se obtiene un complejo sistema de sustancias activas que puede contener sustancias lastres de diferente procedencia, por lo que son líquidos, semisólidos o polvos, relativamente, impuros. Dependiendo del proceso utilizado y del grado de concentración de los extractivos, se encuentran preparaciones conocidas como: decocciones, infusiones, extractos fluidos, tinturas, extractos semisólidos y extractos en polvo.

Figura 7. Polvillo utilizado en la maceración y hojuelas obtenidas en la trituración y tamizaje 100 del fruto seco del árbol de la Sapindus Saponaria -jaboncillo-.



Fuente: Fotografía autor presente tesis.

1.7.1 Extracción

Separación de una mezcla de sustancias por disolución de cada componente, sirviéndose de uno o varios disolventes, donde siempre se obtienen, por lo menos, dos componentes: la solución extraída en su disolvente -extracto - y el residuo.

Al embeber la droga con el líquido de extracción se disuelven primero las sustancias a las que el disolvente puede llegar sin obstáculos. Al triturar la droga se destruyen varias células donde el grado de finura creciente favorece la disolución. Las sustancias que están contenidas en la droga son lavadas y arrastradas de los fragmentos celulares por los disolventes mediante un proceso denominado “**lavado celular**”, simultáneamente, transcurre el proceso de difusión celular. El tiempo necesario para el equilibrio de concentraciones es, parcialmente, dependiente del tipo de droga -raíz u hoja- y del grado de trituración.

La extracción termina cuando se produce un equilibrio de concentraciones. Para cada extracción se necesita una droga y un líquido de extracción o disolvente que deben cumplir una serie de exigencias. La calidad del extracto vegetal depende de la calidad del material de partida.

El contenido en sustancia activa de una droga viene determinado, generalmente, por factores previos a la cosecha y que pueden tener su origen en el tiempo de recolección, el lugar, el tipo de abono, suelo y factores climáticos, así como a los procesos de envejecimiento o degradación que puedan ocurrir durante el secado y almacenamiento de la droga, es por ello necesario la estabilización de los mismos.

Junto a esto es necesario realizar la estandarización del material de drogas, entendiéndose por ello el ajuste a un determinado índice de actividad o a un contenido en sustancia activa prefijado. Dentro de las operaciones de extracción encontramos dos grupos: - Extracción líquido-líquido. -La veremos como método de purificación de líquidos -, - Extracción sólido-líquido.

1.7.2 Extracción sólido-líquido

Se denomina a la separación preferencial de uno o más componentes de una mezcla sólida por disolución en un solvente líquido. En la industria farmacéutica los dos procedimientos de extracción básicos son **maceración** y **percolación**, sumamos a esto la extracción por **Soxhlet**.

Figura 8. Fotografía del equipo Soxhlet utilizado para la realización de la extracción hexánica del polvillo del fruto del árbol de la Sapindus Saponaria -jaboncillo-.



Fuente: Fotografía autor presente tesis.

1.7.3 Turbo extracción y la digestión con maceraciones modificadas

El tiempo de maceración en esta extracción se acorta muchísimo debido al tipo de movimiento de agitación que se utiliza así como trabajar a temperaturas hasta por 20° C por sobre la ambiente. Este aumento de

temperatura lleva a la obtención de sustancias activas más impuras. Los extractos se obtienen a temperatura ambiente (25 ° C, aproximadamente) y a una temperatura superior (50° C), con los diferentes solventes agua, etanol y hexano.

Figura 9. Fotografía de la extracción y turbo extracción en serie para maceración con solventes etanol, agua y hexano del fruto del árbol de la Sapindus Saponaria -jaboncillo-.



Fuente: Fotografía autor presente tesis.

1.8 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, nítricos a partir de nitratos, caustificación de sosa, etc.-, en las que se trata de utilizar un componente valioso presente entre los sólidos. En otros casos, la operación tiene por objeto eliminar las impurezas indeseables -lavado de materiales diversos, desimpregnación de fibras celulósicas, etc.-.

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.

1.8.1 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:

1. La naturaleza del soluto.
2. La naturaleza del disolvente.
3. La presión.
4. 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.

1.8.2 Flujo a través de sólidos; capas límite

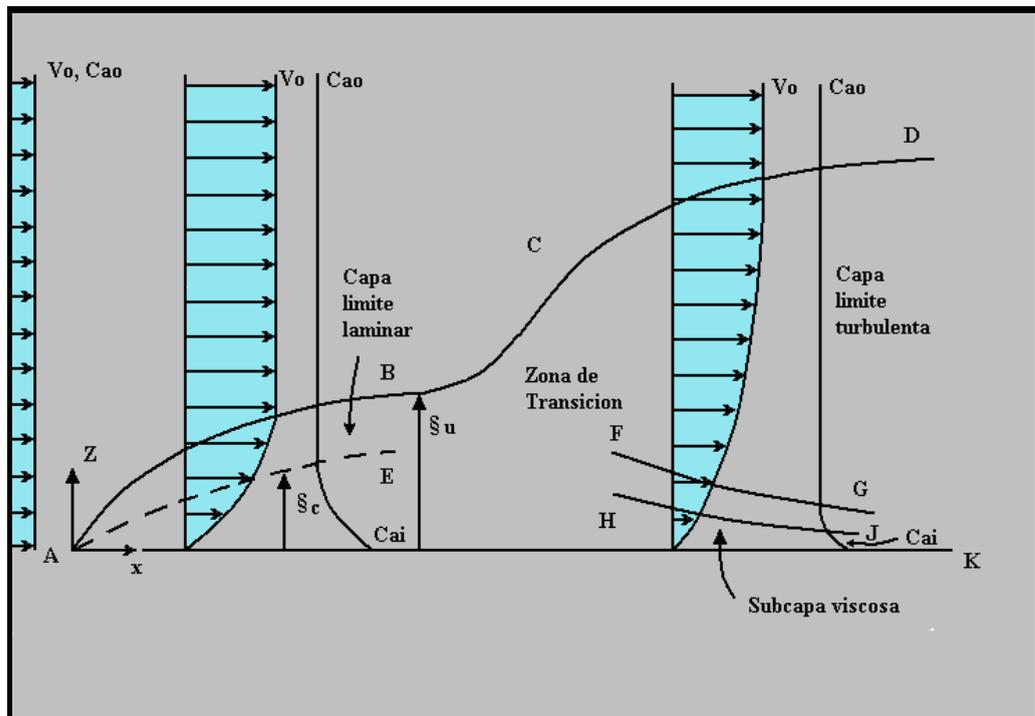
En el caso cuando una de las fases es un sólido, la velocidad paralela a la superficie en la interfase debe, necesariamente, ser cero.

En la Figura No.10, un fluido con una velocidad uniforme u_b 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 aumenta a u_b a cierta distancia arriba de la placa, la curva ABCD separa la región de velocidad u_b de la región de menor velocidad, llamada capa límite. La capa límite 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 10. Esquema ilustrativo de la transferencia sólido-líquido, en el proceso de lixiviación, transferencia de masa.



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

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

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:

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

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

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

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 v , masa D_{AB} y calor a se reemplazan entre sí en los lugares apropiados en las ecuaciones.

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

$$\frac{u_y - (u_x, z=0=0)}{u_o - (u_x, z=0=0)} \quad \frac{c_A - c_{A,i}}{c_{A,o} - c_{A,i}} \quad y \quad \frac{t - t_i}{t_o - t_i}$$

Entonces las condiciones de frontera se vuelven idénticas en $z = 0$ las tres variables son 0 y $z = 8$, 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

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

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

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

En donde k_L , h y $fu_0/2$ son los coeficientes de transferencia de masa locales para masa, calor y cantidad de movimiento, el termino 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. ANTECEDENTES

Se conoce la utilidad que se le ha dado al árbol de la Sapindus Saponaria -jaboncillo- en las formas siguientes: madera dura y pesada, empleada para confeccionar mangos de herramientas, horcones, leña y poste de cercas vivas. Los frutos tienen un contenido alto de saponinas y se utilizaban, antiguamente, como jabón para lavar la ropa. La infusión de las hojas y los frutos se utiliza en la medicina tradicional para curar las mordeduras de serpientes, úlceras y cataratas. En muchos lugares del interior del país, antiguamente, se empleaban las semillas para fabricar collares. Los árboles de esta especie tienen un gran potencial como planta melífera en fincas dedicadas a la apicultura.

2.1 Premio Coca Cola 2000, Perú

La importancia del fruto de este árbol lo explotó una estudiante de la Universidad Agraria La Molina, en donde obtuvo el primer puesto en el año 2,000 al realizar el estudio sobre este fruto para obtener un detergente biodegradable y de un material para construcción a partir del fruto de la Sapindus Saponaria que, vulgarmente, le llaman “**Boliche**” en Perú. La alternativa que se propone se basa en la solución a la contaminación de las aguas por causa de los detergentes con alto contenido de fósforo; el empleo de un detergente hecho a base de Sapindus Saponaria que se caracteriza por ser biodegradable no contaminando las aguas marítimas y el reciclaje de los residuos de este proceso.

Se obtiene un material granulado que puede sustituir al cemento, obteniéndose un producto más liviano y de resistencia semejante a la mezcla sin el aditivo. El ciclo productivo no deja residuos y el rendimiento respecto al detergente es del 20% y respecto al material de construcción es del 80%.

Entre las propiedades del detergente se puede mencionar que enjabona y forma espuma con agua fría, contiene un suavizante natural y para lograr el efecto de limpieza se requieren de pequeñas cantidades -5% del volumen total-. Este detergente se utiliza en el lavado de ropa y vajilla.

Respecto al ahorro de materiales y energía se logra la minimización de residuos por medio del aprovechamiento integral de la materia prima y el reciclamiento y utilización de residuos.

Los efectos sobre el medio ambiente son benignos, pues el detergente es un producto biodegradable que no contamina las aguas marinas y el aprovechamiento de los residuos dándole un valor agregado como material de construcción, es una alternativa de solución frente a los residuos que conformarían parte de la "basura".

2.2 Paraparo -Sapindus Saponaria-

Es un frondoso árbol llamado también "jaboncillo" o árbol del jabón, autóctono, que se produce por semilla. Su crecimiento es lento; no es exigente y se desarrolla bien en climas cálidos y subtemplados, así como en terrenos secos y pobres. **Su carga de frutos se ofrece poco antes de la Semana Santa**, de allí la utilidad del fruto para el juego.

2.3 Parapara o parapiola

Fruto del Parapara, es una semilla de color negro y lustrosa, de forma esférica que está recubierta por una concha o membrana semi transparente y rugosa, de color ámbar; es conocido por poseer un principio muy amargo -tóxico o venenoso- el cual, comercialmente, tiene sus aplicaciones en la medicina y en la fabricación de jabones, a esta propiedad alude su nombre científico de *Sapindus Saponaria*.

Figura 11. Fotografía del Parapara llamada así en Venezuela la cual es la semilla de la *Sapindus Saponaria* -jaboncillo-.



Fuente: Fotografía de Internet.

2.4 Parapara la semilla

2.4.1 Instrumento de pesca

La concha de la Parapara es utilizada por los indígenas para hacer una preparación especial llamada "**Barbasco**" la cual emplean con medida y sentido común para embarbascar -emborrachar o aturdir- a los peces en los ríos y en lagunas, en épocas cuando bajan los cauces y se forman pozuelos, proporcionándose con esta característica forma de pescar, su alimentación.

2.4.2 Instrumento de limpieza

De igual manera por su propiedad jabonosa la concha es utilizada como un excelente blanqueador o detergente -natural- de ropa por la gente del campo o zonas rurales.

2.4.3 Instrumento de restauración de obras de arte

Es empleada como protector infalible en la restauración de obras de arte en el área pictórica o cuadros pintados en lienzos.

2.4.4 Ingrediente culinario

La almendra de la semilla, es comestible al ser, previamente, asada a la brasa, y tienen un gusto muy especial.

2.4.5 Ingrediente en medicinas

Sirve para la curación de la artritis.

2.4.6 Instrumento artesanal

La semilla se emplea en la elaboración de artesanías como: collares, zarcillos, pulseras, muñequitos en miniatura, entre otras curiosidades.

Figura 12. Fotografía de un regalo de navidad o mini nacimiento fabricado a partir del fruto de la Sapindus Saponaria -jaboncillo-.



Fuente: Ilustración Internet.

2.5 Los frutos Ricos en Saponina reducen Liberación de Metano y mejoran Uso de Nitrógenos

En el *Informe Anual* del año 2003 del Centro Nacional de Agricultura Tropical (CIAT), se indicó que los frutos de Sapindus Saponaria pueden inhibir la liberación de metano en el ganado y reducir las poblaciones de protozoos ciliados *in Vitro*. Sin embargo, no se sabía si estos efectos dependían de la

calidad de la dieta básica o si podrían repetirse *in vivo*. Los resultados de este año indican que las interacciones de la calidad del forraje y los agregados de suplementos ricos en saponina -es decir, frutos de *Sapindus Saponaria*- fueron, en su mayor parte, insignificantes, salvo para los recuentos de protozoos ciliados. Los protozoos ciliados fueron inhibidos, solamente, cuando se agregó *Sapindus Saponaria* a las dietas a base de leguminosas mejoradas.

El efecto inhibitor del metano de *Sapindus Saponaria* fue independiente de la calidad de la dieta básica, es decir, sin considerar si la dieta consistía de solo gramínea o de una mezcla de gramínea-leguminosa. En un experimento en cámara respiratoria llevado a cabo con ovinos, el potencial inhibitor del metano de *Sapindus Saponaria* se confirmó *in vivo*, lo cual valida, por tanto, nuestros resultados obtenidos con el aparato de RUSITEC. También demostramos que la administración de suplementos basándose en frutos de *Sapindus Saponaria* aumentó la cantidad de nitrógeno bacteriano que escapaba del rumen y modificó la producción de ácidos grasos volátiles en el rumen hacia una relación inferior de acetato a propinonato, lo que indica una mejor eficiencia de la fermentación ruminal.

Estos efectos de *Sapindus Saponaria* fueron independientes y adicionales a los efectos positivos que se observaron cuando se administraron leguminosas como suplemento de una gramíneas de baja calidad.

2.6. Utilización de las Saponinas

Antes de que el hombre creara la gran industria del jabón se usaban jabones naturales llamados saponinas -nombre derivado del latín *sapo*, jabón- y conocidos por los mexicanos como "**amole**". Muchas raíces y follaje de plantas tienen la propiedad de hacer espuma con el agua, por lo que se han utilizado desde la antigüedad para lavar ropa.

Los pueblos prehispánicos del centro de México llamaban **“amole”** a estas plantas y eran sus jabones. Aun en la actualidad en muchas comunidades rurales se emplea el **“amole”** tanto para lavar ropa fina, como para evitar que se deteriore, ya que es un detergente neutro, perfectamente, degradable.

Las saponinas se han usado también como veneno de peces, macerando en agua un poco del órgano vegetal que lo contiene, con la ventaja de que los peces muertos por este procedimiento no son tóxicos.

Las saponinas producen hemólisis a grandes diluciones y están constituidas por grandes moléculas orgánicas, como esteroides o triterpenos, unidas a una o varias azúcares, por lo que contienen los elementos necesarios para emulsionar la grasa: una parte lipofílica, que es el esteroide o triterpeno, por medio del cual se unirá a la grasa, y una parte hidrofílica, que es el azúcar, por medio de la cual se unirá al agua.

Entre las saponinas de naturaleza esterooidal son muy importantes los glicósidos cardíacos, obtenidos de la semilla de la dedalera o **“Digitalis purpúrea”**. El extracto obtenido de estas semillas, que contienen una mezcla de saponinas, es muy útil en el tratamiento de enfermedades del corazón. Sin embargo, un exceso de estas sustancias es peligroso y puede causar incluso la muerte. Debido a esto, las infusiones de dedalera se utilizaron en la Edad Media en los juicios de Dios.

Los glucósidos cardíacos se encuentran no sólo en la dedalera, sino que hay otras plantas que también las contienen, tales como las distintas especies de la familia Asclepiadácea.

Esta familia de plantas es rica en ellos, y su principal característica es la producción de un jugo lechoso cuando se le cortan hojas o tallos. Ha adquirido notoriedad por ser las plantas que alimentan a la mariposa monarca en su

estado larvario. De esta planta las mariposas toman los glicósidos cardíacos que la volverán tóxica y por consiguiente desaniman a las aves a que las consuman como alimento. Algunos de estos glicósidos son los que se ilustran enseguida.

Entre las asclepiadáceas que han interesado a los investigadores se encuentra la *Calotropis procera* que crece en Asia y en África. Es una planta venenosa que ha sido utilizada para la medicina popular y como veneno de flechas, es decir, los nativos usan el látex venenoso de la planta para impregnar los dardos. Así, en la práctica de la cacería, los animales, aunque sean heridos muy, levemente, mueren. La carne no representa ningún problema, ya que la sustancia se descompone durante el cocinado, y si algo llega al estómago, el ácido clorhídrico del jugo gástrico se encargará de hidrolizarlo quitándole su toxicidad.

Las sustancias que contiene esta planta son una serie de lactonas, entre las que se han podido caracterizar las llamadas calactina, calotropina y las sustancias que contienen nitrógeno y azufre en su molécula, como la voluscharina y la uscharina.

La hidrólisis de los glicósidos cardiotónicos de la dedalera -*Digitalis purpúrea*- elimina la parte hidrofílica constituida por azúcares y deja en libertad la parte lipofílica que en este caso son los esteroides digitoxigenin, digoxigenina y gitoxigenina, que además de que ya no tienen propiedades detergentes, han perdido su actividad biológica.

Los glicósidos cardíacos son saponinas producidas también por otras plantas venenosas, entre ellas las del género *Strophantus*. Por ejemplo, tenemos la strofantina, que contiene glucosa, la cual, unida, directamente, al esteroide, contiene una azúcar muy rara llamada cimariosa. La estrofantina es

un veneno muy activo, capaz de matar en dosis tan bajas como 0.07 mg a un ratón de 20 gramos.

2.7 Tesis. “Caracterización física y química del fruto Sapindus Saponaria -jaboncillo- y su potencial de industrialización como fuente de saponinas”

Se presenta un estudio sobre el fruto del árbol de Sapindus Saponaria -jaboncillo- y su posible utilización en la agroindustria guatemalteca. En este estudio se determinaron sus características físicas y químicas como: análisis proximal de los dos constituyentes -cáscara y almendra-, contenido de ácidos grasos, aminoácidos y saponinas totales. Se analizaron dos lotes del fruto del árbol a las cuales se le denominó fruto fresco y fruto seco. Para comprobar la presencia de saponinas se estandarizó un método cuantitativo como resultado de una serie de experimentos. Por el potencial que contiene el fruto, específicamente, la cáscara gran contribuyente de saponinas, se diseñó un estudio para la explotación agroindustrial en la acuicultura, como un aporte al cultivo del camarón.

3. METODOLOGÍA

3.1 Muestra

Tres extractos diferentes, en solventes de naturaleza polar distinta hexano, etanol y agua, extraídos por **maceración y extracción Soxleth** del fruto del árbol de la Sapindus Saponaria -jaboncillo-, previamente, secado y pulverizado.

3.2 Materiales

3.2.1 Recursos humanos

Br. César Ariel Villela Rodas -Tesisista-.

Ing. César Alfonso García Guerra -Centro de Investigaciones de la Facultad de Ingeniería -.

Ing. José Manuel Oroxom Tay -Revisor, Coordinador del área de fisicoquímica-.

Lic. Sully Cruz -investigador asociado-

Laboratorio de Química Industrial, Centro de Investigaciones de la Facultad de Ingeniería, USAC.

Laboratorio de Química, Escuela de Ingeniería Química, Facultad de Ingeniería, USAC.

Laboratorio de Fitoquímica, Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia, USAC.

Laboratorio de Coordinación de Química, EFPEM, USAC.

3.2.2 Equipo, cristalería y material utilizado durante la maceración y extracción Soxhlet, del polvillo del fruto del árbol de la Sapindus Saponaria -jaboncillo-

Equipo	Cristalería y material
Campana de extracción	Balón de fondo plano de 500 ml 24/40
Equipo de destilación a reflujo	Beacker 50 ml
Equipo de filtración al vacío	Cápsulas magnéticas
Equipo de Rota evaporación	Crisol
Estufas con agitación	Cronómetro
Licuada	Masking tape
Secador de tiro forzado	Pinzas para crisol
Tamiz 100	Refrigerantes de serpentín 24/40 Termómetros (-20 - 150°C)

3.2.3 Equipo, cristalería y materiales utilizados durante realización del Tamizaje Fitoquímico del fruto de la Sapindus Saponaria -jaboncillo-

Equipo	Cristalería y materiales
Cámara de cromatografía	Beacker de 5, 10, 50, 100 y 250 ml
Cromato placas Silicagel 60F254	Masking Type o Crayon Graso
Equipo de Rota evaporación	Papel filtro
Gradilla para tubos de ensayo	Papel parafilm
Lámpara UV 366 n m	Pinzas para crisol
Lápiz de succión	Pinzas para tubo de ensayo
Mechero Bunsen	Pipetas de 1, 2, 3, 5, y 10 ml
	Tubos capilares
	Tubos de ensayo de 10 y 20 ml

3.2.4. Compuestos en puros y en solución utilizados durante la realización del Tamizaje Fitoquímico del fruto del árbol de la Sapindus Saponaria -jaboncillo-

Compuestos Puros	Soluciones
Acetato de etilo	FeCl ₃ 1%
Acido acético glacial	HCl 2%
Acido clorhídrico (37 %)	HCl 10%
Acido fórmico	HCl 20%
Ácido sulfúrico concentrado	KOH 0.5 M
Anisaldehído	NH ₄ OH 25%
Dietilamina	Solución gelatina al 1%.(p/V)
Magnesio metálico	Solución KOH etanólica al 5%
Vainillina	Solución gelatina-sal

3.2.4. Reactivos utilizados durante la realización del Tamizaje Fitoquímico a los extractos del fruto del árbol de la Sapindus Saponaria -jaboncillo-

Reactivos	Reactivos
Reactivo de Carr-Price	Reactivo de Mayer
Reactivo de Dragendorff	Reactivo de productos naturales (NP/PEG)
Reactivo de Fehling	Reactivo de Séller-Killiani
Reactivo de Kedde	Reactivo de Wagner
Reactivo de Komarowsky	Test de amonio
Reactivo de Liebermann-Bouchard	

3.2.5. Patrones de referencia utilizados durante la realización del Tamizaje Fitoquímica a los extractos del fruto del árbol de la Sapindus Saponaria -jaboncillo-

Patrones de referencia	Patrones de referencia
Ácido Clorogénico	Flavonoides al 0.05% en metanol
Ácido para-cumarínico	Naringenina
Antraquinonas al 0.1% en metanol	Papaverina
Atropina	Quercetina
Colesterol en cloroformo 0.1%	Respina
Cumarinas al 1% en metanol.	Rojo Sudán
Digitalis Purpúrea en metanol	Saponinas

3.3. Métodos

3.3.1 Obtención de la muestra vegetal

Se recolecta los frutos de la Sapindus Saponaria -jaboncillo-, en Cunén departamento de Quiché, Republica de Guatemala. El total de recolección de 40 libras en fruto fresco. Secándose este fruto en el Horno de secado vertical en la planta piloto de la Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala.

Figura 13. Detalle de la distribución del fruto de jaboncillo colocado en bandejas para su secamiento (10.13 % de humedad final) en el secador por convección Forzada -Planta piloto Facultad de Ingeniería -.



Fuente: Fotografía autor presente tesis.

3.3.2 Maceración

El principio consiste en que la droga clasificada su tamaño de partícula mediante tamiz 100 (menos de 150 micrones) se pone en contacto permanente con el solvente, y realizando agitaciones frecuentes a lo largo de varios días, tratando de influenciar el gradiente de difusión por el aumento de la concentración de extracto. Al principio de la extracción este gradiente esta en el punto máximo, con el transcurso de los días, a pesar de la agitación, este va disminuyendo. Como norma se macera la droga por 7 días con agitación frecuente y protegida de la luz solar.

Se separa el extracto del residuo por medio de un colado o prensado, se lava el residuo con el líquido de extracción y ambos líquidos se llevan al contenido de masa preestablecido.

Figura 14. Equipo de maceración en serie utilizado en la extracción de los metabolitos secundarios en los solventes etanol, agua y hexano al fruto del árbol de la Sapindus Saponaria -jaboncillo- a 25 y a 55 grados centígrados.



Fuente: Fotografía autor presente tesis

3.3.3 Rota evaporación

Es necesario y preciso concentrar los extractos obtenidos en la maceración, por medio de la evaporando el disolvente a presión reducida y temperatura controlada hasta alcanzar un estado de miel, a este proceso se le denomina “**rota evaporación**”.

Figura 15. Equipo de rota evaporación para la concentración de los extractos del fruto del árbol de la Sapindus Saponaria -jaboncillo- obtenidos de la maceración y método Soxhlet en los solventes etanol y hexano.



Fuente: Fotografía autor presente tesis

3.3.4 Determinación de las principales familias de metabolitos secundarios presentes en los extractos de hexano, etanol y agua del fruto del árbol de la Sapindus Saponaria -jaboncillo-.

Tanto en los extractos a temperatura ambiente y la temperatura mayor a la ambiental se realizarán la totalidad de las pruebas descritas a continuación:

3.3.4.1 Determinación de la presencia de aceite esencial.

Materiales y equipo necesarios:

- Destilador tipo Neoclevenger -manta de calefacción, destilador, balón 1000 ml y refrigerante-.
- Rota vapor -Balón de evaporación, condensador y balón de colecta-.
- Disolvente orgánico -hexano, pentano o xileno -.
- Balón con boca 24/40 esmerilada de 125 ml.
- Pipetas Pasteur.

Procedimiento:

Preparación de la muestra:

- Moler 100 g de materia seca vegetal y pesar 50 g del material molido.
- Introducir los 50 g de material molido en un balón de destilación de 1,000 ml.
- Agregar, aproximadamente, de 400-500 ml de agua destilada hasta cubrir los 50 g del material.

Uso del equipo (ver figura No.33):

- Instalar el destilador de aceites esenciales, conectar el balón de destilación con el recipiente colector.
- Conectar la bomba que circula la solución de enfriamiento por el refrigerante.
- Llenar con agua el tubo N hasta el nivel B del tubo graduado.
- Agregar 2 ml de un disolvente orgánico -hexano, pentano o xileno- en el tubo K utilizando una pipeta Pasteur y colocar el tapón al tubo hasta que empiece a destilar el aceite.
- Destilar a temperatura constante durante 2-3 horas o según lo especifique la literatura para cada especie, mantener un flujo de destilación de 2-3 ml por minuto.
- Determinar el tiempo de destilación a partir que empieza a obtenerse el aceite.
- Medir el volumen del sobrenadante de aceite esencial recogido sobre la fase acuosa en el recipiente graduado.
- Esperar 10 minutos después de terminar el calentamiento antes de coleccionar el aceite.
- Abrir la llave, dejar caer el agua y descartarla. Recibir la parte orgánica en un balón de 125 ml y agregar al tubo K, aproximadamente, 1 ml del disolvente orgánico utilizado, anteriormente, para lavar y arrastrar todo el aceite recuperado.
- Eliminar el disolvente orgánico utilizando rota vapor.
- Pesar el aceite obtenido, verterlo en vial color ámbar y almacenar a 4°C.
- Determinar el porcentaje de rendimiento a partir del peso del aceite entre el peso de la materia vegetal por cien.

- Lavar el destilador con suficiente metanol y agua destilada para dejarlo, completamente, limpio y evitar cualquier contaminación cruzada en la siguiente corrida.

3.3.4.2 Determinación de la presencia de mucílagos En una probeta de 25 ml con tapa esmerilada de 125±5 mm en divisiones de 0.5 ml, colocar 1.0 g de la droga, entera o en el grado de molido descrito en la monografía. A menos que se especifique lo contrario, se humedece la droga con 1.0 ml de alcohol, se añade 25 ml de agua y se tapa. Se agita, vigorosamente, cada 10 minutos por una hora. Se deja reposar durante 3 horas, luego de 90 minutos, se libera cualquier cantidad grande de líquido, rotando el cilindro sobre un eje vertical. Determinar el volumen ocupado por la droga, incluyendo cualquier mucílago adherido. Realizar tres pruebas a la vez. El índice de hinchamiento esta dado por el promedio de estas tres pruebas.

3.3.4.3 Extracción etanólica, hexánica y acuosa

3.3.4.3.1 Determinación de la presencia de Taninos gálicos y catéquicos Se toma una alícuota de 5 ml, se le agrega 2 ml de agua caliente, se deja enfriar y se separa en 4 tubos de ensayo (a, b, c, d).

Al tubo “a” con la porción de alícuota, se le agrega 4-5 gotas de gelatina al 1% -p/v-.

Al tubo “b” con la porción de alícuota, se le agrega 4-5 gotas de solución gelatina sal.

Al tubo “c” con la porción de alícuota, se le agrega 5 gotas de FeCl₃ al 1%.

Al tubo “d” se conserva como blanco.

Precipitados y cambios de color, representa la presencia de taninos gálicos si el color es **azul** y de taninos catéquicos si el color es **verde**.

3.3.4.3.2 Determinación de la presencia de Alcaloides

Se toma una alícuota de 10 ml, se evapora a sequedad en baño de María, el residuo que se obtiene se disuelve en 3 ml de HCl al 2 %, esta suspensión se divide en 3 alícuotas de 1 ml cada una; a cada una de esas alícuotas se les agrega Reactivo de Meyer, Reactivo de Wagner y Reactivo de Dragendoff, **reacciones de precipitación** representa la presencia de alcaloides.

3.3.4.3.3 Prueba CCF para determinar la presencia de uno o más alcaloides Esta prueba se realiza si y solo si la prueba química arroja resultados positivos. De las mismas alícuotas de origen se realiza una aplicación de la muestra de un volumen de 100 µl en la cromato placa de silicagel 60F₂₅₄.

Se utiliza como estándar: Soluciones al 1% de atropina y papaverina en metanol (10 µl) como fases móviles: Tolueno-ácido acético-dietilamina (70:20:10), n-butanol-ácido acético-agua (4:1:1), Detección: **Reactivo de Dragendorff a 254 VIS.**

3.3.4.3.4 Determinación de la presencia de Antocianinas

Se toma una alícuota de 5 ml, se eleva el pH de la solución a 9-10, **coloración verde, castaño o azul** representa la presencia de antocianinas.

3.3.4.3.5 Prueba CCF para determinar la presencia de Antocianinas De las mismas alícuotas de origen se realiza una aplicación de la muestra de un volumen de 100 µl en la cromato placa de silicagel 60F₂₅₄.

Se utiliza como estándar: antocianinas, azul de metileno, amarillo naftol y rojo de Sudán; como fases móviles: n-butanol-ácido acético glacial-agua (40:10:20) Detección: **forma zonas rojas, violetas o azules (VIS); anisaldehído-ácido sulfúrico zonas rojo-violetas (VIS).**

3.3.4.3.6 Determinación de la presencia de Leucoantocianinas Se toma una alícuota de 5 ml, se le agrega 0.5 ml HCl concentrado, calentar por 5 minutos, **un precipitado resultante**, representa la presencia de leucoantocianinas.

3.3.4.3.7 Determinación de la presencia de Cumarinas Se toma una alícuota de 5 ml y se evapora, el residuo se disuelve en 1 ml de agua hirviendo, se aplica con micro capilar 2 manchas en papel filtro, se aplica en una de las dos manchas 1 gota de KOH 0.5M, **fluorescencia a la longitud de onda de 366 nm**, representa la presencia de cumarinas.

3.3.4.3.8 Prueba CCF para determinar la presencia de uno o más Cumarinas Se toma una alícuota de 10 ml, se concentra hasta 1 ml, se aplica con micro capilar 20 µl en una cromato placa de silicagel 60F₂₅₄.

Se utiliza como estándar solución de cumarinas al 1% en metanol (10 µl), como fases móviles: Tolueno-Acetato de etilo (93:7), Tolueno-éter (1:1, saturado con ácido acético al 10 %) y para la determinación: solución etanólica de KOH al 5 %, UV -365 nm **fluorescencia azul o verde.**

3.3.4.3.9 Determinación de la presencia de Antracénoides Se toma una alícuota de 5 ml y se evapora, el residuo se disuelve en 3 ml de hidróxido de amonio al 25 %, **una coloración roja** representa la presencia de antracénoides.

3.3.4.3.10 Determinación de la presencia de Flavonoides

Se toma una alícuota de 5 ml y se evapora, el residuo se disuelve en 2 ml de metanol caliente, se adiciona limaduras de magnesio más 1 ml de HCl concentrado. Se deja reposar 10 minutos, una **coloración rubia rojiza** representa la presencia de agliconas flavonoides.

3.3.4.3.11 Determinación de la presencia de Chalconas

Se toma una alícuota de 10 ml y se evapora, el residuo se disuelve en 20 ml de HCl al 10 %, se calienta durante 10 min. Una **coloración roja** inmediata representa la presencia de chalconas.

3.3.4.3.12 Determinación de la presencia de Triterpenos/esteroles Se toma una alícuota de 5 ml se le agrega reactivo de Liebermann-Bouchard, **reacción coloreada**, representa la presencia de triterpenos/esteroles.

3.3.4.3.13 Determinación de esteroides insaturados Se toma una alícuota de 30 ml y se evapora, con el residuo se trata con éter, hasta que se eliminan todos los pigmentos -el éter salga incoloro-, se le agrega 10 ml de benceno y se agita durante unos minutos, se evapora, a el residuo se le agrega 10 ml de cloroformo, se filtra con NaSO₄ y el filtrado se divide en tres alícuotas:

Tubo 1 se le agrega 3 gotas de reactivo de Liebermann-Bouchard, cambio de color denota la presencia de esteroides.

Tubo 2 se efectúa el ensayo del anillo -test de Salkowski-, se agrega ácido sulfúrico concentrado, resbalado por las paredes del tubo. En la presencia de esteroides insaturados, la formación de un anillo rojo cereza

en la interfase indica la presencia, se deben de observar los cambios de color inmediatos o graduales durante el período de una hora.

Tubo 3 se utiliza como blanco, se utiliza un estándar de colesterol en cloroformo (0.1%).

3.3.4.3.14 Determinación de la presencia de Lactonas insaturadas Se toma una alícuota de 30 ml y se concentra hasta 5 ml, se coloca 3 manchas de (0.1, 0.2, 0.3 ml) sobre un papel filtro, se deja secar y se les agrega a cada mancha unas gotas de reactivo de Kedde, se deja secar el papel filtro y observa los **cambios de color en una anillo o mancha púrpura**, lo que indica la presencia de lactonas insaturadas, se utiliza un estándar de Digitales purpúrea en metanol al 80%.

3.3.4.3.15 Determinación de la presencia de azúcares 2-desoxigenadas Se toma una alícuota de 10 ml y se evapora, se le eliminan los pigmentos con éter, se deja secar y se le agrega al residuo 3 ml del reactivo de Séller-Killiani, se mezcla y se resbala por las paredes H₂SO₄ concentrado, **la formación de un anillo púrpura** en la interfase, representa la presencia de azúcares 2-desoxigenadas.

3.3.4.3.16 Determinación de la presencia de Saponinas Se toma una alícuota de 5 ml, se le agrega 45 ml de agua, se calienta la mezcla a 60°C durante media hora, se agita durante 10 min. Si se mantiene la **espuma 30 minutos a más de 3 cm de altura**, representa la presencia de saponinas.

3.3.4.3.17 Prueba CCF para determinar la presencia de uno o más Saponinas Se toma una alícuota de 10 ml se concentra hasta 5 ml, se aplica 25-40 µl en una cromato placa de silicagel 60F₂₅₄. Se utiliza como estándar: solución de saponinas al 0.1% en metanol (10µl) y como fases

móviles: cloroformo-metanol-agua (64:50:10), n-butanol-ácido acético-agua (50:10:40), la detección: reactivo de sangre: zonas hemolíticas **blancas en fondo rojo**; reactivo de Liebermann-Bouchard: UV 365nm o VIS **zonas azules y verdes** de saponinas esteroidales, **rojas y violetas** de triterpenoides. Reactivo de Komarowsky: **zonas azules, amarillas y rojas**. Vainillina-ácido sulfúrico y anisaldehído-ácido sulfúrico: **zonas azules, violetas, amarillas**, representan la presencia de saponinas.

3.3.4.3.18 Determinación de la presencia de Antraquinonas Se toma una alícuota de 10 ml y se concentra hasta 2 ml, el residuo se disuelve en 30 ml de agua, se filtra y se realiza una extracción con 10 ml de benceno. A la fase bencénica se le añade 5 ml de la solución de test de amonio y se agita, **cambio de color rojo a rosado en la fase alcalina** denota la presencia de antraquinonas.

3.3.4.3.19 Determinación de la presencia de principios amargos Se toma una alícuota de 10 ml y se concentra hasta 2 ml, se aplicará 40 µl en una cromato placa de silicagel 60F₂₅₄. Se utiliza como estándar: Solución de sustancia de referencia artemisina al 1 % en metanol (20 µl) y como fases móviles: acetato de etilo-metanol-agua (77:15:8), cloroformo-metanol (95:5) y para la detección: vainillina-ácido sulfúrico, anisaldehído-ácido sulfúrico. Zona **rojas-violetas, café-rojas, azules-verdes**, Reactivo de Liebermann-Buchard: UV-365nm, gris, café; VIS: **café oscuro, gris**, denotan la presencia de principios amargos.

3.3.4.3.20 Determinación de la presencia de Antraquinonas Se toma una alícuota de 10 ml y se concentra hasta 2 ml, el residuo se disuelve en 30 ml de agua, se filtra y se realiza una extracción con 10 ml de benceno. A la fase bencénica se le añade 5 ml de la solución de test de amonio y se agita, **cambio de color rojo a rosado en la fase alcalina** denota la presencia de antraquinonas.

3.3.4.3.21 Prueba CCF para determinar la presencia de una o mas antraquinonas y diferenciar con la presencia de antronas y antranolas Se toma una alícuota de 5 ml y se calienta 5 minutos a 60° C, se filtra y se le aplica 10µl del filtrado en una cromato placa de silicagel 60F₂₅₄. Se usa como estándar: solución de antraquinonas al 0.1 % en metanol (10 µl) y como fases móviles: Acetato de etilo-metanol-agua (100:17:13), (100:13.5:10), para la detección: solución etanólica de KOH al 5 o 10%.

Zonas rojas en visible y fluorescencia roja en UV-365nm, representa la presencia de antraquinonas.

Zonas amarillas en visible y fluorescencia amarilla en UV-365nm denota la presencia de antronas y antranolas.

4. RESULTADOS

4.1 Tipo de lixiviación utilizada en la obtención de los extractos de etanol, agua y hexano del polvillo del fruto del árbol de la Sapindus Saponaria -jaboncillo-

Tabla V. Tipo de sistema utilizado en la lixiviación en la obtención de extractos de los metabolitos secundarios del polvillo del fruto del árbol de la Sapindus Saponaria -jaboncillo -.

Solvente	Temperatura	Extracción
Etanol	25 ° C	Maceración
Etanol	55 ° C	Maceración
Agua	25 ° C	Maceración
Agua	55 ° C	Maceración
Hexano	25 ° C	Maceración
Hexano	55 ° C	Soxleth

Fuente: Datos experimentales

4.2 Resultados cuantitativos realizados fruto del árbol de la Sapindus Saponaria -jaboncillo-, al polvillo y a los extractos realizados en los solventes etanol, agua y hexano

Tabla VI. Porcentaje de humedad fruto fresco traído del municipio de Cunén, Quiché, Guatemala del árbol de la Sapindus Saponaria -jaboncillo-.

	Porcentaje de Humedad				
Secado/Corrida	1	2	3	4	5
Fruto fresco	77.610	77.592	77.722	77.685	77.585

Fuente: Datos Calculados

Tabla VII. Porcentaje de humedad fruto seco, realizado al fruto seco en secado al sol y secado en horno de tiro forzado.

	Porcentaje de Humedad				
Secado/Corrida	1	2	3	4	5
Al sol	15.039	15.030	15.029	15.041	15.034
En horno	10.178	10.146	10.150	10.148	10.147

Fuente: Datos Calculados

Tabla VIII. Comparación de masas del mesodermo -cáscara- con el endodermo -semilla- del fruto seco del árbol de la Sapindus Saponaria -jaboncillo-.

	Porcentaje partes del fruto				
Parte del fruto/Corrida	1	2	3	4	5
Mesodermo -cascaron-	72.28	72.48	73.83	72.24	72.23
Endodermo -semilla-	27.72	27.52	26.13	27.76	27.77
Total	100	100	100	100	100

Fuente: Datos calculados

Tabla IX. Rendimiento porcentual del proceso de molienda a tamiz 100 del fruto seco del árbol de la Sapindus Saponaria -jaboncillo-.

	Porcentaje de rendimiento				
Pulverizado	1	2	3	4	5
Polvillo	6.511	6.885	6.236	6.736	6.571
Hojuelas	93.489	93.115	93.764	93.264	93.429
Total	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000

Fuente: Datos Calculados

Tabla X. Rendimiento de pulverización de las hojuelas de la primera pulverización del fruto del árbol de la Sapindus Saponaria -jaboncillo-.

	Porcentaje de rendimiento				
Pulverizado	1	2	3	4	5
Polvillo	5.772	5.578	5.658	5.726	5.744
Hojuelas	94.228	94.422	94.342	94.274	94.256
Total	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000

Fuente: Datos Calculados

Tabla XI. Rendimiento porcentual de maceración del fruto del árbol de la Sapindus Saponaria -jaboncillo- en los solventes etanol, agua y hexano a 25 y 55 grados centígrados.

Solvente	Temp. (°C)	Porcentaje de rendimiento		
		Corrida 1	Corrida 2	Corrida 3
Etanol	25	55.060	57.599	53.955
Etanol	55	57.899	62.529	66.624
Agua	25	64.559	72.476	62.770
Agua	55	77.744	74.972	73.284
Hexano	25	3.108	4.257	2.918
Hexano	55	7.559	6.084	8.629

Fuente: Datos Calculados

Tabla XII. Densidad de los extractos obtenidos por maceración y método soxleth al polvillo del árbol de la Sapindus Saponaria -jaboncillo-.

Solvente	Temp.	Densidad -gramos/militro-				
	° C	1	2	3	4	5
Etanol	25	0.85450	0.85280	0.85544	0.85416	0.85464
Etanol	55	0.85680	0.85584	0.85700	0.85672	0.85688
Agua	25	1.03100	1.03092	1.03124	1.03052	1.03012
Agua	55	1.04120	1.04116	1.04132	1.04108	1.04128
Hexano	25	0.68712	0.68692	0.68728	0.68720	0.68708
Hexano	55	0.68792	0.68768	0.68804	0.68776	0.68796

Fuente: Datos Calculados

Tabla XIII. Índice de hinchamiento obtenido en la identificación del metabolito secundario, mucílago, en el tamizaje realizado a la materia prima del fruto del árbol de la Sapindus Saponaria -jaboncillo-.

	Corrida		
	1	2	3
Índice de hinchamiento	1.36	1.38	1.38

Fuente: Datos Calculados

4.3 Resultados cualitativos de la obtención de los extractos por medio de maceración y método soxleth al polvillo del fruto del árbol de la Sapindus Saponaria -jaboncillo-

Tabla XIV. Propiedades de los extractos en los solventes etanol, agua y hexano durante la maceración a las temperaturas de 25 y 55 grados centígrados.

Solvente	Temp.	No. de	Color		Consistencia	
	°C	Fases	Inferior	Superior	Inferior	Superior
Etanol	25	2	Café claro	Rojizo-Café claro	Precipitado	Líquido
Etanol	55	2	Café claro	Rojizo-café oscuro	Precipitado	Líquido
Agua	25	2	Café claro	Café claro	Precipitado	Solución coloidal
Agua	55	1	Café claro	---	Solución coloidal	
Hexano	25	2	Café claro	Amarillo	Precipitado	Líquido
Hexano	55	1	Amarillo claro	---	Líquido	

Fuente: Datos Experimentales

Tabla XV. Propiedades de los extractos filtrados obtención de los extractos por medio de maceración y método soxleth al polvillo del fruto del árbol de la Sapindus Saponaria -jaboncillo-.

Extracto	Temp. ° C	Color	Consistencia	Densidad Extracto -ml/gr-	Densidad Solvente -ml/gr-
Etanol	25	Rojizo	Líquido	0.854	0.7890
Etanol	55	Rojizo	Líquido	0.856	0.7890
Agua	25	Café claro	Solución coloidal	1.031	0.9990
Agua	55	Café claro	Solución coloidal	1.041	0.9990
Hexano	25	Amarillo	Líquido	0.6872	0.6810
Hexano	55	Amarillo	Líquido	0.6876	0.6810

Fuente: Datos Experimentales

4.4 Resultados cualitativos de los metabolitos secundarios

Tabla XVI. Pruebas realizadas al fruto fragmentado de la Sapindus Saponaria -jaboncillo- en la identificación de las principales familias de metabolitos secundarios.

No.	Metabolito Secundario	Resultado
1	Aceites esenciales	-
2	Mucílagos	+

Fuente: Datos Experimentales

Tabla XVII. Pruebas realizadas en la identificación de las principales familias de metabolitos secundarios al extracto acuoso del fruto del árbol de la Sapindus Saponaria -jaboncillo-.

No.	Metabolito Secundario	Maceración 25 ° C	Maceración 55 ° C
1	Taninos gálicos	-	-
2	Taninos catéquicos	+	-
3	Alcaloides	+	+
4	Flavonoides	-	-
5	Cumarinas	-	-
6	Compuestos fenólicos	+	+
7	Triterpenos/esteroles	+	+
8	Saponinas totales	+	+
9	Esteroidales (saponinas)	+	+
10	Triterpenoides (saponinas)	+	+
11	Triterpenos saturados	+	+
12	Esteroides	+	+
13	Lactonas insaturadas	-	-

Fuente: Datos Experimentales

Tabla XVIII. Pruebas realizadas en la identificación de las principales familias de metabolitos secundarios al extracto etanólico del fruto del árbol de la Sapindus Saponaria-jaboncillo-.

No.	Metabolitos Secundarios	Maceración 25 ° C	Maceración 55 ° C
1	Taninos gálicos	-	-
2	Taninos catéquicos	+	-
3	Alcaloides	-	-
4	Antocianinas	+	-
5	Leucoantocianinas	-	+
6	Cumarinas	-	-
7	Antracenoïdes	-	-
8	Flavonoides	-	+
9	Chalconas	+	+
10	Triterpenos/esteroles	+	+
11	Esteroles insaturados	+	+
12	Lactonas insaturadas	-	-
13	Azúcares 2-desoxigenadas	+	+
14	Saponinas	+	+
15	Antraquinonas	-	-
16	Principios amargos	+	+
17	Compuestos fenólicos	+	+
18	Antranolas/antronas	-	-

Fuente: Datos Experimentales

Tabla XIX. Pruebas realizadas en la identificación de las principales familias de metabolitos secundarios al extracto de hexano del fruto del árbol de la Sapindus Saponaria-jaboncillo-.

No.	Metabolito Secundario	Maceración 25 ° C	Soxleth 55 ° C
1	Taninos gálicos	-	-
2	Taninos catéquicos	-	-
3	Triterpenos/esteroles	+	+
5	Alcaloides	-	-
6	Flavonoides	-	-
7	Cumarinas	-	-
8	Antroquinonas	-	-
9	Compuestos fenólicos	-	-
10	Saponinas	-	-
11	Principios amargos	-	-
12	Lactonas insaturadas	-	-
13	Antocianinas	-	-
14	Antracenooides	-	-

Fuente: Datos Experimentales

Tabla XX. Resultados esperados al realizar el tamizaje fitoquímico en el extracto vegetal en etanol utilizado como solvente.

Metabolito	Reactivos	Resultado Positivo	Etanol 25° C	Etanol 55° C
Flavonoides	HCl conc. Mg	Coloración rubia rojiza	Efervescencia lenta. Rojizo	Efervescencia Lenta. Rojizo
Alcaloides	Mayer	Precipitación	Turbio, rojo pálido.	Turbio, rojizo
Alcaloides	Dragendorf	Precipitación	Turbio, rojo ladrillo oscuro	Turbio rojo oscuro
Alcaloides	Wagner	Precipitación	Turbio rojo ladrillo	Turbio rojo ladrillo
Taninos	Gelatina 1%	Precipitado	Precipitado blancuzco	Sólido amarillo Ámbar
Taninos	Gelatina 1% Y NaCl 10%	Precipitado	Precipitado amarillo blancuzco	Gel amarillo Ámbar
Taninos	Cloruro Férrico	Color azul o Verde	Verde oscuro	Verde oscuro
Cumarinas	KOH	Fluorescencia a la longitud de onda de 366 nm	No fluorescencia	No fluorescencia
Antocianinas	NH ₄ OH	Coloración verde, castaño o azul	Color verde claro	Color amarillo-café claro
Saponinas	Ninguno	Formación de espuma	Espuma abundante	Espuma abundante
Leucoantocianinas	HCl conc y calentamiento 5 minutos	Precipitado	Solución café claro	Precipitado café oscuro
Triterpenos/ esteroles	Lieberman-Bouchard	Reacción coloreada (hexano) Anillo café interfase (etanol)	Anillo café en la interfase	Anillo café en la interfase

Metabolito	Reactivos	Resultado Positivo	Etanol 25° C	Etanol 55°C
Antrocenoides	NH ₄ OH	Coloración roja	Coloración amarilla	Coloración amarilla
Compuestos fenólicos	Cloruro férrico	Coloración verde	Coloración verde	Coloración verde
Antroquinonas	Benceno y Test de amonio	Cambio de color rojo a rosado en la fase alcalina	No se observo cambio de coloración	No se observo cambio de coloración
Principios amargos	Cromatografía 60F ₂₅₄ UV-365 nm	Manchas color café oscuro o gris	Manchas café oscuro	Manchas café oscuro
Lactonas insaturadas	Reactivo de Kedde	Cambio de color en un anillo o mancha púrpura	No hubo ningún tipo de cambio	No hubo ningún tipo de cambio
Charconas	Acido clorhídrico al 10 %	Coloración roja	Coloración roja	Coloración roja
Antranolas	Cromatografía 60 F ₂₅₄ UV-365 nm	Manchas color amarillo	Manchas color azul	Manchas color azul
Azucres 2-desoxigenadas	Reactivo de séller-Killiani y ácido sulfúrico	Formación de un anillo púrpura en la interfase	Se formo anillo color púrpura en la interfase	Se formo anillo color púrpura en la interfase
Esteroles insaturados	Test de Salkowski	Formación de un anillo rojo cereza en la interfase	Formación de un anillo rojo cereza en la interfase	Formación de un anillo rojo cereza en la interfase

Fuente: Datos Experimentales

Tabla XXI. Resultados esperados al realizar el tamizaje fitoquímico en el extracto vegetal en agua utilizado como solvente.

Metabolito	Reactivos	Resultado Positivo	Agua 25°C	Agua 55°C
Flavonoides	HClconc. Mg	Coloración rubia rojiza	Espumoso blanco	Espumoso Beige
Alcaloides	Mayer	Precipitación	Turbio amarillento	Turbio rojizo
Alcaloides	Dragendorf	Precipitación	Rojo ladrillo/ precipitado	Dos fases rojo ladrillo/rojo ladrillo oscuro
Alcaloides	Wagner	Precipitación	Turbio café claro	Dos fases amarillo/ amarillo oscuro
Taninos	Gelatina 1%	Precipitado	Precipitado Beige	Turbio Beige
Taninos	Gelatina 1% y NaCl 10%	Precipitado	Precipitado Beige	Turbio Beige
Taninos	Cloruro Ferrico	Color azul o Verde	Verde oscuro	Verde oscuro
Cumarinas	KOH	Fluorescencia a la longitud de onda de 366 nm	No fluorescencia	No fluorescencia
Saponinas	Ninguno	Formación de espuma	Espuma abundante	Espuma abundante
Saponinas esteroideas	Liebermann-Burchard	Coloración azul o verde	Color amarillo pálido	Color amarillo pálido
Saponinas triterpenoides	Liebermann-Burchard	Coloración rojo, púrpura o violeta	Color amarillo pálido	Color amarillo pálido

Metabolito	Reactivos	Resultado Positivo	Agua 25°C	Agua 55°C
Saponinas de heterósidos de esteroides saturados	Liebermann-Burchard	Coloración amarillo pálido	Coloración amarillo pálido	Coloración amarillo pálido
Antrocenoides	NH ₄ OH	Coloración roja		
Compuestos fenólicos	Cloruro ferrico	Coloración verde	Coloración verde	Coloración verde
Lactonas insaturadas	Reactivo de Kedde	Cambio de color en un anillo o mancha púrpura	No hubo ningún tipo de cambio	No hubo ningún tipo de cambio
Esteroides	Liebermann-Burchard	Coloración azul o verde	Color amarillo pálido	Color amarillo pálido

Fuente: Datos Experimentales

Tabla XXII. Resultados esperados al realizar el tamizaje fitoquímico en el extracto vegetal en hexano utilizado como solvente.

Metabolito	Reactivos	Resultado Positivo	Hexano 25 ° C	Hexano 55 ° C
Flavonoides	HCl conc. Mg	Coloración rubia rojiza	Dos fases. Amarillo/ Transparente	Dos fases. Amarillo/ transparente
Alcaloides	Mayer	Precipitación	Dos fases amarillo/ Transparente	Dos fases amarillo/ transparente
Alcaloides	Dragendorf	Precipitación	Dos fases rojo claro/ rojo oscuro	Dos fases café claro/rojo oscuro
Alcaloides	Wagner	Precipitación	Dos fases violeta/ rojo oscuro	Dos fases rojo oscuro/rojo intenso oscuro
Taninos	Gelatina 1%	Precipitado	Dos fases amarillo/ Transparente	Sobrenadante transparente
Taninos	Gelatina 1% y NaCl 10%	Precipitado	Dos fases amarillo/ Transparente	Sobrenadante transparente
Taninos	Cloruro Ferrico	Color azul o Verde	Amarillo ámbar	Amarillo ámbar
Cumarinas	KOH	Fluorescencia a la longitud de onda de 366 nm	No fluorescencia	No fluorescencia

Metabolito	Reactivos	Resultado Positivo	Hexano	Hexano
Antocianinas	NH ₄ OH	Coloración verde, castaño o azul	Dos fases. Amarillo/ transparente	Dos fases. Amarillo/ transparente
Triterpenos/ esteroides	Lieberman-Bouchard	Reacción coloreada (hexano) Anillo café interfase (etanol)	Coloración verde	Coloración verde
Antrocenoides	NH ₄ OH	Coloración roja	Emulsión amarillenta	Emulsión amarillenta
Compuestos fenólicos	Cloruro ferrico	Coloración verde	No hubo coloración	No hubo coloración
Antroquinonas	Benceno y Test de amonio	Cambio de color rojo a rosado en la fase alcalina	No se observo cambio de coloración	No se observo cambio de coloración
Principios amargos	Cromatografía 60F ₂₅₄ UV-365 nm	Manchas color café oscuro o gris	Manchas café oscuro	Manchas café oscuro
Lactonas insaturadas	Reactivo de Kedde	Cambio de color en un anillo o mancha púrpura	No hubo ningún tipo de cambio	No hubo ningún tipo de cambio

Fuente: Datos Experimentales

- Cuando son dos fases primero se menciona la fase superior y luego la inferior -rojo/blanco-.

5. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Debido a la necesidad que hay de investigación sobre las plantas nativas de Guatemala, así como en todos los lugares del mundo, se procedió a realizar la investigación y tabulación de los resultados de los componentes moleculares aprovechables, específicamente, sobre el fruto del árbol de la *Sapindus Saponaria* -jaboncillo-, tal estudio consistió en la caracterización de las principales familias de metabolitos secundarios presentes en el fruto del árbol del jaboncillo, mediante la realización de un tamizaje fitoquímico, el cual nos proporciona resultados cualitativos en su manipulación usando un método cualitativo de identificación química y no un método instrumental de identificación.

Como punto de partida en la realización del estudio cualitativo del fruto del árbol del jaboncillo, se realizó la obtención del extracto por medio de la operación unitaria llamada "**Lixiviación**", la cual consiste en colocar en contacto un sólido en este caso polvillo del fruto del árbol del jaboncillo pulverizado a tamiz 100, con un líquido, en este caso con tres diferentes tipos de solventes agua, alcohol y hexano siendo estos dos polares y uno no polar, respectivamente. Este conjunto de sistemas se colocó independiente, así como, la variación de la temperatura, trabajándose a temperatura ambiente y a temperatura sobre la ambiente en 30 grados centígrados sobre ésta, lográndose así obtener los extractos para la identificación de las principales familias de metabolitos secundarios, mediante el tamizaje fitoquímico respectivo.

La materia prima fue cosechada en el municipio de Cunén, Departamento del Quiché, República de Guatemala, durante el mes de abril del año 2,005, exactamente, en época de Semana Santa como lo indica la bibliografía, dicho municipio se encuentra a 1,827 metros sobre el nivel del mar, a una latitud de 15 grados, 20 minutos y 10 segundos y longitud 91 horas, 1 minuto y 35 segundos. El clima es, Semi-cálido, 18.7 °C a 23.9 °C. Sus suelos son desarrollados sobre Rocas Calcáreas a Elevaciones Medianas. Se encuentra en una zona de vida vegetal **“Montano bajo húmedo”**, esto significa que se encuentra en un nivel subtropical.

5.1 Tipo de lixiviación utilizada en la obtención de los extractos

Para el análisis de las principales familias de metabolitos secundarios en el fruto del árbol del jaboncillo se llevó a cabo la extracción sólido-líquido -lixiviación-, lo cual para los seis sistemas se utilizó la llamada **"maceración"** (ver figura No. 9), esta operación se llevó a cabo con éxito en lo que se refiere a los sistemas a temperatura ambiente (ver conclusión 7), estos tenían colores característicos cada uno, así como también se logró obtener rendimientos aceptables para este método utilizado, lo cual será discutido más adelante.

Analizando el comportamiento de las extracciones realizadas a temperatura de 30 grados centígrados sobre la ambiente, se observó la extracción efectiva en los sistemas de etanol y de agua, así como en las extracciones realizadas a temperatura ambiente, pero no fue exitosa la maceración en el sistema con solvente hexano. Este sistema mostró un comportamiento particular de transferencia de masa nula, debido a que no se presentó ningún cambio en la coloración en el solvente utilizado, el cual como se discutirá más adelante refleja una coloración amarilla.

Al transcurrir el tiempo se observó un empaquetamiento de la muestra del polvillo del fruto del árbol de jaboncillo, es decir, se formó una serie de masas endurecidas, las cuales no se logró la fraccionamiento de estas al intentarse romper con una espátula, en caso contrario entre más se le elevaba la temperatura más se masificaba dicho material, observándose un comportamiento de empaquetamiento, directamente, proporcional a la temperatura, este comportamiento, solamente, se observó, cualitativamente, no realizó un análisis más profundo, es decir, un análisis cuantitativo.

El tiempo utilizado para todas las extracciones fue de 72 horas alternando las horas de agitación con horas sin agitación, siendo 36 horas con agitación y 36 horas sin agitación, se hace referencia a esto debido a que en la extracción del hexano a temperatura sobre la ambiente, el empaquetamiento del material se formó en los primeros minutos del calentamiento y agitación, determinándose así que no es posible realizar la extracción por medio de maceración el sistema hexano-polvillo del fruto del árbol del jaboncillo.

Se observó también en la extracción del hexano a 55 ° C el material de extracción presentó una caramelización en las paredes del balón de fondo plano, es decir, desprendimiento de un líquido café oscuro que escurría a través de este, que al ser tocado con la espátula tenía una consistencia muy viscosa, -se asemejaba a miel o caramelo fluido-, esto nos da un punto de partida para poder concluir mediante el tamizaje fitoquímico que dicho material presentaba existencia de azúcares, tomando en cuenta que el material fresco posee un olor característico dulce de caramelización (ver conclusión 3).

Debido a que no se logró realizar la obtención de la extracción deseada por medio de maceración utilizando hexano como solvente, se recurrió a un segundo método de extracción o lixiviación, por medio de la extracción Soxhlet

(ver conclusión 8). Esta extracción fue realizada en el mismo tiempo utilizado por la maceración para lo cual no existiera diferenciación de variables, aquí se observó un cambio de coloración en la recolección del extracto en el solvente. Como se pudo observar en los resultados de rendimiento es un método poco eficiente como la maceración, en lo que respecta la extracción de metabolitos utilizado el hexano como solvente. No se puede concluir con el etanol y agua como solvente debido a que no se trabajó de esta forma, como se mencionó, anteriormente, se realizó esta extracción Soxhlet como un caso especial en hexano a 55 grados centígrados (ver conclusión 2).

5.2 Porcentaje de Humedad

Primordialmente, es importante conocer qué cantidad de agua posee el material a utilizar en cualquier experimentación, debido a que en determinado momento esta humedad puede llegar a ser un componente no deseado en el manejo del producto, por tal razón, se debe conocer la diferencia de masa a humedad reducida que se tendrá, exactamente, del fruto original -materia prima- al ser eliminada el agua de origen. Debido a que, generalmente, se trabaja en estos casos con material deshidratado, este tiende a no presentar el proceso natural degradativo por fermentación, sobre todo en caso tenga agentes fermentantes, principalmente, azúcares.

Al medirle la humedad de origen al fruto del árbol de la *Sapindus Saponaria* -jaboncillo-, realizando una réplica de corridas se llegó a determinar que en promedio esta poseía una humedad de 77 ± 0.05 , lo que implica que de cada 100 gramos de material el 77 por ciento es agua, dato que coincide con la literatura que en promedio las frutas, las legumbres y las carnes tienen en promedio una humedad de 80 por ciento. Por lo que al momento de ser

transportado este material debe ser, primeramente, deshidratado, porque de caso contrario se estaría transportando en su mayor parte agua.

Los proveedores del municipio de Cunén, Quiché debido a que la cosecha de este material lleva varios días, colocaron cada lote del fruto del árbol del jaboncillo, en plástico negro expuestos al sol y al viento, con la finalidad de eliminarle la mayor cantidad de humedad posible y así conservar el material como poder transportar el menor peso posible, así como evitar su descomposición o fermentación.

La humedad que poseía el material al momento de recibirlo es de, aproximadamente, 15 %, un valor aceptable, ya que las legumbres, frutas y otros materiales orgánicos deben de tener una humedad de 13 ± 0.05 % para poder trabajar, correctamente, en estos. Por consiguiente se procedió a secarlo hasta llevar a 13 % la humedad de material, realizando así la primera prueba de pulverización y molienda. Como resultado se obtuvo que en el molino que se utilizó el material, altamente, "**higroscópico**", absorbía agua del ambiente y se comenzaba a tomar una forma pegajosa la cual ya no permitía la molienda.

Al utilizar el método alternativo de pulverización con una licuadora, la cual corta con las aspas filosas y logra realizar un corte constante y pequeño en su sistema semi cerrado, a la humedad que presentaba de 13 % también fue imposible la pulverización exitosa, debido a que en las aspas se quedaba pegado material, así como en el fondo del vaso de contención. Debido a este suceso se procedió a eliminarle más agua al material colocando en el horno de convección forzada de la Planta Piloto del Centro de Investigaciones de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, durante 48 horas, con la finalidad de llegar a un porcentaje de humedad de 10 ± 0.05 %, con tal humedad se logró trabajar, satisfactoriamente, en la licuadora (ver conclusión

4), pero en caso contrario en la molienda debido al mismo factor que afectó con anterioridad el cual es capturar humedad del ambiente el material, es decir, ser higroscópico, presentó la misma característica de tornarse, rápidamente, pegajoso el polvillo.

5.3 Comparación de masas del fruto del árbol de la Sapindus Saponaria -jaboncillo-; mesoderma y endoderma

Otro factor muy importante en la determinación si un material es conveniente trabajarlo, es de la cantidad que posea de producto utilizable (ver figura 2). Para este caso se llevo a cabo el cálculo de la cantidad porcentual que posee el cascarón en comparación con el fruto incluyendo la semilla, que siempre al ser adquirido este la tendrá incluida la semilla. Realizando los cálculos necesarios se llegó a observar que la cantidad porcentual que posee se encuentra en un $73\pm 0.05\%$, valor que es satisfactorio debido a que al momento del transporte se tendrá una cantidad alta de producto utilizable. También se puede tomar en cuenta que todo el fruto incluyendo su semilla es aprovechable, ya que la semilla es utilizada como comestible, teniendo un sabor parecido a la semilla de marañón al ser cocinada.

5.4 Rendimiento de pulverización a tamaño de partícula menor de 150 micrones

Para poder realizar la lixiviación, es decir, el proceso de maceración con método Soxhlet es necesario llevar el tamaño de partícula lo mas pequeño posible, en este caso se llega o obtiene un polvillo que produce un área de transferencia de masa infinito, para el caso de el fruto trabajado se logra llevar por medio de la pulverización con la licuadora a un tamaño muy pequeño el cual es de menos de 150 micrones (ver figura 7).

Por consiguiente se procedió a determinar el rendimiento que esta metodología tiene, llegándose a dividir en dos pasos, el primero se refiere a la cantidad de polvillo obtenido de la pulverización del fruto completo, es decir, el cascarón sin incluir la semilla, al realizar un lote de cinco corridas se llegó a obtener un porcentaje de rendimiento del 6.5 ± 0.05 %, es decir, que de cada 100 gramos pulverizados, solamente, 6.5 gramos se obtenían de producto deseado.

La cantidad que se necesitaba para poder realizar todas las corridas en la maceración y el método soxleth es de 60 gramos por tratamiento por lo que se realizaron 18 tratamientos se necesitaba como mínimo 1,080 gramos. Al realizar los cálculos se necesitaba un tiempo considerable para la obtención de todo este material. La desventaja que se observa en la pulverización, solamente, del fruto completo es la cantidad de material que se pierde como se observó en un 93.5 %.

Por tal razón al ver la necesidad de optimizar los recursos y así obtener la mayor cantidad de polvillo utilizable sin tanto desperdicio, se procedió a realizar una serie de pulverizaciones de la primera pulverización, es decir, se tomaba el remanente no pulverizado a polvillo y, nuevamente, se ingresó a la licuadora y se obtuvo un rendimiento del 5.6 ± 0.05 %, por lo que la diferencia con el fruto completo no es alta, por lo que se realizó una serie de pulverización secuenciadas aprovechándose así en su mayoría la materia prima inicial, entonces se puede decir que la pulverización con licuadora es más eficiente que con sistema de molienda debido al problema higroscópico.

5.5 Rendimiento de la lixiviación

Como se discutió en el inciso 1 de esta sección, se observó que fue imposible utilizar para todos los tratamientos el mismo método, sin embargo, se logró realizar para etanol, agua y hexano a temperatura ambiente el mismo método, así como para etanol y agua a 55 centígrados, pero no así para el hexano a esta última temperatura (ver figura 23).

Para la maceración realizada en el agua a temperatura ambiente se observó que el rendimiento de extracción es alto, es decir, se extrajo una cantidad de extracto con un rendimiento del 67 %, es decir, que existe bastante afinidad de los metabolitos presentes en el fruto por el solvente polar, lo que es un rendimiento alto. Consecuentemente, cuando se realizó la extracción del material a 55 centígrados se observó el incremento del rendimiento hasta un 75 ± 0.05 %, lo que se interpreta en el rendimiento utilizando el agua como solvente, directamente, proporcional al incremento con la temperatura en este caso ($2.67\text{g}/10^\circ\text{C}$). Este resultado es obtenido como se esperaba debido a la capacidad que tiene el agua de polaridad, es decir, la capacidad que tiene la molécula de agua para atraer por su diferencia de polaridades a otras moléculas y luego solvatarlas y retenerlas.

La extracción realizada utilizando como solvente el etanol el comportamiento refiriéndose a las diferentes temperaturas se observó que también el rendimiento en el sistema calentado fue más eficiente en la extracción, tendiendo así un rendimiento del 55 ± 0.05 % para el sistema a temperatura ambiente y un rendimiento, aproximadamente, del 62 ± 0.05 % a 55 grados centígrados, por lo que se observó que el comportamiento es menor la capacidad extractiva ($2.33\text{g}/10^\circ\text{C}$) logrando relacionar la capacidad extractiva del etanol como muy parecida a la del agua.

Por otro lado se observó que en base a los métodos extractivos la maceración logró realizarse, solamente, para el solvente hexano a temperatura ambiente, observándose en esta una extracción de bajo rendimiento, teniendo como valor de 3.2 ± 0.05 % de rendimiento, lo cual es un rendimiento bajo. Al realizar la extracción por medio del método Soxleth (ver figura 8) observamos que el rendimiento, es un poco más alto que es de 7.4 ± 0.05 % a 55 grados centígrados, por lo que se observa que el comportamiento es menor la capacidad extractiva ($1.4 \text{ g}/10^\circ\text{C}$) con estos resultados se definió que el rendimiento de extracción es, directamente, proporcional a la temperatura utilizada, ya que en los tres solventes esta característica es peculiar, hasta aquí no se ha analizado la capacidad de extracción de los metabolitos que se realizará mas adelante. Aquí también se llegó a observar la relación que existe entre la polaridad de los metabolitos a extraer en relación a la constante dieléctrica del solvente.

En conclusión se puede decir que la extracción es, directamente, proporcional a la elevación de la temperatura en un rango determinado y también, directamente, proporcional al incremento en la constante dieléctrica (ver conclusión 5).

5.6 Densidad de los extractos

Se realizó la extracción de las principales familias de metabolitos secundarios mediante el método de maceración y Soxleth, por lo que se obtuvo una serie de extractos a los cuales se le midieron las densidades por picnometría. Para el extracto del agua se obtuvo una densidad de 1.04 ± 0.05 g/mL, por lo que a mayor concentración de metabolitos se incrementó la densidad del extracto. Para el extracto con etanol se obtuvo una densidad de 0.85 ± 0.05 g/mL de densidad no es muy alto comparado con el etanol que se

discutirá a continuación, de aquí se observó que tiene una influencia importante el tipo de componentes que fue posible de extraer en un sistema que tiene como solvente el agua, por lo que se da a conocer que la afinidad que poseen los metabolitos secundarios a identificar están, directamente, ligados al tipo de solvente utilizado, en este caso dos polares.

Por último, el hexano utilizado como solvente vimos, anteriormente, que su rendimiento de extracción fue bastante bajo por lo que el cambio de la densidad del extracto con el solvente puro no tiene una variación significativa como se pudo observar del compuesto puro al extracto de 0.86 a 0.867 g/mL, con lo que aunque se tenga una extracción pequeña de compuestos, aun así se obtiene una variación en valores de densidad, por lo que se observa una directa relación entre la capacidad extractiva baja que se tiene con este solvente no polar.

Al observar los resultados en general, tenemos la temperatura afecta, directamente, la capacidad extractiva que es resultado de la afinidad entre solutos y solventes, reflejándose este comportamiento en el cambio de densidades de los solventes al tener presente una cantidad significativa de metabolitos secundarios a identificar (ver conclusión 6).

5.7 Mucílagos e índice de hinchamiento

Debido a los antecedentes observados que se tenían de la tendencia de poseer gomas o mucílagos el fruto del árbol del jaboncillo, se procedió a realizarle tanto al material vegetal completo como al material en polvo la prueba del índice de hinchamiento. Se midió y calculó este índice mediante la medición de la variación de volumen que realizó el material al humectarse. Se observó un índice de hinchamiento de 1.37 ± 0.05 lo cual significa que el material es

capaz de aumentar en volumen por hidratación un 37 % por lo que se definió al material con presencia de gomas o mucílagos presentes.

5.8 Propiedades de los extractos durante la maceración

La técnica de extracción de metabolitos secundarios por maceración consistió en llevar a cabo, primeramente, con agitación y considerando el mayor tiempo de contacto del solvente con el soluto, y en segundo lugar la variación de la temperatura. Para realizar estos dos procesos se utilizaron planchas de calentamiento con agitación como se puede observar en la figura 9, fue importante conocer las características específicas que tiene cada extracto obtenido, siendo, definitivamente, característico para cada extracto recuperado, los resultados fueron diferentes al comparar entre solventes utilizados y la también por la variación de temperatura.

Con respecto a las extracciones a temperatura ambiente, en los solventes etanol y agua, se observó, primeramente, que el color de extracción presente durante los primeros minutos es similar que al final de proceso, para el etanol se observó un color característico rojo fuerte (ver figura 24), por lo que nos dió un punto de partida para determinar que dicho solvente extractor ya presentaba la presencia de taninos catéquicos, los cuales son los llamados taninos rojos.

De igual manera se observó la coloración del extracto etanólico, solamente, que la segunda extracción a discutir es la etanólica en temperatura sobre la ambiental (ver figura 25), en la cual se observó que la parte inferior de la extracción es, exactamente, igual a la extracción a temperatura ambiente, a diferencia de la parte superior que se observó una variación, el color de esta

sección es también rojiza, lo cual también indicó un punto de partida para determinar la presencia de taninos catéquicos (taninos rojos).

Por otra parte se analizó la extracción realizada con agua, como se pudo observar esta extracción en lo que se refiere a la temperatura ambiente (ver figura 27) se observó al igual que en la solución etanólica, dos fases las cuales en la parte inferior se observó el mismo color característico que en el etanol, café oscuro, pero a diferencia que en el etanol en el agua se observó la parte superior un color café-rojizo claro pero en un sistema coloidal, lo cual fue también un indicador de la presencia de taninos catéquicos (taninos rojos) (ver conclusión 1). Otro punto importante a resaltar en este proceso de extracción es la cantidad de espuma que se le formó a esta extracción durante la agitación, definiendo de esta manera como un punto inicial la presencia característica de saponinas, las cuales son los principales elementos a identificar en esta investigación.

Además de observar en la maceración la formación de espuma, también se observó, directamente, al lavar el equipo una cantidad enorme de espuma que se formó al lavar cada equipo de cristalería con la manguera rociadora que se encuentra en el fregadero (ver figura 32), con lo que en principio si se puede predecir la presencia de saponinas antes de realizarle las pruebas correspondientes.

Analizando la extracción a 55 grados centígrados con solvente como agua (ver figura 26), se presentó una forma diferente en la maceración, se observó tanto que en la agitación como en reposo, se presenta una sola fase coloidal en este proceso, el color que tiene es café claro, no observándose el color rojizo de la presencia de los taninos catéquicos (taninos rojos) y también como el anterior analizado presentó una formación de espuma en la parte

superior, tanto en la agitación como al dejar de agitar, indicio de la presencia de saponinas. Se consideró entonces que la combinación del material con el solvente en este proceso está, mayormente, ligados, debido a que con este solvente es más compatible por la polaridad del agua, además de ser, directamente, proporcional la combinación ideal con la temperatura.

Como se discutió, anteriormente, el rendimiento de la extracción es superior para el agua, menor para el etanol, y en una cantidad baja en hexano.

En la extracción con hexano tanto a temperatura ambiente como sobre la ambiental se observó una coloración amarilla del solvente durante la extracción por lo que nos da un punto de partida de la presencia de flavonoides que es el color característico que presenta al haber presencia de estos metabolitos secundarios (ver figura 28 y 29).

Con lo que respecta a la extracción que se realizó con el método Soxhlet (ver figura 29) se observó una obtención de extracción también de color amarillo, comparado con al extracción en maceración el color que se observó fue igual en ambos casos. Por lo que en el caso de la extracción por maceración y soxhlet para el solvente hexano fue una extracción bastante similar con respecto a los resultados cuantitativos como cualitativos que se obtuvieron.

Se denotó, directamente, que las extracciones dependen, directamente, del solvente utilizado, así como la temperatura a la cual se trabaja.

5.9 Propiedades de los extractos filtrados

Terminada la maceración y la extracción soxleth, se procedió a recuperar los extractos sin material sólido, se realizó filtraciones sometidas a vacío, con respecto a los extractos con etanol como solvente se obtuvo un líquido viscoso de color rojizo para ambas extracciones, es decir, las extracciones a temperatura ambiente y sobre la ambiental, no se presentó ningún inconveniente con respecto a esta filtración. La densidad del extracto con el solvente si tuvo una variación significativa, como se discutió con anterioridad.

La extracción que se realizó con agua muestra un sistema coloidal luego de realizar la filtración, en este caso la filtración que se realizó fue manipulada, directamente, con la mano, y filtrado con manta como se muestra en la figura 30, este procedimiento se llevó a cabo de esta manera diferente debido a que el enlace del solvente con el polvillo es fuerte, por lo que al realizar la filtración con vacío se observó la formación de espuma dentro del kitasato ver en la figura 31 siendo de esta manera imposible realizarse la filtración (ver conclusión 9).

Al momento de extraer en la filtración se obtuvo abundante espuma, y la extracción de líquido fue escasa. Debido a esto el tamaño de partícula que se extrajo con el sistema acuoso es un poco más grande que el utilizado al etanol como solvente, y se observó, claramente, que la solución es un sistema coloidal viscoso. Esta dificultad y procedimiento se obtuvo tanto en la extracción a temperatura ambiente como la extracción sobre la temperatura ambiente.

Cuando se realizó la filtración del último extracto, el cual tuvo como solvente el hexano, se realizó una filtración al vacío exitosa, ya que se obtiene un extracto en solvente amarillo suave, y luego al medir el rendimiento como se mencionó, anteriormente, se observó porque el color tan leve. Por otro lado en

la extracción realizada con soxleth no es necesario realizar filtración debido a que la recuperación de la extracción se hizo, directamente, en el balón de fondo plano como se puede observar en la figura 28, tanto en la extracciones con agua como en el hexano también se observó una variación directa de las densidades con respecto a los solventes, esto es discutido con anterioridad.

5.10 Resultados cualitativos de los metabolitos secundarios

En la realización del tamizaje fitoquímico a la muestra vegetal como a los extractos de agua, etanol y hexano, a dos condiciones diferentes de temperatura, es decir, una a temperatura ambiente de 25 grados centígrados y al otra a 55 grados centígrados, con la finalidad de demostrar la termolabilidad de ciertos compuestos a la temperatura, o a la extracción de ciertos metabolitos en presencia de calor en el sistema.

Directamente, en la realización de la muestra vegetal se utilizó una cantidad material en polvo para la determinación de mucílagos y para la presencia de aceite esencial se utilizó un tamaño de partícula de, aproximadamente, 0.5 centímetros introducido en el balón de calentamiento. En el caso de las demás pruebas se realizó a los extractos obtenidos por maceración y por método Soxleth, los cuales fueron rotaevaporados para aumentar su concentración en un cincuenta por ciento del original.

En la tabla de resultados cualitativos se colocó dentro de cada una de las celdas correspondientes una casilla que corresponde a la temperatura ambiente y otra casilla que corresponde a la temperatura sobre la ambiental en treinta grados, cuando se colocó un signo mas (+) significa que la prueba si contiene el metabolito a identificar, y si por el contrario se colocó un signo negativo (-) significa la ausencia de tal metabolito. En las últimas tablas de la sección de

resultados se colocó las características observables de las pruebas basadas en la teoría y utilizando los estándares en cada uno de los casos recomendados, llegándose así a obtener resultado ya sea positivo o negativo según sea el caso.

5.10.1 Pruebas realizadas a la muestra vegetal

Las pruebas que se realizaron a la muestra vegetal, solamente, fueron dos, las cuales son: la presencia de mucílagos y la extracción de aceites esenciales comprobándose así la presencia o no de estos. Con respecto a la presencia de mucílagos o gomas se utilizó la técnica del índice de hinchamiento, lo cual se discutió en el inciso 5.7, por consiguiente esta sección se discutirá, únicamente, la obtención de los aceites esenciales.

Para el caso en particular del fruto del árbol de la *Sapindus Saponaria* -jaboncillo-, al realizar el procedimiento correspondiente, se observó una alta formación de espuma debido a la cantidad alta de saponinas contenidas en este material, independientemente, de esta situación la espuma en si no retiene la extracción de aceite esencial, por lo que se esperaba una recuperación de aceite al final del equipo obteniéndose un resultado negativo de presencia de aceite esencial, dada esta situación se procedió a realizarle una cromatografía a los extractos con la finalidad de comprobar la presencia de aceite, con este procedimiento se llegó a determinar la ausencia de aceite esencial en este material, por lo que se puede decir que la metodología es confiable, independientemente, si se provoca formación de espuma.

5.10.2 Pruebas realizadas a la extracción acuosa

La extracción acuosa se orienta, principalmente, hacia la determinación de saponinas, en este caso esto determinó la presencia alta de saponinas de toda clase, por lo que es un indicio más como punto de partida, así como la alta formación de espuma, teniendo en cuenta esto se esperaba un resultado positivo en la presencia de todas las saponinas analizadas, al realizar la determinación de saponinas por medio de la elevación de espuma 3 cm fue positiva por lo que nos da un resultado preliminar de la presencia de estas, a continuación se realizó la determinación por medio de cromatografía de capa fina la determinación de las saponinas clasificadas, llegando a obtener resultados positivos en la identificación de saponinas esteroidales y triterpenoides, por lo que se comprueba la presencia de esta clasificación de saponinas.

Como se pudo observar la presencia de los diferentes tipos de metabolitos llamados triterpenos/esteroles con lo que con anterioridad producía un resultado positivo, definiendo esto como una posibilidad de la presencia de saponinas triterpenoides. La determinación de los esteroides también dió un punto de partida en la determinación de la presencia de saponinas esteroidales, por lo que se encontraron compuestos esteroidales y triterpenoides dentro de las saponinas como fuera de ellas, es decir, la presencia de estos metabolitos independientes.

Por otro lado las demás determinaciones las cuales fueron las de taninos catéquicos y gálicos presentaron un resultado negativo para los gálicos y para los catéquicos mostraron una presencia para la determinación en el extracto a temperatura ambiente, y un resultado negativo a temperatura en 30 grados

sobre la ambiental, por lo que se le atribuyó una termosensibilidad de estos metabolitos.

Los metabolitos secundarios alcaloides, compuestos fenólicos y esteroides dieron un resultado positivo y un resultado negativo con los flavonoides, cumarinas y lactonas insaturadas, por lo que observó una determinación en sistema de extracción acuosa de un alto espectro, lo que se comprobó la alta polaridad para la atracción de moléculas que tiene el agua.

5.10.3 Pruebas realizadas a la extracción hexánica

Con respecto a la extracción hexánica se observó un comportamiento, completamente, inverso al comportamiento del agua debido a la constante dieléctrica baja que presenta este solvente, comparado con la constante del agua, así se observó que la extracción tanto a temperatura ambiente como a temperatura sobre la ambiental la misma tendencia, se procuró identificar los metabolitos siguientes taninos catéquicos y gálicos, triterpenos/esteroides, alcaloides, flavonoides, cumarinas, antroquinonas, compuestos fenólicos, saponinas, principios amargos, lactonas insaturadas, antocianinas y antracénoides, se obtuvo como resultado positivo, solamente, a los triterpenos/esteroides presentes, con lo cual se comprobó la presencia de estos compuestos independientes y no, solamente, los presentes en las saponinas, ya que el resultado de estas es negativo (ver conclusión 10).

5.10.4 Pruebas realizadas a la extracción etanólica

En la realización del tamizaje fitoquímico en la extracción etanólica tanto a temperatura ambiente como con temperatura mayor se observó un comportamiento similar al del agua, debido a que también el alcohol es un

compuesto polar, con una constante dieléctrica mayor que la del hexano. En estas pruebas se observó al igual que en la extracción con agua la ausencia de taninos gálicos y, solamente, taninos catéquicos a temperatura ambiente, tampoco se tuvo presencia de alcaloides -que se están presentes en el extracto acuoso-, cumarinas, antrocenoides, lactonas insaturadas, antroquinonas y antranolas/antronas a ninguna de las dos temperaturas .

Por el contrario se observó la presencia de los siguientes metabolitos secundarios a ambas temperaturas, chalconas, triterpenos/esteroles, esteroles insaturados, azúcares 2-desoxigenados, saponinas, principios amargos, compuestos fenólicos, con lo que se observó un amplio espectro de identificación con este solvente, por otro lado se observó también un comportamiento peculiar al observar que las leucoantocianinas y los flavonoides no fue posible su extracción en un sistema a temperatura ambiente y por el contrario se observó la presencia de estos metabolitos en extracción a temperatura superior a la ambiental en 30 grados centígrados.

Se tiene también un comportamiento de termolabilidad de los metabolitos llamados antocianinas debido a que se presentan en la extracción a temperatura ambiente pero en la otra temperatura no.

5.10.5 Observaciones de las pruebas realizadas

Las observaciones realizadas a las pruebas del tamizaje fitoquímico, tuvieron características especiales en sus metodologías, así como punto de partida analizaremos lo que son las pruebas, directamente, químicas y no instrumentales, al momento de realizar estas pruebas se tomaron dos factores concluyentes, los cuales fueron en primer lugar la obtención de un extracto con

una concentración alta, ya que se realizó en ciertas pruebas la evaporación del solvente y se trabajó a sequedad con los extractos, el otro factor importante es tener un compuesto el cual obtenga los metabolitos a buscar, en forma de patrón de comparación con lo cual se realizó una comparación observable de los cambios esperados en cada una de las pruebas, como, anteriormente, se refirió se observó una comparación directa de los cambios para cada prueba.

En lo que respectó al análisis de la cromatografía de capa fina, aquí se realizó un procedimiento similar por lo que se tienen los estándares, directamente, relacionados con las pruebas por lo que se tuvo el arrastre de los metabolitos a un punto tal en donde la coloración en la luz ultravioleta en la onda establecida produjo determinados colores, teniéndose así un resultado positivo o negativo según sea el caso.

CONCLUSIONES

1. Es posible obtener extractos por medio del método de lixiviación, llamado maceración a temperatura ambiente, y son los colores característicos de cada solvente agua -café claro-, etanol -rojizo- y hexano -amarillo-, se refleja el rendimiento característico de cada uno.
2. Es posible el obtener extractos por medio de maceración a una temperatura mayor de 30 centígrados, en las extracciones con los solventes agua y etanol, pero en la extracción con el solvente hexano es imposible por este método
3. Se puede implementar para la determinación presuntiva de azúcares la técnica de maceración con agitación elevando la temperatura, utilizando como solvente hexano y tomando en cuenta que el extracto a obtener tenga un olor característico de la caramelización.
4. Es necesario realizar el control de la humedad que posee el fruto ya que para poder llevar a cabo su pulverización, en el caso del fruto de la *Sapindus Saponaria* por la presencia de mucílagos o gomas se debe de lograr una humedad menor o igual a 10 por ciento.
5. La obtención de los extractos por medio de lixiviación, independientemente, si es por maceración o por sistema soxleth, es, directamente, proporcional a la temperatura.

6. El rendimiento de extracción que se obtiene y su densidad son, directamente, proporcionales a la temperatura, polaridad y la constante dieléctrica del solvente, por lo que es necesario trabajar con solventes polares.
7. Se pueden realizar extracciones por maceración de las principales familias de metabolitos secundarios del fruto del árbol del jaboncillo para los sistemas a temperatura ambiente, con los solventes etanol, agua y hexano.
8. Se puede realizar una variación de metodología para la extracción por medio de solvente hexano, teniendo un rendimiento muy similar al utilizar la maceración mediante extracción soxleth a diferentes temperaturas.
9. Debido a que provoca la formación de mucha espuma la fuerte cantidad de saponinas presentes en el extracto en sistema acuoso, no es posible realizar una filtración por gravedad, ni con vacío
10. Al utilizar al hexano como un solvente extractor se observa la poca afinidad de los metabolitos secundarios con este solvente el cual tiene una polaridad baja comparada con el agua y el etanol.
11. El monitoreo del pH en solución acuosa, a la extracción de las principales familias de metabolitos, no es necesario debido a que se mantiene constante en un punto, ligeramente, neutro de 6.4.

RECOMENDACIONES

- Debido a los resultados obtenidos en el presente estudio será posible realizar evaluaciones similares con otros materiales vegetales que posean alto contenido de saponinas.
- Estudiar otras partes del árbol de Sapindus Saponaria -raíces, flores, hojas, etc.-, realizando así las comparaciones de las diferentes secciones del árbol.
- Realizar un estudio de extracción por maceración-concentración en la unidad de la planta piloto.
- Es necesario realizar una investigación en donde se discutan los métodos de filtración más convenientes cuando una extracción presenta la formación de espuma.
- Continuar realizando investigaciones, a partir del tamizaje fitoquímico en otras plantas nativas de Guatemala.

BIBLIOGRAFÍA

- ALVAREZ DE LEÓN, Carmen Ileana. Archila Paíz, Ana Patricia. **Caracterización física y química del fruto sapindus saponaria - jaboncillo-** y su potencial de industrialización como fuente de saponinas. USAC, julio 1988.
- DE LA LLANA Parra, Rossana Mireya. **Tamizaje FITOQUÍMICO** del colpalchi (Croton reflexifolius HBK). Guatemala, USAC. 2001.
- DOMINGUEZ, Xorge Alejandro. **Métodos de investigación fitoquímicos.** Washington D.C. 1975.
- FULLER R. WAYNE. **Solventes.** Estados Unidos de América: Federación de Sociedades para la Tecnología en pintura, 1967. 51pp.
- FULLER J. HARRY y otros. **Botánica.** México: Editorial Interamericana, 1974. 235 pp.
- GOODMAN, A. **Las bases farmacológicas de la terapéutica.** Buenos Aires: Editorial Panamericana, 1987. 1751pp.
- GUATEMALA. Ministerio de Comunicaciones y obras públicas. **Atlas nacional de Guatemala.** Guatemala: Instituto Geográfico Nacional de Guatemala, 1972. pp. 2.12, 3.12, 3.16, 3.20.
- LITTER, M. **Compendio de farmacología.** 14ª. Ed. Buenos Aires: Editorial el Ateneo, 1998. 932pp.
- LITTER, M. **Farmacología: experimental y clínica.** 15ª. Ed. Buenos Aires: Editorial el Ateneo, 1999. 1991pp.
- RÍOS Tello, Mildred Julissa. **Tamizaje fitoquímico** preliminar del fruto, semilla y corteza de *Hylocereus undatus* (pitaya o pitahaya). Guatemala. USAC, 2001.
- ROBERT, TREYBAI. **Operaciones de transferencia de masa.** Segunda edición. México: Editorial McGraw-Hill, 2001. 845 pp.

SANTIZO Rodas, Ivo Mahelly. **Tesis: Identificación de familias de metabolitos secundarios en *Myrica cerifera* L.** Guatemala. USAC, 2003.

SHARAPIN, NIKOLAI. **Fundamentos de tecnología de productos fitoterapéuticos.** Primera edición. Colombia: Publicación del Convenio Andrés Bello (C_{AB}) y el Programa Iberoamericano de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo (C_{YTED}), 2000. 247 pp.

WAGNER H, Blatt. S, Zgainski E.M., **Plant Drug Analysis**, Springer-Verlag, Berlin Heidelberg 1984.

WINGROVE, ALLAN y otros. **Química orgánica.** México: HARLA, 1984. 1569pp.

BIBLIOGRAFIA ELECTRONICA

ANDRES ABREU Zoot, Msc; Juan Carulla, M.Sc., PhD., Profesor Asociado Fmvz **Utilización de fruto de *Sapindus saponaria* como fuente de la saponina para reducir la metano génesis y mejorar la utilización del alimento en rumiantes con dietas tropicales.** - Un. 2003.
http://www.veterinaria.unal.edu.co/inv_proyectos_nutricion_7.html

DR. PEDRO F. Mateos González, **Metabolitos Secundarios de interés industrial**
<http://edicion-micro.usal.es/web/SEFIN/MI/tema03MI.html>

FRUTOS RICOS EN SAPONINA. **Reducen Liberación de Metano y mejoran Uso de Nitrógenos**
http://www.ciat.cgiar.org/forrajes/forrajeses/resultados_sobresalientes.htm

LIRA CORONADO, PAOLA YESSI, **"Obtención de un detergente biodegradable y de un material de construcción a partir del boliche (Sapindus saponaria)"**

<http://www.pucp.edu.pe/invest/grupo/ecoeficiencia/version2000.html>

PREPARACION DE EXTRACTOS

<http://bilbo.edu.uy/~planta/pdf/FarmacognosiaPE80/PREPARACIONEXTRACTOS.pdf>

APENDICE A: DATOS ORIGINALES

Tabla XXIII. Porcentaje de humedad fruto fresco del fruto del árbol de la Sapindus Saponaria -jaboncillo-.

Fruto/corrida	Masas del fruto				
	1 -grs-	2 -grs-	3 -grs-	4 -grs-	5 -grs-
Húmedo	35.025	33.256	33.468	34.045	35.195
Seco	7.842	7.452	7.456	7.597	7.889

Fuente: Datos experimentales

Tabla XXIV. Porcentaje de humedad secado al sol del fruto de la Sapindus Saponaria -jaboncillo-.

Fruto/corrida	Masas del fruto				
	1 -grs-	2 -grs-	3 -grs-	4 -grs-	5 -grs-
Húmedo	32.548	30.898	31.012	34.386	30.241
Seco	27.653	26.254	26.351	29.214	25.694

Fuente: Datos experimentales

Tabla XXV. Porcentaje de humedad secado en horno del fruto del árbol de la Sapindus Saponaria -jaboncillo-.

Fruto/corrida	Masas del fruto				
	1 -grs-	2 -grs-	3 -grs-	4 -grs-	5 -grs-
Húmedo	31.458	32.485	30.009	31.836	30.196
Seco	28.256	29.185	26.963	28.605	27.132

Fuente: Datos experimentales

Tabla XXVI. Comparación de masas del fruto del árbol de la Sapindus Saponaria -jaboncillo-; mesodermo y endodermo.

Fruto/Corrida	Masas -gramos-				
	1	2	3	4	5
Mesodermo (cascaron)	2.767	2.658	2.575	2.836	2.633
Endodermo (semilla)	1.061	1.009	0.911	1.090	1.012
Total	3.828	3.667	3.486	3.926	3.645

Fuente: Datos experimentales

Tabla XXVII. Rendimiento del pulverizado del fruto seco de la Sapindus Saponaria -jaboncillo-.

Pulverizado	Masa -gramos-				
	1	2	3	4	5
Polvillo	9.527	10.003	8.998	10.123	9.789
Hojuelas	136.788	135.28	135.288	140.162	139.173
Total	146.315	145.283	144.286	150.285	148.962

Fuente: Datos experimentales

Tabla XXVIII. Rendimiento del pulverizado de las hojuelas de la primera pulverización del fruto seco del árbol de la Sapindus Saponaria -jaboncillo-.

Pulverizado	Masa -gramos-				
	1	2	3	4	5
Polvillo	7.896	7.546	7.654	8.025	7.994
Hojuelas	128.892	127.734	127.634	132.137	131.179
Total	136.788	135.28	135.288	140.162	139.173

Fuente: Datos experimentales

Tabla XXIX. Rendimiento de la maceración del polvillo del fruto del árbol de la Sapindus Saponaria -jaboncillo-.

Solvente	Temp. °C	Masas obtenidas -gramos-					
		Corrida 1		Corrida 2		Corrida 3	
		Inicio	Final	Inicio	Final	Inicio	Final
Etanol	25	60.013	26.970	60.020	25.449	60.020	27.636
Etanol	55	60.010	25.265	60.022	22.491	60.013	20.030
Agua	25	60.016	21.270	60.020	16.520	60.018	22.345
Agua	55	60.015	13.357	60.013	15.020	60.009	16.032
Hexano	25	60.015	58.150	60.015	57.460	60.014	58.263
Hexano	55	--	--	--	--	--	--
Hexano	55	27.001	24.960	27.003	25.360	27.015	24.684

Fuente: Datos experimentales

Tabla XXX. Densidad de los extractos de etanol, agua y hexano del fruto del árbol de la Sapindus Saponaria -jaboncillo-.

Solvente	Temp. °C	Masa -gramos-				
		1	2	3	4	5
Etanol	25	21.363	21.320	21.386	21.354	21.366
Etanol	55	21.420	21.396	21.425	21.418	21.422
Agua	25	25.775	25.773	25.781	25.763	25.753
Agua	55	26.030	26.029	26.033	26.027	26.032
Hexano	25	17.178	17.173	17.182	17.180	17.177
Hexano	55	17.198	17.192	17.201	17.194	17.199

Fuente: Datos experimentales

Tabla XXXI. Índice de hinchamiento en la determinación de la presencia de mucílagos en el material fraccionado del fruto seco del árbol de la Sapindus Saponaria -jaboncillo-.

Volumen -mL-							
		Corrida 1		Corrida 2		Corrida 3	
Muestra	Inicial	Final	Inicial	Final	Inicial	Final	
Vegetal	1.00	1.36	1.00	1.38	1.00	1.38	

Fuente: Datos experimentales

APENDICE B: CÁLCULO DE MUESTRA

1. Porcentaje de humedad del fruto seco del árbol de la Sapindus Saponaria -jaboncillo-

Fórmula:

$$\% \text{ de humedad} = 100 - \frac{(\text{Masa final})}{\text{Masa inicial}} * 100$$

Corrida 1:

Porcentaje de humedad

$$\% \text{ de humedad} = 100 - \frac{27.653}{32.548} * 100$$

$$\% \text{ de humedad} = 100 - (0.8496 * 100)$$

$$\% \text{ de humedad} = 100 - 84.961$$

$$\% \text{ de humedad} = \mathbf{15.039 \%}$$

2. Comparación de masas del fruto del árbol de la Sapindus Saponaria -jaboncillo-; mesodermo y endodermo

Fórmula:

$$\% = \frac{(\text{Parte del fruto})}{\text{Fruto total}} * 100$$

Corrida 1:

Mesodermo:

$$\% = \frac{2.767}{3.828} * 100 = \mathbf{72.28 \%}$$

Endodermo:

$$\% = \frac{1.061}{3.828} * 100 = \mathbf{27.72 \%}$$

3. RENDIMIENTO PULVERIZADO

Rendimiento del fruto pulverizado

Fórmula:

$$\% \text{ rendimiento polvillo} = \frac{(\text{polvillo tamizado})}{\text{Muestra original}} * 100$$

Corrida 1:

$$\% \text{ rendimiento polvillo} = \frac{9.527}{146.315} * 100$$

$$\% \text{ rendimiento polvillo} = \mathbf{6.511 \%}$$

Rendimiento de las hojuelas sobrantes del tamiz

Fórmula:

$$\% \text{ rendimiento polvillo} = \frac{(\text{hojuelas obtenidas})}{\text{Muestra original}} * 100$$

Corrida 1:

$$\% \text{ rendimiento polvillo} = \frac{136.788}{146.315} * 100$$

$$\% \text{ rendimiento polvillo} = \mathbf{93.489 \%}$$

4. RENDIMIENTO MACERACIÓN

Fórmula:

$$\% \text{ de rendimiento: } 100 - \frac{(\text{muestra final})}{\text{muestra inicial}} * 100$$

Corrida 1:

$$\% \text{ de rendimiento: } 100 - \frac{(26.970)}{60.013} * 100$$

$$\% \text{ de rendimiento} = 100 - 44.94$$

$$\% \text{ de rendimiento} = \mathbf{55.060 \%}$$

5. DENSIDAD DE LOS EXTRACTOS

Fórmula:

Densidad = masa/Volumen

Corrida 1: Etanol a 25 ° C

Datos:

Masa = 21.363

Volumen: 25 mililitros

$$\text{Densidad} = 21.363/25$$

$$\text{Densidad} = \mathbf{0.85450 \text{ gramos/mililitro}}$$

6. MUCILAGOS INDICE DE HINCHAMIENTO

Fórmula:

$$\text{Índice de hinchamiento} = \frac{\text{Muestra final}}{\text{muestra inicial}}$$

Corrida 1:

$$\text{Índice de hinchamiento} = 1.36/1.00$$

$$\text{Índice de hinchamiento} = \mathbf{1.36}$$

7. Análisis estadístico (ANDEVA)

Tabla de ANDEVA

Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrados medios	F Calculada
Tratamientos	SSA	K-1	$S_1^2 = \text{SSA}/k-1$	S_1^2/S^2
Error	SSE	K (n-1)	$S^2 = \frac{\text{SSE}}{K (n-1)}$	
Total	SST	nk-1		

Donde:

$$SST = \sum Y^2 - Y_t / n \quad (\text{ecc. 1})$$

$$SSA = \sum Y^2 / K - Y_t / n \quad (\text{ecc. 2})$$

$$SSE = SST - SSA \quad (\text{ecc. 3})$$

Entonces:

Para los pH de las tinturas 1:22 de fronda se tiene que:

Tratamientos = 3

Repeticiones = 3

$$\sum Y^2 = 22,657.39482$$

$$H_0 = t_1 = t_2 = t_3$$

$$H_i = t_1 \neq t_2 = t_3$$

Paso 1: factor de corrección (F)

$$F = \frac{376.702^2}{3 \cdot 3} = 15,767.15520$$

Paso 2: suma de cuadrados (Sc)

$$Sc \text{ tratamientos} = \frac{166.614^2 + 199.805^2 + 10.283^2}{3} - 15,767.15520 = 6,828.84584$$

Paso 3: suma de cuadrados total

$$Sc \text{ total} = 22,657.39482 - 15,767.15520 = 6,890.23962$$

Paso 4: error

$$\text{Error} = 6,890.23962 - 6,828.84584 = 61.39378$$

Paso 5: grados de libertad

Tratamientos: $3 - 1 = 2$

Total = $3 * 3 - 1 = 8$

Error = $8 - 2 = 6$

Paso 6: cuadrados medios

Tratamientos = $6,828.84584 / 2 = 3,414.42292$

Error = $61.39378 / 6 = 10.2022972$

Paso 7: F calculada

$F_c = 3,414.42292 / 10.2022972 = 333.690748$

Paso 8: F tabulada

La F tabulada se busca en la tabla para un nivel de confianza del 95%, es decir, con $\alpha = 0.05$, grados de libertad de tratamientos = 2 y grados de libertad del error = 6.

$F_t = 5.14$

Regla de decisión: $F_c < F_t$ si es no se rechaza H_0 y si se acepta H_0 ; para este caso F_c no es mayor que F_t entonces se acepta H_0 que es la que dice que si hay diferencia entre las extracciones a temperatura de 25 grados centígrados en tres diferentes solventes etanol, agua y hexano.

APENDICE C: DATOS CALCULADOS

Tabla XXXII. Porcentaje de humedad fruto fresco traído del municipio de Cunén, Quiché, Guatemala del árbol de la Sapindus Saponaria -jaboncillo-.

Secado/Corrida	Porcentaje de Humedad				
	1	2	3	4	5
Fruto fresco	77.610	77.592	77.722	77.685	77.585

Fuente: Datos Originales

Tabla XXXIII. Porcentaje de humedad fruto seco, realizado al fruto seco en secado al sol y secado en horno de tiro forzado.

Secado/Corrida	Porcentaje de Humedad				
	1	2	3	4	5
Al sol	15.039	15.030	15.029	15.041	15.034
En horno	10.178	10.146	10.150	10.148	10.147

Fuente: Datos Originales

Tabla XXXIV. Comparación de masas del mesodermo (cáscara) con el endodermo (semilla) del fruto seco del árbol de la Sapindus Saponaria -jaboncillo-.

Parte del fruto/Corrida	Porcentaje partes del fruto				
	1	2	3	4	5
Mesodermo (cascarón)	72.28	72.48	73.83	72.24	72.23
Endodermo (semilla)	27.72	27.52	26.13	27.76	27.77
Total	100	100	100	100	100

Fuente: Datos originales

Tabla XXXV. Rendimiento porcentual del proceso de molienda a tamiz 100 del fruto seco del árbol de la Sapindus Saponaria -jaboncillo-.

Pulverizado	Porcentaje de rendimiento				
	1	2	3	4	5
Polvillo	6.511	6.885	6.236	6.736	6.571
Hojuelas	93.489	93.115	93.764	93.264	93.429
Total	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000

Fuente: Datos Originales

Tabla XXXVI. Rendimiento de pulverización de las hojuelas de la primera pulverización.

Pulverizado	Porcentaje de rendimiento				
	1	2	3	4	5
Polvillo	5.772	5.578	5.658	5.726	5.744
Hojuelas	94.228	94.422	94.342	94.274	94.256
Total	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000

Fuente: Datos Originales

Tabla XXXVII. Rendimiento porcentual de maceración del fruto del árbol de la Sapindus Saponaria -jaboncillo- en los solventes etanol, agua y hexano a 25 y 55 grados centígrados.

Solvente	Temp. °C	Porcentaje de rendimiento		
		Corrida 1	Corrida 2	Corrida 3
Etanol	25	55.060	57.599	53.955
Etanol	55	57.899	62.529	66.624
Agua	25	64.559	72.476	62.770
Agua	55	77.744	74.972	73.284
Hexano	25	3.108	4.257	2.918
Hexano	55	7.559	6.084	8.629

Fuente: Datos Originales

Tabla XXXVIII. Densidad de los extractos obtenidos por maceración y método soxleth al polvillo del árbol de la Sapindus Saponaria-jaboncillo-.

Solvente	Temp.	Densidad -gramos/militro-				
	° C	1	2	3	4	5
Etanol	25	0.85450	0.85280	0.85544	0.85416	0.85464
Etanol	55	0.85680	0.85584	0.85700	0.85672	0.85688
Agua	25	1.03100	1.03092	1.03124	1.03052	1.03012
Agua	55	1.04120	1.04116	1.04132	1.04108	1.04128
Hexano	25	0.68712	0.68692	0.68728	0.68720	0.68708
Hexano	55	0.68792	0.68768	0.68804	0.68776	0.68796

Fuente: Datos Originales

Tabla XXXIX. Índice de hinchamiento obtenido en la identificación del metabolito secundario, mucílago, en el tamizaje realizado a la materia prima del fruto del árbol de la Sapindus Saponaria -jaboncillo-.

	Corrida		
	1	2	3
Índice de hinchamiento	1.36	1.38	1.38

Fuente: Datos Originales

Tabla XL. Análisis estadístico método ANDEVA para el porcentaje de rendimiento de los extractos con solventes etanol, agua y hexano a 25 grados centígrados del fruto del árbol de la Sapindus Saponaria -jaboncillo-.

Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrados medios	f calculada
Tratamientos	6,828.84584	2	3,414.42292	333.690748
Error	61.39378	6	10.2322972	
Total	6,890.23962	8		

Fuente: Cálculo de muestra

Tabla XLI. Análisis estadístico método ANDEVA para el porcentaje de rendimiento de los extractos con solventes etanol y agua a 55 grados centígrados del fruto del árbol de la Sapindus Saponaria -jaboncillo-.

Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrados medios	f calculada
Tratamientos	252.82445	1	252.824451	20.958602
Error	48.25216	4	12.0630398	
Total	301.07661	5		

Fuente: Cálculo de muestra

Tabla XLII. Análisis estadístico método ANDEVA para el porcentaje de humedad del fruto secado al sol y secado en horno del fruto del árbol de la Sapindus Saponaria -jaboncillo -.

Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrados medios	f calculada
Tratamientos	59.55552	1	59.5555216	-0.72396258
Error	-658.10607	8	-82.263259	
Total	-598.55055	9		

Fuente: Cálculo de muestra

Tabla XLIII. Análisis estadístico método ANDEVA Densidades de los extractos de los solventes etanol, agua y hexano a 25 grados centígrados del fruto del árbol de la Sapindus Saponaria -jaboncillo-.

Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrados medios	f calculada
Tratamientos	0.29529	2	0.14764632	-0.3909633
Error	-4.53139	12	-0.37761561	
Total	-4.23609	14		

Fuente: Cálculo de muestra

Tabla XLIV. Análisis estadístico método ANDEVA Densidades de los extractos de los solventes etanol, agua y hexano a 55 grados centígrados del fruto del árbol de la Sapindus Saponaria-jaboncillo-.

Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrados medios	f calculada
Tratamientos	0.31232	2	0.15616172	-0.40888728
Error	-4.58302	12	-0.38191875	
Total	-4.27070	14		

Fuente: Cálculo de muestra

APENDICE D: FOTOGRAFÍAS DEL PROYECTO

Figura 16. Equipo de filtración por vacío utilizado en la filtración de los extractos del fruto del árbol de la Sapindus Saponaria -jaboncillo-, en los extractos de etanol y hexano.



Fuente: Fotografía autor presente tesis

Figura 17. Balanza analítica utilizada para medición de rendimientos de extracción del fruto del árbol de la Sapindus Saponaria -jaboncillo-.



Fuente: Fotografía autor presente tesis

Figura 18. Residuo de la extracción por maceración con etanol del fruto del árbol de la Sapindus Saponaria -jaboncillo-.



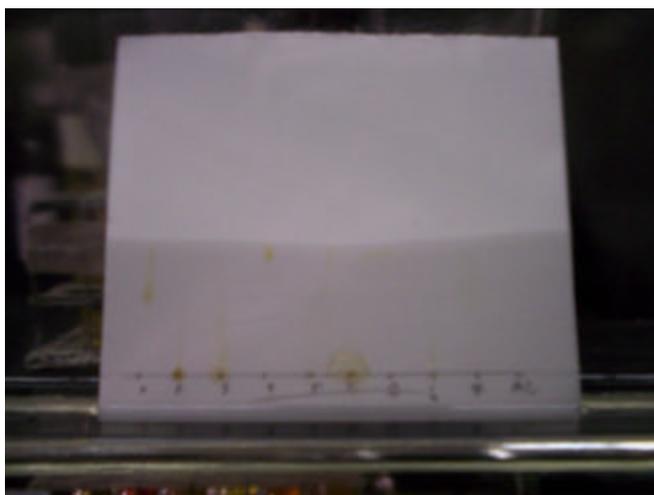
Fuente: Fotografía autor presente tesis

Figura 19. Detalle del contraste en color de los extractos de etanol, agua y hexano obtenidos en la maceración y método Soxleth del polvillo del fruto del árbol de la Sapindus Saponaria -jaboncillo-.



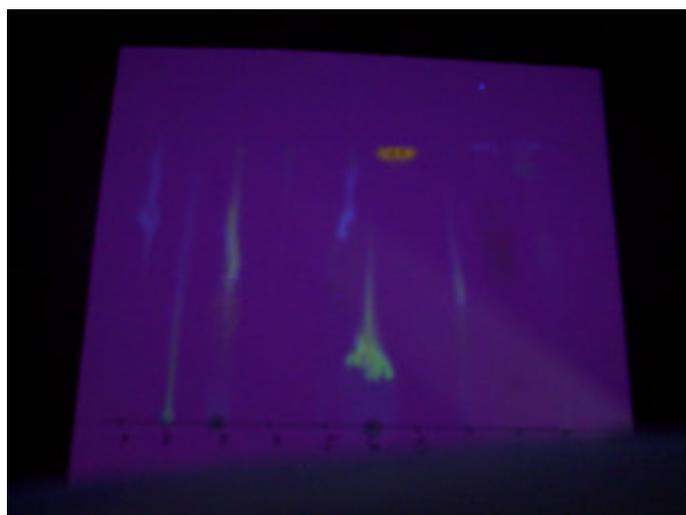
Fuente: Fotografía autor presente tesis

Figura 20. Detalle del grado de avance en la cromatografía en capa fina realizada para la determinación de los metabolitos secundarios del fruto del árbol de la Sapindus Saponaria -jaboncillo- en los extractos de etanol, agua y hexano.



Fuente: Fotografía autor presente tesis

Figura 21. Revelado con luz ultravioleta ($\lambda = 365 \text{ nm}$) de las manchas por cromatografía en capa fina a los extractos de etanol, agua y hexano obtenidos de la maceración.



Fuente: Fotografía autor presente tesis

Figura 22. Detalle de las pruebas de identificación de Alcaloides en los extractos de etanol, agua y hexano del fruto del árbol de la Sapindus Saponaria -jaboncillo-.



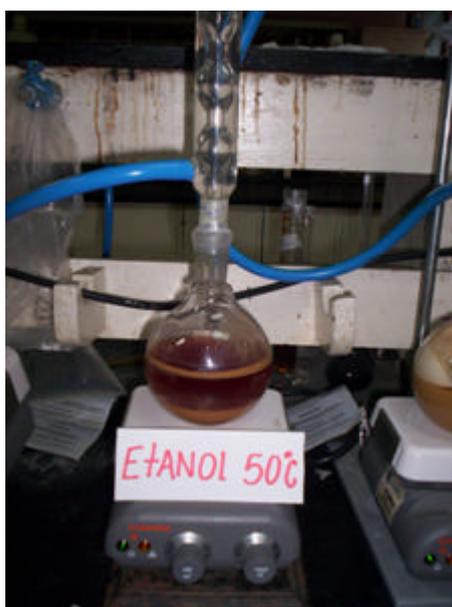
Fuente: Fotografía autor presente tesis

Figura 23. Sistema en serie de tratamientos de maceración en la extracción con los solventes etanol, agua y hexano del polvillo del fruto de árbol de la Sapindus Saponaria -jaboncillo-.



Fuente: Fotografía autor presente tesis

Figura 24. Extracción etanólica a reflujo y a temperatura de 55 °C del polvillo del fruto del árbol de la Sapindus Saponaria -jaboncillo-.



Fuente: Fotografía autor presente tesis

Figura 25. Extracción etanólica a temperatura ambiente del polvillo del fruto del árbol de la Sapindus Saponaria -jaboncillo-.



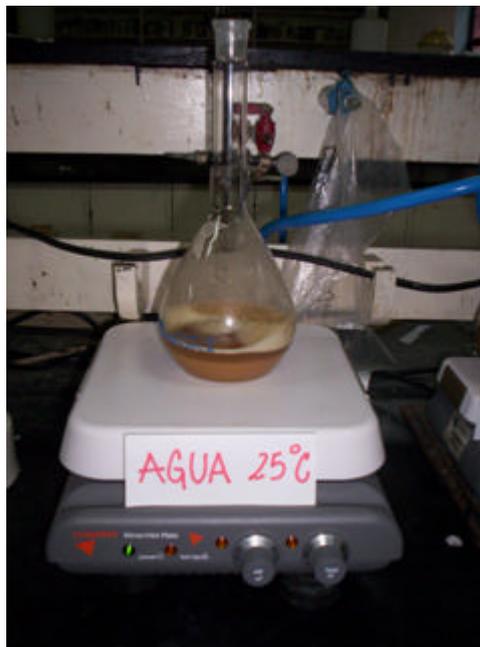
Fuente: Fotografía autor presente tesis

Figura 26. Extracción acuosa a 55 °C del polvillo del fruto del árbol de la Sapindus Saponaria -jaboncillo-.



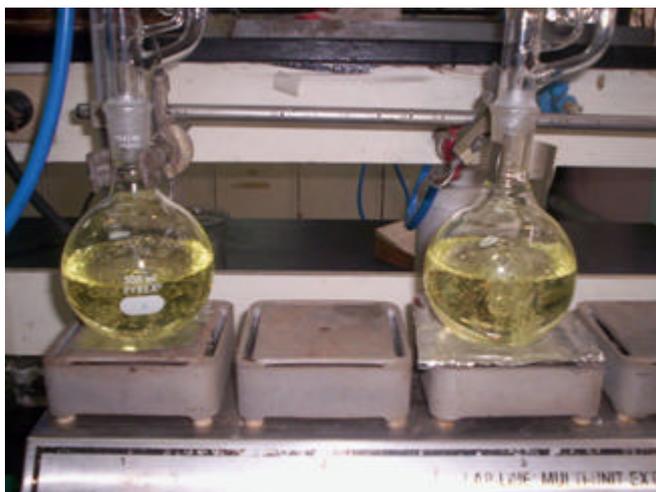
Fuente: Fotografía autor presente tesis

Figura 27. Extracción etanólica a temperatura ambiente del polvillo del fruto del árbol de la Sapindus Saponaria -jaboncillo-.



Fuente: Fotografía autor presente tesis

Figura 28. Extracción hexánica a 55 °C en soxleth del polvillo del fruto del árbol de la Sapindus Saponaria -jaboncillo-.



Fuente: Fotografía autor presente tesis

Figura No.29: Extracción hexánica a reflujo a temperatura ambiente del polvillo del fruto del árbol de la Sapindus Saponaria -jaboncillo-.



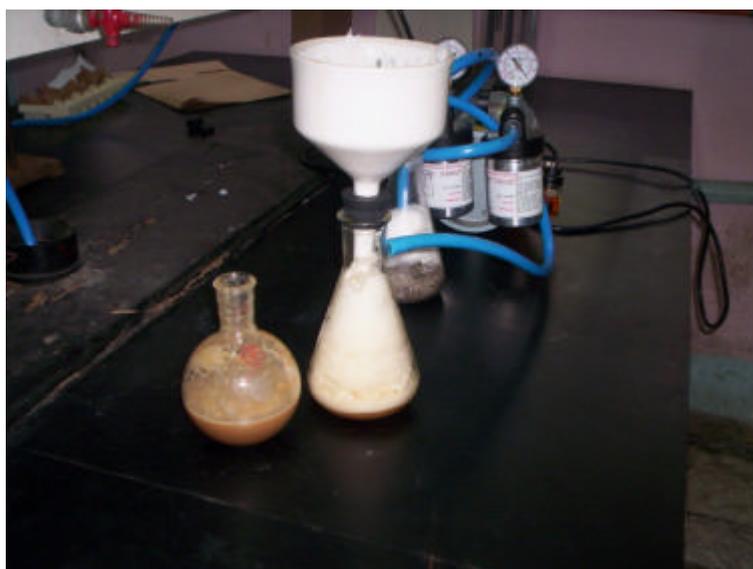
Fuente: Fotografía autor presente tesis

Figura 30. Filtrado del extracto acuoso con manta de la maceración del fruto del árbol de la Sapindus Saponaria -jaboncillo-.



Fuente: Fotografía autor presente tesis

Figura 31. Filtrado de la extracción acuosa saturación de espuma del polvillo del fruto del árbol de la Sapindus Saponaria -jaboncillo-.

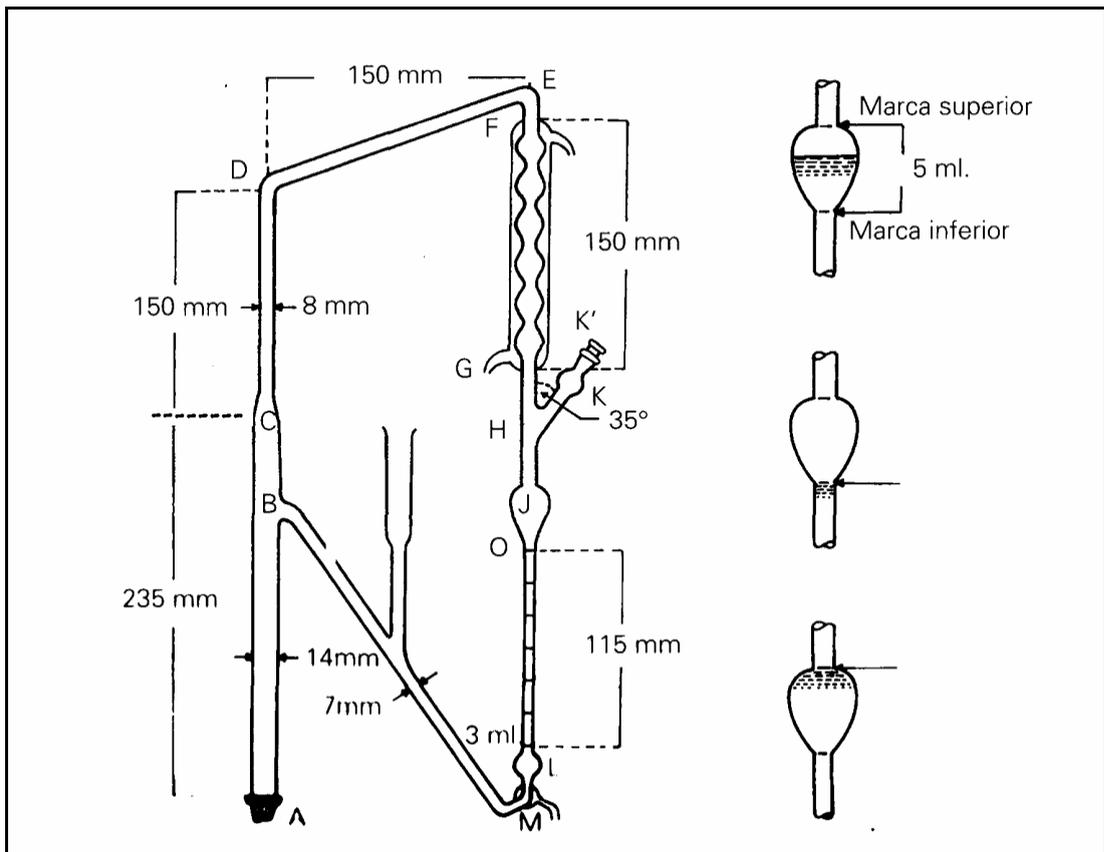


Fuente: Fotografía autor presente tesis

Figura 32. Detalle de la generación notable de espuma del extracto acuoso del polvillo del fruto de la Sapindus Saponaria -jaboncillo-.



Figura 33. Equipo para la determinación de aceites esenciales según la Farmacopea Brasileña.



APENDICE E: PREPARACIÓN DE REACTIVOS EN LA REALIZACIÓN DEL TAMIZAJE FITOQUÍMICO

Liebermann-Bouchard

- Mezclar 5 ml de anhídrido acético.
- 5 ml de cloroformo.
- Enfriar a 0 ° C.
- Agregar 1 a 2 gotas de ácido sulfúrico.
- El reactivo es estable durante 1 día.

Reactivo de Mayer

- Disolver 1.36 g de HgCl_2 en 60 ml de agua.
- Disolver 5 g de KI en 20 ml de agua.
- Mezclar las dos soluciones.
- Aforar a 100 ml.
- El reactivo solo debe añadirse a soluciones, previamente, aciduladas con HCl o H_2SO_4 diluidos.
- La solución no debe de contener ácido acético o etanol porque disuelven el precipitado.
- Solo debe de agregarse unas cuantas gotas de reactivo porque algunos alcaloides son solubles en exceso del reactivo.

Reactivo de Carr-Price

- Solución saturada de tricloruro de antimonio (SbCl_3) en cloroformo.

Reactivo de Fehling

- Solución A: Disolver 6.93 g de sulfato cúprico en agua y completar a volumen con 250 ml de agua.
- Solución B: Disolver 34.6 g de bitartrato de sodio y potasio y 62.5 g KOH en agua y completar el volumen a 250 con agua.
- Mezclar volúmenes iguales al momento de utilizar.

Reactivo de Bouchar

- 2 g de yodo.
- 4 g de yoduro de potasio.
- Aforar a 100 ml.

Reactivo de Dradendoff

- Solución A: 0.85 g de nitrato básico de bismuto, diluido en 10 ml de ácido acético glacial.
- Solución B: 8 g KI en agua.
- Mezclar 25 ml de solución A con 25 ml de solución B en 100 ml de ácido acético glacial, aforar a 500 ml con agua, es estable en un recipiente oscuro y refrigerado durante 6 meses.

Reactivo de Kedde

- 5 ml de solución etanólica de ácido 3,5-dinitrobenzoico al 3 % preparado, recientemente.
- 5 ml de NaOH 2 M.
- Mezclar al momento de utilizar.

Reactivo de Komarowsky

- 1 ml de ácido sulfúrico etanólico al 50 %.
- 10 ml de 4-hidroxibenzaldehído en metanol al 2 %.
- Mezclar antes de usar.

Reactivo de Seller-Killiani

- 0.3 ml de FeCl_3 al 10 %.
- 50 ml de ácido acético glacial.
- Mezclar antes de usarse.

Reactivo de KOH

- Solución etanólica de KOH del 5-10 %.

Reactivo de Warner

- 1.27 gr de Yodo
- 2 g KI en 5 ml de agua.
- Diluir a 100 ml.

Reactivo de Productos naturales

- Asperjar la cromatoplaca primero con difenilboril-oxietilamina al 1% en metanol y luego con polietilenglicol-4000 al 5 % en etanol.
- El polietilenglicol incrementa la sensibilidad desde 10 hasta 2.5 microgramos.