



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

**EXTRACCIÓN Y CARACTERIZACIÓN FÍSICOQUÍMICA DEL
CONTENIDO TÁNICO EN LA CORTEZA DE CINCO ESPECIES
FORESTALES PROCEDENTES DEL DEPARTAMENTO DE
PETÉN, APROVECHANDO EL SUBPRODUCTO DE LA
INDUSTRIA DE ASERRADERO**

Natalia Cristina Espinal Corrales

Asesorado por: Inga. Telma Maricela Cano Morales

Ing. For.M.Sc. José Mario Saravia Molina

Guatemala, mayo de 2009

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**EXTRACCIÓN Y CARACTERIZACIÓN FÍSICOQUÍMICA DEL CONTENIDO
TÁNICO EN LA CORTEZA DE CINCO ESPECIES FORESTALES
PROCEDENTES DEL DEPARTAMENTO DE PETÉN, APROVECHANDO EL
SUBPRODUCTO DE LA INDUSTRIA DE ASERRADERO**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR:

Natalia Cristina Espinal Corrales

ASESORADO POR: INGENIERA TELMA MARICELA CANO MORALES

INGENIERO FORESTAL JOSÉ MARIO SARAVIA MOLINA

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERA QUÍMICA

GUATEMALA, MAYO DE 2009

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE LA JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
VOCAL I	Inga. Glenda Patricia García Soria
VOCAL II	Inga. Alba Maritza Guerrero de López
VOCAL III	Ing. Miguel Ángel Dávila Calderón
VOCAL IV	Br. José Milton De León Bran
VOCAL V	Br. Isaac Sultán Mejía
SECRETARIA	Inga. Marcia Ivónne Véliz Vargas

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

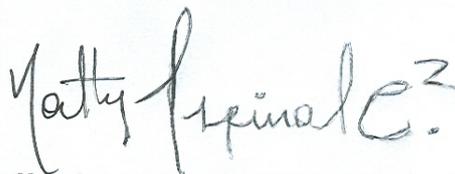
DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
EXAMINADOR	Ing. Otto Raúl De León Paz
EXAMINADOR	Ing. Renato Giovanni Ponciano Sandoval
EXAMINADOR	Dra. Casta Zeceña Zeceña
SECRETARIA	Inga. Marcia Ivónne Véliz Vargas

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:

**EXTRACCIÓN Y CARACTERIZACIÓN FÍSICOQUÍMICA DEL
CONTENIDO TÁNICO EN LA CORTEZA DE CINCO ESPECIES
FORESTALES PROCEDENTES DEL DEPARTAMENTO DE
PETÉN, APROVECHANDO EL SUBPRODUCTO DE LA
INDUSTRIA DE ASERRADERO,**

tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Química, el 22 de mayo de 2008.



Natalia Cristina Espinal Corrales



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA

Guatemala, 04 de marzo de 2009

Ing. Williams Álvarez
Director de Escuela de Ingeniería Química
Facultad de Ingeniería

Ingeniero Álvarez Mejía:

Con un cordial saludo me dirijo a usted para informarle que he asesorado y aprobado el Informe Final de trabajo de graduación titulado: **“EXTRACCIÓN Y CARACTERIZACIÓN FISCOQUÍMICA DEL CONTENIDO TÁNICO EN LA CORTEZA DE CINCO ESPECIES FORESTALES PROCEDENTES DEL DEPARTAMENTO DE PETÉN, APROVECHANDO EL SUBPRODUCTO DE LA INDUSTRIA DE ASERRADERO”**.

Desarrollado por la estudiante de Ingeniería Química Natalia Cristina Espinal Corrales con número de carné 2001-13192.

Considero que el Informe Final de trabajo de graduación desarrollado por la estudiante Espinal Corrales, satisface los requisitos exigidos; por lo que solicito se sirva remitirlo para su respectiva revisión.

Agradezco a usted la atención a la presente.

Atentamente,



Inga. Telma Maricela Cano Morales
Colegiado 433

Directora Centro de Investigaciones de Ingeniería
Facultad de Ingeniería
Asesora de Trabajo de Graduación



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA

Guatemala, 04 de marzo de 2009

Ing. Williams Álvarez
Director de Escuela de Ingeniería Química
Facultad de Ingeniería

Estimado Ingeniero Álvarez:

Atentamente me dirijo a usted para informarle que ha sido concluido satisfactoriamente el trabajo de graduación titulado: **“EXTRACCIÓN Y CARACTERIZACIÓN FISCOQUÍMICA DEL CONTENIDO TÁNICO EN LA CORTEZA DE CINCO ESPECIES FORESTALES PROCEDENTES DEL DEPARTAMENTO DE PETÉN, APROVECHANDO EL SUBPRODUCTO DE LA INDUSTRIA DE ASERRADERO”**. Desarrollado por la estudiante de Ingeniería Química Natalia Cristina Espinal Corrales.

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,


Ing. For. M.Sc. José Mario Saravia Molina
Profesor Titular IX
Facultad de Agronomía
Co-Asesor del Trabajo de Graduación





UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA

Guatemala, 24 de Abril de 2009
Ref. EIQ.249.2009

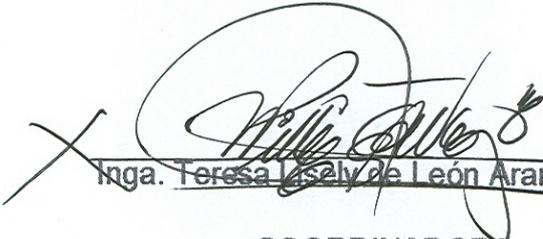
Ingeniero
Williams Guillermo Álvarez Mejía
DIRECTOR
Escuela de Ingeniería Química
Facultad de Ingeniería
Presente.

Estimado Ingeniero Álvarez:

Como consta en el Acta TG-025-09-B-IF le informo que reunidos los Miembros del Tribunal nombrado por la Escuela de Ingeniería Química, se practicó la revisión del informe final del trabajo de graduación, para optar al título de INGENIERA QUÍMICA a la estudiante universitaria **NATALIA CRISTINA ESPINAL CORRALES**, identificada con carné No. 2001-13192, titulado: "EXTRACCIÓN Y CARACTERIZACIÓN FISCOQUÍMICA DEL CONTENIDO TÁNICO EN LA CORTEZA DE CINCO ESPECIES FORESTALES PROCEDENTES DEL DEPARTAMENTO DE PETÉN, APROVECHANDO EL SUBPRODUCTO DE LA INDUSTRIA DE ASERRADERO" el cual ha sido asesorado por la Ingeniera Química Telma Maricela Cano Morales, y Co-asesorado por el Ingeniero For.M.Sc. José Mario Saravia Molina como consta en el Acta.

Habiendo encontrado el referido informe final **satisfactorio**, se procede a recomendarle autorice a la estudiante **Espinal Corrales** proceder con los trámites requeridos de acuerdo a normas y procedimientos establecidos por la Facultad para su autorización e impresión.

"ID Y ENSEÑAD A TODOS"


Inga. Teresa Isely de León Arana, M.Sc.

COORDINADORA
Tribunal que revisó el informe final
Del trabajo de graduación



C.c.: archivo



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA.

El Director de la Escuela de Ingeniería Química Ing. Williams Guillermo Álvarez Mejía, M.Sc. Después de conocer el dictamen del Asesor y de los Miembros del Tribunal nombrado por la Escuela de Ingeniería Química para revisar el trabajo de graduación de la estudiante **Natalia Cristina Espinal Corrales** titulado: **“EXTRACCIÓN Y CARACTERIZACIÓN FISICOQUÍMICA DEL CONTENIDO TÁNICO EN LA CORTEZA DE CINCO ESPECIES FORESTALES PROCEDENTES DEL DEPARTAMENTO DE PETÉN, APROVECHANDO EL SUBPRODUCTO DE LA INDUSTRIA DE ASERRADERO”**, procede a la autorización del mismo, ya que reúne rigor, coherencia y calidad requeridos.


Ing. Williams Guillermo Álvarez Mejía M.Sc.
DIRECTOR ESCUELA INGENIERÍA QUÍMICA



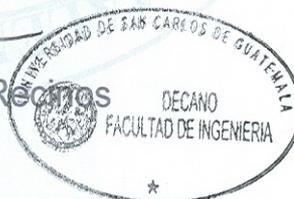
Guatemala, mayo de 2009



El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Química, al trabajo de graduación titulado: **EXTRACCIÓN Y CARACTERIZACIÓN FÍSICOQUÍMICA DEL CONTENIDO TÁNICO EN LA CORTEZA DE CINCO ESPECIES FORESTALES PROCEDENTES DEL DEPARTAMENTO DE PETÉN, APROVECHANDO EL SUBPRODUCTO DE LA INDUSTRIA DE ASERRADERO**, presentado por la estudiante universitaria **Natalia Cristina Espinal Corrales**, procede a la autorización para la impresión del mismo.

IMPRÍMASE.

Ing. Murphy Olympto Paiz Ríos
DECANO



Guatemala, mayo de 2009

/gdech

ACTO QUE DEDICO A

Jehová Dios, quien me dio la vida y me ha bendecido con unos Padres que no han hecho más que brindarme amor, dirección, apoyo, principios y valores que me han permitido salir adelante, pero sobre todas las cosas, me han inculcado el temor a Dios, quien con su protección divina y gracia me ha concedido alcanzar una meta más y ha hecho realidad el deseo de que mi padre Arnaldo Espinal Zepeda y mi madre Natalia Corrales Katín puedan el día de hoy compartir conmigo esta alegría que responde a sus sacrificios.

Mi hermano Arnaldo Emilio y a mis hermanas Miriam y Verónica, los quiero con todo mi corazón, les admiro y me siento dichosa porque siempre recibo de ustedes ánimo y comprensión.

A mis abuelitos Hidalio Espinal, Emilio Corrales y a mis abuelitas Maria Cristina Zepeda y Rosalpina Katín, gracias por rodearme de ternura.

Mi primo Leonel Corrales Fornos, quien con su partida ahondo en mí el deseo de luchar en esta vida contra cualquier obstáculo, sigues vivo en el corazón de quienes te quisimos.

Mi segunda familia, los esposos Héctor Ayala y Olimpia Ramos, gracias por acogerme en el seno de su hogar como a una hija y darme afecto, consejos y ayuda incondicional.

Lester Calderón Castellanos, por su cariño y apoyo.

Mis amigos y amigas, quienes me han brindado un aprecio personal puro y desinteresado con quienes he compartido alegrías, tristezas y momentos inolvidables.

AGRADECIMIENTOS A

Mi Familia	Tíos, tías, primos y primas.
Hermanos Ayala Ramos	Vernon, Lorena, Erlin y Ruldin .
Los ingenieros e ingenieras	Cesar Alfonso García, por su tiempo en revisión del trabajo de graduación , Pablo De León, por su apoyo incondicional, José Mario Saravia, por su asesoría , Otto Raúl De León, por los conocimientos brindados, Renato Ponciano, Alberto Arango, Marino Barrientos, Alberto Boy, Williams Alvarez, Lisely De León y muy en especial a Telma Cano, por su asesoría, amistad y confianza que me ha brindado.
Los Licenciados	Erlin Ayala, quien ha sido como un hermano, Miguel Ángel Rodenas, Cesar Izquierdo y Licda. Eugenia Rodas.
Mis amigas	Abigail Chiquín, Maria Gabriela, a quien aprecio y admiro, Carmencita, con quien compartí desvelos, logros y llantos. Al grupo de “las aquellas” las tengo siempre presentes Ceci, Bea, Tere, Karen y Wendy. Claudia Rodas, a quien estimo. Aury Gonzales, gracias por todo. Irma Castellanos, le respeto y le quiero. Lesly Cutzal por lo buenos

tiempos. Adela Marroquín, Cintya Ortiz, Esther Roquel e Inga. Erica Cano por su amistad.

Mis amigos

Leonardo , Alexis , Mario Mérida, Victor Manuel , José Carlos, Hector Malchic, José Manuel y Emanuel.

Universidad de San Carlos de Guatemala

Por darme la oportunidad de realizar mis estudios en esta prestigiosa institución.

Facultad de Ingeniería

Por brindarme las herramientas y conocimientos necesarios para lograr culminar con éxito la carrera de Ingeniería Química.

Centro de Investigaciones de la Facultad de Ingeniería

Sección de Química Industrial, por brindarme los elementos necesarios para la realización de la parte experimental de la investigación.

Sección de Metales por el apoyo recibido a diario, muchas gracias.

Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia

Por permitirme realizar la práctica laboral.

Escuela de Formación de Profesores de Enseñanza Media

Por toda la ayuda recibida de parte de los profesionales y compañeros de trabajo.

Mis padrinos

Por darme el privilegio de que me apadrinen el día de hoy.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	VII
LISTA DE SÍMBOLOS	XV
GLOSARIO	XVII
RESUMEN	XXI
OBJETIVOS	XXIII
HIPÓTESIS	XXV
INTRODUCCIÓN	XXVII
1. MARCO TEÓRICO	1
1.1 Taninos	1
1.1.1 Historia	2
1.1.2 Antecedentes	3
1.1.3 Clasificación de taninos	6
1.1.3.1 Taninos Hidrolizables	6
1.1.3.2 Taninos condensados o proantocianidinas	7
1.1.3.3 Otros tipos de taninos	8
1.1.4 Propiedades de los taninos	8
1.1.5 Uso Industrial de taninos	9
1.1.5.1 Industria del Curtido de Pieles	9
1.1.5.2 Industria Textil	10
1.1.5.3 Industria de Alimentos	10
1.1.5.4 Industria Farmacéutica	10
1.1.6 Toxicidad de los taninos	11
1.2 Compuestos fenólicos	11
1.2.1 Fenoles, ácidos fenólicos y ácidos fenil acéticos	12
1.2.2 Ácidos cinámicos, cumarinas, isocumarinas y cromonoles	13

1.2.3 Lignanos y neolignanos	13
1.2.4 Flavonoides	13
1.2.5 Cuantificación de compuestos fenolíticos	14
1.2.5.1 Técnicas espectrofotométricas	14
1.2.5.2 Ensayos ultravioletas	15
1.2.5.3 Técnicas cromatográficas	15
1.2.5.4 Efecto de los compuestos fenolíticos en la calidad organoléptica de los alimentos	16
1.2.5.4.1 Contribución al color	17
1.2.5.4.2 Sabor amargo	17
1.2.5.4.3 Sabor astringente	18
1.2.5.4.4 Pardeamiento	19
1.2.6 Efectos fisiológicos beneficiosos asociados a los compuestos fenólicos	19
1.2.6.1 Efecto sobre los macronutrientes	19
1.2.6.2 Compuestos fenólicos y actividad antioxidante	20
1.2.6.3 Compuestos fenólicos y su relación con diversas patologías	21
1.2.7 Fuentes de compuestos fenolíticos en la dieta	22
1.3 Aprovechamiento de la corteza de árbol	23
1.3.1 Estructura anatómica y composición química de la corteza..	24
1.3.1.1 Fracción fibrosa	24
1.3.1.1.1 Polisacáridos	25
1.3.1.1.2 Lignina	25
1.3.1.2 Extractivos	25
1.3.1.3 Minerales	26
1.3.2 Productos obtenidos a partir de la corteza de árboles	26
1.3.2.1 Compost	26

1.3.2.2 Taninos	27
1.3.2.3 Alimento	27
1.4 Madera .	27
1.4.1 Características de la madera	27
1.4.2 Estructura de la madera desde el punto de vista anatómico y químico.	30
1.4.3 Proceso de obtención de madera en aserraderos	34
1.5 Operaciones Unitarias en obtención de taninos	39
1.5.1 Secado	39
1.5.2 Molienda	47
1.5.3 Lixiviación	52
1.5.4 Tamizado	130
1.5.5 Filtración	131
1.6 Fitoquímica	133
1.7 Descripción de especies a estudiar	135
1.7.1 Caoba	135
1.7.2 Cedro	140
1.7.3 Manchiche	146
1.7.4 Pucté	148
1.7.5 Santa María	150
2. MARCO METODOLÓGICO	157
2.1 Diseño de la investigación	157
2.2 Recursos para la investigación	158
2.2.1 Recursos logísticos	158
2.2.1.1 Localización de materia prima	158
2.2.1.2 Localización experimental	161
2.2.1.3 Recursos Humanos	162
2.2.1.4 Material y equipo	162
2.2.1.4.1 Materia prima	162

2.2.1.4.2	Cristalería	162
2.2.1.4.3	Equipo	163
2.2.1.4.4	Reactivos	166
2.2.1.4.5	Útiles de oficina y enseres	166
2.2.1.5	Transporte	167
2.2.2	Recursos Financieros	167
2.2.3	Recursos Políticos	169
2.2.4	Recursos Culturales	169
2.3	Diseño Experimental	170
2.4	Metodología Experimental	172
2.4.2	Secado de materia prima	172
2.4.2.1	Determinación de humedad de materia prima	172
2.4.3	Molienda de materia prima	172
2.4.4	Tamizaje de materia prima	172
2.4.5	Método de extracciones sucesivas para obtener el extracto total.	173
2.4.6	Métodos para la caracterización de taninos, Determinación de las propiedades fisicoquímicas de los extractos totales.	174
2.4.6.1	Determinación de densidad	174
2.4.6.2	Determinación del índice de refracción	174
2.4.6.3	Identificación de taninos,tamizaje fitoquímico	174
2.4.6.4	Determinación de pH de una solución de extracto total	175
2.4.6.5	Determinación de la solubilidad de extracto total en agua	175
2.4.7	Métodos para la determinación del porcentaje de taninos en el extracto total	176
2.4.7.1	Método volumétrico Tara en Vaina para taninos de tipo hidrolizables	176

2.4.7.2	Método Gravimétrico Stiasny para taninos de tipo condensables	178
2.4.7.3	Manejo y Disposición de Desechos	179
2.4.7.1	Desechos Sólidos	179
2.4.7.2	Desechos Líquidos	180
2.4.7.2.1	Desechos Inorgánicos	181
2.4.7.2.2	Desechos Orgánicos	182
3.	RESULTADOS	183
4.	DISCUSIÓN DE RESULTADOS	197
	CONCLUSIONES	203
	RECOMENDACIONES	205
	REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	207
	REFERENCIAS ELECTRÓNICAS	209
	BIBLIOGRAFÍA	211
	APÉNDICE	
	APÉNDICE A Parámetros para lixiviación de taninos	213
	APÉNDICE B Análisis preliminares	219
	APÉNDICE C Muestra de cálculo	225
	APÉNDICE D Datos calculados	229
	APÉNDICE E Impactos ambientales de la Investigación	245
	APÉNDICE F Diagrama Causa Efecto para lixiviación	249
	APÉNDICE G Presupuesto de la investigación	251
	APÉNDICE H Guía de investigación de trabajo de graduación.	255

APÉNDICE I	Requerimiento académico para elaboración de Tesis de lixiviación inducida en la carrera de Ingeniería Química.	257
APÉNDICE J	Fotografías proceso de lixiviación de taninos.	261

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1	Principales rutas de origen de los metabolitos secundarios	12
2	Componentes químicos de la madera	31
3	Estructura del tronco del árbol	32
4	Corteza externa e interna de la madera	33
5	Apeo de árbol	34
6	Desramado y tronzado	34
7	Pasos para el apeo o corta de un árbol	35
8	Transporte trozas	36
9	Patio de madera	36
10	Descortezado manual	37
11	Descortezado mecánico	37
12	Tipos de humedades	42
13	Secador solar	47
14	Operación Unitaria de lixiviación	56
15	Drenado de lechos empacados	71
16	Contacto múltiple a contracorriente, sistema de Shanks	73
17	Difusor de Remolacha	75
18	Tanques de Lixiviación por lotes con agitación	76
19	Tanque Pachuca	77
20	Sedimentador por lotes	80
21	Rapidez de sedimentación	82
22	Sedimentación por lotes de suspensiones	84
23	Sedimentación por lotes de suspensiones a diferentes alturas iniciales.	85
24	Agitador de Dorr	90
25	Espesador de Dorr	91
26	Espesador de platos balanceados de Dorr	93

27	Decantación a contracorriente continua (DCC)	95
28	Características de un espesador continuo	98
29	Determinación del área del espesor con base a curva de flux	100
30	Hidrociclón	101
31	Clarificador simple de Dorr para el lavado de sólidos gruesos	103
32	Arreglo esquemático de Rotocel	104
33	Extractor de Kennedy	106
34	Extractor de Bollman	107
35	Extractor horizontal continuo (esquemático)	108
36	Diagrama de flujo para la lixiviación en filtro horizontal	109
37	Concentraciones en la lixiviación y lavado	113
38	Diagramas típicos en el equilibrio	116
39	Lixiviación o lavado en una sola etapa I	118
40	Lixiviación o lavado en una sola etapa II	120
41	Lixiviación a contracorriente en varias etapas I	121
42	Lixiviación a contracorriente en varias etapas II	124
43	Clasificación de la operación unitaria de separación sólido-líquido.	128
44	Clasificación por variable de proceso de lixiviación	129
45	Competencias de la fitoquímica	134
46	Caoba	135
47	Cedro	140
48	Manchiche	146
49	Pucté	148
50	Santa María	150
51	Mapa de localización de materia prima, Departamento de Petén.	161
52	Balanza analítica	163
53	Balanza de humedad	163
54	Bomba de vacío	164
55	Molino de martillos	164
56	Máquina tamizadora	164

57	Plancha de calentamiento	165
58	Refractómetro	165
59	Refrigeradora	165
60	Secador eléctrico	166
61	Etapas para manejo de desechos líquidos	180
62	Rendimiento promedio porcentual del proceso de lixiviación de taninos en la corteza de las 2 especies forestales que contienen taninos de tipo pirogalolicos.	183
63	Rendimiento promedio porcentual del proceso de lixiviación de taninos en la corteza de las 3 especies forestales que contienen taninos de tipo catequínicos.	183
64	Porcentaje promedio de taninos en el extracto total de la corteza de las 2 especies forestales que contienen taninos de tipo pirogalolicos.	184
65	Porcentaje promedio de taninos en el extracto total de la corteza de las 3 especies forestales que contienen taninos de tipo catequínicos.	185
66	Distribución de los resultados experimentales del rendimiento porcentual de extracto total en función de la corteza lixiviada de las 2 especies forestales que contienen taninos pirogalolicos.	190
67	Distribución de los resultados experimentales del rendimiento porcentual de extracto total en función de la corteza lixiviada de las 3 especies forestales que contienen taninos catequínicos.	190
68	Distribución de los resultados experimentales del porcentaje de taninos en el extracto total de corteza lixiviada de las 2 especies forestales que contienen taninos pirogalolicos.	192
69	Distribución de los resultados experimentales del porcentaje de taninos en el extracto total de corteza lixiviada de las 3 especies forestales que contienen taninos catequínicos.	193
70	Tanque de lixiviación	216
71	Comportamiento de pH de corteza de caoba lixiviada con solución de sulfito de sodio al 2% en función del tiempo.	220
72	Comportamiento de pH de corteza de cedro lixiviada con solución de sulfito de sodio al 2% en función del tiempo.	221

73	Comportamiento de pH de corteza de Manchiche lixiviada con solución de sulfito de sodio al 2% en función del tiempo.	221
74	Comportamiento de pH de corteza de Santa María lixiviada con solución de sulfito de sodio al 2% en función del tiempo.	222
75	Comportamiento de pH de corteza de Pucté lixiviada con solución de sulfito de sodio al 2% en función del tiempo.	222
76	Impactos Ambientales generados por la investigación.	245
77	Diagrama Causa Efecto para lixiviación de taninos.	251
78	Guía de Investigación de trabajo de graduación.	255
79	Requerimiento Académico para elaboración de trabajo de graduación.	257
80	Primera fila-izquierda :corteza de caoba. Derecha: corteza de cedro. Segunda Fila-izquierda: corteza de Manchiche. Derecha: corteza Pucté.	261
81	Primera fila-izquierda :corteza de Santa Maria.Derecha: corteza molida de Santa Maria y Pucte. Segunda fila: corteza molida de Caoba, Cedro y Manchiche.	262
82	Primera fila-izquierda : Unidad de lixiviación en el proceso. Derecha: Maceración dinámica de corteza con solución acuosa de sulfito de sodio al 2%. Segunda Fila-izquierda: Filtrado de extracto tánico fluido .Derecha: Secado de extractos tánicos.	263
83	Primera fila-izquierda :extractos totales de caoba y cedro.Derecha: viales para almacenamiento de extractos tanicos secos. Segunda fila: extractos totales de Manchiche, Pucté y Santa María.	264
84	Primera fila-izquierda : extractos totales reconstituidos con agua a ebullición y reflujo.Derecha: Extractos totales reconstituidos previos a caracterizar, en el orden caoba, cedro, Manchiche, Pucté y Santa Maria . Segundo fila: extractos totales reconstituidos.	265

TABLAS

I	Manejo de desechos líquidos inorgánicos	181
II	Manejo de desechos líquidos orgánicos	182
III	Rendimiento porcentual promedio del extracto total de la corteza de las 5 especies forestales lixiviadas con sulfito de sodio al 2%, por medio de maceración dinámica.	184
IV	Porcentaje de taninos promedio en el extracto total obtenido de la corteza de las 5 especies forestales lixiviadas con sulfito de sodio al 2%, por medio de maceración dinámica.	185
V	Índice de refracción promedio de los extractos totales reconstituidos con agua de la corteza de las 2 especies forestales, que contienen taninos de tipo pirogalolicos.	186
VI	Índice de refracción promedio de los extractos totales reconstituidos con agua de la corteza de las 3 especies forestales, que contienen taninos de tipo catequínicos.	186
VII	Densidad promedio de los extractos totales reconstituidos con agua de la corteza de las 2 especies forestales, que contienen taninos de tipo pirogalolicos.	186
VIII	Densidad promedio de los extractos totales reconstituidos con agua de la corteza de las 3 especies forestales, que contienen taninos de tipo catequínicos.	187
IX	Potencial de hidrógeno promedio de los extractos totales reconstituidos con agua de la corteza de las 2 especies forestales, que contienen taninos de tipo pirogalolicos.	187
X	Potencial de hidrógeno promedio de los extractos totales reconstituidos con agua de la corteza de las 3 especies forestales, que contienen taninos de tipo catequínicos.	187

XI	Solubilidad porcentual promedio de los extractos totales reconstituidos con agua a 30 °C, de la corteza de las 2 especies forestales, que contienen taninos de tipo pirogalolicos.	188
XII	Solubilidad porcentual promedio de los extractos totales reconstituidos con agua a 30 °C, de la corteza de las 3 especies forestales, que contienen taninos de tipo catequínicos.	188
XIII	Tipo de tanino presente en las 5 especies forestales.	189
XIV	Análisis de varianza para el porcentaje de rendimiento en el extracto total de corteza de las 2 especies forestales, que contienen taninos pirogalolicos.	190
XV	Análisis de varianza para el porcentaje de taninos en el extracto total de corteza lixiviada de las 2 especies forestales, que contienen taninos pirogalolicos.	192
XVI	Análisis de Varianza para el índice de refracción en el extracto total reconstituido con agua de la corteza de las 2 especies forestales que contienen taninos pirogalolicos.	194
XVII	Análisis de varianza para densidad del extracto total reconstituido con agua de la corteza de las 2 especies forestales, que contienen taninos pirogalolicos.	194
XVIII	Análisis de varianza para pH del extracto total reconstituido con agua de la corteza de las 2 especies forestales, que contienen taninos pirogalolicos.	194
XIX	Análisis de varianza para solubilidad del extracto total en agua de la corteza de las 2 especies forestales, que contienen taninos pirogalolicos.	195
XX	Tiempo de agitación y número de extracciones sucesivas.	219
XXI	Porcentaje de rendimiento del extracto total de la corteza de las 5 especies forestales lixiviadas con sulfito de sodio al 2%, por medio de maceración dinámica.	229

XXII	Determinación del rendimiento porcentual de extracto total de la corteza de 5 especies forestales en función de las 3 extracciones sucesivas.	230
XXIII	Porcentaje de taninos promedio en el extracto total obtenido de la corteza de las 5 especies forestales lixiviadas con sulfito de sodio al 2%, por medio de maceración dinámica.	231
XXIV	Determinación de porcentaje de taninos en el extracto total, obtenido de la corteza de las 5 especies forestales lixiviadas con sulfito de sodio al 2% por medio de maceración dinámica, en función de 5 muestras por cada una de las 5 especies con 3 extracciones para cada muestra.	232
XXV	Determinación de porcentaje de taninos en el extracto total, obtenido de la corteza de la especie Caoba utilizando el método volumétrico cualitativo Tara en Vaina para cada uno de los extractos obtenidos de las tres extracciones sucesivas.	233
XXVI	Determinación de porcentaje de taninos en el extracto total, obtenido de la corteza de la especie Pucté utilizando el método volumétrico cualitativo Tara en Vaina para cada uno de los extractos obtenidos de las tres extracciones sucesivas.	234
XXVII	Determinación de porcentaje de taninos en el extracto total, obtenido de la corteza de la especie cedro, utilizando el método gravimétrico Stiasny, para cada uno de los extractos obtenidos de las tres extracciones sucesivas.	235
XXVIII	Determinación de porcentaje de taninos en el extracto total obtenido de la corteza de la especie Manchiche, utilizando el método gravimétrico Stiasny, para cada uno de los extractos obtenidos de las tres extracciones sucesivas.	236
XXIX	Determinación de porcentaje de taninos en el extracto total, obtenido de la corteza de Santa Maria, utilizando el método gravimétrico Stiasny, para cada uno de los extractos obtenidos de las tres extracciones sucesivas.	237
XXX	Determinación de índice de refracción de los extractos total restituidos con agua para las 5 muestras de cada	

	una de las 5 especies forestales, realizando dos repeticiones por cada muestra.	238
XXXI	Determinación de densidad de los extractos total restituidos con agua para las 5 muestras de cada una de las 5 especies forestales.	239
XXXII	Determinación de pH de los extractos totales restituidos con agua para las 5 muestras de cada una de las 5 especies forestales.	240
XXXIII	Determinación de porcentaje promedio de solubilidad de los extractos totales en agua a 30 ° C, para las 5 muestras de cada una de las 5 especies forestales.	241
XXXIV	Determinación de porcentaje de solubilidad de los extractos totales en agua a 30 ° C, para las 5 muestras de cada una de las 5 especies forestales.	242
XXXV	Determinación de porcentaje de solubilidad de los extractos totales en agua a 30 ° C, para las 5 muestras de cada una de las 5 especies forestales.	243
XXXVI	Determinación de porcentaje de solubilidad de los extractos totales en agua a 30 ° C, para las 5 muestras de cada una de las 5 especies forestales.	244

LISTA DE SÍMBOLOS

F	Significancia
g	Gramos
Hp	Potencia en hourse-power
Hz	Hertz
m	Metros
mm	Milímetros
mg	Miligramos
mL	Mililitros
Rpm	Revoluciones por minuto
T	Temperatura
pH	Potencial de Hidrógeno
°C	Grados Celsius
%	Porcentaje
ρ	Densidad en g/mL
Y_{ij}	Variable respuesta rendimiento de extracto total y contenido de taninos en el extracto total , medida en la j-ésima repetición de la i-ésima especie.
μ	Rendimiento promedio de extracto total o el contenido promedio de taninos en el extracto total.
α_i	Efecto de la i-ésima especie sobre el rendimiento de extracto total o sobre el contenido de taninos en el extracto.
ϵ_{ij}	Efecto de todos los puntos de variación no controladas en el experimento, llamado error experimental.

GLOSARIO

Compuestos Fenólicos:	Sustancias químicas que poseen un anillo aromático, un anillo benceno, con uno o más grupos hidróxidos incluyendo derivados funcionales (ésteres, metilésteres, glicósidos, etc.)
Corteza:	Parte externa de la raíz, tallo y ramas de las plantas que se separa con mayor o menor facilidad de la porción interna, más dura.
Elusión:	Proceso de eliminación y separación de las sustancias absorbidas en un lecho fijo por una corriente de líquido o gas.
Elutriación:	Purificar por lavado. En el tratamiento de lodos significa extraer de los lodos, por medio de agua o efluentes de plantas de tratamiento, los compuestos amínicos o amoniacales que se encuentren en cantidades excesivas para disminuir la demanda de coagulante.
Filtrado:	Operación de separación sólido-líquido que consiste en una separación física donde no existe transferencia de

materia sino que lo que se da es una separación entre distintos estados de agregación.

Fotoquímica:

Este vocablo proviene del griego *otoq* = planta o vegetal, literalmente significa: “Química de las plantas”. Estudio de las sustancias vegetales: extracción, separación, purificación y determinación de las estructuras moleculares.

Lejía:

Los romanos usaban este término para referirse a los jugos que destilan las uvas antes de pisarlas, o las aceitunas antes de molerlas.

Lixiviación:

Viene del latín “*Lixivia, -ae*” sustantivo femenino que significa lejía. Es la separación de una fracción soluble, en forma de solución, a partir de una fase sólida permeable e insoluble a la cual esta asociada. La separación implica, normalmente, la disolución selectiva, con difusión o sin ella, pero en el caso extremo del lavado simple, consiste sólo en el desplazamiento (con alguna mezcla) de un líquido intersticial por otro, con el que es miscible.

Maceración:

Operación que consiste en sumergir un sólido vegetal en un líquido para extraer

de él sus partes solubles.

Madera: Es el conjunto de tejidos orgánicos que forman la masa de los troncos de los árboles, desprovistos de corteza y hojas.

Metabolitos secundarios: Compuestos químicos sintetizados por las plantas que cumplen funciones no esenciales en ellas, de forma que su ausencia no es fatal para la planta, ya que no intervienen en el metabolismo primario de las plantas.

Reducción de tamaño de partícula: Operación cuyo objetivo es hacer que partículas grandes se hagan más chicas.

Secado: Operación de transferencia de masa de contacto gas- sólido, donde la humedad contenida en el sólido se transfiere por evaporación hacia la fase gaseosa, con base a la diferencia entre la presión de vapor ejercida por el sólido húmedo y la presión parcial de vapor de la corriente gaseosa.

Taninos: Compuestos polifenólicos de estructura química variada, de origen vegetal, masa molecular relativamente elevada, sabor astringente, conocidos y

empleados desde hace muchos siglos por su propiedad de ser capaces de convertir la piel en cuero, es decir de curtir las pieles.

Tamizado:

Separación de una mezcla compuesta por sólidos de diversos tamaños de grano en dos o más porciones mediante una superficie tamiz que actúa como separador de tipo “aceptación y rechazo”, de tal manera que las porciones finales originadas en la separación estén constituidas por granos de tamaño más uniforme que en la mezcla original.

RESUMEN

La presente investigación se diseñó bajo los lineamientos del método científico. El objetivo del presente trabajo de investigación fue determinar el porcentaje de taninos y realizar la caracterización fisicoquímica del extracto total, obtenido de la corteza de 5 especies forestales nativas del departamento de Petén: Caoba (*Swietenia macrophylla* King), Cedro (*Cedrela odorata* L.), Manchiche (*Lonchocarpus castilloi* S.), Pucté (*Terminalia amazonia* DC) y Santa María (*Calophyllum brasiliense* Standl) .

Se realizaron pruebas preliminares para poder fijar las variables del proceso de lixiviación de la corteza de las especies forestales. La técnica utilizada para llevar a cabo el proceso de lixiviación fue maceración dinámica con 3 extracciones sucesivas. El solvente utilizado fue sulfito de sodio en solución acuosa al 2%. Se utilizó tamaño de partícula de corteza de las especies comprendido entre 0,250 mm a 0,297 mm. El tiempo óptimo de lixiviación utilizado fue 45 minutos para cada extracción sucesiva.

Se caracterizó el extracto total, reconstituido con agua, de cada una de las 5 especies, determinando para cada uno de ellos índice de refracción, densidad, pH, solubilidad y se determinó que las especies Caoba y Pucté contienen taninos de tipo pirogalolicos mientras que las especies Manchiche, Pucté y Santa María taninos de tipo catequínicos.

Al realizarse el tamizaje fitoquímico para identificación de taninos se determinó que las especies que contienen taninos de tipo hidrolizables o pirogalolicos (taninos solubles en agua) son Caoba y

pucté y que las especies que contienen taninos tipo condensables o catecol (taninos insolubles en agua) son Cedro, Manchiche y Santa Maria. Debido a que el la obtención de extractos totales contenido en la corteza de las especies, se realizó por medio de la operación de lixiviación inducida acuosa se determina que para las especies caoba y pucté corresponden a magnitudes reales tanto para el rendimiento de extracto total, rendimiento de contenido de taninos en el extracto total y cada una de las variables caracterizadas fisicoquímicamente para estas 2 especies y para las especies cedro, manchiche y Santa María no corresponden a magnitudes reales.

Se determinó el porcentaje de rendimiento de los extractos totales en función de la corteza lixiviada y para encontrar diferencia significativa entre las especies caoba y pucté se procedió a realizar un análisis estadístico diseñado completamente al azar con 2 tratamientos y 5 repeticiones. En donde por medio de un análisis de varianza se determina que la especie con mayor rendimiento porcentual de extracto total de la corteza es pucté.

Se determinó contenido de taninos en el extracto total de la corteza de las especies en estudio por medio del cálculo de porcentaje de taninos en el extracto, determinando por medio del método de análisis volumétrico Tara en Vaina para cuantificar taninos pirogalolicos y para taninos catequinicos se utilizó el método gravimétrico Stiasny.

Por medio de un análisis estadístico de varianza se evaluó la diferencia significativa entre las especies caoba y pucté, determinándose que la especie con mayor rendimiento de contenido de taninos en el extracto total de la corteza es caoba.

OBJETIVOS

GENERAL

Determinar el contenido de taninos mediante separación por lixiviación inducida y caracterizar fisicoquímicamente el extracto tánico de la corteza de 5 especies forestales nativas del departamento de Petén.

ESPECÍFICOS

1. Evaluar el rendimiento de extracto total acuoso con coadyuvante de sulfito de sodio de la corteza de las cinco especies forestales seleccionadas, por medio de la operación unitaria lixiviación inducida utilizando la técnica de extracciones sucesivas, en maceración dinámica.
2. Caracterizar fisicoquímicamente los extractos totales reconstituidos en agua obtenidos de la corteza de las cinco especies forestales seleccionadas y 5 parámetros de estudio.
3. Evaluar el contenido de taninos según el tipo identificado – pirogalolico o catequínico - en el extracto total en función de la especie forestal nativa del Departamento de Petén.
4. Evaluar la existencia de diferencia significativa en los rendimientos de extracto total y rendimiento de contenido de taninos en función de la extracción completa y del tipo de especie forestal mediante un análisis de varianza simple, ANDEVA.

HIPÓTESIS

HIPÓTESIS DE TRABAJO

Es posible extraer el contenido total de sólidos solubles en la corteza de 5 especies seleccionadas y caracterizarlo fisicoquímicamente..

Hipótesis Nula

No existe diferencia significativa en el rendimiento de los extractos totales obtenidos de la corteza de 5 especies forestales: Caoba (*Swietenia macrophylla* King), Cedro (*Cedrela odorata* L.), Manchiche (*Lonchocarpus castilloi* S.), Pucté (*Terminalia amazonia* DC) y Santa María (*Calophyllum brasiliense* Standl) .

Hipótesis alternativa

Existe diferencia significativa en el rendimiento de los extractos totales obtenidos de la corteza de las especies forestales: Caoba (*Swietenia macrophylla* King), Cedro (*Cedrela odorata* L.), Manchiche (*Lonchocarpus castilloi* S.), Pucté (*Terminalia amazonia* DC) y Santa María (*Calophyllum brasiliense* Standl) .

Hipótesis Nula

No existe diferencia significativa en el contenido de taninos en el extracto total, obtenido de la corteza de 5 especies forestales: Caoba (*Swietenia macrophylla King*), Cedro (*Cedrela odorata L.*), Manchiche (*Lonchocarpus castilloi S.*), Pucté (*Terminalia amazonia DC*) y Santa María (*Calophyllum brasiliense Standl*) .

Hipótesis alternativa

Existe diferencia significativa en el contenido de taninos en el extracto total, obtenido de la corteza de 5 especies forestales: Caoba (*Swietenia macrophylla King*), Cedro (*Cedrela odorata L.*), Manchiche (*Lonchocarpus castilloi S.*), Pucté (*Terminalia amazonia DC*) y Santa María (*Calophyllum brasiliense Standl*) .

INTRODUCCIÓN

Actualmente, el entorno mundial, en el que la globalización apunta a lograr una alta competitividad, calidad y tecnología de los distintos mercados, los productos y servicios que en el mismo se producen e intercambian, requiere, para Guatemala una industria nacional sólida e integrada, que promueva e incorpore al sistema de producción de la micro, pequeña y mediana industria, lo cual dará como resultado el combate a la pobreza y extrema pobreza. Es por ello que la industrialización de Guatemala, sobre la base de una formación humana con altos estándares de principios y valores, permitirá la eliminación paulatina de los conflictos sociales, armonizar y articular democráticamente los distintos intereses económico-sociales, mediante la adquisición de una fuerza humana, altamente capacitada y competitiva.

La elaboración del presente trabajo de graduación nace con la necesidad que tiene el país de realizar investigaciones en las diferentes ramas de la ciencia en mira de un avance de desarrollo para Guatemala. El Ingeniero Químico desempeña un papel esencial en el sector industrial en donde estén involucradas transformaciones de la materia.

La corteza del árbol es rica en taninos, que son compuestos polifenólicos que tienen diversas aplicaciones : industria curtidora de pieles, industria textil, industria de alimentos, industria farmacéutica, además de los usos caseros en medicina natural.

Cuando el árbol es descortezado en los centros de elaboración primaria, la corteza se convierte en un subproducto de la industria de aserradero clasificada como residuo de madera. Por ello el estudio de la corteza de las cinco especies forestales: Caoba (*Swietenia macrophylla King*), Cedro (*Cedrela odorata L.*), Manchiche (*Lonchocarpus castilloi S.*), Pucté (*Terminalia amazonia DC*) y Santa María (*Calophyllum brasiliense Standl*), le dará un uso sustentable y comercializable.

El presente estudio forma parte de el Proyecto de Investigación FODECYT 105-2006 “ Evaluación de el Potencial Curtiente de 5 especies forestales nativas de la Biósfera Maya”. Siendo este estudio la parte de análisis a nivel laboratorio , para poder realizar consecuentemente el escalamiento de producción de extracto tánico a nivel de planta piloto que el proyecto requiere para evaluar el potencial curtiente de las 5 especies.

En el presente trabajo de graduación se determinó el rendimiento de extracto total en función de la corteza, el rendimiento de contenido de taninos en el extracto total y la caracterización de dicho extracto total de cada una de las especies en estudio.

La obtención de los extractos totales de la corteza se realizó por medio de la operación unitaria de separación sólido-líquido lixiviación de tipo inducida combinada por medio físicos y químicos, realizándose una solubilización con efecto térmico, reducción de tamaño y coadyuvante acuoso.

Se caracterizó el extracto total restituido de cada una de las 5 especies, determinando para cada uno de ellos índice de refracción, densidad, pH, solubilidad en agua e identificación de tipo de tanino presente en el extracto.

Se cuantificó el rendimiento de contenido de taninos en el extracto total de las especies, utilizando el método de análisis cuantitativo volumétrico Tara en Vaina, para taninos pirogalolicos y el método de análisis cuantitativo gravimétrico Stiasny, para taninos catequínicos.

Se evaluó por medio de un análisis estadístico de varianza para las dos especies con taninos de naturaleza pirogalolica (solubles en agua) la diferencia significativa para el rendimiento de extracto total de la corteza , rendimiento de contenido de taninos en el extracto total y cada uno de los parámetros de caracterización de dichos extractos totales.

No fue aplicable el análisis de varianza para encontrar significancia en el rendimiento de extracto total y en el rendimiento de contenido de taninos entre las cortezas de las especies forestales Cedro, Manchiche y Santa María, por contener taninos de tipo catequínicos (insolubles en agua), pues las magnitudes no son reales.

1. MARCO TEÓRICO

1.1 Taninos

Los taninos son sustancias amorfas que con el agua forman coloides de reacción ácida y sabor muy acre. Suelen ser solubles en alcohol y en acetona. Se definen como compuestos polifenólicos de estructura química variada, de origen vegetal, masa molecular relativamente elevada, sabor astringente, conocidos y empleados desde hace muchos siglos por su propiedad de ser capaces de convertir la piel en cuero, es decir de curtir las pieles. Esto se debe a su capacidad para unirse a macromoléculas como hidratos de carbono y proteínas. Precipitan con sales de metales pesados, proteínas y alcaloides.

Se trata de compuestos hidrosolubles, dando a veces disoluciones coloidales en agua, solubles también en alcohol y en acetona e insolubles en disolventes orgánicos apolares. Dentro de los vegetales los taninos suelen encontrarse en las vacuolas celulares, combinados con alcaloides, y proteínas.

Los taninos son ácidos muy astringentes, propiedad que los ha identificado como ingredientes útiles en la medicina tradicional; también se utilizan en la preparación de alimentos, maduración de frutas ; ingredientes de bebidas como la cocoa, el té y el vino tinto. Cuando los taninos se mezclan con sales de hierro se produce un colorante de color azul-verdoso, mismo que es la base para la producción de tintas .

La utilización de algunas sustancias naturales, en específico estructuras polifenólicas como las catequinas oligoméricas y flavonoides, ha demostrado ser una fuente de protección para el organismo. Estos compuestos tradicionalmente han sido considerados como antinutrientes, debido al efecto adverso de uno de sus componentes mayoritarios, los taninos, sobre la

digestibilidad de la proteína.

1.1.1 Historia

Desde épocas remotas, los taninos han sido utilizados empíricamente en la conservación de materiales de origen animal por el hecho de transformar las pieles en objetos más resistentes y duraderos.

Recientemente se ha comprobado que culturas legendarias, tales como la egipcia y la china, empleaban polifenoles naturales para retardar o inactivar la descomposición microbiana de los alimentos y los preparados medicinales y religiosos. En los últimos años, se ha prestado especial atención al estudio de nuevas sustancias fenolíticas con características fisicoquímicas capaces de prevenir trastornos que conducen a mutaciones cutáneas provocadas por las radiaciones ultravioletas.

La vieja curtición a la grasa o al aceite y la curtición con sales de aluminio tienen hoy en día muy poca demanda. La técnica del curtido es conocida desde 1000 años a.C., pero es hasta el período 1790-1800, en Francia, cuando se aislan y descubren los químicos base para curtir pieles .

En la curtición vegetal, el agente que evita que la piel se pudra y se encoja es una sustancia conocida como tanino, que se extrae de la corteza, la madera, los frutos y las hojas de algunos árboles.

Desde comienzos del siglo XX los taninos se convirtieron en el foco de atención de la comunidad científica relacionada con los productos naturales, debido a su amplia distribución en las especies botánicas.

Sin embargo, actualmente se ha despertado un reciente interés por estos compuestos debido a sus propiedades antioxidantes y sus posibles

implicaciones beneficiosas en la salud humana, tales como en el tratamiento y prevención del cáncer, enfermedad cardiovascular y otras patologías de carácter inflamatorio. Son reconocidas sus propiedades antimicrobianas, antioxidantes, fotoprotectoras, así como inhibidores de proteasas como la elastasa.

Todas estas evidencias históricas describen la estrecha relación entre el desarrollo de las civilizaciones y la utilización de extractos tánicos como herramienta para su bienestar y desenvolvimiento cotidiano.

1.1.2 Antecedentes

En los últimos años se han realizado diversas investigaciones, en lo que a taninos se refiere, los equipos de investigación han sido conformados por Profesionales del Instituto de Investigación Agronómico de la Facultad de Agronomía y del Centro de Investigaciones de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala., así como por estudiantes de la Escuela de Ingeniería Química de la Facultad de Ingeniería.

En 1992, Lemus Lucas, María M., realizó el estudio sobre “Recuperación de taninos a partir de la corteza del encino (*Quercus conspersa* Benth), por medio de dos métodos de extracción a nivel planta piloto”. Los resultados mostraron que es posible la extracción de taninos a partir de la corteza de encino, si se utiliza agua como solvente con agitación y destilación usando vapor directo, siendo mas efectivo que el método de extracción que utiliza como solvente alcohol etílico con agitación aplicando vapor directo.

En octubre del 2000 Akú Ramírez en el trabajo de investigación: “Evaluación del contenido tánico en la corteza de dos especies forestales guatemaltecas, mangle colorado (*Rhizophora mangle*) y pino blanco (*Pinus ayacahuite*), por medio de dos métodos de extracción”, evaluó el contenido tánico de las dos especies forestales mencionadas a diferentes ubicaciones a lo largo del árbol, utilizando dos métodos de extracción, con el objeto de determinar a qué altura, con qué solvente se obtiene mejores resultados. Se determinó que la mayor cantidad recuperada de extractos curtientes se obtuvo al realizar las extracciones con solución acuosa de sulfito de sodio al 1% en la especie pino blanco 1.30 m de altura de la toma de muestra, siendo 25.47g la cantidad recuperada, lo que equivale a 50.94% de rendimiento.

En “Comparación del porcentaje de extracto tánico de la corteza y de la madera de encino (*Quercus tristis liebm*) proveniente de un bosque natural”, elaborado en noviembre de 2004, Gómez Orozco extrajo taninos de la corteza y madera del encino, evaluando si la concentración de taninos en esa especie es uniforme tanto en la corteza como en la madera. Se determinó que el porcentaje de rendimiento de extracto tánico para la corteza es de 12.95% y para la madera es de 1.95%, así como también que los taninos extraídos tanto de la corteza como de la madera en su mayoría son del tipo condensado catéquico; también llegó a determinar que el extracto tánico de la corteza tiene 61.15% de tanino mientras que el extracto tánico de la madera tiene un 16.15% de tanino.

En mayo del 2004, Equité de León, realizó el trabajo de investigación: “Determinación del contenido de taninos en el extracto tánico de la corteza de gmelina (*Gmelina arborea Roxb*), utilizando dos métodos de extracción a nivel laboratorio”, determinó el contenido de taninos en extracto tánico de corteza de gmelina partiendo de tres diferentes alturas del árbol, por medio de dos

métodos de extracción, utilizando agua como solvente para el primer método y solución acuosa de sulfito de sodio al 2% para el segundo método.

Suchini Leytan en mayo de 2002 en “Comparación de rendimientos de dos métodos de extracción de taninos (ácido pinutánico) a partir de la corteza del pino Caribe (*Pinus caribaea*) a nivel laboratorio” realizó una comparación de los rendimientos de extracción de taninos por dos métodos. El método I, extracción sucesiva (varias etapas); y el método II, extracción con maceración mecánica (una etapa) utilizando como extractor distintas concentraciones de solución acuosa de sulfito de sodio anhidro. Se obtuvieron rendimientos de taninos con el método I de 1.55% y con el método II de 1.52% correspondiente a la solución acuosa de sulfito de sodio con una concentración del 2%.

En octubre de 1994 Specher De León en “Estudio de la extracción divi-divi para uso industrial en Guatemala”. Determinó que el extracto proveniente de los frutos de un arbusto abundante en Guatemala, *Caesalpinia coriaria*, tiene una cantidad importante de un tanino divi-divi, el cual es un tanino hidrolizable de la familia de los elagitaninos. Además estudió mediante ensayos industriales de curtición y recurtición de cuero, el poder curtiente del extracto obtenido. Del extracto obtenido determinó su porcentaje de taninos mediante el análisis oficial de taninos de la Asociación Americana de Químicos y Curtidores, obteniendo un 41.3%, resultado que indicó que el arbusto referido es un producto aun no explotado en nuestro país.

En octubre de 2002 Saravia José Mario, Cano Telma, Chávez Blanca, Cano Ericka, ejecutaron el proyecto cofinanciado por la Dirección General de Investigación, DIGI, de la Universidad de San Carlos de Guatemala: “Extracción y caracterización de taninos en corteza de 3 especies forestales cultivadas en Guatemala, pino ocote (*Pinus oocarpa Schiede*), encino negro

(*Quercus brachystachys Benth*) y aliso común (*Alnus jorulensis HBK*). Una alternativa de desarrollo agroindustrial para el uso de taninos naturales” realizaron un experimento bifactorial en bloques al azar, donde cada especie es un bloque, al que se le evaluó la influencia en el porcentaje de extracto tánico de dos factores: edad del árbol y altura a la cual se obtuvo la corteza. El material tánico se obtuvo mediante extracciones sucesivas con agua y solución acuosa de sulfito de sodio al 2%. Reportaron un rendimiento promedio de extracto tánico total a escala de laboratorio de 51.27% para el pino ocote (*Pinus oocarpa Schiede*), 45.07% para encino negro (*Quercus brachystachys Benth*).

1.1.3 Clasificación de taninos

Los taninos no son idénticos en todos los vegetales, ellos difieren en cuanto a su composición y a sus propiedades químicas especiales según el género botánico donde se encuentren.

La clasificación más acertada es la propuesta por Freudenberg en 1920 y que considera dos grupos:

1.1.3.1 Taninos hidrolizables

Los extractos tánicos hidrolizables o pirogálicos son aquellos que por hidrólisis en medio ácido y a ebullición forman productos solubles en agua. Su constitución está caracterizada por el hecho de que el núcleo bencénico está unido al segundo compuesto por intermedio de átomos de oxígeno. Depositan, habitualmente, ácido elágico (compuesto amarillento, cristalizado y poco soluble en agua) finamente dividido que forma eflorescencias en el cuero. Con sales de hierro dan coloración negro-azulada.

Estos taninos como su denominación indica se hidrolizan con facilidad tanto

por ácidos y álcalis como por vía enzimática y son generalmente de formación patológica. Se localizan en algunas Dicotiledóneas especialmente en *Fagaceae*, *Anacardiaceae* y *Leguminosae*.

Los extractos tánicos hidrolizables se pueden clasificar en dos grandes grupos:

- I. Aquellos que forman ácido gálico y glucosa a través de hidrólisis llamados extractos gálicos.
- II. Aquellos otros que dan ácido elágico y glucosa llamados extractos elágicos.

1.1.3.2 Taninos condensados o proantocianidinas.

Los extractos condensados o catequínicos que en las mismas condiciones forman precipitados. Sus núcleos constituyentes están reunidos entre sí con intervención de átomos de carbono. Se los llama catequínicos porque sometidos a destilación seca, casi todos, dan pirocatequina.

Los taninos condensados son una clase de flavonoides (sintetizados por las plantas por la vía biosintética de los flavonoides) que son los pigmentos principales de muchas semillas, y también están presentes en los tejidos vegetativos de algunas plantas de forrajeo.

Son polímeros formados por unidades de antocianidina (un flavonoide). Como pueden ser hidrolizados en sus antocianidinas constituyentes si se los trata con ácidos fuertes, a veces son conocidos como proantocianidinas.

1.1.3.3 Otros tipos de taninos

Para algunos autores existe un tercer tipo de taninos, los florotaninos, que se han aislado de diversas especies de algas pardas y están constituidos por acoplamiento oxidativo únicamente de unidades de floroglucinol C-C y/o C-O

Se habla también de los llamados taninos complejos que son elagitaninos mas o menos modificados. Resultan de la unión de un derivado fenilcrománico sobre un éster de glucosa con el ácido hexahidroxidifénico. Se conocen también como no hidrolizables, ya que se hidrolizan con dificultad y por el contrario, el tratamiento con calor y ácidos minerales origina polímeros de alto peso molecular (flobáfenos). Este tipo de taninos se producen en el metabolismo normal de los vegetales por lo que se consideran fisiológicos y se encuentran ampliamente repartidos en el reino vegetal.

1.1.4 Propiedades de los taninos

A pesar de su constitución química muy variable, los taninos presentan un cierto número de propiedades comunes:

- I. La mayor parte son compuestos incristalizables, de naturaleza coloidal y dotados de propiedades astringentes.
- II. Son solubles en el agua y el alcohol; sus soluciones acuosas tienen carácter ligeramente ácido.
- III. Forman con las proteínas combinaciones insolubles e imputrescibles, particularidad que es usada en la industria de curtidos.
- IV. Producen, en contacto con sales de hierro, combinaciones fuertemente coloreadas en azul o verde oscuros y más o menos solubles en agua.
- V. Sus soluciones son precipitados por muchas sales metálicas

(hierro, cobre, plomo, estaño, mercurio, etc.) y forman compuestos pardos con soluciones de bicromato de potasio y ácido crómico.

- VI. Sus soluciones son precipitados por diversas sustancias básicas tales como: colorantes orgánicos básicos, el agua de cal, el agua de barita, los alcaloides, etc.
- VII. Las soluciones de tanino expuestas al aire absorben el oxígeno oxidándose, tomando rápidamente tintes oscuros y perdiendo parcialmente sus cualidades curtientes. La tendencia a la oxidación de los taninos se manifiesta cuando el pH sube por encima de 6. Esta es la razón por la cual el curtido en licores básicos no ha respondido a las esperanzas que se habían fundado en ese proceso. La oxidación se manifiesta netamente sobre el cuero en el momento en que se expone al aire. Después de poco tiempo de curtida la piel la oxidación es mayor. Ella aumenta con la concentración de los taninos y disminuye con la concentración de no taninos. Además es máxima con ciertos taninos como el castaño y mínima con otros como el quebracho y el zumaque. La oxidación es acelerada por los álcalis, excepción hecha de la mezcla bórax-sulfito. Es más lenta con los ácidos y ciertas sales neutras que precipitan los taninos como el sulfato de magnesio.

1.1.5 Uso Industrial de taninos

1.1.5.1 Industria del curtido de pieles

En la industria de curtido se utilizan para la fabricación de tintas y el curtido de pieles, gracias a la capacidad de los taninos para transformar las proteínas en productos resistentes a la descomposición. En este proceso se emplean

determinados taninos, los más utilizados son los procedentes de la acacia, el castaño, la encina, el pino o la bastarda.

1.1.5.2 Industria textil

Se emplean en la industria textil por su capacidad de reaccionar con las sales férricas, los cuales dan lugar a productos negro-azulados adecuados para tintes. Igualmente son utilizados como mordientes para la aplicación de tintes en tejidos, coagulantes de gomas, o aprestos para papeles o sedas.

1.1.5.3 Industria de alimentos

En alimentación, los taninos originan el característico sabor astringente a los vinos tintos (de cuyo *bouquet* son, en parte, responsables), al té, al café o al cacao. Las propiedades de precipitación de los taninos son utilizadas para limpiar o clarear vinos o cerveza.

1.1.5.4 Industria farmacéutica

Externamente, los preparados a base de drogas ricas en taninos, como las decocciones, se emplean para detener pequeñas hemorragias locales; en inflamaciones de la cavidad bucal, catarros, bronquitis, quemaduras, hemorroides, etc. Internamente, son útiles contra la diarrea, enfriamiento intestinal y afecciones vesiculares, aunque pueden producir alguna intolerancia en personas con estómago delicado, por ello es conveniente administrar en forma de tisanas maceradas, con objeto de extraer también de la planta otras sustancias activas.

Los taninos también son útiles como contraveneno en caso de intoxicación por alcaloides vegetales.

1.1.6 Toxicidad de los taninos

Las plantas medicinales que contienen taninos, utilizadas medicinalmente en las proporciones adecuadas, proporcionan remedios adecuados para el tratamiento de muchas enfermedades. Sin embargo un uso inadecuado de plantas que contienen proporciones inadecuadas de estos componentes resulta tóxica.

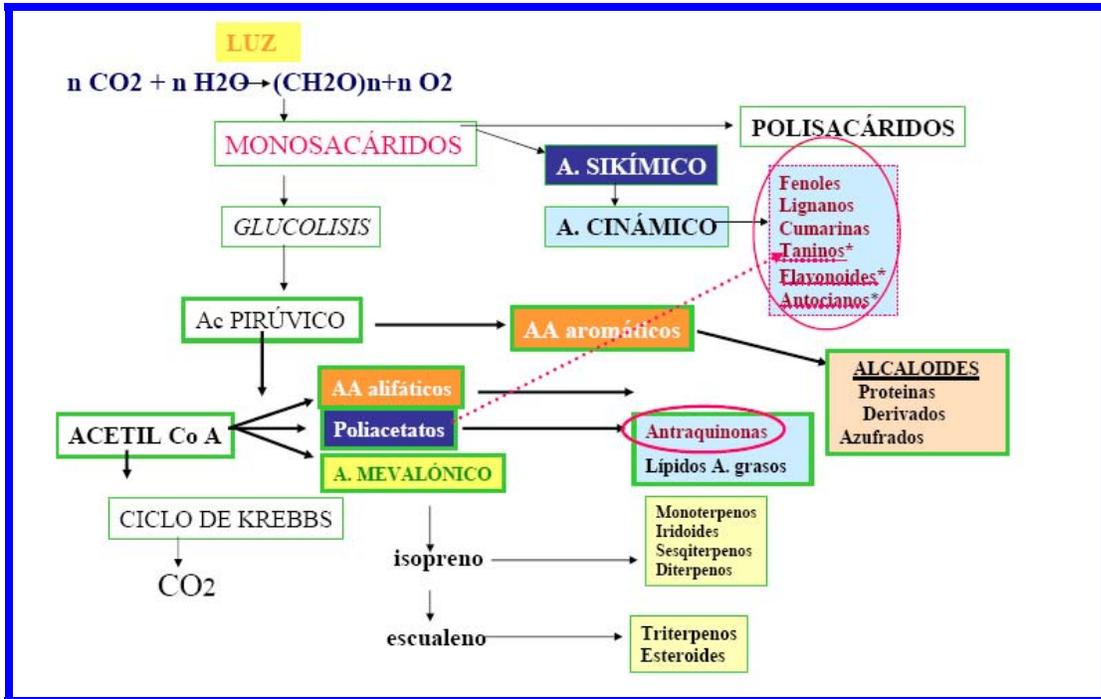
1.2 Compuestos fenólicos

Los compuestos fenólicos o polifenoles constituyen un amplio grupo de sustancias químicas, considerados metabolitos secundarios de las plantas, con diferentes estructuras químicas y actividad, englobando más de 8.000 compuestos distintos.

Químicamente, los compuestos fenólicos son sustancias químicas que poseen un anillo aromático, un anillo benceno, con uno o más grupos hidroxilos incluyendo derivados funcionales (ésteres, metil ésteres, glicósidos, etc.). La naturaleza de los polifenoles varía desde moléculas simples como los ácidos fenólicos hasta compuestos altamente polimerizados, como los taninos. Se presentan en las plantas en forma conjugada con uno o más residuos de azúcar unidos a los grupos hidroxilos, aunque en algunos casos se pueden producir uniones directas entre una molécula de azúcar y un carbono aromático. Por ello la forma más común de encontrarlos en la naturaleza es en forma de glicósidos, siendo solubles en agua y solventes orgánicos. Los azúcares asociados a los polifenoles pueden ser monosacáridos, disacáridos o incluso oligosacáridos. Los compuestos a los que se encuentran unidos con más frecuencia son: glucosa, galactosa, arabinosa, ramnosa, xilosa, y ácidos glucurónico y

galacturónico. También pueden encontrarse unidos a ácidos carboxílicos, ácidos orgánicos, aminas, lípidos y a otros compuestos fenólicos.

Figura 1. Principales rutas de origen de los metabolitos secundarios



Fuente: ref : 18

1.2.1 Fenoles, ácidos fenólicos y ácidos fenil acéticos

Dentro de este grupo los fenoles simples como el fenol, cresol, timol y resorcinol están ampliamente distribuidos entre todas las especies vegetales. Igualmente, los ácidos fenólicos tales como el gálico, vainillínico, phidroxibenzoico, y los aldehídos como la vainillina, también son abundantes en plantas superiores y helechos. Por el contrario existe poca información en la literatura científica sobre los ácidos fenilacéticos en los vegetales.

1.2.2 Ácidos cinámicos, cumarinas, isocumarinas y cromonoles

Los ácidos cinámicos (cafeíco, ferúlico, p-cumárico y sináptico) se encuentran raramente libres, ya que por regla general se hayan presentes en forma de derivados. Así por ejemplo, el ácido cafeíco se encuentra esterificado con el ácido quínico como ácidos clorogénico, isoclorogénico, neoclorogénico y criptoclorogénico. Las cumarinas e isocumarinas se encuentran generalmente en forma de glicósido, mientras que los cromonoles son menos conocidos, y se forman a partir de las antocianidinas ante incrementos del pH del medio.

1.2.3 Lignanos y neolignanos

Son metabolitos de las plantas de bajo peso molecular formados por el acoplamiento oxidativo de unidades de phidroxi fenilpropano, las cuales se unen mediante puentes de hidrógeno. Son monómeros y dímeros del ácido hidroxicinámico y también del alcohol cinámico, propenilbenceno y alilbenceno. El término lignano se aplica cuando el compuesto está formado a partir de uniones entre el ácido y/o el alcohol, mientras que cuando se unen las moléculas de propenilbenceno y/o alilbenceno la molécula resultante se denomina neolignano.

1.2.4 Flavonoides

Los flavonoides constituyen el grupo más importante dentro de esta clasificación, dividiéndose en varias subclases con más de 5000 compuestos, siendo los polifenoles más distribuidos en las plantas. Son sustancias polifenólicas de bajo peso molecular que comparten el esqueleto común de difenilpiranos: dos anillos benceno unidos a través de un anillo pirona o pirán heterocíclico. Esta estructura básica presenta o permite una multitud de sustituciones y variaciones en el anillo pirona dando lugar a flavonoles, flavonas, flavanonas, flavanololes, isoflavonoides, catequinas, calconas,

dihidrocalconas, antocianidinas, leucoantocianidinas o flavandiols y proantocianidinas o taninos condensados (taninos no hidrolizables). Dentro de todos estos grupos las flavonas (p.e. apigenina, luteolina y diosmetina), los flavonoles (p.e. quercitina, mirecitina y kampferol) y sus glicósidos son los compuestos más abundantes en vegetales.

1.2.5 Cuantificación de compuestos fenólicos

La cuantificación e identificación de los componentes difenólicos de la dieta ha despertado un gran interés por su importancia nutricional, lo que ha hecho que cada día sean más los datos que se pueden encontrar en la bibliografía científica sobre el perfil fenólico de los alimentos. Además, la gran diversidad de compuestos fenólicos dispersos en los tejidos vegetales, así como sus diferentes estructuras químicas, ha traído consigo la necesidad de desarrollar un gran número de técnicas analíticas para su identificación y cuantificación. Las primeras técnicas desarrolladas fueron técnicas espectrofotométricas, que si bien tienen interés desde el punto de vista del control de calidad, no aportan la suficiente información desde un punto de vista nutricional, por lo que ha sido necesario recurrir a técnicas más precisas, como las cromatografías, que permitan la identificación individualizada de cada uno de los polifenoles de interés nutricional.

1.2.5.1 Técnicas espectrofotométricas

Numerosos métodos espectrofotométricos han sido desarrollados para la determinación del contenido de compuestos fenólicos en materiales vegetales. Estos métodos pueden cuantificar todos los compuestos fenólicos extraíbles como grupo 16-18 o pueden determinar una sustancia fenólica específica como la sinapina 19 o el ácido sinápico, o una clase determinada de compuestos fenólicos como los ácidos fenólicos. Entre este tipo de técnicas, los métodos

usados comúnmente para determinar polifenoles en alimentos destacan el ensayo de la vainillina para la determinación de compuestos flavan-3-ol, dihidrocalconas y proantocianidinas que tienen una unión simple en la posición 2,3 y poseen grupos metahidroxi libres en el anillo B. Y los ensayos de Folin-Denis y Folin-Cicalteu para la cuantificación de polifenoles totales en alimentos vegetales y en bebidas.

1.2.5.2 Ensayos ultravioletas

Numerosos estudios se han realizado para desarrollar técnicas rápidas de cuantificación de compuestos fenólicos mediante ensayos ultravioletas. Cada grupo de compuestos fenólicos se caracteriza por tener una o varias absorbancias máximas a distintas longitudes de onda dentro del espectro ultravioleta. Así, los fenoles simples tienen una absorbancia máxima entre 220 y 280 nm, mientras que los compuestos fenólicos relacionados presentan una amplia variación en la longitud de onda a la cual presentan una absorbancia máxima. Una de las técnicas más empleadas dentro de este grupo es la determinación del ácido clorogénico, el cual es cuantificado tras su extracción con alcohol etílico y posterior lectura de la absorbancia máxima a una longitud de onda de 325-328 nm.

1.2.5.3 Técnicas cromatográficas

Las técnicas cromatográficas han permitido la separación, aislamiento, purificación e identificación de compuestos fenólicos, así como el estudio de la interacción entre los polifenoles y otros componentes de los alimentos. Las técnicas de cromatografía en papel y en capa fina, son empleadas para la purificación y aislamiento de compuestos fenólicos en los alimentos, sobre todo para la determinación de ácidos fenólicos.

Hoy en día, las técnicas de cromatografía líquida de alta resolución (HPLC) son las más empleadas para la separación y cuantificación de compuestos fenólicos. Existe distintos soportes y fases móviles que permiten el análisis de antocianinas, procianidinas, flavonas y ácidos fenólicos. La utilización del detector de photo-diodo array facilita la detección de estos compuestos por HPLC, al utilizar de forma conjunta el tiempo de retención y el espectro ultra violeta para la identificación de los picos. Mediante el empleo de HPLC, podemos determinar un gran número de polifenoles de interés nutricional, como fenoles simples, ácidos fenólicos y sus derivados, y los distintos flavonoides, aunque esta técnica requiere la utilización de métodos de extracción optimizados a cada uno de los compuestos que se vayan a analizar. Las técnicas de HPLC han sido utilizadas para la caracterización de los polifenoles en una gran variedad de extractos vegetales, frutas zumos, aceite de oliva, vinos y otras bebidas.

Actualmente, la utilización de HPLC con detección por photo diodo array y acoplado a un detector de masa se ha empleado para la cuantificación de flavonoles, flavonas y flavononas en alimentos. En esta técnica, las áreas del pico de cada uno de los compuestos a investigar se emplean para la cuantificación, mientras que el detector de masas se utiliza para incrementar la especificidad del método.

1.2.5.4 Efecto de los compuestos fenolíticos en la calidad organoléptica de los alimentos

Los compuestos fenólicos intervienen en las características organolépticas de las frutas y verduras, al intervenir en gran medida en el color natural y en el sabor que estas poseen.

1.2.5.4.1 Contribución al color

Los flavonoides son los responsables del color natural de los alimentos. Entre ellos las antocianinas son los responsables de los colores rosa, escarlata, rojo, malva, azul y violeta de los vegetales, zumos de frutas y vinos, ⁽⁵¹⁾ y se presentan en forma de glicósidos como antocianos. Las antocianinas son compuestos muy inestables, por lo que la pérdida de su color se puede producir durante el procesado, almacenamiento y congelación de las distintas frutas y vegetales.

Las coloraciones amarillas o marfiles pueden ser debidas a la presencia de flavonoles, flavonas, calconas, flavononas e isoflavononas. Sin embargo, se ha observado que muchos de estos compuestos carecen de color en estado natural pero pueden convertirse en compuestos coloreados bajo determinadas condiciones en la manipulación y procesado de los distintos vegetales. Los flavonoles (kaempferol, quercitina y mirecitina) contribuyen al color del té verde mientras que las flavonas y los flavonoles no intervienen claramente en las coloraciones de las plantas al menos que estén presentes en altas concentraciones como ocurre en la piel de la cebolla.

Además, de forma general, los polifenoles pueden quelar metales modificando la coloración natural de los alimentos de manera que los quelatos de hierro son los responsables de coloraciones azules a negras, mientras que los quelatos de aluminio proporcionan coloraciones amarillo brillante o marrones.

1.2.5.4.2 Sabor amargo

Las flavononas son los compuestos responsables del sabor amargo en los cítricos. Así, la naringina es el componente amargo mayoritario del pomelo, mientras que la neohesperidina lo es de la naranja amarga. Además, ciertos

glicósidos flavanónicos amargos o insípidos pueden transformarse por apertura del anillo en calconas (con sabor dulce), las cuales por hidrogenación posterior se transforman en dihidrocalconas, con poder edulcorante igual o superior al de la sacarina. Otros compuestos fenólicos, entre los que destaca el ácido clorogénico, han sido asociados al sabor amargo de la cerveza, el vino y la sidra. Mientras que los ácidos hidroxicinámicos y sus derivados son responsables del sabor amargo de los arándanos.

1.2.5.4.3 Sabor astringente

Las proantocianidinas o taninos condensados constituyen la principal fracción fenólica responsable de las características de astringencia de los alimentos vegetales, aunque la intensidad de estas sensaciones depende del peso molecular del compuesto presente en el alimento, observándose que sólo los taninos con un peso molecular entre 500 y 3000, pueden desarrollar una sensación de astringencia. Paneles de catadores han demostrado que las proantocianidinas tetraméricas son más amargas, mientras que las más poliméricas son más astringentes, cuando ambas son adicionadas en la misma cantidad. Se ha observado que durante la maduración se produce una pérdida en la astringencia de los frutos que está asociada a una disminución del contenido en taninos. Así, el sabor astringente es típico de las manzanas inmaduras, mientras que las maduras, pobres en compuestos fenólicos, no presentan este sabor. Distintos mecanismos han sido estudiados para explicar esta pérdida de la astringencia. Este fenómeno se debe a la polimerización de los taninos y su consecuente pérdida de capacidad para precipitar proteínas, mientras que otros autores lo han relacionado con la formación de quelatos entre los taninos y distintas macromoléculas.

1.2.5.4.4 Pardeamiento

El pardeamiento de las frutas y vegetales está también relacionado con el contenido en compuestos fenólicos. Así, la formación de pigmentos amarillos y marrones durante la manipulación y procesado de los alimentos vegetales, está controlada por los niveles de polifenoles, la presencia de oxígeno y la actividad de la polifenol oxidasa. Esta enzima contiene cobre y cataliza la reacción entre un grupo fenol y el oxígeno para dar agua y quinona, compuesto responsable de los pigmentos amarillos y marrones.

1.2.6 Efectos fisiológicos beneficiosos asociados a los compuestos fenólicos

1.2.6.1 Efecto sobre los macronutrientes

Algunos polifenoles son considerados antinutrientes ya que pueden formar complejos con las proteínas, almidón y enzimas digestivas, causando una reducción en el valor nutritivo de los alimentos. Este efecto se ha asociado generalmente a los taninos, ya que los taninos hidrolizados se encuentran en cantidades trazas en los alimentos que se consumen habitualmente, se consideran a los taninos condensados o proantocianidinas como principal antinutrientes entre todos los polifenoles.

Numerosos estudios realizados en animales de granja y experimentación para evaluar el efecto antinutritivo de los taninos debido a su actuación sobre las proteínas, han mostrado que estos compuestos intervienen negativamente sobre la ingesta de alimento, la tasa de crecimiento, la digestibilidad de la proteína, la disponibilidad de los aminoácidos y sobre las distintas producciones de estos animales, pudiendo incluso llegar a ocasionar la muerte.

Para que se produzca la unión entre los taninos y las proteínas se requieren moléculas con un peso superior a 350 D, por lo que un flavonoide dimérico o una molécula de ácido elágico serían suficientes para formar este complejo. La unión se realiza mediante enlaces por puente de hidrógeno entre los grupos hidroxilos de los taninos y los grupos carboxilos de los enlaces peptídicos de las proteínas, presentando los taninos una alta afinidad por las proteínas ricas en prolina.

Además del efecto antinutritivo, la formación de complejos entre los taninos y las proteínas supone un gran problema tecnológico, ya que estos complejos solubles pueden dar lugar a complejos coloidales, que pueden llegar a hacerse incluso más grandes con la subsiguiente sedimentación. Este hecho se ha observado en bebidas, dando lugar a un enturbamiento, y afectando por tanto a su vida comercial. Ha sido descrito en cervezas, vinos, zumos de frutas, cafés y tés.

Los taninos pueden unir proteínas endógenas en el intestino, principalmente enzimas digestivas, por lo que también afectan a la absorción de otros macronutrientes, debido principalmente a la inhibición de las enzimas involucradas en el proceso digestivo y las enzimas microbianas que intervienen en la fermentación.

1.2.6.2 Compuestos fenólicos y actividad antioxidante

La capacidad antioxidante descrita para distintos polifenoles se puede considerar como la actividad biológica responsable del efecto preventivo que se les atribuye sobre determinadas enfermedades frecuentes en los países desarrollados como son la enfermedad cardiovascular y el cáncer epitelial.

Los antioxidantes son compuestos que inhiben o retrasan la oxidación de otras moléculas mediante la inhibición de la propagación de la reacción de

oxidación. Los antioxidantes pueden clasificarse en naturales o sintéticos, estando estos últimos en desuso debido a estudios que les atribuyen efectos carcinógenos. Este hecho ha despertado un creciente interés en el estudio de los antioxidantes naturales entre los que se encuentran distintos compuestos fenólicos.

El comportamiento antioxidante de los compuestos fenólicos parece estar relacionado con su capacidad para quelar metales, inhibir la lipoxigenasa y captar radicales libres, aunque en ocasiones también pueden promover reacciones de oxidación "in vitro". Los compuestos fenólicos actúan como prooxidantes quelando metales, bien de manera que mantienen o incrementan su actividad catalítica o bien reduciendo metales, incrementando así su capacidad para formar radicales libres de los peróxidos.

Para que un compuesto fenólico sea clasificado como antioxidante debe cumplir dos condiciones básicas. La primera es que cuando se encuentre en una concentración baja con relación al sustrato que va a ser oxidado pueda retrasar, enlentecer o prevenir la autooxidación o la oxidación mediada por un radical libre. La segunda es que el radical formado tras el secuestro sea estable y no pueda actuar en oxidaciones posteriores. Entre los compuestos fenólicos con una reconocida actividad antioxidante destacan los flavonoides, los ácidos fenólicos (principalmente hidroxicinámico, hidroxibenzóico, caféico, clorogénico), taninos (elagitaninos), calconas y cumarinas, los cuales constituyen la fracción polifenólica de una gran diversidad de alimentos.

1.2.6.3 Compuestos fenólicos y su relación con diversas patologías

Además de las propiedades biológicas de los compuestos fenólicos, se les han atribuido a los mismos actividades farmacológicas y médicas relacionadas

con la prevención y/o mejora del estado de salud. Entre éstas destacan sus efectos vasodilatadores, anticarcinogénicos, antiinflamatorios, bactericidas, estimuladores de la respuesta inmune, antialérgicos, antivirales, efectos estrogénicos e inhibidores de la fosfolipasa A2, de la ciclooxigenasa, lipooxigenasa, glutatión reductasa y xantina oxidasa.

Los polifenoles pueden interferir distintas etapas que conducen al desarrollo de tumores malignos al proteger al ADN del daño oxidativo, inactivando de este modo los carcinógenos, inhibiendo la expresión de los genes mutágenos y de la actividad de las enzimas encargadas de la activación de procarcinógenos, y activando los sistemas enzimáticos responsables de la detoxificación de xenobióticos. Numerosos estudios in vivo con animales se han desarrollado para establecer los efectos anticarcinogénicos de los polifenoles, mediante aplicaciones típicas, o bien tras la administración de dietas enriquecidas con polifenoles y/o con alto contenido en estos compuestos, siendo necesarias altas concentraciones para poder observar este tipo de respuesta. Diferentes estudios epidemiológicos han puesto en evidencia el efecto preventivo de los polifenoles frente al cáncer de vejiga así como frente a otros tipos de cánceres, como el de pulmón, aunque en algunos casos los resultados obtenidos pueden no ser concluyentes o ser por el contrario contradictorio. Por lo que este efecto de los polifenoles deben ser verificado y explorado con el fin de establecer una estrategia sobre la quimioprevención.

1.2.7 Fuentes de compuestos fenólicos en la dieta

La mayoría de las plantas, sino todas ellas, contienen polifenoles los cuales están presentes en cantidades diferentes dependiendo de la planta y del grupo de compuesto fenólico estudiado, diferenciándose estos contenidos de acuerdo

a la parte del vegetal que se trate, bien sea fruto, hoja o parte leñosa de la planta. En general, las hojas, flores, frutas y otros tejidos de las plantas contienen glicósidos. Los tejidos leñosos contienen agliconas, las semillas pueden contener ambas formas 1, mientras que las raíces y tubérculos contienen escasas concentraciones de flavonoides, a excepción de ciertas plantas como las cebollas.

1.3 Aprovechamiento de la Corteza de Árbol

La corteza es un residuo de las producciones que utilizan la madera descortezada. Si la madera se descortezada en el bosque, se queda allí, enriqueciendo la formación de humus. Cuando el descortezado se realiza en las instalaciones de las industrias, este residuo se acumula en grandes pilas, contaminando el entorno.

La corteza tiene características y funciones diferentes dependiendo de la especie de árbol de que se trate. Ella provee a los árboles de un soporte estructural, conduce nutrientes desde las hojas hasta las raíces y ofrece protección contra los insectos taladradores de la madera.

Todos los árboles tienen corteza de alguna forma y color. Algunas son lisas y brillosas, otras son ásperas, gruesas y con salientes. También es diversa su coloración.

Cuando el árbol es descortezado en los centros de elaboración primaria, cesan todas estas funciones y la corteza se convierte en un subproducto de la industria forestal clasificada como residuo de madera.

Residuos de madera se consideran aquellos que no hayan sido reducidos a partículas pequeñas, consistentes fundamentalmente en residuos industriales, ejemplo, desechos de aserraderos, despuntes, recortes, duramen de trozas

para chapas, desechos de chapas, aserrín, corteza (se excluyen las briquetas, residuos de carpintería, ebanisterías).

1.3.1 Estructura anatómica y composición química de la corteza.

La corteza es la parte externa de la raíz, tallo y ramas de las plantas, que se separa con mayor o menor facilidad de la porción interna, más dura. En lenguaje estrictamente botánico hay que distinguir en primer término entre corteza primaria y corteza secundaria. Alcanza alrededor de 10 - 15 % del peso total del árbol. Por regla general es lisa y delgada en los árboles jóvenes, y gruesa, rugosa y áspera en los árboles viejos. El color puede ser pardo o pardo rojizo, más o menos oscuro. Está compuesta por varios tipos de células y su estructura es compleja comparada con la de la madera. Varía en dependencia de la especie y además depende de algunos factores como la edad, condiciones de crecimiento del árbol, etc. Puede dividirse en interna o viva (floema) y externa o muerta). La capa externa es cerosa e impermeable y se va endureciendo progresivamente. Constituye una barrera física y química contra microorganismos y agentes externos, modera la temperatura en el interior del tronco y reduce la pérdida de agua.

La composición química de la corteza es complicada, varía para diferentes especies de árboles y depende, además, de los elementos morfológicos. Aunque en diferente proporción, la corteza posee los mismos constituyentes que la madera.

1.3.1.1 Fracción fibrosa

La fracción fibrosa es químicamente similar a las fibras de madera y consiste en polisacáridos (celulosa y hemicelulosas) y lignina.

1.3.1.1.1 Polisacáridos.

Predomina la celulosa, que se encuentra en más de un 30 %. Las hemicelulosas están contenidas en la corteza en menor cantidad que en la madera (4 - 15 %). Los hidrolizados de polisacáridos fácilmente hidrolizables de corteza contienen: D-galactosa, D-manosa, L-arabinosa y ácidos urónicos como las correspondientes maderas, pero en diferente proporción.

1.3.1.1.2 Lignina.

Además de hemicelulosas, la corteza contiene otros polisacáridos fácilmente hidrolizables como almidón (0 - 6 %) y sustancias pectínicas. En la capa interna de la corteza de coníferas la protopectina se encuentra entre 15 - 25 % y en latifolias, de 5 - 11 %.

La corteza contiene un porcentaje relativamente elevado de componentes que no son carbohidratos, como lignina, suberina, taninos, flavofenoles y otros compuestos de carácter fenólico. El contenido de lignina es de 15 - 30 % para corteza libre de extraíbles, en coníferas. Existe además un contenido elevado de suberina en la capa externa, entre 20 - 40 % .

1.3.1.2 Extractivos

Se dividen en hidrofílicos y lipofílicos, aunque no existe una barrera distintiva entre ellos. Su contenido es mayor que en la madera. Representan entre 20 - 40 % de masa seca de la corteza. La fracción lipofílica está constituida por sustancias solubles en disolventes apolares (éter etílico, diclorometano, etc.) como grasas, ceras, terpenos, terpenoides y alcoholes alifáticos superiores. La fracción hidrofílica está constituida por sustancias extraíbles en agua o por disolventes orgánicos (acetona, alcohol etílico, etc.) y contiene gran cantidad de constituyentes fenólicos. Muchos de ellos, especialmente los taninos

condensados, sólo pueden ser extraídos como sales con disoluciones diluidas de álcalis. Los flavonoides monoméricos como quercetina e hidroquercetina también están presentes en la corteza. En menor cantidad se encuentran carbohidratos solubles, proteínas, vitaminas, etc.

Es conocido que los componentes fenólicos y terpenoides presentan propiedades antifúngicas, antibióticas, antioxidantes, alelopáticas y otras. Estos compuestos tienen ganada reputación por su actividad en las plantas, como el control al ataque de insectos y a enfermedades microbianas.

1.3.1.3 Minerales

Los minerales, expresados como cenizas, alcanzan hasta un 5 %. Para corteza de pino, este valor se encuentra entre 1,4 - 2 %. Los metales se presentan como sales que incluyen oxalatos, fosfatos, silicatos, etc. Algunos de ellos están enlazados a los grupos carboxilos de los ácidos. Predominan calcio y potasio. También contiene trazas de otros elementos como boro, cobre y manganeso.

1.3.2 Productos obtenidos a partir de la corteza de árboles

1.3.2.1 Compost

La corteza de madera constituye una buena materia prima para la producción de fertilizantes orgánicos. La transformación de la corteza en fertilizante es el método más limpio para su utilización. Ella permite disminuir los volúmenes de turba, disminuyendo así, el detrimento de la naturaleza por destrucción de los ecosistemas pantanosos.

Ante el déficit agudo de masa orgánica para la producción de fertilizantes, es necesario mirar la corteza como un recurso potencial no utilizado.

1.3.2.2 Taninos

Los taninos, como se ha planteado anteriormente, han sido durante años los extraíbles mejor aprovechados de la corteza de los árboles por su reconocido uso como sustancia curtiente para pieles.

1.3.2.3 Alimento

La corteza se caracteriza por un elevado valor nutritivo. Por este concepto ocupa un lugar intermedio entre el follaje y la madera. Se recomienda para obtener harina forrajera de baja calidad, alimento sacarificado y alimento combinado .

1.4 Madera

Es el conjunto de tejidos orgánicos que forman la masa de los troncos de los árboles, desprovistos de corteza y hojas.

Las propiedades de las maderas dependen de muchos factores tales como: tipo y edad del árbol, condiciones de crecimiento como el terreno y el clima, etc. Como en todo material, varias son las propiedades a tener en cuenta a la hora de emplearlo, y que dependerán del fin que quiera dársele.

1.4.1 Características de la madera

En Maderas la estructura viene dada por los elementos anatómicos que la forman: células, vasos leñosos, fibras, canales de resina, etc. Así, la composición celular, el grosor, la simetría, etc., de estos elementos determinan las características de la madera, y junto a las otras propiedades físicas y mecánicas, sus posibles usos.

Las principales características, que además nos permite identificar a los distintos tipos de maderas, son: la textura, el grano y el diseño, además del color, sabor y olor.

1.4.1.1 Textura

Se denomina textura al tamaño de los elementos anatómicos de la madera. Se clasifican en textura gruesa, mediana y fina. La textura gruesa será cuando los elementos de la madera son muy grandes y se ven fácilmente, mientras que en la textura fina, estos elementos casi no se diferencian, dando una apariencia homogénea, y por último, la textura mediana será una situación intermedia entre las dos anteriores.

1.4.1.2 Grano

El grano es la dirección que tienen los distintos elementos anatómicos respecto al eje del tronco, e influirá en las propiedades mecánicas de la madera y en la facilidad de trabajar con ella. Según la dirección de los elementos anatómicos podemos diferenciar distintos tipos de grano como:

Grano recto: cuando los elementos se sitúan paralelos al eje del árbol. La madera con este tipo de grano presenta buena resistencia mecánica y facilidad de trabajo.

Grano inclinado: Los elementos forman ahora un cierto ángulo con el eje del árbol, y ahora la madera tendrá peor resistencia mecánica y mayor dificultad de trabajo.

Grano entrecruzado: Los elementos también se disponen formando un ángulo con respecto al eje, pero ahora en cada anillo es en forma opuesta a como se encontraban en el anillo anterior. Las maderas de este tipo presentan

dificultades para su trabajo. Grano irregular: Los elementos se disponen de forma irregular, siendo este tipo de grano el que se encuentra en los nudos, ramificaciones del tronco, zonas heridas, etc.

1.4.1.3 Diseño

El diseño es el dibujo que muestra la madera la ser cortada, y se debe al modo de corte y a la distribución de los elementos anatómicos, es decir, al grano. Los diferentes tipos de diseños que podemos encontrarnos son:

- **Diseño liso** es el que presentan las maderas de textura fina, y da lugar a un color homogéneo. **Diseño rallado**: es debido a las líneas formadas por los vasos leñosos cortados longitudinalmente y los canales de resina.
- **Diseño angular** es debido al corte transversal de los anillos de crecimiento. **Diseño veteado**: El dibujo tiene el mismo origen que en la madera de diseño angular, pero con las franjas paralelas entre sí.
- **Diseño jaspeado** el origen del dibujo son las células radiales cuando éstas son anchas.
- **Diseño espigado** es el que aparece en las maderas de grano entrecruzado al cambiar en cada anillo de crecimiento la disposición de los elementos anatómicos.

1.4.1.4 Color y Sabor

El color de la madera es una consecuencia de las sustancias que se infiltran en las paredes de sus células, y es característicos de cada especie. Esta propiedad puede ser de importancia a la hora de emplear una determinada madera con fines decorativos. El sabor y el color también son consecuencia de las sustancias que impregna la madera, y son de especial interés a la hora de emplear una determinada madera en la fabricación de recipientes de conservación de alimentos (toneles de vino).

1.4.2 Estructura de la madera desde el punto de vista anatómico y químico.

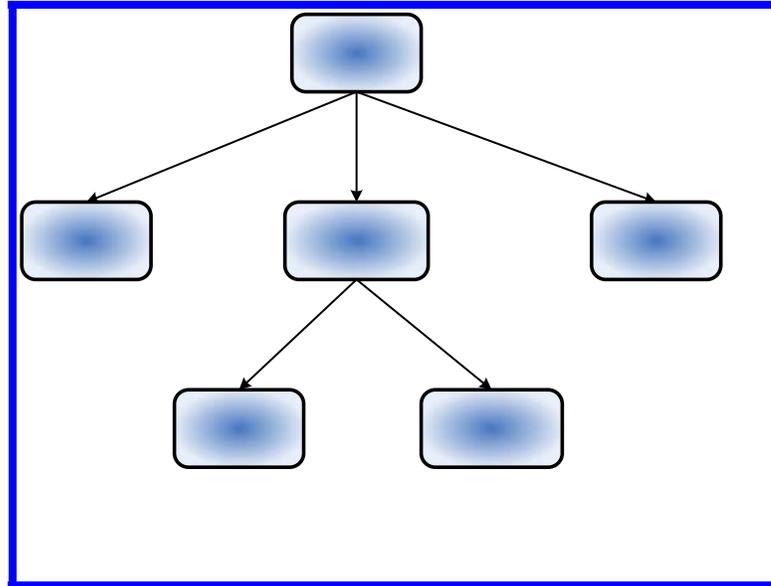
La madera es una sustancia compleja desde el punto de vista anatómico y químico. De la estructura anatómica dependen las propiedades de resistencia mecánica, aspecto, resistencia a la penetración del agua y productos químicos, resistencia a la putrefacción, calidad de la pulpa y la reactividad química. Para usar la madera en la industria química del modo más eficaz, no solamente es preciso conocer las propiedades de las diferentes sustancias que la constituyen, sino también cómo se encuentran distribuidas en las paredes celulares.

Las células que constituyen los elementos estructurales de la madera son de formas y tamaños distintos y crecen íntimamente unidas entre sí. La células de la madera seca pueden estar vacías o parcialmente ocupadas por depósitos, por ejemplo: gomas o resinas; o por tilosis, que son crecimientos de intrusión de un tipo de célula a otro. Las células largas y puntiagudas se conocen por el nombre de fibras o traqueidas y varían mucho de longitud dentro de un mismo árbol y entre especies distintas. Las fibras de los árboles de madera dura tienen una longitud de 1 mm; las fibras de madera blanda varían de 3 a 8 mm.

Al describir los componentes químicos de la madera, suele distinguirse entre componentes de la pared celular y materia extraña. Los componentes de la pared celular son la lignina y los polisacáridos totales, constituida por celulosa y hemicelulosa.

La materia extraña está constituida por sustancias que pueden separarse por extracción por disolventes no reactivos, residuos de proteínas del protoplasma de la célula en crecimiento y componentes minerales, algunos muy difíciles de eliminar.

Figura 2 Componentes químicos de la madera



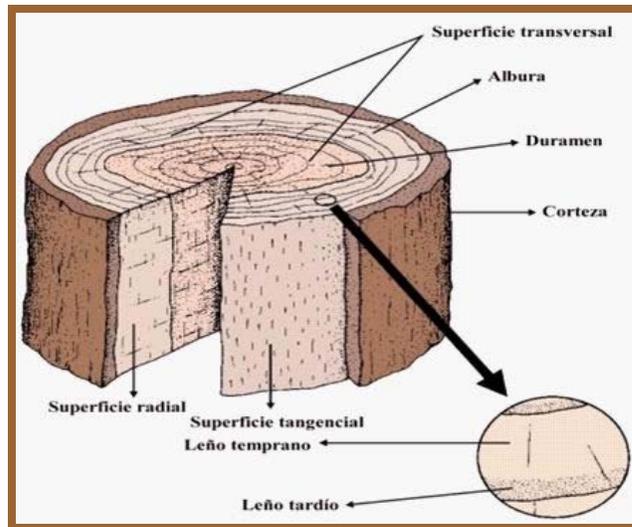
25 % de maderas suaves
 21 % de maderas duras
 Fuente: ref. 10

Los componentes minerales de la madera varía mucho entre especies , entre individuos y entre diversas partes del mismo árbol. Los principales cationes son calcio , potasio y magnesio. Los aniones más comunes son carbonatos, fosfatos, silicatos y sulfatos.

Las materias extrañas orgánicas en la madera son numerosas y son difíciles de clasificar, no obstante ello se puede decir que existen los siguientes productos en casi todas las especies estudiadas: hidrocarburos alifáticos y aromáticos, terpenos, ácidos alifáticos y aromáticos y sus sales respectivas, alcoholes, fenoles, aldehídos, cetonas, quinonas, ésteres y éteres, aceites fijos, aceites volátiles, ácidos de resinas y esteroides, taninos, materias colorantes, polisacáridos solubles en agua, ciclitoles, proteínas y alcaloides.

Glucosa

Figura 3. Estructura del tronco de el árbol



Fuente: ref:10

Estructura del tronco no es homogénea y, al realizar un corte transversal del mismo, se aprecian diferentes zonas y partes, cumpliendo cada una de ellas una función en el crecimiento del árbol, y por tanto en la formación de la madera. De la parte exterior hacia la interior, las diferentes partes del tronco son:

La corteza exterior o súber: es la capa protectora del tronco, y está formada por tejido muerto.

Corteza interna: está formada por tejido vivo y transporta, en sentido descendente, hasta las raíces, los alimentos fabricados en la fotosíntesis y el oxígeno absorbido del aire usado en la respiración. El floema puede tener fibras de líber, que son muy fuertes, y en algunas especies constituyen la materia prima de la que se obtienen fibras comerciales, por lo que también se denomina a esta zona líber.

Cámbium es la capa formada por un conjunto de células, responsables del crecimiento del tronco, y que se sitúa entre el floema y el xilema.

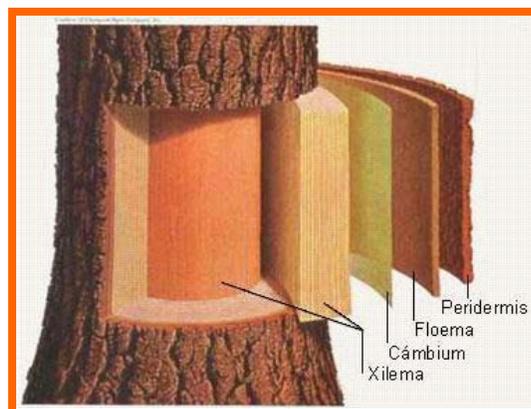
Xilema es el término botánico de la madera, y esta formado por tejido leñoso.

Albura es la madera de la sección externa del tronco, de color más claro. Es la zona más viva, saturada de sabia y sustancias orgánicas. Se transforma con el tiempo en durámen.

Duramen es la madera de la parte interior del tronco. Constituido por tejidos que han llegado a su máximo desarrollo y resistencia (debido al proceso de lignificación.) De coloración, a veces, más oscura que la exterior. Madera adulta y compacta. Es aprovechable. La duraminización (transformación de albura a duramen) de la madera se caracteriza por una serie de modificaciones anatómicas y químicas, oscurecimiento, aumento de densidad y mayor resistencia frente a los ataques de los insectos.

Médula es la parte central del tronco. Constituido por tejido flojo y poroso. De ella parten radios medulares hacia la periferia.

Figura 4. Corteza externa e Interna de la madera



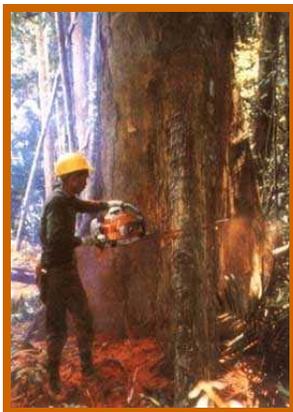
Fuente: ref :10

1.4.3 Proceso de obtención de madera en aserraderos

1.4.3.1 Operación de Corta

La corta incluye todas las actividades dirigidas a apearse los árboles en pie y prepararlos para el desembosque. La operación de corta comprende el apeo del árbol en pie, su medición para determinar el tamaño idóneo de las trozas, el desramado y el tronzado del tronco en trozas. La operación de corta comprende también cuando corresponda el descortezado del tronco.

Figura 5. Apeo de árbol



Fuente: ref : 11

Figura 6. Desramado y tronzado



Fuente: ref : 11

Se realiza mediante 3 cortes con la motosierra. Los 2 cortes biselados (o entalladura) marcan la dirección de caída. El tercer corte será el que produzca el apeado del árbol. El corte de caída se da en la contracara del árbol y ligeramente por encima del nivel del corte de entalladura. Debe avanzarse horizontalmente y terminarlo antes de alcanzar la entalladura.

Figura 7. Pasos para el apeo o corta de un árbol



Fuente: ref :11

1.4.3.1.2 Carga de trozas y transporte a patio de madera

Las trozas obtenidas se van juntando para facilitar su recogida posterior. Según sea la pendiente del terreno se puede cargar la madera directamente de los cordones o recogerla mediante skidder, autocargador, carroceta o tractor. El tractor con grúa va realizando la carga de la madera ya apilada en el monte, para llevarla posteriormente a un lugar accesible para el camión.

Figura 8. Transporte trozas



Fuente: ref : 11

Figura 9. Patio de madera



Fuente: ref : 11

1.4.3.1.3 Técnicas de descortezado

La operación de descortezado consiste en separar la corteza de la madera, al tiempo que se eliminan las ramas del tronco. La corteza puede resultar de especial interés como en el caso del alcornoque, o servir como materia prima para la elaboración de productos derivados como tableros artificiales, combustible en los hornos del propio aserradero, acondicionador de suelos para fitoquímica, etc.

Los objetivos que se pretenden conseguir con el descortezado son varios, entre los que tenemos: Facilitar el aserrado, con lo que las máquinas aserradoras tienen un mayor rendimiento; controlar el desarrollo de insectos que anidan en la corteza; acelerar el proceso de secado de la madera verde; hacer posible su aprovechamiento para la obtención de partículas de madera.

El descortezado puede llevarse a cabo manualmente o mediante elementos mecánicos.

El descortezado manual se emplea cuando el número de árboles no es grande, o cuando la mano de obra es barata. Además, depende de la especie (hay especies fácilmente descortezables) y de la época del año, pues en condiciones de temperatura y humedad media o elevada, el descortezado es más sencillo.

Figura 10. Descortezado manual



Fuente: Aserradero ACOFOP

Los sistemas de descortezado mecánico constan básicamente de un eje, cuyo giro es producido por un motor, sobre el que van insertos elementos descortezadores.

Figura 11. Descortezado mecánico



Fuente: Aserradero ACOFOP

1.4.3.1.4 Técnicas de aserrado

Como paso previo al aserrado de los troncos, es necesario cortar éstos a la medida adecuada en cuanto a su longitud, y que dependerá de las instalaciones de la serrería. Esta labor se realiza mediante sierras circulares y es el denominado tronzado. Tras esta operación, los troncos cortados son llevados a hornos de secado y posteriormente se pasan por la cepilladora para eliminar cualquier irregularidad y darles un buen acabado.

El objetivo prioritario en el aserrado es la obtención de la mayor cantidad de maderas de un tamaño y características determinadas. Las dimensiones de las piezas a obtener dependen de las necesidades de su uso posterior que están recogidas en las medidas normalizadas, y de las características del tronco como el diámetro, defectos estructurales, etc.

Las formas básicas de llevar a cabo el aserrado del tronco son tres:

- Aserrado respecto a los anillos de crecimiento: este tipo de aserrado se puede realizar de tres formas, según la dirección de corte, tenemos por tanto corte tangencial, radial y mixto.
- Aserrado respecto al eje longitudinal en donde los cortes son paralelos al eje longitudinal.
- Aserrados especiales son los sistemas de aserrados que se utilizan en troncos con defectos o que podrían surgir al ser aserrados. Son cuatro los defectos que requieren de aserrados especiales: nudos grandes, médula podrida, problemas de curvatura y corazón juvenil.

1.4.3.1.5 Gestión de los restos de aserrados

La parte que se aprovecha del árbol es únicamente la madera del tronco. Una vez talado el monte, los restos de corta que quedan en el suelo suponen una gran cantidad de materia vegetal (ramas, hojas y corteza). El abandono de los restos sobre las cepas impediría el desarrollo de los brotes o una nueva plantación. Sin embargo, la mayoría se desechan quemándolos como combustible.

1.5 Operaciones Unitarias involucradas en el proceso de obtención de taninos.

1.5.1 Secado

La operación de secado es una operación de transferencia de masa de contacto gas- sólido, donde la humedad contenida en el sólido se transfiere por evaporación hacia la fase gaseosa, en base a la diferencia entre la presión de vapor ejercida por el sólido húmedo y la presión parcial de vapor de la corriente gaseosa. Cuando estas dos presiones se igualan, se dice que el sólido y el gas están en equilibrio y el proceso de secado cesa.

1.5.1.1 Formas de enlace de la humedad con el material.

El mecanismo del proceso de secado depende considerablemente de la forma de enlace de la humedad con el material: cuanto más sólido es dicho enlace, tanto más difícil transcurre el secado. Durante el secado el enlace de la humedad con el material se altera.

Las formas de enlace de la humedad con el material se clasifican en: químico, físico-químico y físico- mecánico.

La humedad ligada químicamente es la que se une con mayor solidez al material en determinadas proporciones (estequiométricas) y puede eliminarse sólo calentando el material hasta altas temperaturas o como resultado de una reacción química. Esta humedad no puede ser eliminada del material por secado.

Durante el secado se elimina, como regla, sólo la humedad enlazada con el material en forma físico-química y mecánica. La más fácil de eliminar resulta la enlazada mecánicamente que a su vez se subdivide en: humedad de los macrocapilares y microcapilares (capilares con el radio medio mayor y menor de 10-5 cm). Los macrocapilares se llenan de humedad durante el contacto directo de ésta con el material, mientras que en los microcapilares la humedad penetra tanto por contacto directo, como mediante la adsorción de la misma en el medio ambiente. La humedad de los macrocapilares se elimina con facilidad no sólo por secado, sino que también empleando métodos mecánicos.

El enlace físico-químico une dos tipos de humedad que difieren por la solidez del enlace con el material: la humedad ligada osmóticamente y por adsorción.

La primera llamada también humedad de hinchamiento, se encuentra dentro de las células del material y se retiene por las fuerzas osmóticas. La segunda se retiene sólidamente sobre la superficie y en los poros del material. La humedad de adsorción requiere para su eliminación un gas con una energía considerablemente mayor que la utilizada para eliminar la humedad de hinchamiento. La existencia de estos tipos de humedad especialmente se manifiesta en materiales coloidales y poliméricos.

1.5.1.2 Contenido de humedad

Contenido de humedad, base seca: x

$$\frac{kghumedad}{kgsólido\ seco} \quad (\text{ec. 1})$$

Contenido de humedad, base húmeda:

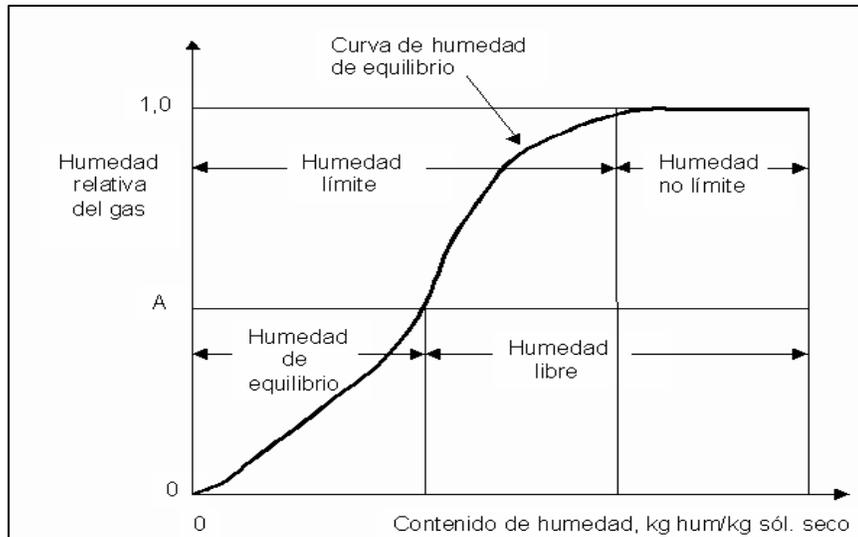
$$\frac{kghumedad}{kgsólido\ húmedo} = \frac{kghumedad}{kghumedad + kgsólido\ seco} \quad (\text{ec.2})$$

La humedad de equilibrio x^* , es la humedad del sólido cuando su presión de vapor se iguala a la presión de vapor del gas. Es decir, humedad del sólido cuando está en equilibrio con el gas.

La humedad libre $x - x^*$, es la humedad del sólido; que es la humedad que está en exceso con relación a la humedad de equilibrio. Es ésta la humedad que se puede evaporar y depende de la concentración de vapor en la corriente gaseosa.

Existen otras definiciones como *humedad límite*; que es la humedad del sólido que ejerce una presión de vapor de equilibrio menos que aquella que ejerce el líquido puro a la misma temperatura y la *humedad no límite* que es la humedad del sólido que ejerce una presión de vapor igual a la del líquido puro a la misma temperatura.

Figura 12 Tipos de humedades



Fuente: ref : 19

1.5.1.3 Clasificación de la operación de secado.

De modo general se pueden clasificar las operaciones de secado en continuas y discontinuas. En las operaciones continuas pasan continuamente a través del equipo tanto la sustancia a secar como el gas. La operación discontinua en la práctica se refiere generalmente a un proceso semicontinuo, en el que se expone una cierta cantidad de sustancia a secar a una corriente de gas que fluye continuamente en la que se evapora la humedad.

Los equipos utilizados para secar se pueden clasificar también de acuerdo a cualquiera de estas categorías:

- **Métodos de operación:** Continuos ó Discontinuos.
- **Métodos de propiciar el calor necesario para la evaporación de la humedad:** En secaderos directos e indirectos

- **Naturaleza de la sustancia a secar:** Puede ser la sustancia un sólido rígido como la madera, un material flexible como el papel o la tela, un sólido granular tal como la masa de cristales, una pasta espesa o delgada o una solución. Es probable que la forma física de la sustancia y los distintos métodos de manipulación empleados, ejerzan la influencia más grande en el tipo de secador a utilizar.

1.5.1.4 Tipos de secadores.

- Secadores de calentamiento directo.

a) Equipos discontinuos

- Secadores de bandejas con corriente de aire.
- Secadores de cama fluidizada.
- Secadores con circulación a través del lecho sólido.

b) Equipos continuos

- Secadores de túnel.
- Secadores neumáticos.
- Secadores ciclónicos.
- Secadores de cama chorreada.
- Secadores de cama vibratoria.
- Secadores de cama fluidizada.
- Secadores sprays.
- Secadores de tipo turbina.
- Secadores rotatorios.

- Secadores de calentamiento indirecto:

a) Equipos discontinuos.

- Secadores de bandejas a vacío.
- Secadores de bandejas a presión atmosférica.
- Secadores por congelación.

b) Equipos continuos.

- Secadores de tambor.
- Secadores con circulación a través del lecho.

1.5.1.5 Mecanismos y cinética de secado. Transferencia de masa y calor.

Cuando se seca un sólido se producen dos procesos fundamentales y simultáneos:

- Transmisión del calor para evaporar el líquido.
- Transferencia de masa en humedad interna y líquido evaporado.

Independientemente del mecanismo de transmisión de calor, el cual puede ser por conducción, convección, radiación o una combinación de cualquiera de estos, el calor tiene que pasar primero a la superficie exterior y desde esta al interior del sólido. Excepto el secado por electricidad de alta frecuencia, que genera el calor intercambiante, esto conduce a la circulación de calor desde el

interior hasta la superficie exterior. También se ha reportado otro tipo de secado llamado secado por sublimación.

En el secado por convección el calor necesario para la evaporación del líquido se transmite por un agente gaseoso o un vapor que pasa por encima del sólido o lo atraviesa.

En el secado por conducción el producto que debe secarse se encuentra en recipientes calentado o se desplaza por encima de estos. El calor también se difunde en el sólido a través de la conductividad del propio sólido.

En el secado por radiación el calor se transmite por las superficies radiantes próximas.

En el secado dieléctrico la energía es generada en el interior del propio material mediante un campo electromagnético de alta frecuencia en la zona de microondas.

También se reporta en la literatura el secado por sublimación, denominando así al secado en estado de congelación al vacío profundo. Según el método de transmisión del calor este procedimiento es análogo al secado por conducción pero debido a sus peculiaridades el secado por sublimación se destaca como un grupo especial .

1.5.1.6 Secado solar

Cuando hablamos de secado solar estamos hablando del uso de la radiación solar como fuente de energía para el proceso de secado. Ahora bien el secado

solar puede ser de dos formas: uno es un secado solar indirecto en donde la radiación solar es captada por un colector por donde circula cierta cantidad de aire, este flujo de aire se calienta y ingresa a la cámara secado en donde se encuentra el producto a ser secado. El aire caliente pasa el producto removiendo el contenido de humedad de la cámara.

La otra forma de secado es el secado directo, en este la radiación solar incide directamente por el producto a ser secado, adquiriendo así la energía de evaporación necesaria. Luego, la humedad formada en los alrededores del producto es removida por el aire tomado del exterior.

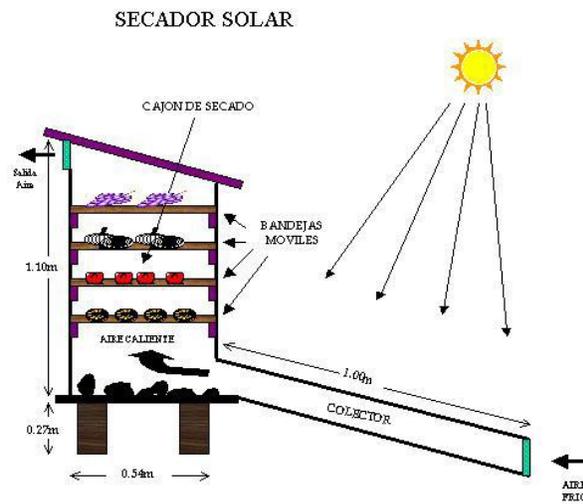
1.5.1.6.1 Elementos que determinan las condiciones del secado solar.

Características del producto en donde hay que tener muy presente el contenido inicial de producto y el contenido final de humedad que se desea obtener. También en este punto hay que considerar el estado físico como es la forma, el tamaño, su superficie, etc. También la sensibilidad a la temperatura.

Otro elemento a considerar son las características del secador, básicamente su nivel de tecnificación (si se utiliza fuente de energía adicional). Aquí también se considera el volumen que se va a secar.

Se debe considerar las características meteorológicas como son la humedad relativa, la temperatura, la radiación solar, velocidad del viento, precipitación, etc.

Figura 13. Secador solar



Fuente: ref : 19

1.5.2 Molienda: Reducción del tamaño de Partícula.

Cuando se habla de reducción de tamaño de partícula, se está generalizando la operación cuyo objetivo es hacer que partículas grandes se hagan más chicas. La reducción de tamaño tiene varios objetivos entre los cuales están:

- Facilitar el transporte, aprovechando mejor el volumen de un contenedor.
- Facilitar una operación de extracción como lixiviación.
- Facilitar una reacción química.

1.5.2.1 Mecanismos básicos de reducción de tamaño de partículas

Debido a que los sólidos son tan diversos y diversos son los tamaños que se les puede dar, un solo mecanismo de fraccionamiento no se adapta a todo, así se clasifican 5 mecanismos básicos que son:

1.5.2.1.1 Prensado

Aquí dos masas de material más duro que el sólido se acercan en forma gradual comprimiéndolo.

1.5.2.1.2 Golpeo

Aquí el sólido es proyectado violentamente contra una masa dura o bien la masa dura contra el sólido, en forma violenta y rápida, impactándose ambas.

1.5.2.1.3 Frotación

Aquí una pieza móvil o fija de dureza mayor que el sólido y con aspereza raspa al sólido, o sea desmenuza por atrición.

1.5.2.1.4 Cortado

Aquí cuchillas filosas y fuertes cortan el sólido (generalmente de tipo fibroso y no muy duro), el corte es por cizalladura.

Existen otros mecanismos que no son 100% mecánicos:

1.5.2.1.5 Shock térmico

Si un sólido se calienta y enfría súbitamente se tiende a fracturar.

1.5.2.1.6 Shock sónico

Sólidos se fracturan en presencia de cierto tipo de ondas acústicas.

1.5.2.2 Clasificación de equipo de molienda

1.5.2.2.1 Molinos gruesos

Denominados quebrantadores se utilizan para partículas gruesas de varios pies a pulgadas.

1.5.2.2.2 Molinos medios

Denominados trituradores se utilizan para partículas de pulgadas a centímetros.

1.5.2.2.3 Molinos finos

Denominados molinos verdaderos se utilizan para partículas desde milímetros a centésima de milímetro.

1.5.2.2.4 Molinos ultrafinos

Denominados molinos coloidales se utilizan para ultrafinos de décimas a milésimas o menores aun.

Los Molinos se clasifican por el tamaño de partículas que procesan. (Ver tabla 8-4 Perry).

A. Trituradora de quijada

1. Blake
2. Excéntrico superior
3. Dodge

B. Trituradora giratoria

1. Primarias
2. Secundarias
3. De Cono

C. Molino de impacto para trabajo pesado

1. Rompedores de rotor
2. Molinos de martillo
3. Impactadotes de Jaula

D. Trituradores de rodillos

1. Rodillos lisos (dobles)
2. Rodillos dentados (de uno o dos rodillos)

E. Molinos de bandejas secas y de fileteado.

1.5 Desmenuzadores

1. Dentados
2. Desintegradores de Jaula
3. Molino de Disco

G. Cortadoras y rebanadoras rotatorias

H. Molinos con medios de molienda

1. De Bolas, Piedras, Varillas y compartimientos
2. Autogenos de volteo
3. Agitados de bolas y arenal
4. Vibratorios

I. Molinos de velocidad periférica media.

J. Molinos de velocidad periférica alta.

K. Molinos hidráulicos superiores.

1.5.2.3 Factores para la selección de tipo de equipo

Seleccionar molinos no es fácil pues hay muchos y depende no solo del proceso sino de presupuesto y manejo operativo. Los parámetros que deben tomarse son:

- a. Cantidad de material a reducir
- b. Tamaño base de entrada de la partícula
- c. Tamaño base de salida de la partícula
- d. Tipo de material
 - Efecto dureza-friabilidad
 - Efecto de estructura del sólido
 - Efecto de higroscopia
 - Efecto de termolabilidad
 - Efecto de electrostatividad

1.5.3 Lixiviación

La palabra lixiviación viene del latín: **“Lixivia, -ae”** sustantivo femenino que significa lejía. Los romanos usaban este término para **referirse a los jugos que destilan las uvas antes de pisarlas, o las aceitunas antes de molerlas**. Los orígenes de la lejía también se hallan en Roma, cuando las lavanderas disolvían ceniza en agua para quitar las manchas de la ropa.

Según una leyenda la palabra “jabón” procede del Monte Sapo que era un lugar donde los animales eran quemados como sacrificio a los dioses. El agua de la lluvia se mezclaba con las cenizas del altar dando origen a la **lejía** que a su vez reaccionaba con la grasa derretida de los animales y formaba jabón. Los romanos descubrieron que sus ropas quedaban mas limpias si las lavaban en las aguas cercanas a los altares de sacrificio.

Una practica común de la época era que durante el año se habían preocupado de guardar la ceniza del hogar o del horno de cocer el pan, la limpiaban con esmero para que quedase bien pulida, ya que, cuanto más pulida fuera la ceniza, más blanca quedaría la ropa. Llegado el momento de lavar aquel montón de ropa, se ponían mano a la obra:

Primero enjabonaban la ropa con jabón casero y la aclaraban en el río; después la colocaban con sumo cuidado en una gran cesta de mimbres, la cual rodeaban con talegas de lino o de cáñamo. Encima de la ropa se colocaba una sábana gruesa (vieja) para que hiciera de filtro y la ceniza, que se colocaba sobre ella, no ensuciara la ropa. La cesta previamente se había colocado en cima de una piedra circular de 2 ó 2,50 m. de diámetro, ésta tenía unas estrías que confluían en una pequeña abertura (caño).

Al lado se preparaba un buen fuego donde se hervía el agua, que se vertía en la cesta. El agua hirviendo arrastraba los componentes de la ceniza filtrados a través de la sábana viejo se deslizaba entre la ropa hasta salir por la parte inferior, ya que por el lateral de la cesta se lo impedían las talegas o sábanas que previamente habían colocado. Esta agua, que discurría por las estrías de la piedra y se recogía en recipiente que se colocaba debajo del caño, se volvía a hervir y de nuevo se vertía en la cesta. Así una y otra vez, hasta que la ropa quedaba netamente blanca. Después tendían la ropa en las eras (al verde) y la blancura se acentuaba con los rayos del sol. Con el agua que sobraba de la colada, todo se aprovechaba, se lavaban la cabeza y dicen que el pelo se quedaba fino como la seda.

Acerca de la evolución del término "**lejía**". Al igual que ha pasado con *pluma* (de ave) y *pluma* (para escribir), el nombre fue conservado mientras cambiaba la realidad del objeto. Se reserva el término "**lejía**" para los que llevan sosa y agua.

La lejía, popularmente, se la conoce como solución acuosa que sirve para quitar las manchas de la colada, para blanquear y con carácter fundamental por su gran poder desinfectante, que puede ser usada de forma muy fácil y actúa a cualquier temperatura.

En 1774, el investigador sueco Kari Wilhelm Scheel dio con el producto básico cuando descubrió el cloro, pero fue otro químico, un sabio francés de Napoleón, el conde Claude-Louis Berthollet (1748-1822), quien descubrió que este gas, disuelto en agua, producía un poderoso agente blanqueador.

En 1785, Berthollet anunció la creación de el “agua de Javel”, una solución potente que él perfeccionó haciendo pasar cloro a través de una mezcla de cal viva, potasa y agua, pero el “agua de Javel” nunca fue embotellada y vendida.

En 1799. Charles Tennant, un químico de Glasgow, descubrió la manera de transformar el “agua de Javel” en unos polvos que sólo habían que añadirse a la colada. Estos polvos no sólo causaron una revolución en la industria del blanqueo, sino que además transformaron el papel de escribir corriente. Durante siglos éste había sido de color, un color pardo amarillento, pero el hipoclorito blanqueador de Tennant permitió obtener las primeras hojas de papel de un blanco puro. En 1830, Gran Bretaña por sí sola producía 1.500 toneladas anuales de blanqueador en polvo. El blanco nunca había sido tan blanco.

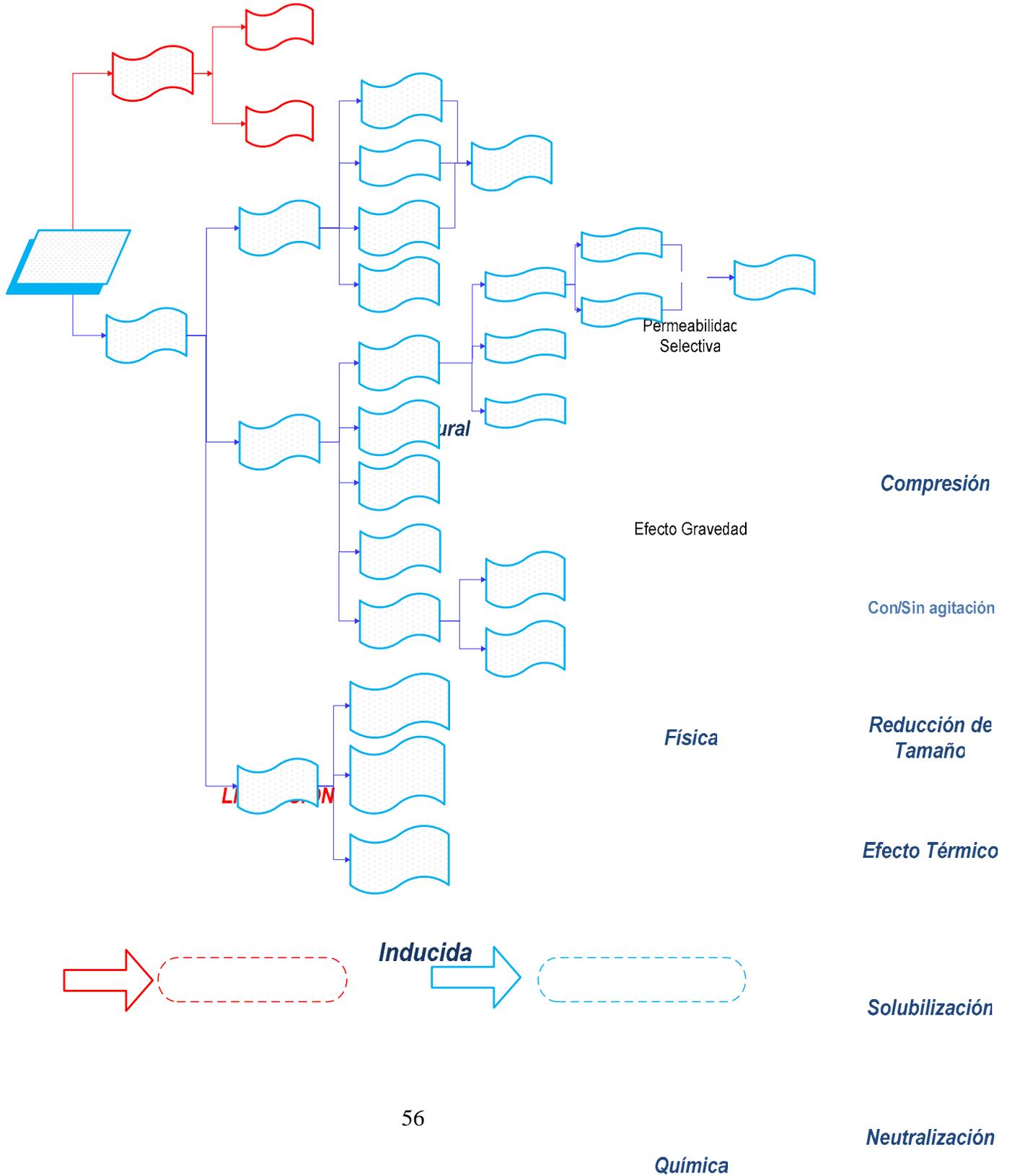
En medicina, a finales del siglo XIX, **Pasteur** descubrió que ciertas bacterias eran el origen de determinadas enfermedades y que podrían ser iniciativas por el hipoclorito sódico, por lo que su uso se extendió a los hospitales.

Ya a principios del siglo XX se usó masivamente con los nombres de **Licor de Dakin y Agua de Labarraque**; su empleo en soluciones diluidas se recomienda para el agua de bebida y para prevenir infecciones.

Lixiviación es la separación de una fracción soluble, en forma de solución, a partir de una fase sólida permeable e insoluble a la cual esta asociada. La separación implica, normalmente, la disolución selectiva, con difusión o sin ella, pero en el caso extremo del lavado simple, consiste sólo en el desplazamiento (con alguna mezcla) de un líquido intersticial por otro, con el que es miscible. El constituyente soluble puede ser sólido o líquido y estar incorporado, combinado químicamente o absorbido, o bien mantenido mecánicamente, en la estructura porosa del material insoluble. El sólido insoluble puede ser másico y poroso; con mayor frecuencia es de partículas y estas últimas pueden ser de poros abiertos, de celdas con paredes celulares selectivamente permeables o con superficies activadas.

El **tipo de lixiviación** que se lleva a cabo en determinado proceso se clasifica según las condiciones y características del componente a separar y de el medio que se utilizara para llevar a cabo dicha separación. En la figura 14 se muestra los tipos de lixiviación que existen.

Figura 14. Operación unitaria de lixiviación



Debido a su gran variedad de aplicaciones y su importancia para diferentes industrias antiguas, la lixiviación tiene otros nombres. Entre los que se encuentran en la ingeniería química están la extracción, la extracción de sólido-líquido, la percolación, la infusión, el lavado y la decantación por sedimentación. La corriente de sólidos lixiviados y el líquido que la acompaña se denominan lodos; en hidrometalurgia se conoce también como pulpa. El contenido en sólidos de las corrientes es denominado, en algunas ocasiones como marc(en particular en los procesos de separación de aceites). La corriente de líquido contenida en la solución lixiviada es el clarificado. Como abandona el proceso de lixiviación tiene otros nombres opcionales: extracto, solución, lixiviado o miscelado.

Los principales métodos para extracción de partículas trituradas son:

- Extracción en el sitio
- Extracción de montón
- Tanques percolados
- Sistema de multietapa en contracorriente.

Los sinónimos de lixiviación, según el campo de aplicación son:

- Elutriación
- Elusión
- Difusión
- Percolación
- Decocción
- Decantación
- Infusión
- Maceración
- Digestión

- Disolución

La palabra "Elutriación" significa purificar por lavado. En el tratamiento de lodos significa extraer de los lodos, por medio de agua o efluentes de plantas de tratamiento, los compuestos amínicos o amoniacales que se encuentren en cantidades excesivas para disminuir la demanda de coagulante. Por lo tanto, se usa como un pretratamiento, antes de la coagulación con productos químicos.

Elución que es el proceso de eliminación y separación de las sustancias absorbidas en un lecho fijo por una corriente de líquido o gas.

1.5.3.1 Mecanismo

El mecanismo de la lixiviación puede incluir una solución física simple o la disolución facilitada por una reacción química. La velocidad de transporte de disolvente en la masa que se va a lixiviar o de la fracción soluble en el disolvente o de la solución de extracto del material insoluble, o alguna combinación de esas velocidades, pueden ser importantes. Es posible que exista una resistencia externa. Como el que una reacción química puede afectar a la velocidad de la lixiviación.

Ya que las corrientes de lodo y clarificado no son fases inmiscibles, sino corrientes basadas en el mismo disolvente, el concepto de equilibrio en lixiviación no es el mismo que se aplica en otras operaciones de transferencia de materia. Si el soluto no se adsorbe en el sólido inerte, solo se logra el equilibrio verdadero cuando todo el soluto se disuelve y se distribuye de forma uniforme en todo el disolvente, tanto en la corriente de lodos como en la clarificación (o cuando el disolvente se satura uniformemente con el soluto, situación que no se presenta en un equipo de extracción diseñado de forma adecuada). La interpretación práctica del equilibrio de lixiviación es el estado en que las corrientes de lodos y clarificado tienen la misma composición.

1.5.3.2 Selección o diseño de un proceso de lixiviación

El objetivo principal para el diseño de un proceso de lixiviación a cualquier nivel (conceptual, preliminar, etc.) se centra en el diseño de la operación unitaria y la unidad de proceso. Los principales aspectos que son particulares para la operación de lixiviación son la selección del proceso y las condiciones de operación, así como el cálculo de las dimensiones del equipo de extracción. Los más importantes parámetros a determinar o identificar son el disolvente a utilizar, el ciclo de lixiviación, el método de contacto y la selección específica del equipo.

1.5.3.3 Selección del disolvente

El disolvente seleccionado permitirá alcanzar el compromiso entre varias características deseables: alto límite de saturación y selectividad respecto al soluto a extraer, capacidad para producir el material extraído con una calidad que no sea alterada por el disolvente, estabilidad química en las condiciones del proceso, baja viscosidad, baja presión de vapor, baja toxicidad e inflamabilidad, baja densidad, baja tensión superficial, bajo precio. Estos se listan en orden aproximado decreciente de importancia, pero son los aspectos específicos de cada aplicación los que determinan su interacción y significación relativa, y cualquiera puede controlar la decisión bajo la combinación adecuada de las condiciones del proceso.

1.5.3.4 Preparación del sólido

El éxito de una lixiviación y la técnica que se va a utilizar dependen con mucha frecuencia de cualquier tratamiento anterior que se le pueda dar al sólido. En algunos casos, las pequeñas partículas del material soluble están

completamente rodeadas de una matriz de materia insoluble. Entonces, el disolvente se debe difundir en la masa y la solución resultante se debe difundir hacia el exterior antes de poder lograr una separación.

La trituración y molienda de estos sólidos acelerará bastante la acción de lixiviación, porque las porciones solubles son entonces más accesibles al disolvente.

Los cuerpos vegetales y animales tienen una estructura celular, los productos naturales que se van a lixiviar a partir de estos materiales se encuentran generalmente dentro de las células. Si las paredes celulares permanecen intactas después de la exposición a un disolvente adecuado, entonces en la acción de lixiviación interviene la ósmosis del soluto a través de las paredes celulares. Éste puede ser un proceso lento. Sin embargo, moler el material lo suficientemente pequeño como para liberar el contenido de las células es poco práctico y algunas veces indeseable.

1.5.3.5 Velocidad de extracción – operaciones en estado no estacionario.

Las operaciones en estado no estacionario incluyen aquéllas en que los sólidos y los líquidos se ponen en contacto únicamente en forma de lotes y también aquéllas en que un lote del sólido se pone en contacto con una corriente que fluye continuamente del líquido (método por semilotes).

Las partículas sólidas gruesas generalmente se tratan en lechos fijos mediante métodos de percolación, mientras que los sólidos finamente divididos, que pueden mantenerse más fácilmente en suspensión, pueden dispersarse en todo el líquido con la ayuda de algún tipo de agitador.

La velocidad de extracción es afectada por los siguientes factores:

1.5.3.5.1 Temperatura

La temperatura de extracción debe seleccionarse de tal forma que se obtenga el mejor balance de solubilidad, presión de vapor del disolvente, difusividad del soluto y selectividad del disolvente. Al aumentar la temperatura se aumenta la velocidad porque la solubilidad es mayor, el aumento de temperatura es muy usado en procesos de reacción química. La temperatura máxima para cada sistema está limitada por: el punto de ebullición del solvente, el punto de degradación del producto o del solvente, solubilidad de impurezas y por economía.

1.5.3.5.2 Concentración del solvente

La concentración del solvente es importante para soluciones acuosas, debido a la saturación y a la existencia de reacciones químicas, es de poca importancia cuando la extracción es controlada por difusión.

1.5.3.5.3 Tamaño de partículas

La reducción de partículas tiene gran importancia, porque aumenta el área de contacto y disminuye el tiempo necesario para la extracción, sobre todo para sólidos de baja porosidad.

1.5.3.5.4 Porosidad

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

1.5.3.5.5 Agitación – operación en estado estacionario

La agitación da una mayor eficiencia en la extracción debido a que disminuye la película de fluido que cubre la superficie del sólido en reposo y que actúa como una resistencia a la difusión.

El equipo para las operaciones en estado estacionario continuo puede clasificarse en dos grandes categorías principales: operado por etapas o en contacto continuo.

1.5.3.6 Tanque de agitación

El tipo específico de reactor que es compatible (o menos incompatible) está en función de la combinación de los parámetros anteriores mencionados.

Es a través de la clasificación mediante el tipo de contacto la que proporciona las dos categorías principales en las que se divide el equipo de lixiviación: (1) los que realizan la lixiviación por percolación y (2) aquellos en que las partículas sólidas se dispersan en un líquido, y posteriormente se separan de él.

Los sólidos finamente molidos que son fáciles de suspender en el líquido por medio de la agitación, pueden lixivarse continuamente en cualquiera de los muchos tipos de tanques con agitación. Éstos pueden utilizarse para el flujo continuo del líquido y del sólido en y fuera del tanque y deben diseñarse con

cuidado para que no haya acumulación del sólido.

Debido al mezclado completo que se obtiene de ordinario, estos aparatos funcionan en una sola etapa; además, el líquido y el sólido tienden a alcanzar el equilibrio en el tanque.

Pueden utilizarse los tanques agitados mecánicamente, para los cuales es probable, que el agitador de tipo de turbina sea generalmente el mas adecuado.

1.5.3.6.1 Tiempo de lixiviación

El tiempo de lixiviación (tiempo de mezclado) es el que debe de durar el proceso de extracción. La selección del tiempo de lixiviación depende básicamente del tamaño y naturaleza del proceso del que forma parte la extracción.

1.5.3.6.2 Tiempo de contacto mínimo – transferencia de masa

Excepto en la disolución de cristales o en la cristalización, en donde la transferencia de masa se limita a la fase líquida, ordinariamente deben considerarse a través del líquido que rodea las partículas como algún efecto de transferencia de masa dentro del sólido.

Según se sabe, una vez que los sólidos están completamente suspendidos, un gasto adicional de potencia del agitador no produce una mejoría medible en las rapidezces de transferencia de masa. Para partículas pequeñas el coeficiente de transferencia de masa se vuelve más pequeño al aumentar el tamaño de partícula.

1.5.3.6.3 Tipo de Impulsor

Para tamaños de tanques inferiores a 1,8m de diámetro, se debería usar para un amplio rango de requerimiento de proceso el impulsor de flujo axial sin deflectores. Los agitadores tradicionales son los del tipo *fluidfoil*.

El tamaño del agitador y la velocidad de rotación se pueden escoger mediante pruebas con modelos, experiencias obtenidas en otras operaciones similares o bien, mediante datos de rendimiento o correlaciones publicadas, como el tiempo de mezclado o la transferencia de calor.

1.5.3.7 Relación diámetro impulsor – diámetro recipiente agitación

Para suspensiones de Partículas rápidamente sedimentables, el diámetro del impulsor tiene que ser de $D_T/3$ a $D_T/2$. Al aumentar la viscosidad de la suspensión, es preciso incrementar el diámetro del impulsor, este diámetro se puede aumentar hasta $0,6 D_T$.

1.5.3.8 Métodos de operación y equipo

Las operaciones de lixiviación se realizan por lotes o semilotes (estado no estacionario) y también en condiciones totalmente continuas (estado estacionario). En cada categoría se encuentran equipos del tipo de etapas y de contacto continuo. Se utilizan dos técnicas principales de manejo: la aspersion o goteo del líquido sobre el sólido y la completa inmersión del sólido en el líquido. En cualquier caso, la elección del equipo que se va a utilizar depende bastante de la forma física de los sólidos y de las dificultades y costo de manejo. En muchos casos, esto ha llevado al uso de equipos muy especializados en ciertas industrias.

1.5.3.9 Operación en estado no Estacionario

Las operaciones en estado no estacionario incluyen aquellas en que los sólidos y los líquidos se ponen en contacto únicamente en forma de lotes y también aquellas en que un lote del sólido se pone en contacto con una corriente que fluye continuamente del líquido (método por semilotes). Las partículas sólidas gruesas generalmente se tratan en lechos fijos mediante métodos de percolación, mientras que los sólidos finamente divididos, que pueden mantenerse más fácilmente en suspensión, pueden dispersarse en todo el líquido con la ayuda de algún tipo de agitador.

1.5.3.9.1 Lixiviación *in situ*

Esta operación, que algunas veces se llama minería en solución, se refiere a la lixiviación por percolación de los minerales en la mina, mediante la circulación del disolvente sobre y a través del cuerpo del mineral. Se utiliza regularmente para obtener sal a partir de los depósitos en la superficie de la tierra mediante la disolución de la sal en agua, la cual se bombea hasta el depósito. Se ha aplicado a la lixiviación de minerales con bajo contenido de cobre, tan bajo como 0.2% de cobre y a vetas a profundidades de hasta 335 m (1 100 ft) debajo de la superficie. En la minería en solución para uranio, el mineral debe oxidarse *in situ*, con el fin de solubilizarlo en soluciones de carbonato.

Los reactivos pueden inyectarse continuamente a través de una serie de tuberías que bajan hasta la veta; el licor resultante se obtiene a través de otra serie de tuberías. En forma alternativa, el reactivo puede bombearse intermitentemente y sacarse a través del mismo pozo.

1.5.3.9.2 Lixiviación a la intemperie

Los minerales con bajo contenido, cuyo valor en mineral no garantiza el gasto de molienda o trituración, pueden lixivarse en forma de rocas extraídas de la mina y colocadas en grandes montones sobre terreno impermeable. El licor de lixiviación se bombea sobre el mineral y se obtiene cuando sale del montón.

El cobre se ha lixiviado de esta forma a partir de minerales de pirita en montones que contienen hasta 2.2(10') toneladas métricas de mineral; con este propósito se han utilizado más de 20 000 m³ diarios (5 millones de galones) de licor de lixiviación. Tal vez se necesiten 7 o más arlos para reducir el contenido de cobre de estos montones del 2 al 0.3%.

En un caso normal de lixiviación a la intemperie de uranio, después de colocar una tubería perforada de drenaje sobre una base de arcilla impermeable, el mineral se apila sobre las tuberías, en montones de 6 a 8 m de altura, con sección transversal trapezoidal y 120 m de ancho en la base, con una longitud de hasta 800 m (0.5 millas). La solución de lixiviación, que se introduce en forma de lagunas en la parte superior del montón, se va percolando hasta las tuberías de drenaje en la base, de donde se lleva a otro lugar.

1.5.3.9.2.1 Tanques de percolación

Los sólidos de tamaño intermedio pueden lixivarse adecuadamente con métodos de percolación en tanques abiertos. La construcción de estos tanques varía bastante, según la naturaleza del sólido y del líquido que se van a manejar y el tamaño de la operación, pero son relativamente baratos. Los tanques pequeños frecuentemente se hacen de madera, siempre y cuando este material no sea atacado químicamente por el líquido de lixiviación.

Las partículas sólidas por lixiviar descansan sobre un fondo falso, que en la construcción más sencilla consiste en una rejilla de tiras de madera colocadas en forma paralela unas con respecto a otras y lo suficientemente cercanas para sostener al sólido.

Éstas, a su vez, pueden descansar sobre tiras similares colocadas en ángulos rectos, separadas 150 mm o más, de forma que el licor de lixiviación pueda fluir hasta un conjunto de tuberías que llevan al fondo del tanque. Para sostener partículas muy finas, la rejilla de madera puede cubrirse mediante una estera de coco y un filtro de lona muy tenso y sujeto con una cuerda metida en una ranura alrededor de la periferia del fondo falso.

Los tanques pequeños también pueden hacerse completamente de metal, con fondos falsos perforados, sobre los cuales se coloca una tela filtro, como en la lixiviación de productos farmacéuticos a partir de plantas. Los tanques de percolación muy grandes (45 por 34 por 5.5 m de profundidad) para la lixiviación de minerales de cobre, se han fabricado de concreto reforzado revestidos con cemento de plomo o bituminoso. Los tanques pequeños pueden tener puertas laterales cerca del fondo para extraer el sólido lixiviado, mientras que los tanques muy grandes generalmente se vacían excavando desde la parte superior. Los tanques deben llenarse con sólidos cuyo tamaño de partícula sea lo más uniforme posible; de esta manera, el porcentaje de huecos será mayor y menor la caída de presión requerida para el flujo del líquido de lixiviación. Esto también induce la uniformidad del grado de lixiviación de cada partícula sólida y una dificultad menor ocasionada por el acanalamiento del líquido que podría pasar a través de un número limitado de pasajes a través del lecho de sólidos.

La operación de uno de estos tanques puede seguir distintos

procedimientos. Después de que el tanque se llena con sólido, un lote de disolvente, lo suficientemente grande para sumergir al sólido, se puede bombear en el tanque y dejar que toda la masa se empape o remoje durante cierto periodo. A lo largo de este período, el lote del líquido puede circularse o no sobre el sólido mediante bombeo.

Entonces, el líquido puede drenarse del sólido a través del fondo falso del tanque. Toda esta operación representa una etapa. Con la repetición de este proceso se obtendrá la disolución final de todo el soluto. Entonces, el único soluto retenido es el que está disuelto en la solución que humedece al sólido drenado. Éste puede enjuagarse llenando el tanque con disolvente fresco y repitiendo la operación tantas veces como sea necesario. Un método alternativo es admitir líquido continuamente al tanque y continuamente separar la solución resultante, con o sin recirculación de una parte del flujo total. Una operación de este tipo puede ser equivalente a muchas etapas.

Como la solución que se obtiene de ordinario es más densa que el disolvente, el mezclado por convección se reduce mediante la percolación en dirección descendente. Algunas veces se utiliza el flujo ascendente, con el fin de evitar que se tape el lecho o el filtro con rebabas, pero esto puede provocar el arrastre excesivo de esas rebabas en el líquido sobrenadante. Otra modificación, utilizada con menos frecuencia, es la aspersion continua del líquido sobre la parte superior, dejando que el líquido gotee a través del sólido, el cual nunca se sumerge por completo. Hay estudios excelentes sobre los procesos, técnicas y química de la lixiviación de minerales.

1.5.3.9.2.1.1 Retención del líquido después del drenado

Imagínese un lecho de sólidos granulares, cuyo espacio vacío este completamente lleno de líquido. Cuando se drena el líquido mediante el efecto de la gravedad, admitiendo aire en los lugares vacíos desde la parte superior del lecho, el flujo del líquido es inicialmente, muy elevado. El flujo va decayendo gradualmente; después de un período relativamente largo ya no ocurre drenado. Sin embargo, el lecho aún contiene líquido. La fracción del volumen vacío que aún esta ocupada por líquido se denomina saturación *residual*, s , que sólo incluye el líquido retenido en el exterior de las partículas y no el liquido que pudo haberse retenido dentro de los poros de un sólido poroso. En la figura 6 se muestra la variación de s con la altura del lecho.

En la parte superior del lecho, el valor de s es constante en s_c ; éste representa el líquido que permanece en los huecos y pequeños Angulas entre las partículas como fajas, mantenidas en su lugar por la tensión superficial. En la parte inferior del lecho, el líquido esta retenido en los espacios vados y los llena completamente ($s = 1$.0) por acción capilar. La altura drenada Z , se define como la altura en donde el valor des es el promedio entre el rango desde so hasta 1, tal como se muestra en la figura. El valor promedio de s para todo el lecho será el área entre el eje de las ordenadas y la curva en la figura, dividida entre la altura del lecho 2,

$$s_{pr} = \frac{(Z - Z_D)s_0}{Z} + \frac{Z_D}{Z} \quad (\text{ec. 3})$$

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

$$Z_D = \frac{0.275(g_c/g)}{(K/g)^{0.5}(\rho_L/\sigma)} \quad (\text{ec. 4})$$

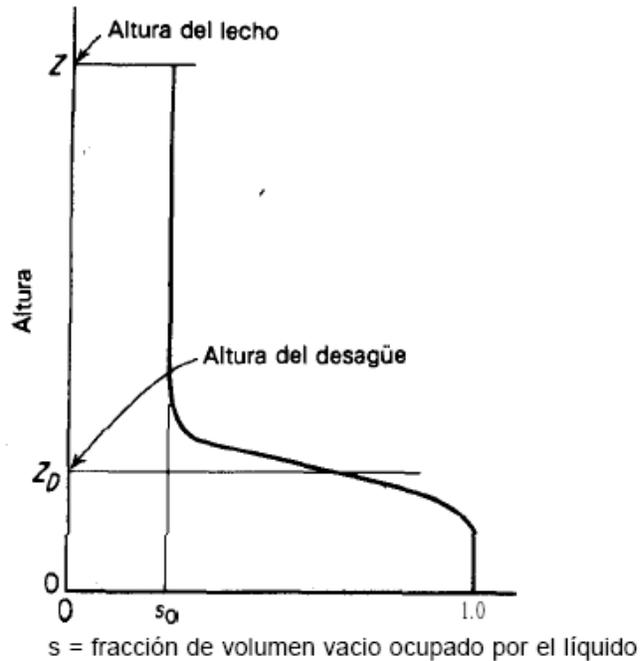
en donde K es la “permeabilidad” del lecho, ρ_L es la densidad del líquido y σ la tensión superficial del líquido. Se ha encontrado que el valor de s_0 depende del grupo $(K\rho_L/g\sigma)(g/g_c)$ llamado el número capilar, como sigue:

$$s_0 = \begin{cases} 0.075 & \frac{K\rho_L}{g\sigma} \frac{g}{g_c} < 0.02 & \text{(ec. 5)} \\ \frac{0.0018}{(K\rho_L/g\sigma)(g/g_c)} & \frac{K\rho_L}{g\sigma} \frac{g}{g_c} > 0.02 & \text{(ec. 6)} \end{cases}$$

En estas expresiones se supone que el drenado ocurrió bajo la acción de la fuerza de gravedad únicamente y que el Ángulo de contacto entre la superficie líquida y sólida es de 180. La permeabilidad K es la constante de proporcionalidad en la ecuación de flujo para el flujo laminar a través del lecho,

$$G = \frac{K\rho_L \Delta p}{\mu_L Z} \frac{g}{g_c} \quad \text{(ec. 7)}$$

Figura 15. Drenado de lechos empacados



Fuente: Treybal, Robert E. **Operaciones de Transferencia de Masa**. Segunda Edición. México. 1988. pp 798.

En donde **Ap** es la caída de presión a través del lecho y G es la masa velocidad del flujo con base en la sección transversal total del lecho. La ecuación describe el flujo a través de los lechos de sólidos granulares; para el flujo laminar sólo se utiliza el primer término del lado derecho de esta expresión.

Si **Ap/Z** de esta ecuación se sustituye en la ecuación (5), si Re se reemplaza por $d_p G / \mu_L$, y simplificando, se obtiene.

$$K = \frac{d_p^2 \epsilon^3 g}{150(1 - \epsilon)^2} \quad (\text{ec. 8})$$

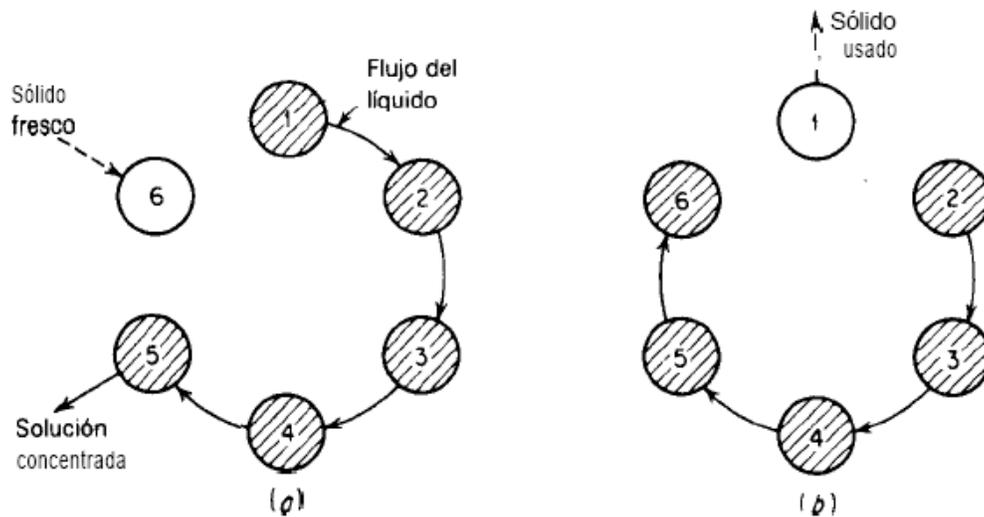
en donde d , es el diámetro de una esfera con la misma relación superficie/volumen que las partículas del lecho y E es el volumen vacío fraccionario.

1.5.3.9.2.1.2 Contacto múltiple a contracorriente; el sistema de Shanks

La lixiviación y el lavado del soluto lixiviado de los tanques de percolación por métodos a corriente tangencial descritos antes, inevitablemente dará soluciones diluidas del soluto. Se obtendrá una solución más concentrada si se emplea un esquema a contracorriente, en donde la solución final obtenida se logra por contacto con el sólido más fresco y en donde el disolvente más fresco se agrega al sólido del cual ya se ha lixiviado o lavado la mayoría del soluto. Con el fin de evitar el movimiento físico de los sólidos de tanque en este proceso, se utiliza el arreglo de la figura 15 que se muestra en forma esquemática para un sistema de seis tanques. Este sistema de Shanks, como se llama, se opera de la siguiente manera:

1 . Supóngase que en el momento de examinarlo, el sistema de la figura ya tiene cierto tiempo en operación. El tanque 6 está vacío; los tanques del 1 al 5 están llenos de sólido; el que se ha llenado más recientemente es el tanque 5 y el que lleva más tiempo, el tanque 1. Los tanques del 1 al 5 también están llenos con el líquido de lixiviación; el más concentrado está en el tanque 5, porque está en contacto con el sólido más fresco. Se acaba de agregar disolvente fresco en el tanque 1.

Figura 16. Contacto múltiple a contracorriente, sistema de Shanks.



Fuente: Treybal, Robert E. **Operaciones de Transferencia de Masa**. Segunda Edición. México. 1988. pp 800.

2. Sáquese la solución concentrada del tanque 5, transfírase el líquido del tanque 4 al 5, del 3 al 4, del 2 al 3 y del 1 al 2. Agréguese sólido fresco con el tanque 6.

3. Obsérvese la figura 16 b Descártese el sólido agotado del tanque 1. Transfírase el líquido del tanque 5 al 6, del 4 al 5, del 3 al 4 y del 2 al 3. Agréguese disolvente fresco en el tanque 2. Las condiciones son ahora idénticas a las iniciales en la figura 16 a, excepto que los números de los tanques son mayores por una unidad.

4. Continúe la operación de la misma manera que antes.

El esquema es idéntico a la simulación por lotes de una operación a contracorriente en varias etapas. Después de que se han corrido varios ciclos de esta forma, las concentraciones de la solución y en el sólido se aproximan bastante a los valores obtenidos en una lixiviación real, continua y a contracorriente en varias etapas.

Por supuesto, el sistema puede operarse con cualquier número de tanques; por lo común se usan de 6 a 16 tanques. No es necesario arreglarlos en un círculo, sino que es mejor colocarlos en una hilera, llamada una “batería de extracción”; de esta manera, si se desea, se pueden agregar en forma conveniente mas tanques al sistema.

Los tanques pueden colocarse a niveles progresivamente decrecientes, a fin de que el líquido pueda fluir de uno a otro por gravedad con un mínimo de bombeo. Estos tanques y arreglos para la lixiviación se utilizan bastante en las industrias metalúrgicas, para la recuperación de taninos a partir de cortezas y maderas arbóreas, para la lixiviación del nitrato de sodio a partir de la roca chilena de nitrato (caliche) y en muchos otros procesos.

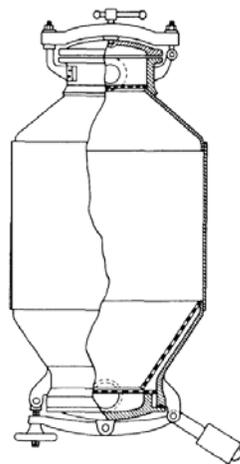
1.5.3.9.3 Percolación en tanques cerrados

Cuando la caída de presión para el flujo del líquido es demasiado grande para el flujo por gravedad, se deben utilizar tanques cerrados y bombear el líquido a través del lecho de sólido. Algunas veces estos tanques reciben el nombre de “difusores”. Los tanques cerrados también son necesarios para evitar las pérdidas por evaporación cuando el disolvente es muy volátil o

cuando se desean temperaturas superiores al punto normal de ebullición del disolvente. Por ejemplo, algunos taninos se tratan por lixiviación con agua a 120 °C, 345 kN/m² (50 psi) de presión en tanques cerrados de percolación.

Los diseños varían considerablemente, según su aplicación. En el caso de la lixiviación de azúcar a partir de las rebanadas de remolacha, se utiliza un difusor del tipo mostrado en la figura 8. Estos difusores se colocan en batería con 16 tanques como máximo; las remolachas sufren la lixiviación con agua caliente a contracorriente, como en el sistema de Shanks. Los calentadores se colocan entre los difusores para que la temperatura de la solución se mantenga de 70 a 78 °C. De esta forma, puede lixiviarse del 95 al 98% del azúcar de remolachas que contenían inicialmente alrededor del 18%, para formar una solución de 12% de concentración. También se utiliza el equipo continuo a contracorriente en la industria del azúcar de remolacha.

Figura 17. Difusor de remolacha (cortesía de Institution of Chemical Engineers)



Fuente: Treybal, Robert E. **Operaciones de Transferencia de Masa**. Segunda Edición. México. 1988. pp 801.

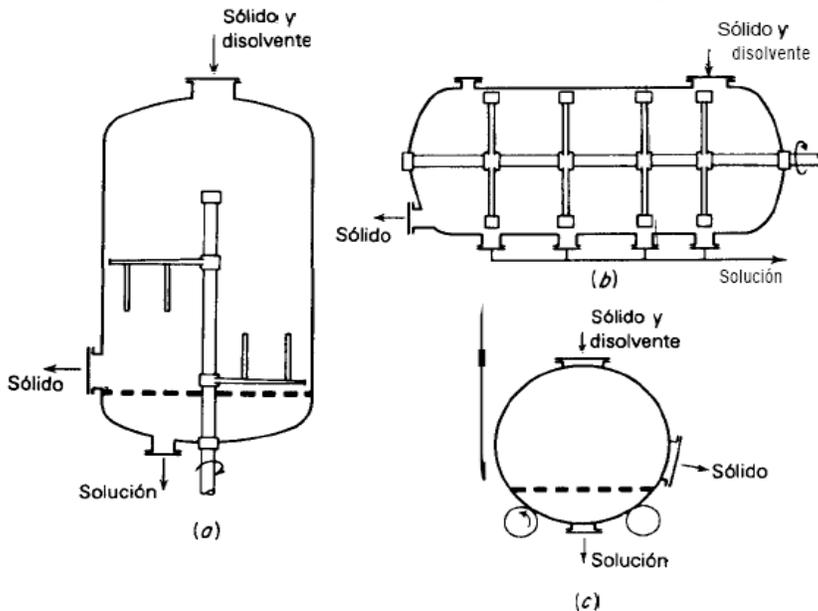
1.5.3.9.3.1 Lixiviación en filtro prensa

Los sólidos finamente divididos, demasiado finos para ser tratados por percolación en tanques de percolación relativamente profundos, pueden filtrarse y lixivarse en el filtro prensa por bombeo del disolvente a través de la torta de la prensa. Evidentemente, esta práctica es común en el lavado de las aguas madres de precipitados que se han filtrado.

1.5.3.9.3.2 Tanques con agitación

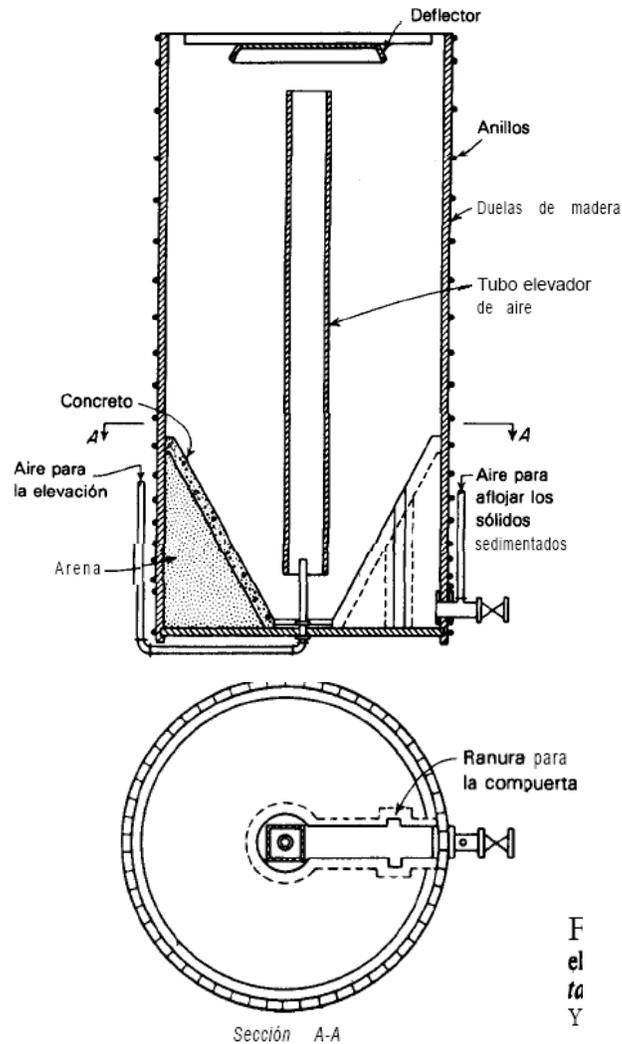
El acanalamiento del disolvente en la percolación o en la lixiviación mediante filtros prensa de lechos fijos, y su lenta e incompleta lixiviación subsecuente, pueden evitarse mediante la agitación del líquido y el sólido en tanques de lixiviación. Para sólidos gruesos, se han diseñado muchos tipos de tanques con agitación.

Figura 18. Tanques de lixiviación por lotes con agitación



Fuente: Treybal, Robert E. **Operaciones de Transferencia de Masa**. Segunda Edición. México. 1988. pp 802.

Figura 19. Tanque Pachuca



Fuente: **Lideell Handbook of Non-Ferrous Metallurgy**, 2^a ed. McGraw-Hill, Nueva Cork 1945

En estos casos, los tanques cilíndricos cerrados se colocan en forma vertical y se les ponen remos o agitadores sobre ejes verticales, lo mismo que

fondos falsos para el drenado de la solución de lixiviación al final del proceso. En otros casos, los tanques son horizontales. Con el agitador colocado sobre un eje horizontal. En algunos casos, un tambor horizontal es el tanque de extracción y el sólido y el líquido se golpean dentro mediante la rotación del tambor sobre rodillos. Estos aparatos se operan por lotes y proporcionan una sola etapa de lixiviación. Se pueden utilizar solos, pero con frecuencia también se utilizan en baterías colocadas para la lixiviación a contracorriente. Se han utilizado bastante en las instalaciones europeas mas antiguas y en las sudamericanas, para la lixiviación de aceites vegetales a partir de semillas; empero, son raros en Norteamérica. Los sólidos finamente divididos se pueden suspender en los disolventes de lixiviación por agitación; para la operación por lotes se utiliza una gran variedad de tanques con agitación.

El más sencillo es el tanque Pachuca que se ha usado ampliamente en las industrias metalúrgicas. Estos tanques pueden construirse de madera, metal o concreto y pueden cubrirse con un metal inerte como plomo, según la naturaleza del líquido de lixiviación. La agitación se lleva a cabo pasando aire a través de la suspensión: las burbujas de aire ascienden a través del tubo central y causan el flujo ascendente de líquido y del sólido suspendido en el tubo; en consecuencia, provocan la circulación vertical del contenido del tanque.

Los agitadores mecánicos estándar, con impulsores del tipo de turbina por ejemplo, también pueden utilizarse para mantener los sólidos finamente divididos en suspensión en el líquido. Después de terminar la lixiviación, la agitación se detiene, el sólido se deja sedimentar en el mismo tanque o en uno separado y el líquido sobrenadante, claro, puede decantarse mediante sifoneo sobre la parte superior del tanque, o separándolo a través de tuberías de descarga colocadas a un nivel apropiado a un lado del tanque.

Si los sólidos están finamente divididos y se sedimentan en un sólido comprimible, la cantidad de solución retenida en los sólidos sedimentados será considerable. La agitación y la sedimentación con varios lotes de disolvente de lavado serán necesarias para recuperar las últimas huellas de soluto; esto puede hacerse a contracorriente. Las rapidezces de lixiviación, siempre y cuando se conozcan las difusividades dentro del sólido, se pueden calcular en la forma descrita para la adsorción en estos tanques. En forma alternativa, el sólido se puede filtrar y lavar en el filtro.

1.5.3.9.4 Sedimentación por lotes

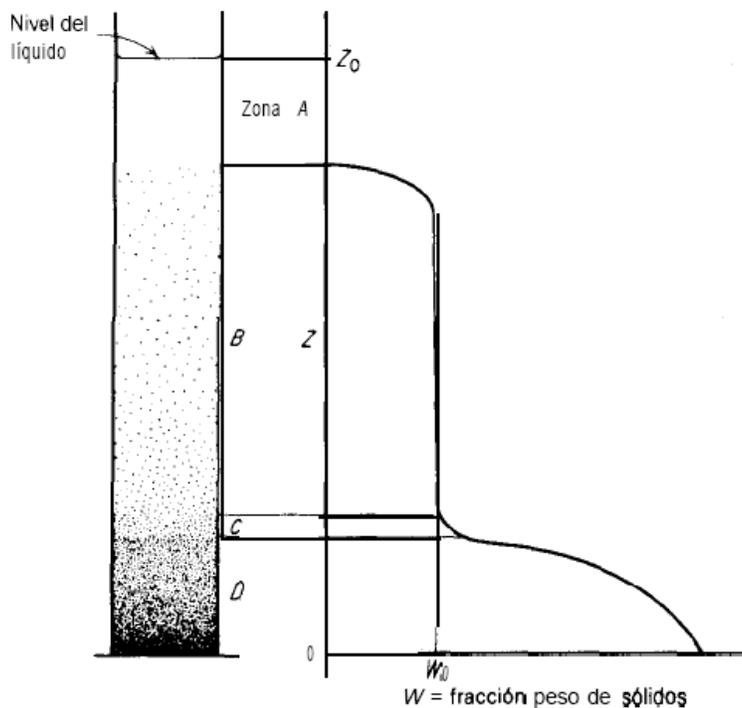
Las características de la sedimentación de una suspensión que consiste en un sólido finamente dividido, de densidad uniforme y tamaño de partícula razonablemente uniforme y que está disperso en un líquido, puede seguirse fácilmente observando una muestra de la suspensión que se ha dejado sin perturbar en un cilindro vertical de vidrio transparente.

Si inicialmente la suspensión está muy diluida, se verá que las partículas sedimentan en forma individual a través del líquido; cada una lo hará a una rapidez que depende del tamaño de la partícula, la densidad relativa del sólido y del líquido y la viscosidad del líquido; al final formarán un montón en el fondo. Finalmente el líquido queda claro; sin embargo, sólo hasta el final habrá una línea clara de separación entre el líquido claro y la suspensión que se está sedimentando.

En suspensiones más concentradas, del tipo que generalmente se encuentra en las operaciones de lixiviación y de lavado, el comportamiento es distinto. Generalmente se observara que las partículas se sedimentan con más

lentitud debido a la interferencia mutua (sedimentación impedida). Más aún, excepto para unas cuantas partículas de tamaño relativamente grande que pueden estar presentes, las partículas no se acomodan de acuerdo con su tamaño, así que, en general las partículas se sedimentan juntas. Como resultado, hay una línea razonablemente marcada de separación entre el líquido sobrenadante claro, en la parte superior del cilindro y la masa de sólidos que se están sedimentando en la parte inferior.

Figura 20. Sedimentador por lotes



Fuente: Treybal, Robert E. **Operaciones de Transferencia de Masa**. Segunda Edición. México. 1988. pp 805.

Considérese el cilindro de la figura lleno inicialmente hasta una altura Z_e con una suspensión de concentración uniforme w_c fracción peso de sólidos, en la cual ha ocurrido cierta sedimentación. En el momento de la observación, hay

una zona A de líquido claro en la parte superior. Directamente abajo de esta se encuentra la zona B, en la cual la concentración de los sólidos es razonablemente uniforme en el valor inicial w_c .

En la zona **D**, en el fondo, llamada generalmente la “zona de compresión” las partículas que se van acumulando desde arriba han llegado a descansar una sobre otra; entonces, debido a su peso, el líquido queda comprimido entre las partículas.

En lodos comprimibles, esto aumenta la concentración de los sólidos con la profundidad en esta zona, como se muestra en la curva. La zona C es una zona de transición entre B y D, no siempre esta claramente definida. Al continuar la sedimentación durante un tiempo mayor que el de la figura, la línea de demarcación entre la zona A y B cae y la altura de la zona **D** aumenta, hasta que por último la zona E desaparece y ~610 resta una zona de compresión que contiene a todos los sólidos y que va disminuyendo lentamente hasta cierta altura final.

La rapidez de sedimentación generalmente se sigue al graficar la altura de la línea de demarcación entre las zonas A y B contra el tiempo, como se muestra mediante la curva sólida de la figura. La curva punteada representa la posición del nivel superior de la zona **D**. La parte superior de la zona B se sedimenta a rapidez constante (curva de Z VS. recta de tiempo) desde el principio, hasta que casi ha desaparecido la zona B y hasta que todos los sólidos están en la zona de compresión.

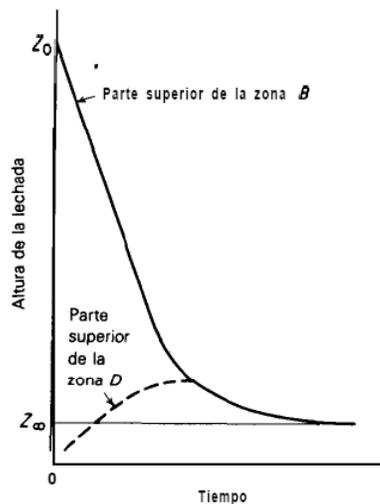
La rapidez de sedimentación de la zona de compresión hasta su altura final Z, es entonces relativamente lenta y variable. En algunos casos, pueden observarse dos períodos de sedimentación a rapidez constante, sin período de

compresión, básicamente. La forma de las curvas depende no sólo del tipo de suspensión (naturaleza y tamaño de partícula del sólido y naturaleza del líquido) sino también de la altura inicial y de la concentración de la suspensión, lo mismo que del grado de floculación, ya sea que se agite o no durante la sedimentación.

1.5.3.9.4.1 Floculación

Si todas las partículas del sólido finamente dividido están similarmente cargadas, se repelen entre sí y permanecen dispersas. Si la carga se neutraliza mediante la adición por ejemplo, de un electrolito (agente floculante) a la mezcla, las partículas pueden formar agregados o flóculos. Puesto que los flóculos son de tamaño más grande, se sedimentan con mayor rapidez. Las suspensiones que se encuentran en las operaciones químicas generalmente se floculan.

Figura 21. Rapidez de sedimentación



Fuente: Treybal, Robert E. **Operaciones de Transferencia de Masa.** Segunda Edición. México. 1988. pp 806.

1.5.3.9.4.2 Agitación

La agitación muy lenta. tan lenta que no se forman corrientes de remolino dentro del líquido, cambia profundamente el carácter de la sedimentación. Como se altera la estructura de los flóculos, la concentración de los sólidos en la zona **B** ya no es uniforme en el valor inicial y hace posible que la zona **D** no esté claramente definida. La altura final de la suspensión sedimentada puede ser solo una fracción de la obtenida sin agitación debido a la ruptura de la estructura punteada de los flóculos en la zona de compresión; la concentración final de sólidos en la masa sedimentada es, por lo tanto, mayor. Sin embargo, de ordinario todavía se observan las zonas de rapidez constante y de decremento de la rapidez de sedimentación. aunque las rapidezces serán diferentes de las obtenidas sin agitación.

1.5.3.9.4.3 Concentración

La rapidez de sedimentación decrece al aumentar la concentración inicial de los sólidos debido al aumento de la densidad y viscosidad efectivas del medio a través del cual se sedimentan las partículas.

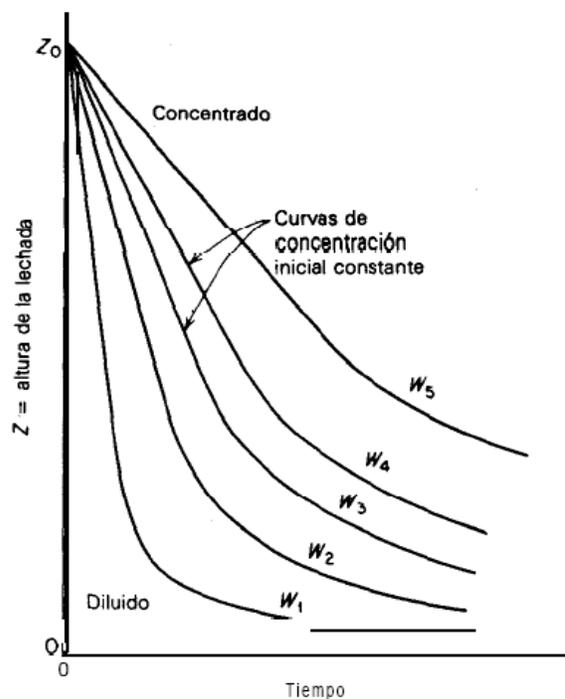
En la figura 21 se ilustra el efecto que por lo común puede esperarse cuando se sedimentan suspensiones de concentración creciente de la misma sustancia en columnas de la misma altura. Se ha tratado en varias ocasiones de predecir el efecto de la concentración sobre la rapidez de sedimentación, a partir del conocimiento de las curvas a una o más concentraciones. Esto se ha conseguido únicamente para suspensiones que no son comprimibles.

1.5.3.9.2.4 Altura

Obsérvese que en la siguiente figura se muestran las curvas de

sedimentación para la misma suspensión empezadas a diferentes alturas iniciales. La rapidez inicial de sedimentación constante no depende de la altura; además, siempre y cuando se exceda cierto valor mínimo crítico de $Z_{c,,}$, aparentemente también será constante el valor final de Z^∞/Z_0 . Las líneas de rapidez de sedimentación constante terminan sobre una línea **OA** que parte del origen; en general, cualquier línea ~ 1 que salga del origen, como **OB**, será cortada de forma que la línea OC/Una **OB** = Z^∞/Z_0 .

Figura 22. Sedimentación por lotes de suspensiones. Efecto de la concentración de la suspensión

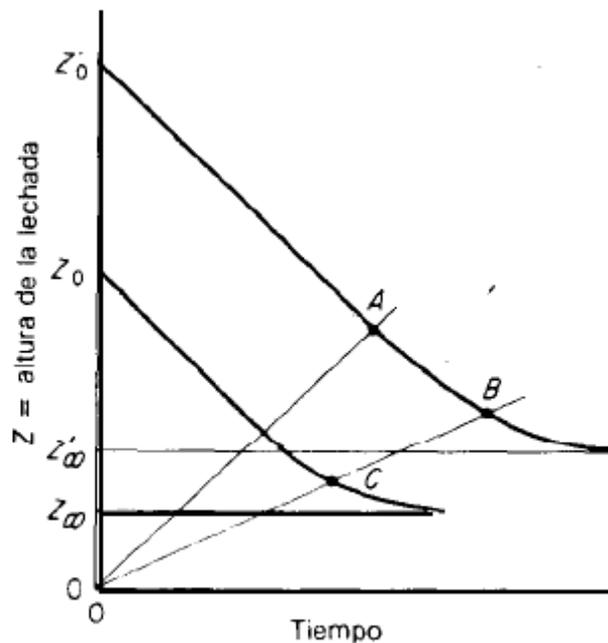


Fuente: Treybal, Robert E. **Operaciones de Transferencia de Masa**. Segunda Edición. México. 1988. pp 807.

Por tanto, el tiempo para que una lechada se sedimente a una altura fraccionaria fija Z/Z_c , es proporcional a la altura inicial Z_s . De esta forma, es

posible predecir razonablemente bien las curvas de sedimentación para tanques profundos a partir de los resultados obtenidos en pequeños cilindros de laboratorio. Sin embargo, al efectuar estas pruebas de laboratorio es importante utilizar cilindros de 1 m de altura y 50 mm de diámetro, como mínimo y hacer que todas las demás condiciones en el laboratorio permanezcan idénticas a las que, según se prevé, predominarán a gran escala.

Figura 23. Sedimentación por lotes de suspensiones a diferentes alturas iniciales.



Fuente: Treybal, Robert E. **Operaciones de Transferencia de Masa.** Segunda Edición. México. 1988. pp 807.

1.5.3.9.5 Percolación vs. agitación

Si se va a lixiviar un sólido en la forma de grandes rocas, con frecuencia se debe decidir si han de triturarse hasta pedazos grandes, si ha de realizarse la lixiviación por percolación o si se molerán finamente y si la lixiviación será realizada mediante agitación y sedimentación. No es posible una respuesta general a este problema, debido a las diversas características de lixiviación de los diferentes sólidos y a los distintos valores del soluto; no obstante, entre las consideraciones se encuentran las siguientes.

El molido fino es más costoso, pero proporciona una lixiviación más completa y más rápida. Tiene una desventaja de que siendo el peso del líquido asociado con el sólido sedimentado tan grande como el peso del sólido, más, se utilizará una cantidad considerable de disolvente para eliminar del sólido lixiviado el soluto y la solución resultante estar diluida. Las partículas trituradas grandes, por otra parte, se lixivian con más lentitud y posiblemente de modo menos completo, pero a lo largo del drenado pueden retener relativamente poca solución, requieren menos lavado y, por lo tanto, proporcionan una solución final más concentrada.

En el caso de sólidos más fibrosos, como la caña de azúcar que se lixivia con agua para separar el azúcar, se ha demostrado que la lixiviación es por lo general más eficiente en un tanque bien agitado que por percolación, probablemente debido a que la gran cantidad de retención estática del líquido hace imposible la obtención de cantidades importantes del soluto.

1.5.3.9.6 Operación en Estado Estacionario Continuo

El equipo para las operaciones en estado estacionario continuo puede clasificarse en dos grandes categorías principales: operado por etapas o en contacto continuo. Algunas veces, el equipo por etapas puede montarse en unidades múltiples, para producir efectos de varias etapas; el equipo de contacto continuo puede proporcionar el equivalente a muchas etapas en un único aparato.

1.5.3.9.6.1 Lixiviación durante el molido

Como ya se indicó, muchos sólidos deben ser molidos para que las porciones solubles sean accesibles a los disolventes de lixiviación; además, si se practica el molido húmedo continuo, parte de la lixiviación puede lograrse en ese momento. Por ejemplo, del 50 al 75% del oro soluble puede disolverse mediante la molienda del mineral en presencia de una solución de cianuro. En forma similar, las semillas de ricino se muelen en un molino por frotación con un disolvente para el aceite de ricino.

El líquido y el sólido fluyen a través de un molino en paralelo y, en consecuencia, tienden a alcanzar su concentración en el equilibrio. Por lo tanto, estas operaciones son lixivaciones en una sola etapa y generalmente se completan mediante operaciones de agitación o lavado adicionales, como se describirá posteriormente.

1.5.3.9.6.2 Tanques con agitación

Los sólidos finamente molidos que son fáciles de suspender en líquidos por medio de la agitación, pueden lixivarse continuamente en cualquiera de los

muchos tipos de tanques con agitación. Éstos pueden utilizarse para el flujo continuo del líquido y del sólido en y fuera del tanque y deben diseñarse con cuidado para que no haya acumulación del sólido tienden a alcanzar el equilibrio en el tanque. Pueden utilizarse los tanques agitados mecánicamente, para los cuales es probable, que el agitador de tipo de turbina sea generalmente el más adecuado.

Los tanques Pachuca se utilizan frecuentemente en las industrias metalúrgicas. El agitador de Dorr utiliza tanto el principio de transporte de material con aire como el raspado mecánico de los sólidos; es muy usado tanto en la industria metalúrgica como química para la lixiviación continua y el lavado de sólidos finamente divididos.

El eje central hueco del agitador actúa como un transporte de material con aire y al mismo tiempo gira lentamente. Los brazos unidos a la parte inferior del eje raspan los sólidos sedimentados hacia el centro del fondo del tanque, en donde se levantan mediante la elevación de aire a través del eje hasta unos lavadores unidos a la parte superior. Entonces, los lavadores distribuyen la mezcla elevada de líquido y sólido sobre toda la sección transversal del tanque.

Los brazos de raspado pueden levantarse para eliminar los sólidos que hayan quedado sedimentados en ellos durante el tiempo en que la máquina no funcionó; también tienen unas tuberías de aire auxiliares para favorecer la eliminación del sólido sedimentado. Para sólidos de tamaño variado, la operación del agitador puede ajustarse de tal forma que las partículas gruesas, que pueden requerir mayor tiempo de lixiviación, permanezcan en el tanque por períodos más largos que las finas. Estos agitadores generalmente se construyen en tamaños que van desde 1.5 hasta 12 m de diámetro. El tiempo de retención promedio en un tanque agitado puede calcularse dividiendo el

contenido del tanque entre el flujo en el tanque. Esto se puede hacer separadamente para el sólido y el líquido; el tiempo de retención para cada uno será diferente si la relación de las cantidades de ambos en el tanque es diferente de la que hay en la alimentación.

El tiempo promedio de retención del sólido debe ser el suficiente para lograr la acción de lixiviación requerida. Por supuesto, las partículas individuales de sólido pueden causar un corto circuito en el tanque (mezclado axial); esto significa que las partículas cruzan en tiempos mucho más cortos que los tiempos promedio calculados y que en consecuencia, disminuye la eficiencia de la etapa. Este corto circuito puede eliminarse pasando la mezcla de sólido-líquido a través de una serie de pequeños tanques con agitación, uno después del otro; la suma de los tiempos de retención promedio será el tiempo necesario para la lixiviación.

Esto puede lograrse fácilmente con el flujo por gravedad de la suspensión, colocando cada tanque en serie, a niveles progresivamente más bajos. Por lo general, bastan tres tanques en serie para reducir el corto circuito a una cantidad despreciable. Debe observarse que, como el líquido y el sólido pasan a través de estos tanques en flujo paralelo, la serie completa sigue equivaliendo a una sola etapa.

Figura 24. Agitador de Dorr (Dorr – Oliver ,Inc)

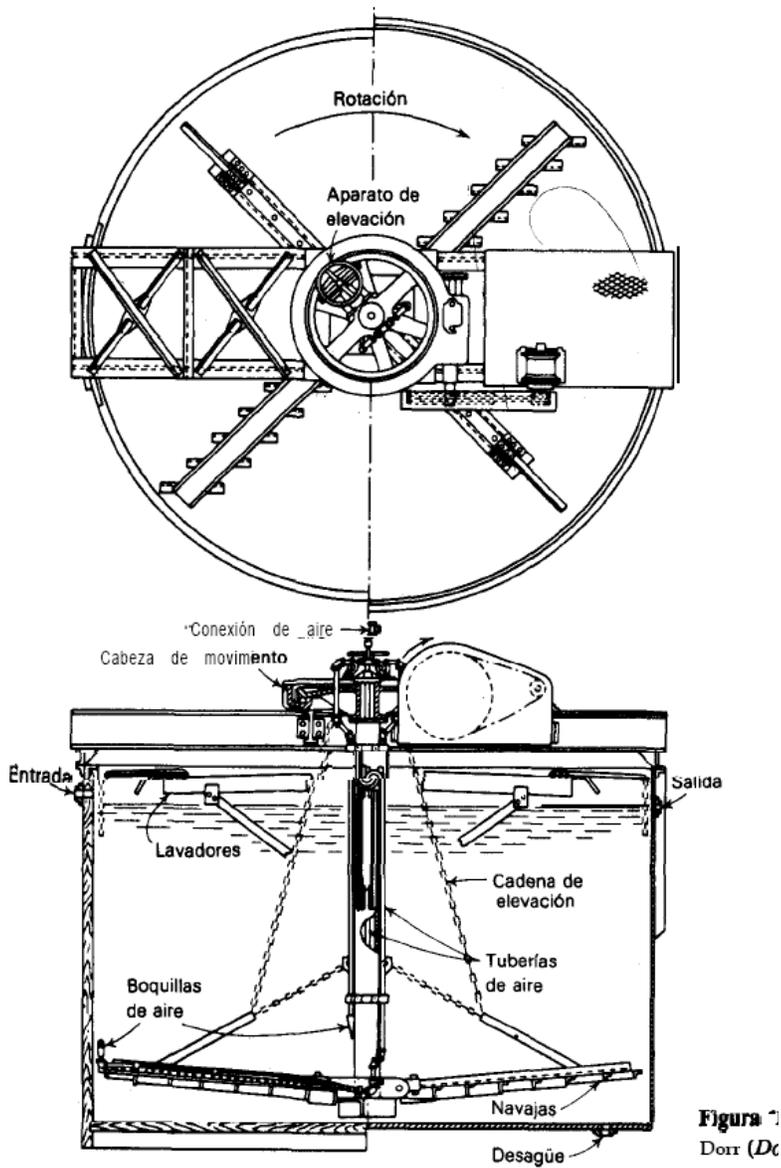
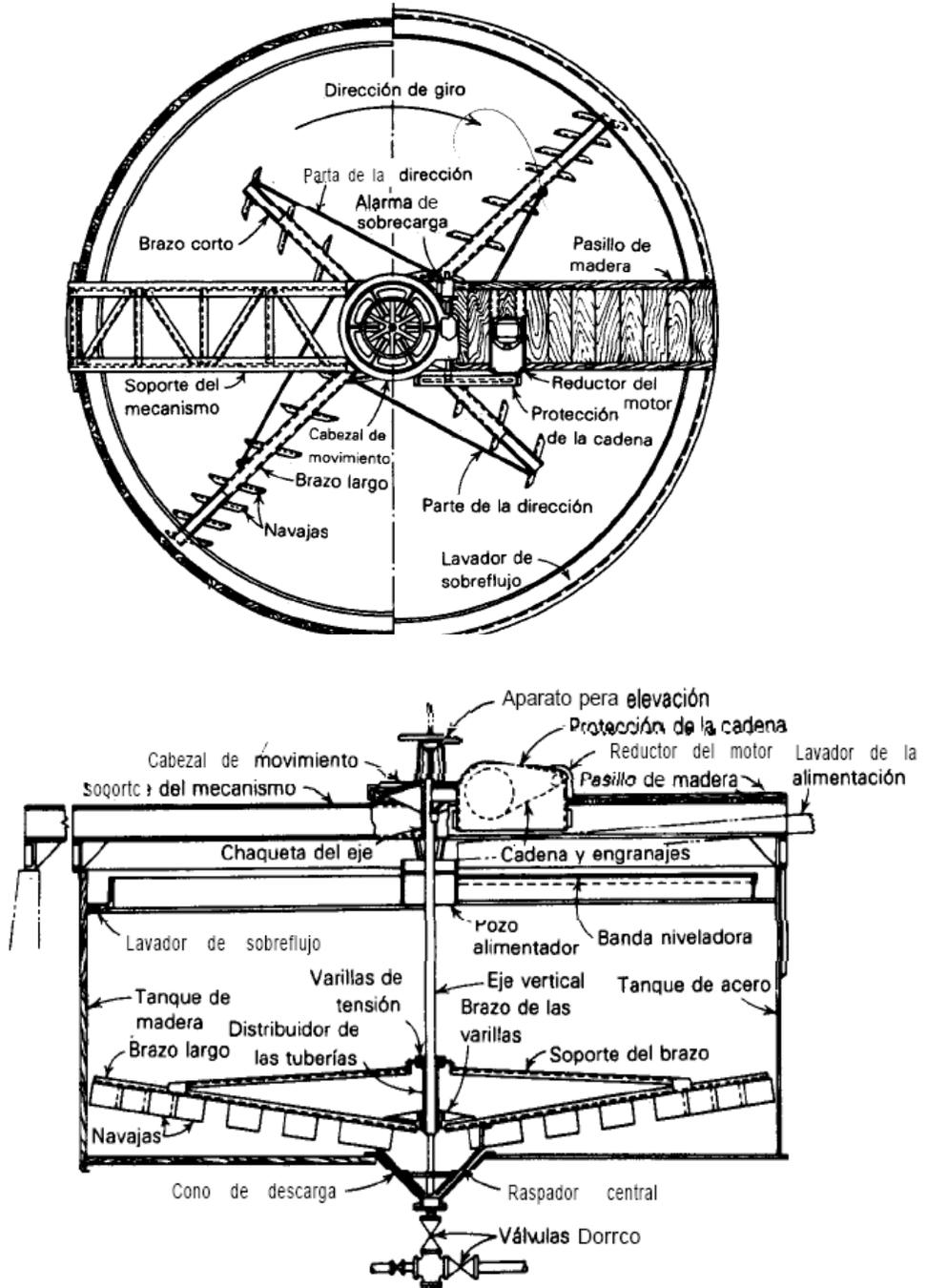


Figura 1
Dorr (Dc)

Fuente: Treybal, Robert E. **Operaciones de Transferencia de Masa**. Segunda Edición. México. 1988. pp 810.

Figura 25. **Espesador de Dorr (Dorr - Oliver)**



ALZADO DE LA SECCIÓN

Fuente: Treybal, Robert E. **Operaciones de Transferencia de Masa**. Segunda Edición. México. 1988. pp 811.

El efluente de los agitadores continuos puede enviarse a un filtro para separar el líquido del sólido; el sólido puede lavarse sobre el filtro hasta eliminar los sólidos disueltos o a una serie de espesadores para el lavado a contracorriente.

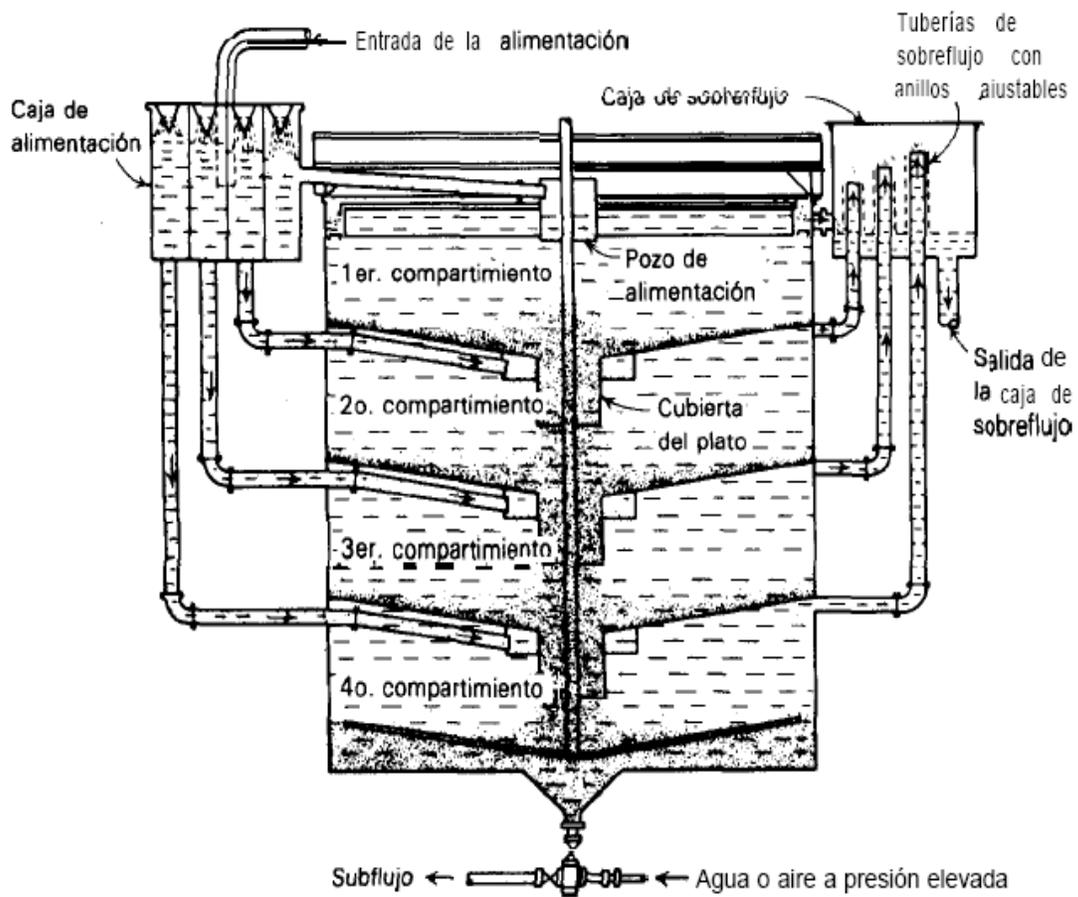
1.5.3.9.6.2.1 Espesadores

Los espesadores son aparatos mecánicos diseñados especialmente para aumentar en forma continua la relación de sólidos a líquido en una suspensión diluida de partículas muy finas mediante la sedimentación y la decantación, con lo cual se produce un líquido claro y un lodo espeso en forma de dos productos separados.

Los espesadores pueden utilizarse antes que cualquier filtro para reducir los costos de filtración. Dado que los dos efluentes se pueden bombear y, en consecuencia, ser transportados fácilmente, los espesadores se utilizan con frecuencia para lavar los sólidos lixiviados y los precipitados químicos, para eliminar la solución adherente en un arreglo continuo a contracorriente en varias etapas; esta aplicaciones la que interesa aquí.

Un espesador de un solo compartimiento, típico del diseño de la Compañía Dorr-Oliver. La suspensión fina de líquido y sólidos suspendidos entra en un gran tanque de sedimentación a través de un pozo de alimentación en la parte superior central, de tal forma que se evite el mezclado de la suspensión con el líquido claro en la parte superior del tanque. Los sólidos se sedimentan en el líquido que llena el tanque y el lodo sedimentado se dirige cuidadosamente hacia el cono de descarga en el fondo, mediante cuatro series de hojas de arado o rastrillos

Figura 26. Espesador de platos balanceados de Dorr (Dorr-Oliver, Inc)



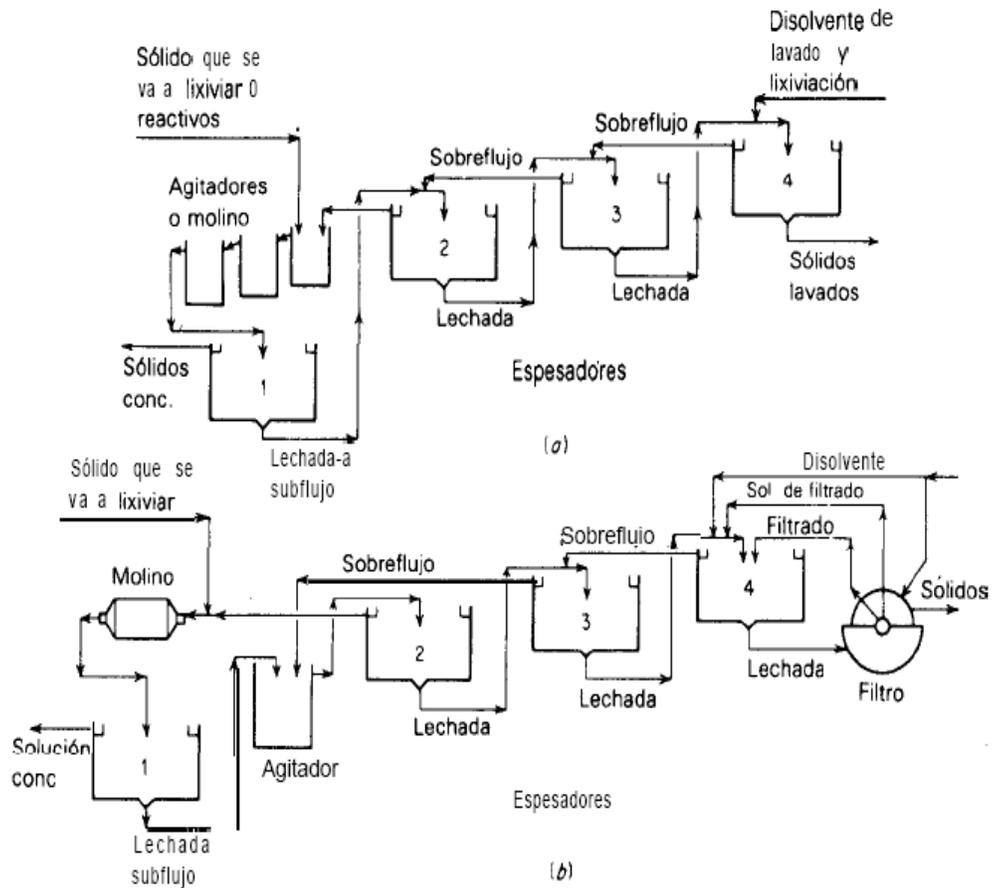
Fuente: Treybal, Robert E. **Operaciones de Transferencia de Masa**. Segunda Edición. México. 1988. pp 812.

Éstas giran lentamente, de modo que se perturbe poco el sólido sedimentado. El lodo se bombea desde el cono de descarga mediante una bomba de diafragma. El líquido sobrenadante claro se derrama en un lavador construido alrededor de la parte periférica superior del tanque.

Los espesadores se construyen en tamaños que van desde 2 hasta 180 m (6 a 600 ft) de diámetro, para manejar sólidos granulares y también floculados; tienen distinto diseño de detalle que depende del tamaño y del servicio.

Con el fin de reducir los requerimientos de espacio, se pueden colocar varios espesadores que operen en paralelo sobrepuestos. Este tipo de aparato produce un único producto lodoso. El contenido de líquido del lodo depende bastante de la naturaleza de los sólidos, el líquido y del tiempo que se dé para la sedimentación; empero, en casos típicos debe estar en el rango del 15 al 75% de líquido. Cuanto menos líquido se retenga, más eficiente será el proceso de lixiviación o lavado que se esté llevando a cabo.

Figura 27. Decantación a contracorriente continua (DCC) a) diagrama de flujo simple b) con agitación intermedia y filtración de sólidos lavados.



Fuente: Treybal, Robert E. **Operaciones de Transferencia de Masa.** Segunda Edición. México. 1988. pp 813.

1.5.3.9.6.3 Decantación a contracorriente continua (DCC)

El equipo de lixiviación, como agitadores y molinos, puede descargar el efluente en una cascada de espesadores, para el lavado a contracorriente continua de los sólidos finamente divididos que han de liberarse del soluto adherido. Puede utilizarse el mismo tipo de cascada para lavar los sólidos formados durante reacciones químicas, como en la fabricación de ácido fosfórico por tratamiento de la roca de fosfato con ácido sulfúrico, o de sulfato de bario por la reacción de ácido sulfúrico y sulfuro de bario, o de litopona.

En la figura anterior (a) se muestra un arreglo sencillo. Los sólidos que se van a lixiviar (o los reactivos para una reacción), junto con la solución del segundo espesador, se introducen en los agitadores de lixiviación en la parte izquierda; la fuerte solución producida de esta forma se decanta de los sólidos mediante el primer espesador. Entonces, los agitadores junto con el primer espesador constituyen una sola etapa.

El lodo se pasa a través de la cascada para ser lavado con el disolvente en una contracorriente real; los sólidos lavados se descargan por la derecha. Por supuesto, puede haber más o menos de las cuatro etapas que se muestran y, los agitadores pueden reemplazarse por cualquier aparato de lixiviación continua, como un molino. Regularmente se hacen muchas variaciones en el diagrama de flujo. Por ejemplo, el lodo de cada etapa puede volverse a “formar en 2^{na} pulpa” o golpear vigorosamente con el disolvente, entre las etapas, para mejorar la eficiencia del lavado.

En la figura anterior (b) se muestra un arreglo mediante el cual lo que queda en el primer espesador se agita con el sobrante del tercero, con el fin de lograr la

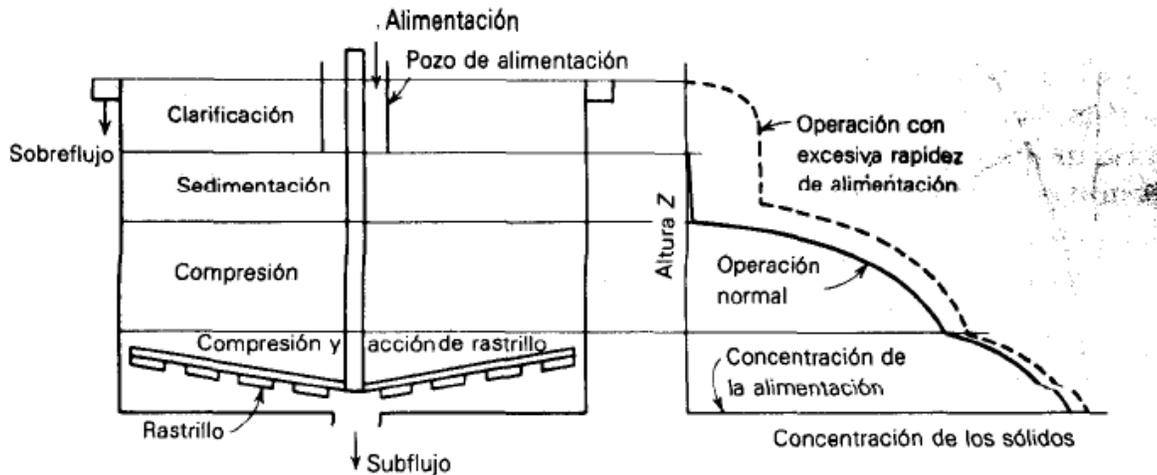
lixiviación adicional posible con la solución diluida. El lodo de la última etapa puede filtrarse, como se muestra, cuando el sólido es valioso y se tiene que obtener razonablemente seco o cuando el soluto es valioso y la solución adherida a los sólidos lavados debe reducirse a un mínimo. Para la operación exitosa de estas plantas, son necesarios los flujos muy cuidadosamente controlados de los lodos y de la solución, para no perturbar las condiciones predominantes de estado estacionario. Para plantas pequeñas de decantación, en donde el espacio está limitado, es posible obtener una cascada a contracorriente de espesadores contruidos uno encima del otro en una sola estructura.

1.5.3.9.6.4 Sedimentación Continua

Las concentraciones que existen en los diferentes niveles de un espesador continuo que opera en estado estacionario difieren considerablemente de las que se encuentran en la sedimentación por lotes. La curva ininterrumpida de la figura muestra las concentraciones normales durante una operación normal t_{51} ; se encuentran cuatro zonas claramente definidas en el espesador, que corresponden a las diferentes secciones de la curva.

La suspensión de alimentación se diluye al salir del pozo de alimentación del espesador; el líquido pasa hacia la parte superior y se derrama en el lavador que se encuentra en la periferia del espesador. La concentración de sólidos en la parte superior es despreciable si el exceso de líquido esta claro. Los sólidos y el resto del líquido de alimentación se mueven hacia abajo a través de las tres zonas inferiores y salen en el sobrante del espesador. La concentración de sólidos en la zona de sedimentación es mucho mas baja que en la alimentación, debido ala dilución, pero aumenta rápidamente en la zona de compresión que se encuentra inmediatamente abajo.

Figura 28. Características de un espesador continuo
(cortesía de Industrial and Engineering chemistry)



Fuente: Treybal, Robert E. **Operaciones de Transferencia de Masa**. Segunda Edición. México. 1988. pp 815.

En la zona del fondo, la acción de los rastrillos perturba las estructuras arqueadas que los sólidos que se están sedimentando pueden formar; el peso de los sólidos expulsa al líquido y la concentración aumenta hasta su valor en el flujo inferior. Si se aumenta el flujo de alimentación del espesador, la concentración de sólidos en la zona de sedimentación aumenta y alcanza un valor máximo constante que no está relacionado con la concentración de la alimentación cuando se supera la capacidad de sedimentación de esta zona.

Los sólidos en exceso, que no se pueden sedimentar, se derramarán con el líquido.

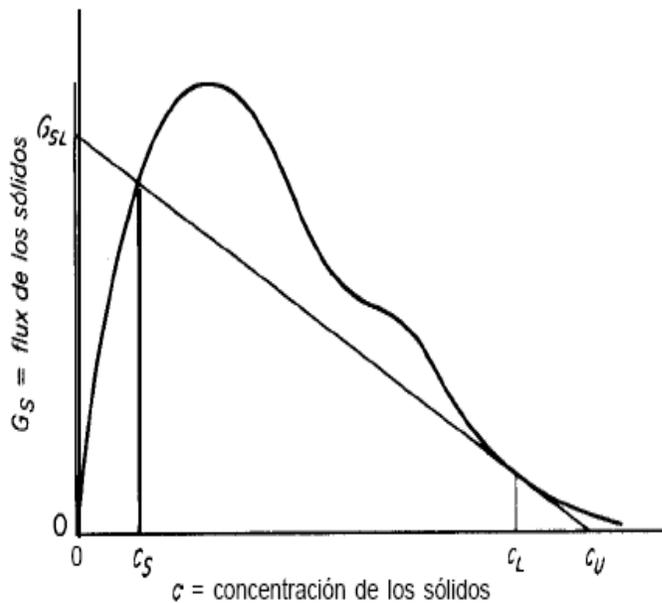
La concentración de sólidos en el lodo remanente para un flujo y concentración dados de la alimentación puede aumentarse reduciendo el flujo de descarga del sólido. Esto aumenta la profundidad de la zona de compresión y aumenta el tiempo de retención de los sólidos dentro del espesador, aunque es importante no aumentar el nivel de la zona de compresión a tal grado que el sólido aparezca en el líquido derramado. La capacidad de los espesadores continuos, o el área de la sección transversal para una cantidad dada de sólidos, puede calcularse aproximadamente con pruebas de sedimentación por lotes.

Las velocidades de sedimentación iniciales, V , para las suspensiones de sólido a diferentes concentraciones iniciales uniformes c , se determinan a partir de las pendientes de curvas, las cuales cubren el rango completo de concentraciones de los sólidos que se puedan encontrar (es mejor determinar estas curvas para suspensiones preparadas mediante la suspensión de un peso dado de sólidos en diferentes cantidades de líquido, agregando y quitando líquido). El flux de sólidos durante la sedimentación, $G_s = CV$, se grafica contra c .

Entonces, la tangente cuya pendiente negativa sea la menor se traza la curva desde el punto ($G_s = 0$, $c = c_U$), en donde c_U es la concentración deseada en el remanente, hasta intersectar a la ordenada en G_{SL} , el flux limitante de sólidos. La sección transversal mínima requerida del espesador para manejar W masa/tiempo de sólidos es A . La concentración c_h es la que se encuentra en el punto de compresión y c , la de la zona de sedimentación.

$$A = \frac{W}{G_{SL}} \quad (\text{ec. 9})$$

Figura 29. Determinación del área del espesor con base en la curva de flux

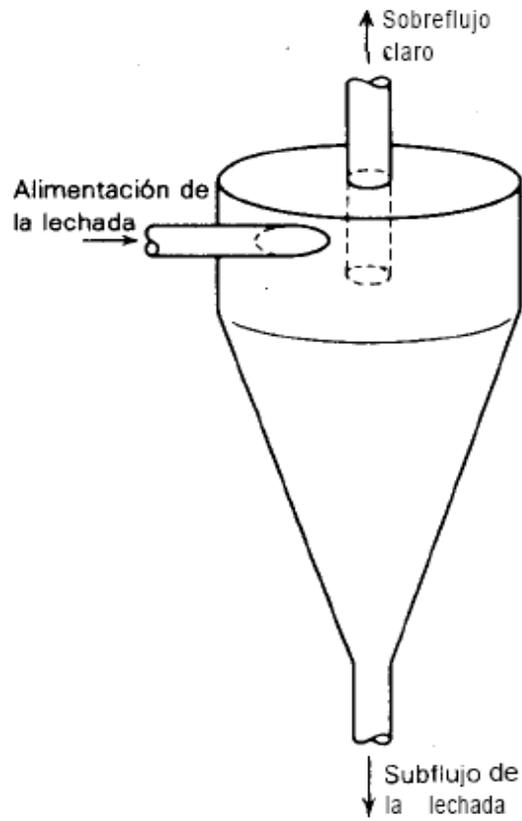


Fuente: Treybal, Robert E. **Operaciones de Transferencia de Masa**. Segunda Edición. México. 1988. pp 816.

1.5.3.9.6.4.1 Hidrociclones

Los hidrociclones, similares a los utilizados para la clasificación por tamaños de sólidos pueden utilizarse también como separadores líquido-sólidos, en lugar de los espesadores, en el lavado a contracorriente de los sólidos en una lechada

Figura 30. Hidrociclón



Fuente: Treybal, Robert E. **Operaciones de Transferencia de Masa**. Segunda Edición. México. 1988. pp 816.

1.5.3.9.6.5 Lixiviación continua de sólidos gruesos

Se han utilizado muchos aparatos ingeniosos para mover a los sólidos en forma continua a través de un aparato de lixiviación, de forma que se pueda obtener la acción a contracorriente. A excepción de los clasificadores, que se utilizan principalmente en las industrias metalúrgicas, estas máquinas se construyeron principalmente para los problemas especiales de manejo de sólidos, que se presentaban en la lixiviación de remolacha y de semillas vegetales como la semilla de algodón, soya y similares. Donald II 21 describe muchos de los primeros aparatos que se utilizaron para el azúcar de remolacha. Aquí, sólo se va a describir una de las máquinas más empleadas en la actualidad.

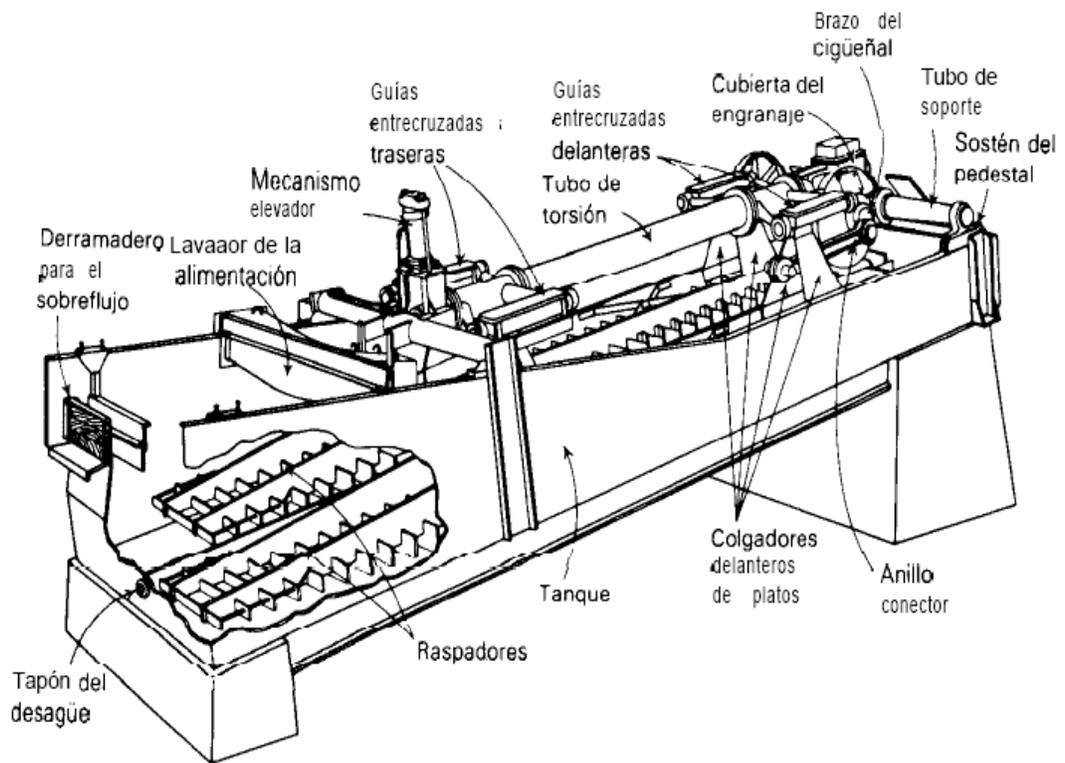
1.5.3.9.6.4.1 Clasificadores

Los sólidos gruesos pueden lixivarse o con más frecuencia lavarse de la solución o soluto adheridos, en algunos tipos de maquinaria que se utilizan con frecuencia en las industrias metalúrgicas para la clasificación de acuerdo con el tamaño de la partícula. Uno de estos aparatos se muestra en la figura 30. Los sólidos se introducen en un tanque, que tiene un fondo inclinado y que está parcialmente lleno de disolvente. Los rastrillos, a los cuales se les da un movimiento de elevación alternante y circular con un mecanismo motriz, raspan a los sólidos en forma ascendente a lo largo del fondo del tanque y fuera del líquido.

En la parte superior del tanque los sólidos se drenan y descargan. El líquido se derrama en la parte más profunda del tanque. La concentración de soluto en el líquido es razonablemente uniforme en todo el tanque, debido a la agitación con los rastrillos; así el aparato produce la acción de una sola etapa.

Pueden colocarse varios clasificadores en una cascada para la acción a contracorriente continua en varias etapas, en cuyo caso pueden operarse mediante un solo mecanismo motor. Fitch presenta un análisis excelente de las técnicas de separación de líquidos y sólidos.

Figura 31. Clarificador simple de Dorr para el lavado de sólido gruesos (Dorr-Oliver, Inc)



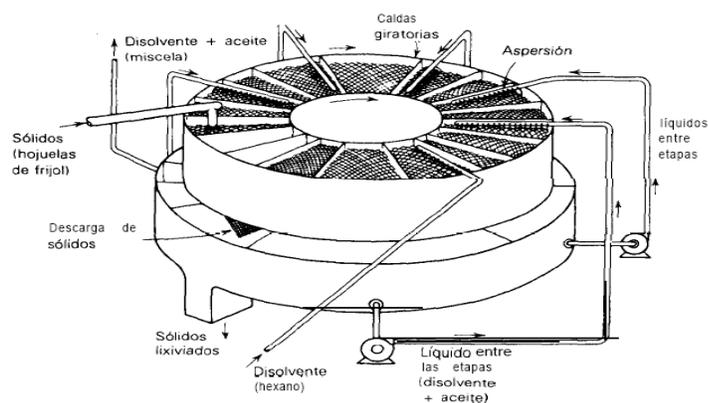
Fuente: Treybal, Robert E. **Operaciones de Transferencia de Masa.** Segunda Edición. México. 1988. pp 817.

1.5.3.9.6.6 Lixiviación de semillas vegetales

Las semillas de algodón, soya, semillas de lino, cacahuates, salvado, ricino y muchos otros productos similares, con frecuencia sufren la acción de lixiviación, o *extracción*, con disolventes orgánicos que separan los aceites vegetales que contienen. Las semillas generalmente deben prepararse en forma especial para obtener la mejor lixiviación; esto puede emitir el descascarar, precocinar, el ajuste del contenido de humedad (agua) y el prensado o formación de hojuelas. Algunas veces, una parte del aceite se elimina inicialmente en forma mecánica mediante expulsión o prensado.

Generalmente, los disolventes de lixiviación son naftas de petróleo, para muchos aceites una fracción muy cercana al hexano; los hidrocarburos clorados dejan un residuo demasiado tóxico para el alimento lixiviado y no puede utilizarse para la alimentación animal. La solución aceite-disolvente, que por lo general contiene una pequeña cantidad de sólidos suspendidos, finamente divididos, se conoce como “miscela” y los sólidos lixiviados como “marca”.

Figura 32 Arreglo esquemático de Rotocel



Fuente: Treybal, Robert E. **Operaciones de Transferencia de Masa**. Segunda Edición. México. 1988. pp 818.

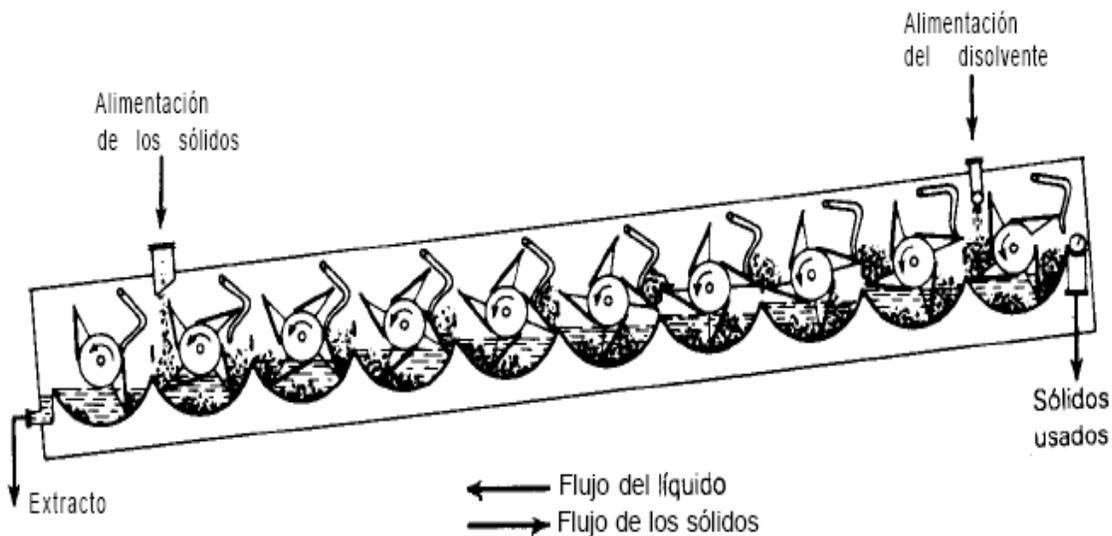
En esta industria, los diferentes aparatos de lixiviación generalmente se conocen como “extractores”, El Rotocel es básicamente una modificación del sistema de Shanks en donde los tanques de lixiviación se mueven continuamente, de forma que permiten la introducción y descarga continua de los sólidos. En la figura se encuentra una representación esquemática del aparato, simplificado para mostrar cómo funciona. Un rotor circular que contiene 18 celdas, cada una con un fondo de pantalla para sostener los sólidos, gira lentamente alrededor de un tanque estacionario con compartimientos. Al girar el rotor, cada celda pasa a su vez debajo de un aparato especial para alimentar las semillas preparadas y bajo una serie de aspersores mediante los cuales cada una se empapa con el disolvente para la lixiviación. Después de casi una vuelta, el contenido lixiviado de cada celda se arroja automáticamente a uno de los compartimientos inferiores estacionarios, de los cuales se sacan continuamente.

El disolvente de cada aspersion se percuela en forma descendente a través del sólido y de la pantalla de soporte en el compartimiento apropiado del tanque inferior, del cual se bombea continuamente para la siguiente aspersion. La lixiviación es a contracorriente y la solución más concentrada se obtiene con las semillas más frescas. Varios aparatos ingeniosos son necesarios para mantener una operación sencilla; toda la máquina esta encerrada en una estructura sellada para evitar que los vapores del disolvente escapen.

El extractor francés de canasta estacionaria es una variante del Rotocel. Las hojuelas se encuentran en lechos con compartimientos, estacionarios, llenos de una fuente giratoria para alimentar los sólidos; la lixiviación con el disolvente y la miscela es a contracorriente.

El extractor de Kennedy es un arreglo moderno que se muestra en forma esquemática en la figura. Es otro aparato por etapas que se había utilizado desde 1927, para la lixiviación de taninos en la corteza de roble. Ahora se utiliza para las operaciones de lixiviación de los aceites de semillas y otras operaciones de lixiviación química. Los sólidos se lixivian en una serie de tinajas y se empujan de una a otra mediante unos remos para formar una cascada, mientras que el disolvente fluye a contracorriente.

Figura 33. Extractor de Kennedy (The Vulcan Copper and Supply)



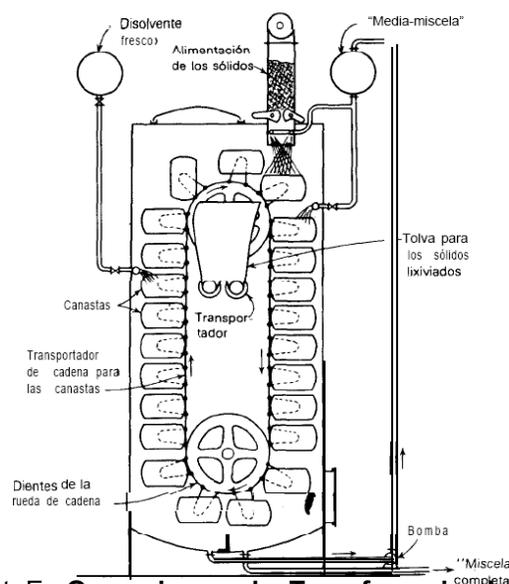
Fuente: Treybal, Robert E. **Operaciones de Transferencia de Masa**. Segunda Edición. México. 1988. pp 819.

Unas perforaciones en los remos permiten el drenado de los sólidos entre etapas; los sólidos se desprenden de cada remo (por raspado), tal como se muestra. En una cascada se pueden colocar tantas tinajas como sea necesario.

El extractor de Bollman es una de las diferentes máquinas del tipo de canasta. Los sólidos se acarrean en canastas perforadas unidas a una cadena acarreadora, en forma descendente, a la derecha de la figura, y ascendente a la izquierda de la misma. Al descender, se lixivian a flujo paralelo mediante una solución diluida disolvente-aceite (“miscela media”) que se bombea desde el fondo del tanque y se esparce sobre las canastas en la parte superior. El líquido se percuela a través de los sólidos de canasta a canasta, se recoge en el fondo como la solución concentrada final del aceite (“miscela total”) y se separa.

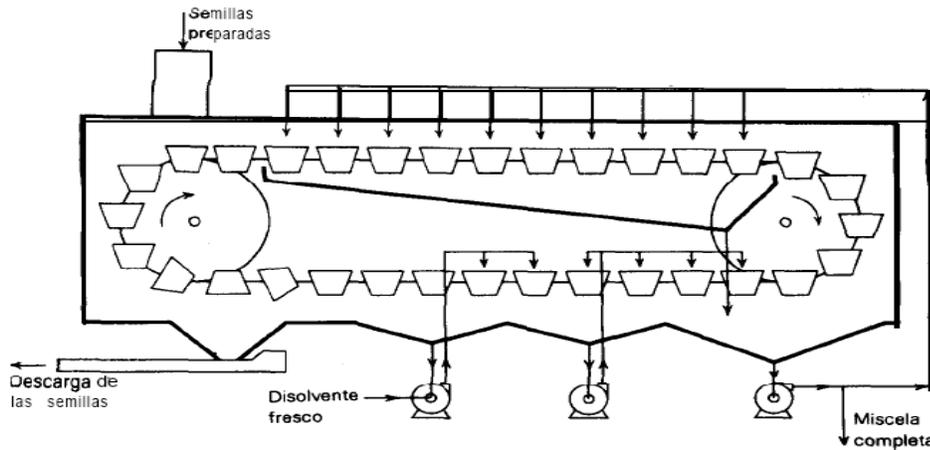
Al ascender, los sólidos se van lixiviando a contracorriente por medio de una aspersion de disolvente fresco y proporcionan la media miscela. Se da un tiempo corto de drenado antes de que las canastas se vacíen en la parte superior. Hay muchas variantes de este aparato. Los filtros de charola inclinada continuos y los filtros horizontales también se emplean por lo común.

Figura 34. Extractor de Bollman



Fuente: Treybal, Robert E. **Operaciones de Transferencia de Masa**. Segunda Edición. México. 1988. pp 798.

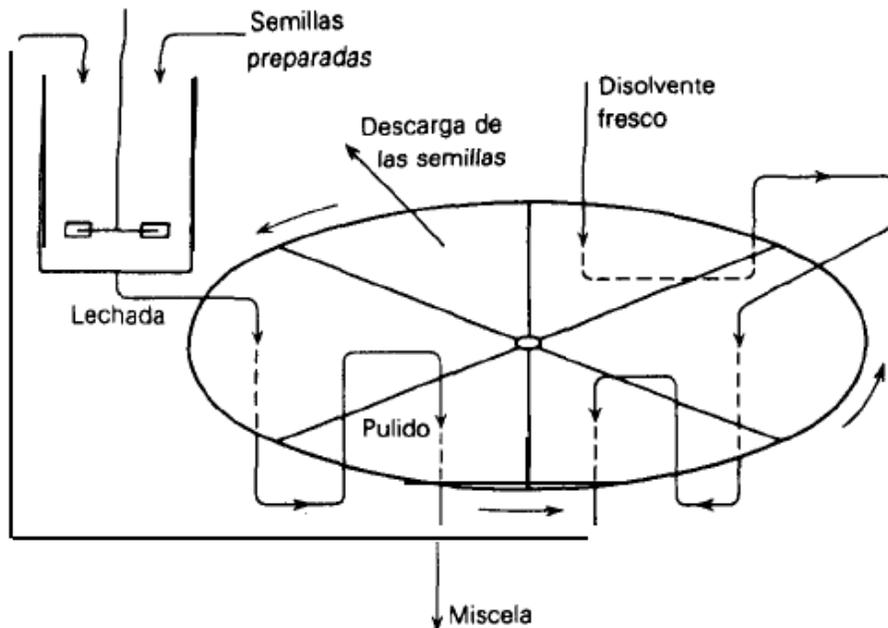
Figura 35. Extractor horizontal continuo (esquemático)



Fuente: Treybal, Robert E. **Operaciones de Transferencia de Masa**. Segunda Edición. México. 1988. pp 821.

En la siguiente figura se muestra una disposición típica del diagrama de flujo para un filtro horizontal. El filtro, en forma de un volante circular, está dividido en varios sectores y gira en el plano horizontal. Las semillas preparadas se mezclan con el disolvente que ya se había utilizado para la lixiviación y la suspensión se manda al filtro. El primer filtrado se pasa de nuevo a través de la torta de filtración, para separar los sólidos muy finamente divididos (pulido) antes de que aquel sea descargado como miscela. El principio es muy parecido al del Rotocel. También se utilizan bandas móviles horizontales del tipo de pantalla, para acarrear los sólidos durante la lixiviación.

Figura 36. Diagrama de flujo para la lixiviación en filtro horizontal



Fuente: Treybal, Robert E. **Operaciones de Transferencia de Masa**. Segunda Edición. México. 1988. pp 821.

La recuperación del disolvente contenido tanto en la miscela como en las semillas lixiviadas, es una parte esencial del proceso de lixiviación de los aceites vegetales. En un acomodo típico, la miscela filtrada se pasa a un evaporador para recuperar el disolvente; luego, algunas veces se efectúa una deserción final en una columna de platos, a fin de obtener el aceite libre de disolvente. Las semillas húmedas se tratan con vapor para eliminar el disolvente residual y se enfrían al aire. El gas descargado de los condensadores puede enviarse a un absorbedor, para lavarlo allí con petróleo blanco; la solución de disolvente-petróleo blanco que resulta puede desorberse para recuperar cualquier disolvente.

1.5.3.10 Métodos de Cálculo

Es importante que se haga un cálculo aproximado del grado de lixiviación obtenible mediante cierto procedimiento, es decir, de la cantidad de sustancia soluble lixiviada de un sólido; con este propósito ha de conocerse el contenido inicial de soluto del sólido, el número y cantidad de los lavados con el disolvente de lixiviación, la concentración de soluto en el disolvente de lixiviación, si hubo lixiviación, y el método que se empleó para efectuarla (por lotes o a contracorriente continua).

En forma alternativa, quizás se necesite calcular el número de lavados, o número de etapas, requeridos para reducir el contenido de soluto del sólido hasta algún valor dado; deberán conocerse entonces la cantidad y la concentración de soluto en el disolvente de lixiviación. Los métodos de cálculo son muy similares a los utilizados en la extracción líquida.

1.5.3.10.1 Eficiencia de las etapas

Considérese una operación sencilla de lixiviación por lotes, en la cual el sólido se va a lixiviar con una cantidad de disolvente mayor que la necesaria para disolver todo el soluto soluble; en dicha operación el sólido no adsorbe de modo preferente ni al disolvente ni al soluto. Si se proporciona un tiempo adecuado de contacto entre el sólido y el disolvente, todo el soluto se disuelve; entonces, la mezcla es una suspensión de sólidos insolubles sumergidos en una solución de soluto en el disolvente.

Luego, las fases insolubles se separan físicamente por sedimentación, filtración o drenado y toda la operación constituye una sola etapa. Si la separación mecánica del sólido y el líquido fuese perfecta, no habría soluto asociado con el sólido que sale de la operación y se habría logrado en una sola etapa la separación completa del soluto y del sólido insoluble. Ésta sería una etapa ideal, con una eficiencia de etapa del 100%. En la práctica, la eficiencia de las etapas es generalmente bastante menor que ésta: (1) es posible que el soluto no se haya disuelto por completo debido a un tiempo insuficiente de contacto; (2) probablemente sea imposible realizar una perfecta separación mecánica del líquido-sólido, así que los sólidos que salen de la etapa siempre retendrán cierta cantidad de líquido y de soluto disuelto asociado. Cuando el soluto es adsorbido en el sólido, la sedimentación o drenaje imperfectos darán una eficiencia menor de etapa, aunque se logre el equilibrio entre las fases líquidas y sólido.

1.5.3.10.2 Equilibrio práctico

Por lo general, será más sencillo realizar los cálculos gráficamente, como en otras operaciones de transferencia de masa; para esto se requiere la representación gráfica de las condiciones en el equilibrio. Es más sencillo utilizar las condiciones prácticas en el equilibrio, las cuales consideran directamente la eficiencia de las etapas; pueden utilizarse completamente o en parte, de modo similar a como se hizo en la absorción de gases y en la destilación.

En los casos más sencillos se debe trabajar con sistemas de tres componentes, que contienen el disolvente puro (A), el sólido acarreador insoluble (B) y el soluto soluble (C). Los cálculos y las representaciones gráficas pueden hacerse sobre coordenadas triangulares para cualquier sistema ternario de este tipo. Como en un diagrama de este tipo ocurre a menudo un

amontonamiento en una esquina, es preferible utilizar un sistema de coordenadas rectangulares, el cual se traza como el que se utilizó para la adsorción fraccionaria. La concentración de sólido insoluble B en cualquier mezcla o suspensión se expresara como N masa B/masa (A + C), sin importar si el sólido está o no humedecido con el líquido. Las composiciones del soluto C se van a expresar como fracciones peso en base libre de B: x = fracción peso de C en la solución efluente de una etapa (en base libre de B); y = fracción peso de C en el sólido o lechada (base libre de B). El valor de y debe incluir todo el soluto C asociado con la mezcla, incluso el que está disuelto en la solución adherida y el soluto no disuelto o adsorbido. Si el sólido está seco, como puede estar antes de que empiecen las operaciones de lixiviación, N es la relación entre los pesos de la sustancia insoluble y la soluble; entonces, $y = 1.0$. Para el disolvente puro A, $N = 0$, $x = 0$.

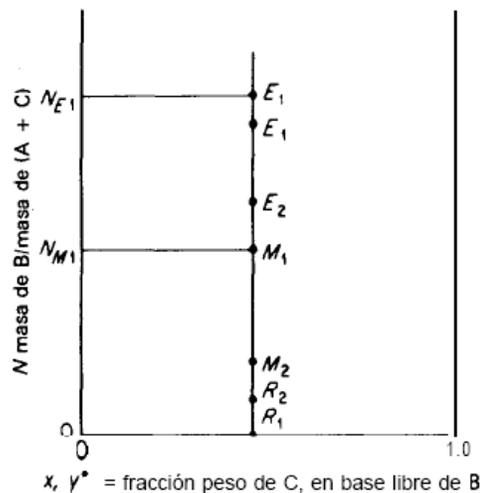
Considérese primero un caso simple de una mezcla de sólido insoluble, de la cual se ha lixiviado todo el soluto; está suspendida en una solución del soluto en un disolvente, como se representa mediante el punto M, en la figura.

La concentración de la solución clara es x y la relación sólido insoluble/solución es IV Sea el sólido insoluble no adsorbente. Si esta mezcla se deja sedimentar, como en un tanque sedimentador por lotes, el líquido claro que puede separarse estará representado por el punto R; el lodo restante será el sólido insoluble suspendido en una pequeña cantidad de la solución. La composición de la solución en la suspensión será la misma que la del líquido claro separado, de forma que $y^* = x$.

La concentración del sólido B en la lechada NE1 dependerá del tiempo δr que se dejó sedimentar, de modo que el punto Er representa la suspensión. La línea E,R , es una línea de unión vertical que une los puntos que representan las dos corrientes efluentes, líquido claro y suspensión. Si las circunstancias

descritas se mantienen en una lixiviación real, los puntos E , y R pueden tomarse como las condiciones prácticas de equilibrio para esa lixiviación.

Figura 37. Concentraciones en la lixiviación y lavado.



Fuente: Treybal, Robert E. **Operaciones de Transferencia de Masa**. Segunda Edición. México. 1988. pp 824.

Claramente, si se da menos tiempo para la sedimentación, por ejemplo O_2 , los lodos estarán menos concentrados en sólidos insolubles y se pueden representar por el punto E_1' . Habrá algún valor máximo de N para el lodo, valor que corresponde a la altura final sedimentada del lodo, de acuerdo con la descripción de la sedimentación por lotes que se dio antes; sin embargo, en la práctica generalmente se da muy poco tiempo para lograrlo. Puesto que la concentración de sólido insoluble en un lodo sedimentado por cierto tiempo depende de la concentración inicial en la lechada, una mezcla M , sedimentada durante un tiempo δ en el punto r puede producir un lodo que corresponda al punto E_2 .

Si el sólido no se sedimenta hasta dar una solución absolutamente clara, si se separa demasiada solución del lodo sedimentado de forma que acarree una pequeña cantidad de sólido, o si el sólido B se disuelve un poco en la solución, la solución separada estará representada por algún punto como Rz , ligeramente arriba del eje inferior de la grafica. Pueden interpretarse de modo similar las composiciones obtenidas cuando los sólidos húmedos se filtran o drenan de la solución en lugar de sedimentarse o cuando se espesan continuamente.

Las características de la sedimentación o espesamiento de una suspensión dependen, como se señal antes, de la viscosidad y densidad relativa del líquido en el cual el sólido está suspendido. Como estas dependen a su vez de la composición de la solución, es posible obtener datos experimentales acerca de cómo las composiciones de los sólidos espesados varían con la composición de la solución; estos datos se grafican sobre el diagrama como las condiciones practicas en el equilibrio. Sin embargo, es evidente que en cualquier caso se deben obtener en condiciones de tiempo, temperatura y concentraciones idénticas a las que se van a utilizar en la planta o proceso para las cuales se están haciendo los cálculos. En el caso de lechos drenados de sólidos impermeables, el equilibrio que corresponde a la saturación residual después de un tiempo largo de drenaje.

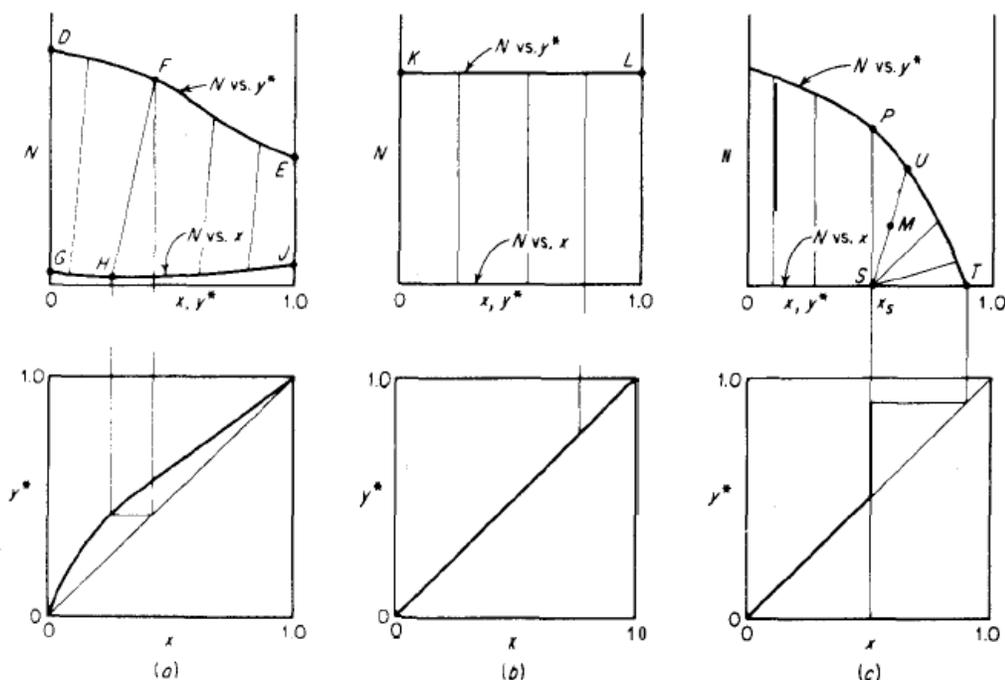
Los datos para un drenado a corto tiempo se deben obtener experimentalmente. En las operaciones de lavado en las que el soluto ya está disuelto, se logra una rápida concentración uniforme en toda la solución; por otra parte, es más probable que la reducción en la eficiencia de la etapa sea el resultado directo del drenado o sedimentación incompletos. Además, en la lixiviación de un soluto insoluble disperso a través del sólido, la disminución en la eficiencia de la etapa puede ser el resultado tanto de un tiempo insuficiente de contacto como de la separación mecánica incompleta del líquido y el sólido.

En este caso, es posible (aunque no necesario) distinguir experimentalmente entre los dos efectos; con este fin, se efectúan mediciones de la cantidad y composición del líquido retenido sobre el sólido después de un tiempo corto y después de un tiempo largo de contacto; este último se utiliza para establecer las condiciones en el equilibrio. Se analizarán algunos de los tipos de curvas en el equilibrio que se pueden encontrar.

La siguiente figura representa los datos que se pueden obtener cuando el soluto C es infinitamente soluble en el disolvente A, de forma que x y y pueden tener valores que van desde 0 hasta 1. O. Esto ocurre en el caso del sistema aceite de soya (C)-alimentación de soya (B)-hexano (A), en donde el aceite y el hexano son infinitamente solubles.

La curva *DFE* representa el sólido separado en las condiciones reales previstas para en la práctica, como ya se dijo. La curva *GHJ*, la composición de la solución separada, cae arriba del eje $N = 0$; en este caso, por lo tanto, o bien el sólido B es parcialmente soluble en el disolvente, o se ha separado un líquido incompletamente sedimentado. Las líneas de unión como la línea *FH* no son verticales; esto ocurrirá (1) si el tiempo de contacto con el disolvente de lixiviación no basta para disolver todo el soluto; (2) si hay adsorción preferente del soluto o (3) si el soluto es soluble en el sólido B y no se distribuye por igual entre la fase líquida y sólida en el equilibrio. Los datos pueden proyectarse en una gráfica de x VS. y , como en el caso de los equilibrios de adsorción o de extracción líquida.

Figura 38. Diagramas típicos en el equilibrio



Fuente: Treybal, Robert E. **Operaciones de Transferencia de Masa**. Segunda Edición. México. 1988. pp 825.

La figura 30 b representa un caso en que no hay adsorción de soluto; por eso, la solución separada y la solución asociada con el sólido tienen la misma composición y las líneas de unión son verticales. Esto arroja en la figura inferior una curva xy idéntica a la línea a 45°; un coeficiente de distribución m , definido como y^*/x , es igual a la unidad. La línea KL es horizontal; esto indica que los sólidos poseen el mismo grado de sedimentación o drenaje en todas las concentraciones de soluto. Es posible regular la operación de los espesadores continuos para que esto suceda; las condiciones se conocen como “flujo inferior constante”.

La solución en este caso no contiene sustancia B, ni disuelta ni suspendida. La figura anterior representa un caso en que el soluto C tiene una solubilidad limitada xS en el disolvente A. No se puede obtener una solución clara más concentrada que X; así que las líneas de unión que unen la suspensión y la solución saturada deben converger, como se muestra. En este caso, cualquier mezcla Ma la derecha de la línea PS se sedimentará para dar una solución saturada clara S y una suspensión.

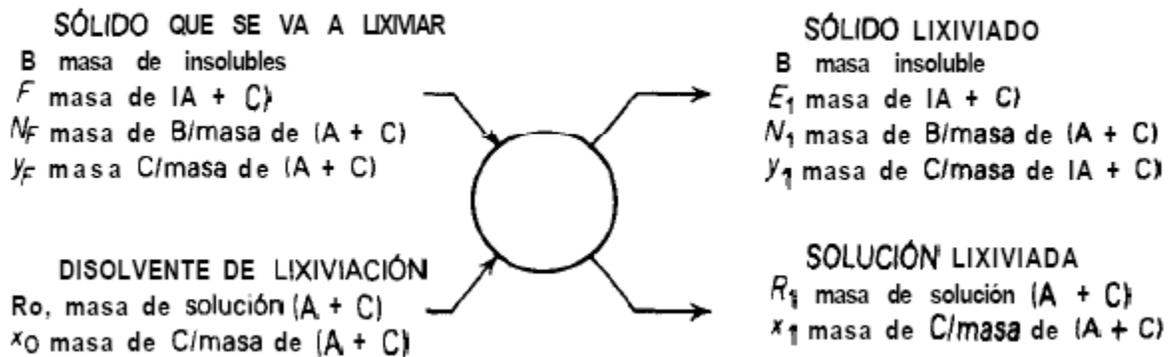
U cuya composición depende de la posición de M . El punto T representa la composición del soluto sólido puro después del drenado o de la sedimentación de la solución saturada. Puesto que las líneas de unión a la izquierda de PS son verticales, no hay adsorción y los líquidos derramados son claros. Obsérvese que las combinaciones de estas diversas características pueden aparecer en el diagrama de un caso real.

1.5.3.10.3 Lixiviación en una sola etapa

Considérese la lixiviación real o etapa de lavado simple de la figura 30. El círculo representa la operación completa, incluyendo el mezclado del sólido y del disolvente de lixiviación y la separación mecánica de las fases insolubles resultantes mediante cualquier recurso utilizable. Los pesos de las distintas corrientes se expresan como masa en una operación por lotes, o como masa/tiempo [o masa/área (tiempo)] para flujo continuo. Como para la mayoría de los fines el sólido B es insoluble en el disolvente y dado que se obtiene una solución de lixiviación líquida clara, el sólido B descargado en los sólidos lixiviados se tomará como el mismo que en los sólidos por lixiviar. Por definición de N,

$$B = N_F F = E_1 N_1 \quad (\text{ec. 10})$$

Figura 39. Lixiviación o lavado en una sola etapa



Fuente: Treybal, Robert E. **Operaciones de Transferencia de Masa**. Segunda Edición. México. 1988. pp 827.

Un balance de soluto (C), (ec. 11)

$$Fy_F + R_0x_0 = E_1y_1 + R_1x_1$$

Un balance de disolvente (A),

$$F(1 - y_F) + R_0(1 - x_0) = E_1(1 - y_1) + R_1(1 - x_1) \quad (\text{ec.12})$$

y un balance de la "solución" (soluto + disolvente),

$$F + R_0 = E_1 + R_1 = M_1 \quad (\text{ec. 13})$$

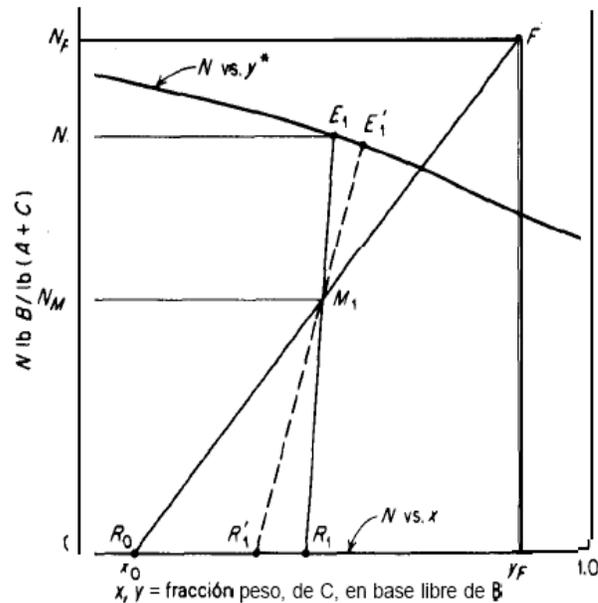
El mezclado de los sólidos que se van a lixiviar y el disolvente de lixiviación produce una mezcla de masa MI libre de B tal que

$$N_{MI} = \frac{B}{F + R_0} = \frac{B}{M_1} \quad (\text{ec. 14})$$

$$y_{M1} = \frac{y_F F + R_0 x_0}{F + R_0} \quad (\text{ec. 15})$$

Estas relaciones pueden mostrarse en el sistema de coordenadas de la siguiente figura. El punto representa el sólido por lixiviar y RO el disolvente de lixiviación. El punto MI, que representa la mezcla global, debe caer sobre la línea recta que une R_0 y F , de acuerdo con las características de estos diagramas descritas en el capítulo 9. Los puntos EI y R_1 que representan las corrientes efluentes, están ubicados en extremos opuestos de la línea de unión a través de MI; sus composiciones se pueden leer en el diagrama. La ecuación permite el círculo del paso de E , y la ecuación el de R_1 . La modificación para explicar la presencia de B en el líquido separado, que necesita un diagrama en el equilibrio del tipo mostrado en la figura a, se construye fácilmente por analogía con el problema correspondiente en la extracción líquida.

Figura 40. Lixiviación o lavado en una sola etapa



Fuente: Treybal, Robert E. **Operaciones de Transferencia de Masa**. Segunda Edición. México. 1988. pp 828.

1.5.3.10.4 Lixiviación en varias etapas a corriente cruzada

Mediante el contacto de los sólidos lixiviados con un lote fresco de disolvente de lixiviación, se puede disolver o eliminar soluto adicional del material insoluble.

Los cálculos para las etapas adicionales simplemente son repeticiones del procedimiento para una sola etapa, pero los sólidos lixiviados de cualquier etapa se convierten en los sólidos de alimentación para la siguiente. Se aplican

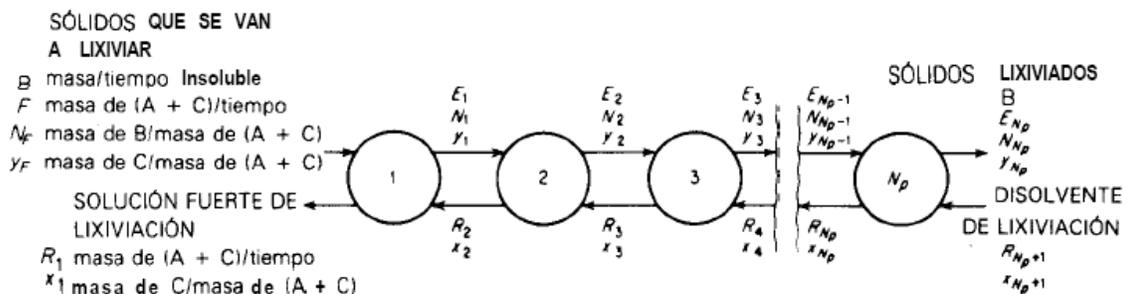
las ecuaciones basta hacer los cambios obvios en los subíndices para indicar las etapas adicionales.

Cuando deba determinarse el número de etapas para que el contenido de soluto de un sólido se reduzca hasta un valor dado, recuérdese que se esta trabajando con etapas reales, debido al uso de los datos “prácticos” en el equilibrio, y que por lo tanto el número que se va a encontrar debe ser entero. Tal vez requiera un ajuste por prueba y error ya sea de la cantidad de soluto que se va a lixiviar o de la cantidad y proporción de disolvente en las etapas.

1.5.3.10.4 Lixiviación en varias etapas a contracorriente

En la siguiente figura se muestra un diagrama de flujo general para la lixiviación o el lavado. La operación necesariamente debe ser continua para que predominen las condiciones de estado estacionario, aunque la lixiviación mediante el sistema de Shanks tenderá al estado estacionario después de muchos ciclos.

Figura 41. Lixiviación a contracorriente en varias etapas



Fuente: Treybal, Robert E. **Operaciones de Transferencia de Masa**. Segunda Edición. México. 1988. pp 830.

En el diagrama de flujo que se muestra, se supone que el sólido B es insoluble y no se pierde en la solución clara; empero, el procedimiento que se señala cominuación se modifica fácilmente para los casos en que esto no suceda.

Un balance de disolvente para toda la planta es

$$F + R_{N_p+1} = R_1 + E_{N_p} = M \quad (\text{ec. 16})$$

y un balance de la "solución" (A + C),

(ec. 17)

$$Fy_F + R_{N_p+1}x_{N_p+1} = R_1x_1 + E_{N_p}y_{N_p} = My_M$$

M representa la mezcla hipotética libre de B que se obtiene al mezclar los sólidos que se van a lixiviar y el disolvente de lixiviación. Obsérvese en la figura el diagrama de operación para la planta. Las coordenadas del punto M son

$$N_M = \frac{B}{F + R_{N_p+1}} \quad (\text{ec. 18})$$

$$y_M = \frac{Fy_F + R_{N_p+1}x_{N_p+1}}{F + R_{N_p+1}} \quad (\text{ec. 19})$$

Los puntos $E_{,,}$ y R_1 , que representan los efluentes de la cascada, deben caer sobre una línea que pasa a través de M; EN estará sobre la curva "práctica" en el equilibrio. La ecuación puede reordenarse y se obtiene

$$F - R_1 = E_{N_p} - R_{N_p+1} = \Delta_R \quad (\text{ec. 20})$$

En forma similar, un balance de la solución para cualquier número de etapas,

como las primeras tres, puede crear reglarse en la forma

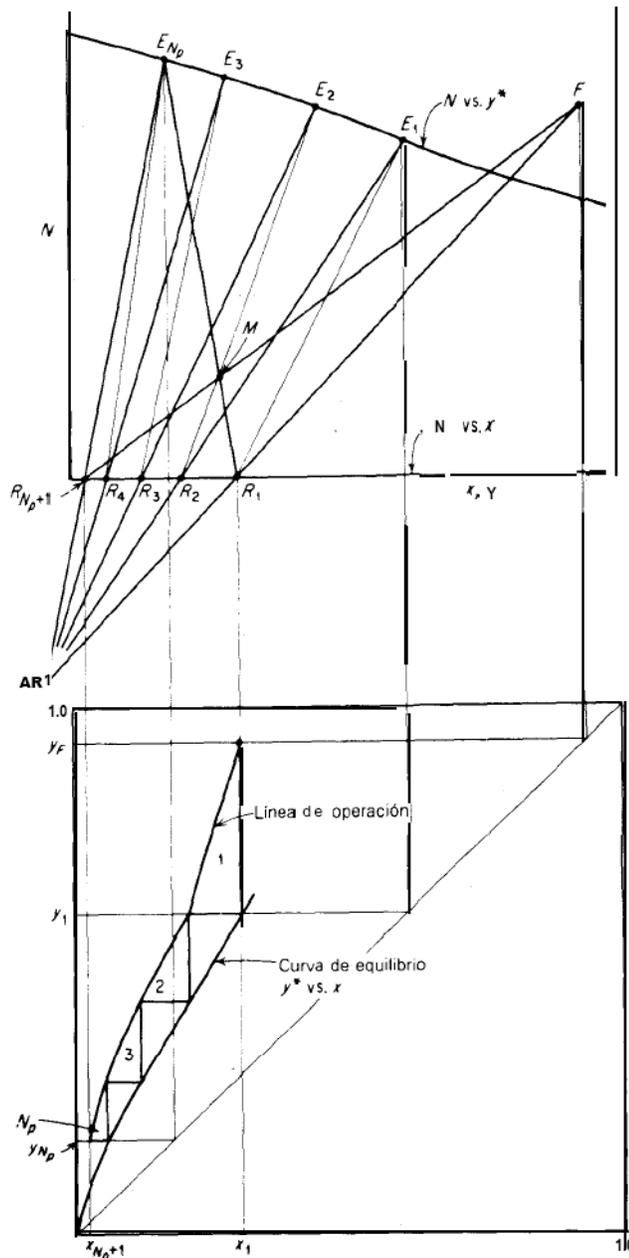
$$F - R_1 = E_3 - R_4 = \Delta_R \quad (\text{ec. 21})$$

Δ_R representa la diferencia constante en flujo $E - R$ (generalmente una cantidad negativa) entre cada etapa. En la figura 33 ésta puede representarse mediante la intersección de las líneas FR_1 , y $E_{Np} R_{Np + 1}$, extendida, de acuerdo con las características de estas coordenadas. Puesto que los efluentes de cada etapa se unen mediante la línea de unión práctica para las condiciones particulares que predominan, EI se encuentra en el extremo de la línea de unión a través de RI . Una línea desde E_1 hasta Δ_R da R_2 etc. En forma alternativa, se puede hacer la construcción por etapas sobre las coordenadas x , y en la parte inferior de la figura después de localizar inicialmente la línea de operación. Esto puede hacerse trazando líneas al azar desde el punto Δ_R y proyectando sus intersecciones con el diagrama en el equilibrio hasta la curva inferior de la forma usual. Entonces, la construcción escalonada común establece el número de etapas. Las etapas son reales y no ideales, puesto que se consideraron los datos prácticos en el equilibrio para la eficiencia de la etapa; por lo tanto, el número de etapas debe ser un número entero. En especial, cuando el número de etapas requeridas es la cantidad desconocida, será necesario que se ajusten por prueba y error las concentraciones de los efluentes o la cantidad de disolvente, para obtener un número entero.

Si la curva en el equilibrio de la figura 33 representa solo la ineficiencia de la separación mecánica del sólido y el líquido, y no la resultante debido al tiempo corto de contacto entre el disolvente y el sólido, debe considerarse el efecto de éste último, si se conoce, trazando una nueva curva en el equilibrio sobre las coordenadas x . y. Ésta debe localizarse entre la curva en el equilibrio mostrada y la línea de operación, a una distancia fraccionaria desde la línea de

operación que corresponde a la eficiencia de la etapa debido al corto tiempo de contacto, tal como se hizo antes para la absorción de gases y la destilación.

Figura 42. Lixiviación o lavado a contracorriente en varias etapas



Fuente: Treybal, Robert E. **Operaciones de Transferencia de Masa**. Segunda Edición. México. 1988. pp 832.

En el caso especial en donde predomina el “flujo inferior constante”, o valor constante de N para cualquier lodo, la línea de operación sobre el diagrama xy es recta y de pendiente constante R/E . Si además la curva práctica en el equilibrio en esta grafica es recta, de forma que $m = y^*/x = \text{constante}$, entonces se aplican las ecuaciones. Adaptando la primera a la situación presente,

$$\frac{y_F - y_{N_p}}{y_F - mx_{N_p+1}} = \frac{(R/mE)^{N_p+1} - R/mE}{(R/mE)^{N_p+1} - 1} \quad (\text{ec. 22})$$

se utiliza entonces $(N_p - mx_{N_p+1})/b - mN_p + 1$ como ordenada, R/mE como parámetro. Si además las líneas de unión del diagrama en el equilibrio son verticales, $m = 1$. O. La forma de la ecuación mostrada es la que se aplica cuando el valor de F para los sólidos de alimentación es el mismo que E , de forma que R/E es constante para todas las etapas, incluyendo la primera. Con frecuencia sucede, especialmente en el caso en que sólidos secos forman la alimentación, que la relación R_1/E_1 para la etapa 1 es diferente a la que corresponde al resto de la cascada. En este caso, debe aplicarse la ecuación (13.20) o la figura 5.16 a esa parte de la cascada, excluir la primera etapa y sustituir y_1 por y_F y N , por $N_p + 1$. En general, la ecuación o la grafica pueden aplicarse a cualquier parte de la cascada en donde tanto la línea de operación como la línea en el equilibrio sean rectas; esto puede ser particularmente útil cuando la concentración de soluto en la solución lixiviada es muy pequeña.

Al igual que en la extracción líquida y la absorción de gases, hay una combinación económica óptima de tratar la relación disolvente/sólidos, número de etapas y extensión de la lixiviación. Los cálculos de estas operaciones de separación por etapas están adaptados para utilizar la computadora digital.

1.5.3.10.5 Rapidez de la lixiviación

Los muchos fenómenos diversos que se encuentran en la práctica de la lixiviación hacen imposible aplicar una sola teoría para explicar la acción de lixiviación. Se ha mostrado que en la lixiviación puede intervenir el simple lavado de la superficie de un sólido, o la disolución de un soluto en una matriz de materia insoluble, ósmosis y posiblemente otros mecanismos, que se conocen muy poco.

Puede preverse que el lavado de una solución de la superficie de partículas sólidas impermeables sea rápido y que sólo requiera la mezcla de la solución y el disolvente; entonces, es probable que la eficiencia de las etapas dependa por entero de lo completa que sea la separación mecánica del líquido y el sólido. Por otra parte, la lixiviación de un soluto a partir de las partes internas de un sólido, puede ser relativamente lenta. Los sólidos formados por una estructura de sustancia insoluble, con los poros impregnados con el soluto, pueden describirse en función de un factor de la forma de los poros.

El factor es una función del sólido, independiente de la naturaleza del soluto y del disolvente y es una medida de la complejidad de la trayectoria a través de la cual se difunde el soluto. En el caso de productos naturales, como sustancias vegetales, la complejidad de la estructura puede dificultar la aplicación de estos métodos.

Por ejemplo, en el caso de las rebanadas de remolacha, aproximadamente una quinta parte de las células se rompen al formar las rebanadas, y la lixiviación de azúcar contenido en estas células es probablemente un simple proceso de lavado. Las células restantes pierden el azúcar por un proceso de difusión; la combinación de ambos hechos produce curvas en las coordenadas mostradas en la figura, que se desvían

considerablemente de las producidas por una simple difusión con difusividad efectiva constante o un factor de la forma de los poros. Se han considerado muchos mecanismos tratando de explicar estas observaciones .

En otro ejemplo, la madera muestra diferentes rapidezces de lixiviación de un soluto impregnante, según que la difusión sea en una dirección paralela o tangencial al grano de la madera . Si los solutos deben pasar por diálisis a través de las paredes celulares, quizá sea imposible aplicar estos conceptos.

La rapidez de difusión del aceite de soya a partir de hojuelas de soya, que no admite una interpretación sencilla, puede atribuirse a la presencia de diferentes tipos de estructuras en la matriz, lo mismo que a la presencia de un componente que se disuelva con lentitud en el aceite. Las semillas enteras no pueden lixivarse; el molido y la formación de hojuelas evidentemente rompen las paredes celulares y dejan paso a la penetración del disolvente por la acción capilar . El hecho de que la rapidez de lixiviación aumente al crecer la tensión superficial de las soluciones de disolvente-aceite y el hecho de que aun en las hojuelas de semillas haya un residuo de aceite que no se pueda extraer al aumentar el espesor de las hojuelas, apoya este punto de vista. El hecho de que el aceite lixiviado esté formado de diferentes sustancias, se deduce con claridad de las diferentes propiedades del aceite que se obtienen después de tiempos cortos y largos de lixiviación. Se ha propuesto un método para trabajar en forma diferente con estas sustancias lixiviadas; estos ejemplos sirven cuando menos para indicar la complejidad de muchos de los procesos prácticos de lixiviación, cuya mayoría se desconoce bastante. Cuando sólidos semejantes a los descritos arriba se sumergen en disolventes para la lixiviación, es razonable suponer que la resistencia a la transferencia de masa dentro del sólido será probablemente la resistencia controladora y que será mínima la del líquido que rodea al sólido. En estos casos, el aumentar la rapidez de

movimiento del líquido a través de la superficie del sólido no modifica apreciablemente la rapidez de la lixiviación.

1.5.3.10 Clasificación de la operación unitaria de separación sólido-líquido.

Figura 43. Clasificación de lixiviación

PROCESO	DEFINICIÓN
PERCOLACIÓN	Se procede a colocar el sólido en gran tamaño o si este está tritura en un soporte para sumergirlo en el disolvente o para hacer pasar disolvente sobre él.
COLADA	Se refiere a la percolación del líquido a través del un lecho fijo de sólido
EXTRACCIÓN	Se aplica a todas las operaciones de separación que utilicen métodos de transferencia de masa o mecánicos
MACERACIÓN	Proceso de extracción donde se pone un sólido triturado en contacto con un solvente; pudiendo se dinámica o estática.
DECOCCIÓN	Se refiere específicamente al uso de disolvente a su temperatura de ebullición, cuando se pone en contacto con el sólido.
ELUCIÓN	Se lleva a cabo cuando el material soluble está sobre todo en la superficie de un sólido insoluble y simplemente se lava con el disolvente.
LIXIVIACIÓN IN SITU	Se refiere a la circulación del disolvente mediante tuberías sobre y a través del cuerpo del sólido. Llamado también minería en solución.
LIXIVIACIÓN A LA INTEMPERIE	Utilizado en minería, los minerales sólidos con bajo contenido cuyo valor en mineral no garantiza el gasto de molienda o trituración. Puede lixiviarse en forma de rocas extraídas de la mina y colocadas en grandes montones sobre terreno impermeable; el licor de lixiviación se bombea sobre el mineral y se obtiene cuando sale del montón.

Fuente: Definiciones obtenidas de Treybal, Robert E. **Operaciones de Transferencia de Masa**. Segunda Edición. México. 1988. pp 832.

Figura 44. Clasificación por variable de proceso de lixiviación

PROCESO	VARIABLE DE PROCESO	CLASIFICACIÓN DE PROCESO
PERCOLACIÓN	Sólido y líquido estático	Estado Estacionario
	Sólido estático, líquido dinámico	Intermitente
	Sólido estático, líquido dinámico y en recirculación	Semicontinuo
COLADA	Sólido estático líquido estático	Estado No Estacionario Intermitente
EXTRACCIÓN	Sólido y líquido dinámicos	Estado No Estacionario
	Sólido y líquido estáticos	Intermitente Semicontinuo, continuo
MACERACIÓN	Sólido y líquido dinámicos	Estado No Estacionario
	Sólido y líquido estáticos	Intermitente Semicontinuo, continuo
DECOCCIÓN	Sólido y líquido dinámicos	Estado No Estacionario
	Sólido y líquido estáticos	Intermitente Semicontinuo, continuo
ELUCIÓN	Sólido estático, líquido dinámico	Estado No Estacionario Intermitente Semicontinuo, continuo
LIXIVIACIÓN IN SITU	Sólido estático, líquido dinámico y en recirculación	Estado Estacionario Intermitente Semicontinuo, continuo
LIXIVIACIÓN A LA INTEMPERIE	Sólido estático, líquido dinámico	Estado Estacionario Intermitente Semicontinuo, continuo

Fuente: Análisis obtenidas de Treybal, Robert E. **Operaciones de Transferencia de Masa**. Segunda Edición. México. 1988. pp 832.

1.5.4 Tamizado

Cribado o tamizado es la separación de una mezcla compuesta por sólidos de diversos tamaños de grano en dos o más porciones mediante una superficie tamiz que actúa como separador de tipo “aceptación y rechazo”, de tal manera que las porciones finales originadas en la separación estén constituidas por granos de tamaño más uniforme que en la mezcla original.

El material que permanece sobre la superficie de un tamiz determinado se denomina material superior; el material que atraviesa la superficie de tamiz se denomina material inferior; y el tamaño que pasa por una superficie tamizada pero queda retenido por la de siguiente tamaño se denomina material intermedio.

1.5.4.1 Mallas

Las telas de alambre se especifican en general, mediante la “malla”, que es el número de aberturas por pulgada lineal, a contar a partir del centro de cualquier alambre hasta un punto situado exactamente a 25,4 mm (1 pulgada) de distancia.

1.5.4.2 Paso

El paso, o tamaño de abertura de la malla, es el espacio libre mínimo entre los bordes de la abertura en la superficie del tamiz, y se expresa, por lo general en pulgadas o milímetros.

1.5.4.3 Área abierta (luz)

El área abierta de una malla es el porcentaje de aberturas reales respecto del área superficial total.

1.5.4.4 Serie Americana de Tamices (ASTM)

La American Society for Testing and Materials, en colaboración con el National Standards Institute, ha refinado las antiguas series fina y gruesa en una única serie ASTM *Tabla de Equivalencias entre la serie americana de tamices y la serie Tyler*. (Ref.6 , pag 19-23, tabla 19.6)

1.5.5 Filtración

Se denomina filtración a la operación de separación sólido- líquido que consiste en una separación física donde no existe transferencia de materia sino que lo que se da es una separación entre distintos estados de agregación.

La filtración es una operación unitaria donde se consigue la separación de los sólidos que se encuentran suspendidos en un medio líquido haciendo pasar la suspensión a través de un medio poroso, el cual va a retener las partículas sólidas dejando pasar el líquido. Los sólidos quedarán retenidos en función de su granulometría y según sea el tamaño de los poros.

El medio filtrante es la barrera que retiene los sólidos y deja pasar el líquido, puede ser un tamiz, una tela, un tejido de fibras, fieltro, membranas poliméricas o un lecho de sólidos. El líquido que atraviesa el medio filtrante se denomina filtrado.

Un proceso de filtración presenta diversas características que se han de tener en cuenta para clasificar el proceso y seleccionar el equipo adecuado. Los distintos criterios de clasificación que se siguen son de acuerdo a:

1.5.5.1 La fuerza impulsora de la filtración

- Gravedad
- presión o vacío
- centrífuga

1.5.5.2 El mecanismo de filtración

- Filtración por torta: si la proporción de sólidos es muy elevada, las partículas quedan retenidas en la superficie del medio filtrante estableciéndose gradualmente una torta de espesor creciente sobre el medio filtrante, con lo que en realidad la filtración se va a realizar a través de la torta. Por tanto la mayor parte de partículas se recogen en la torta filtrante y posteriormente ésta se separa del medio.
- Filtración en lecho profundo: la proporción de partículas sólidas es muy pequeña y con frecuencia su diámetro es menor que el de los poros del medio filtrante por lo que las partículas penetran hasta una profundidad considerable antes de ser atrapadas.

1.5.5.3 El objetivo

El objetivo de la filtración puede ser obtener un líquido clarificado, limpio de sólidos o bien el producto sólido lo más seco posible, es decir con la menor cantidad de líquido que se pueda conseguir. Otra finalidad de la filtración, por ejemplo en los tratamientos de aguas, es simplemente depurar el efluente para hacer posible su vertido.

1.5.5.4 El ciclo de operación

- Continuo
- Discontinuo

1.6 Fitoquímica

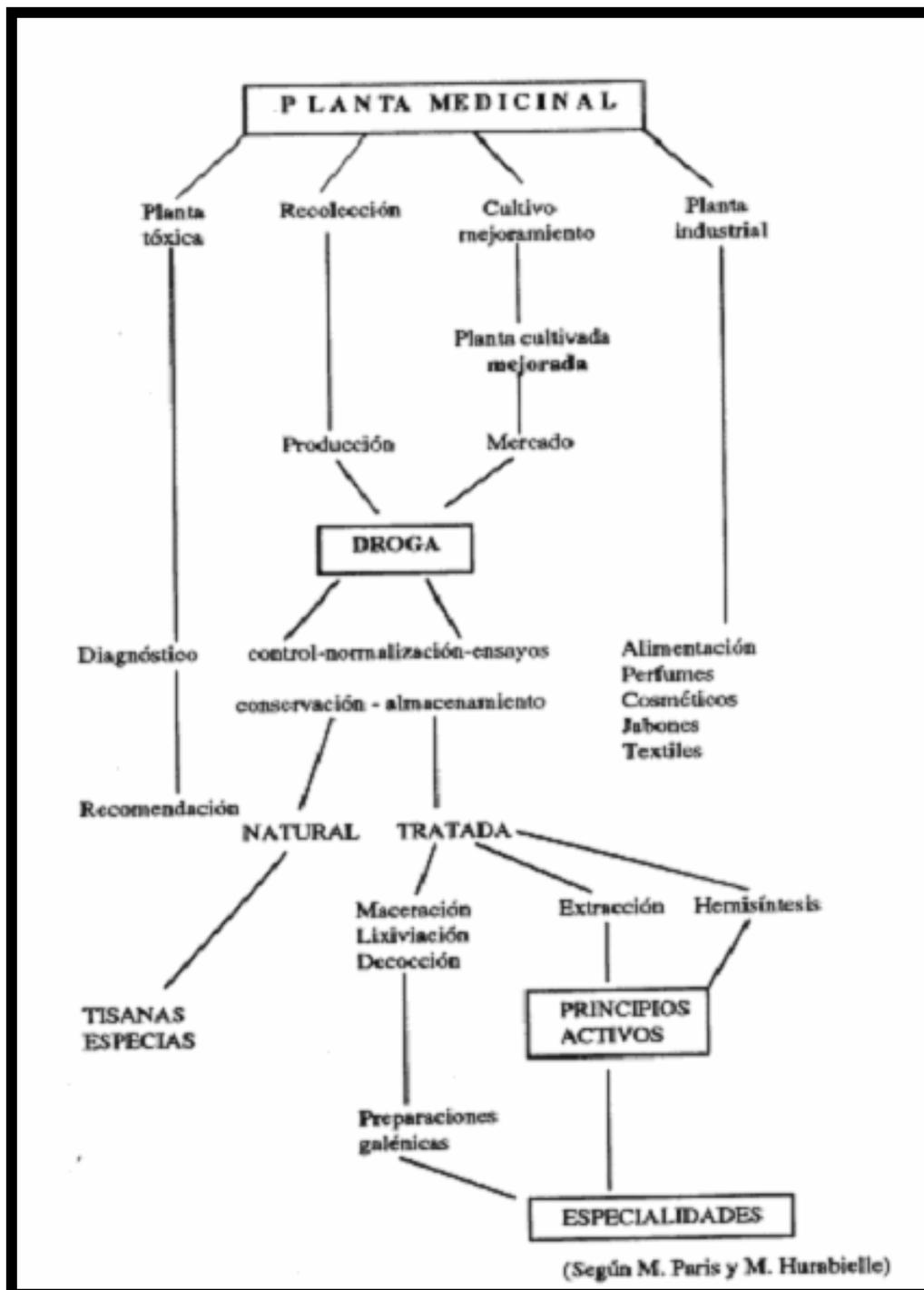
Este vocablo proviene del griego: otoq = planta o vegetal, literalmente significa: “Química de las plantas”. Estudio de las sustancias vegetales: extracción, separación purificación y determinación de las estructuras moleculares.

La fitoquímica permite resolver problemas en varias disciplinas científicas como la genética, fisiológica vegetal, taxonómica, reconocimiento de metabolitos secundarios.

La fitoquímica estudia los metabolitos secundarios extraídos de las plantas, para ello esta rama de la química enseña cómo aislar e identificar los principios activos de numerosos vegetales con importante actividad biológica, tal es el caso de las plantas medicinales.

En un sentido amplio la fitoquímica se interesa por el conocimiento de la historia, el comercio, la distribución y geografía, la botánica, el cultivo, recolección, selección, preparación y preservación, identificación y evaluación por todo tipo de métodos, la composición química y el análisis, la farmacología y el uso tradicional de los productos químicos derivados de los vegetales y sus derivados, con el propósito de mejorar la salud del hombre u otros animales. Todo tipo de drogas vegetales y otros productos naturales que tienen valor comercial por sus usos tecnológicos, incluyendo una variedad de productos de uso comercial, entre ellos: colorantes, aromas, condimentos, insecticidas, herbicidas, antibióticos, extractos alergénicos e inmunizantes biológicos, etc, son estudiados dentro de la disciplina.

Figura 45. Competencias de la fitoquímica



Fuente: ref : 18

1.7 Descripción de especies a estudiar

1.7.1 Caoba

Figura 46. Caoba



Fuente: ref :14

Familia: *MELIACEAE*

Nombre Común: *Caoba de Petén.*

Nombre Científico: *Swietenia macrophylla King.*

Edad: Árbol Adulto

Sinónimos : Chacalté (Maya) (Guatemala); Caoba de hoja grande, Caoba del Sur, Caoba del Atlántico, Cágano (América Central, México y Colombia); Mongno, Aguano, Araputanga (Brasil); Mahogany Honduras, Acajou du Honduras (Guadalupe); Oruba (Venezuela); Mara (Bolivia); Mahoni (Surinam). *Swietenia aubrevilliana*, *S. belizensis* Lundell, *S. candollei*, *S. krukoi*, *S. tassmanii*.

Esta especie ha sido explotada intensamente desde tiempos de la colonia, al extremo que el establecimiento de la colonia inglesa en Belice tiene su razón de ser debido a esta especie, de tal manera que fueron los ingleses los que iniciaron su explotación en el Norte de Guatemala, por ser una de las industrias

más importantes de ese entonces que se ha remontado hasta los tiempos actuales; en el comercio se le conoce como "Honduras" Mahogany: Caoba de Honduras. A los arboles cuya madera permite obtener las más bellas figuras se les ha denominado vulgarmente como "Coralillo" .

Presenta madera duradera, fuerte, fácil de trabajar y de una belleza extraordinaria, está entre las maderas más codiciadas del mundo. Por sus características únicas, sigue siendo una de las más comercializadas nacional e internacionalmente. Es una importante fuente de divisas para productores como Bolivia y Brasil y uno de los recursos naturales renovables más importantes de América Latina.

Históricamente, y en gran medida todavía, la caoba ha sido aprovechada mediante el método selectivo, extrayendo los árboles más grandes y rectos. Por ser un pionero longevo, en caobales maduros casi no hay árboles jóvenes. Por lo tanto, la remoción de los árboles grandes se convierte en un sistema no sostenible. La fijación de tamaños mínimos de corte es a veces presentada como manejo sostenible; no obstante, lo único que hace es posponer unos años más la eliminación permanente de la especie del rodal.

Caoba en general tiene un aspecto que la distingue en el campo, los árboles adultos suelen ser muy corpulentos, mas de un metro de diámetro a la altura del pecho, su fuste es derecho y tiene contrafuertes en la base que en algunos casos alcanzan mas de 2 metros de altura, sus ramas tienen un aspecto robusto cuyo color de la corteza casi no varía con relación al del fuste, la copa es brillante en su aspecto general.

Las hojas suelen ser brillantes y puede distinguirse la forma asimétrica de sus foliolos. Así como también los frutos son erguidos de color grisáceo hasta rojizo, miden mas de 10 cm de largo, lo que los hace muy conspicuos, están

colocados en los extremos de las ramillas; cuando los frutos caen quedan abiertos al pié del árbol, lo que ayuda para su identificación.

1.7.1.1 Descripción Botánica

Árbol de gran tamaño, de 30 a 60 metros de altura con el fuste limpio hasta los 25 metros de altura, los arboles adultos miden entre 75 a 350 cm a la altura del pecho.

Copa con diámetro de 14 m . Presenta ramitas gruesas de color castaño con muchos puntos levantados o lenticelas..

Fuste recto, libre de ramas en buena proporción, bastante cilíndrico , los contrafuertes pueden tener una altura de mas de 4 metros .

Corteza externa color café rojizo oscuro con muchas fisuras profundas a lo largo del fuste, la corteza interna es de un color rosado rojizo hasta cafésáceo (Aguilar, 1992). Sabor amargo .

Hojas alternas grandes, paripinnadas alternas de 20 a 40 cm de largo (Salas, 1993); pecioladas, portando de 6 a 12 foliolos delgados oblicuamente lanceolados por lo regular de 8 a 15 cm de largo y 2.5 a 7 cm de ancho, acuminados en el ápice, agudos o muy oblicuos en la base. Haz verde oscuro brillante y/o verde pálido .

Flores colocadas sobre panículas de 10 a 20 cm de largo o más, glabras; cáliz 2 a 2.5 mm de largo, lóbulos cortos, redondeados; 5 pétalos ovados de color blanco, 5 a 6 mm de largo; 10 estambres formando un tubo cilíndrico con dientes agudos o acuminados .

Fruto es una cápsula ovoide dehiscente, comúnmente de 6 a 25 cm de largo y 2 a 12 cm de diámetro, reducido hacia el ápice en punta, color pardo grisáceo,

lisa o diminutamente verrugosa, con 4 y 5 valvas leñosas de 6 a 8 mm de grueso; cada cápsula contiene entre 45 a 70 semillas esponjosas y frágiles .

Semillas sámaras, aladas, livianas, de 7.5 a 10.0 cm de largo por 2.0 a 3.0 cm de ancho, de color rojizo cafésáceo, sabor muy amargo .

1.7.1.2 Distribución

Es la especie del género que tiene el área de dispersión más extensa. Se distribuye naturalmente del Sur de México, vertiente del Atlántico en América Central hasta el Valle del Amazonas de Brasil y el Perú .

En Guatemala se encuentra distribuida en los departamentos de Petén, Quiché, Alta Verapaz, Izabal .

1.7.1.3 Ecología

Es una especie pionera longeva (pioneras especies que aparecen en el bosque y permanecen por muchos años). Aunque es heliófita, es tolerante a la sombra leve, propiedad que le permite desarrollarse bajo la sombra de pioneros iniciales como Balsa (*Ochroma pyramidale*) y Guarumo (*Cecropia* spp.). Se encuentra en pequeñas manchas en el bosque, frecuentemente separadas .

Se encuentra en las zonas de vida del Bosque húmedo y muy húmedo subtropical (cálido) y tropical.

Con respecto a la altitud esta crece en tierras bajas tropicales entre los 0 a 1,500 msnm de altitud.

Con precipitaciones promedio entre 1,000 y 3,500 mm .

Temperaturas promedio de 23 a 28°C.

La especie prefiere suelos profundos y ricos en materia orgánica. Su desarrollo óptimo ocurre en suelos franco arenosos a arcillosos, fértiles, con buen drenaje interno y externo, pH entre 6.9 a 7.8 .

1.7.1.4 Características de la madera

Se considera que la madera de esta especie es una de las mejor conocidas en el mundo, por lo que ha sido el patrón de comparación durante mucho tiempo para todas las otras especies en la fabricación de muebles.

Su madera es de duramen rojizo, rosado, salmón coloreada o de color amarillento cuando esta fresca poniéndose más oscura después de secarse al aire, la albura es delgada y de color amarillento .

Grano recto a ligeramente entrecruzado, algunas veces con abigarramientos de textura mediana .

De dureza de dura a moderadamente blanda y quebradiza.

Con respecto a Veteado es una figura atractiva.

Superficie brillante y lisa al tacto después de cepillada

Sabor dulce a insípido y de olor característico debido a los aceites y resinas que posee.

1.7.1.5 Usos de la Madera

La madera de Caoba debido a su belleza, alta durabilidad natural, fácil trabajabilidad y alta estabilidad dimensional corresponde al grupo de maderas denominadas de utilidad general y puede usarse en: Construcciones livianas y molduras, embarcaciones (cobertura, pisos); parquet doméstico, acabados y

divisiones interiores, muebles de lujo, gabinetes de primera clase, chapa plana decorativa, contrachapados, artículos torneados, cajas para joyas, instrumentos musicales , instrumentos científicos, fósforos, palillos, lápices .

Mueblería en general, ebanistería, esculturas, artesanías finas, puertas talladas, paneles, armería, juguetes educativos, pisos, utensilios domésticos .

1.7.2 Cedro

Figura 47. Cedro



Fuente: ref : 14

Familia: *MELIACEAE*

Nombre Común: *Cedro*

Nombre Científico: *Cedrela odorata* L.

Edad: Árbol Adulto

Sinónimos: *Cedrela angustifolia* Mocino & Sesse ex DC., *C. brounii* Loef. ex D. Kize, *C. fissilis* Vellozo, *C. guianensis* A. Juss, *C. longipes* Blake, *C. mexicana* Roem, *C. mexicana* var. *puberula* DC, *C. occidentalis* DC. & Rose, *C.*

sinteisii C. DC, *C. velloziana* Roem, *C. yucatanana* Blake, *Surcnus brounii* (Loefl. ex O. Ltz.) Ktze. *Culche* (Maya), *Culche* (México), *Cedro colorado* (El Salvador), *Cedro real* (Nicaragua), *Cedro amargo*, *Cedro blanco*, *Cedro Cóbano* (Costa Rica).

Esta especie cada día es mas preciada dado a que ya se ha puesto escasa, pues casi la mayoría de rodales naturales no tienen ejemplares con edad de corta, excepto en casos de Parque Nacionales, en donde esta restringido su corta; plantaciones parecen haber pocas. En el departamento de Petén su explotación intensiva data del año de 1900, cuando muchas compañías internacionales obtuvieron licencias para explotar esta especie y otra de la misma familia (*Swietenia macrophylla* King, llamada *Caoba*), se estima que el número de arboles explotados en ambas costas asciende a unos 100,000 de Cedro con diámetros mayores a un metro a la altura del pecho, con un monto de 500,000,000 de pies tablares números redondos todos

La característica peculiar de esta especie es su corteza hendida a lo largo del fuste, de color oscuro hasta moreno rojiza, con partes de la superficie blanquecina y brillante; el tronco suele ser recto, esbelto y con pequeños contrafuertes en la base; las hojas al estrujarlas despiden un olor amargo parecido al de los ajos, característica que se extiende al sabor de la madera.

Los árboles muy jóvenes tienen su corteza lisa y ligeramente blanquecina, también típico de su aspecto, las inflorescencias son péndulas y presentan los frutos abiertos en el ápice cuando han dejado salir la semilla, lo que ayuda a identificar la especie, el cedro es una especie muy conocida debido a que por más de 50 años lo precioso de su madera, que se exporta a otros países, ha constituido una de las principales fuentes de trabajo para muchas personas. Sin

embargo suele confundirse en el campo con otro árbol cuyo aspecto de fuste es muy parecido, éste se denomina comúnmente como Jobo (*Spondias mombin*).

1.7.2.1 Descripción botánica

Árbol de mediano a grande de 12 a 60 m de altura y con un diámetro a la altura del pecho de 60 cm a 2.5 m

Copa Ancha y redonda. Ramificaciones gruesas con lenticelas redondas en ramas jóvenes.

Fuste recto, bien formado, cilíndrico con contrafuertes en la base .

Corteza externa amarga y de color rojizo, profundamente fisurada . Interna color rosada, cambiando a pardo amarillenta. Posee olor a ajo y sabor amargo .

Hojas compuestas, alternas paripinadas y grandes, hasta de 1 m de largo . Peciolos de 8 - 10 mm. de largo, delgados, foliolos 10-30 opuestos, oblicuamente lanceolados, comúnmente de 4.5 a 14 cm de largo y 2.0 a 4.5 cm. de ancho, largamente acuminados, en la base de un lado anchamente redondeados y por el otro agudo (desigual) glabros o más o menos glabros o puberulentos en las venas del envés.

Flores masculinas y femeninas en la misma inflorescencia, colocadas en panículas terminales o axilares de 35 a 35 cm. de largo , los pedicelos de 1 a 2 mm. de largo, cáliz esparcidamente puberulento, los lóbulos agudos, pétalos oblongos de color crema verdoso, 5 a 6 mm de largo, agudos u obtusos, gelatinoso puberulentos, filamentos glabros .

Frutos en cápsulas con dehiscencia longitudinal septicida (se abre en cinco

carpelos), 4 a 7 cm de largo; es leñoso, color café oscuro, de superficie externa lenticelada y lisa; el fruto se desprende una vez liberadas las semillas; en estado inmaduro, poseen un color verde y al madurar se tornan café oscuro . Contiene un exudado blanquecino, con fuerte olor a ajo antes de madurar. Tiene de 20 a 25 semillas pequeñas y alargadas .

Semillas aladas, color pardo, elíptica, miden 1.2 a 4.0 cm de largo y entre 5 a 8 mm de ancho, con la parte seminal hacia el ápice del fruto; la testa es de color castaño rojizo; el embrión es recto, comprimido, color blanco o crema y ocupa gran parte de la cavidad de la semilla; tiene dos cotiledones grandes, planos, foliáceos, frondosos, ligeramente ovoides; la radícula es corta e inferior; estas semillas presentan una delgada capa de endospermo, triploide, firme, carnoso, amargo, blanco y opaco .

1.7.2.2 Distribución

Se distribuye desde el norte de México hasta el norte de Argentina, incluidas las islas del Caribe .

En Guatemala se le encuentra en los departamentos de Petén, Quiché, Alta Verapaz, Izabal, Baja Verapaz, San Marcos, Quetzaltenango, Retalhuleu, Suchitepéquez, Escuintla y Santa Rosa .

1.7.2.3 Ecología

Se desarrolla en las zonas de vida del Bosque seco subtropical, Bosque húmedo subtropical (cálido), Bosque muy húmedo subtropical (cálido) .

Se le encuentra desde el nivel del mar hasta 1,200 msnm con temperaturas promedio entre 20 a 32°C .

Precipitación entre 1,200 a 3,000 mm por año, con una estación seca de tres

a cuatro meses .

Se adapta a una gran variedad de suelos, principalmente bien drenados, de textura arenosa, franco arenosa y arcillosa.

1.7.2.4 Características de la madera

Es de Color duramen color marrón rosado con lustre áureo, albura color pardo amarillento , de olor fragante característico

Sabor levemente amargo. Grano derecho y algo vetado semejante a Caoba.

Textura mediana, figura compuesta por arcos superpuestos con reflejos dorados y satinados.

Brillo Superficie brillante y lisa al tacto, cuando esta cepillada y moderadamente dura.

1.7.2.5 Usos de la Madera

Los primeros colonizadores y Mayas la utilizaron por sus características principalmente para canoas y construcción de casas, pues es una madera que no es atacada por la polilla, también se uso desde los tiempos de la colonia intensamente para otros usos como muebles, gabinetes, etc., teniéndola como una madera muy fina y preciosa .

Fue motivo de gran exportación para madera de cajas para puros y cigarrillos desde el año 1800, hasta la fecha todavía se usa para cajas de perfumes y lociones de calidad; estos usos se le dieron por su fácil trabajo y

robustez con relación a su peso .

Puede usarse en acabados y divisiones interiores, muebles de lujo, chapa plano decorativas, artículos torneados, gabinetes de primera clase, ebanistería, puertas y ventanas, puertas talladas, contrachapados, botes (partes internas), molduras y paneles .

Palillo y cajas de fósforos, regular para la producción de pulpa para papel y carpintería .

Corresponde al grupo de maderas denominadas de utilidad general, puede ser utilizada para pisos .

Se le usa con frecuencia en Guatemala para ornamento y también como sombra de café y para hacer alamedas, pero a la fecha por su demanda en todos estos sitios ha sido cortada para el mercado y actualmente los arboles existentes son de diámetros no aprovechables .

La corteza puede servir como febrífugo contra la fiebre y en cocimiento de hojas y corteza para dolores y contra el paludismo .

En época de floración es visitada por las abejas .

1.7.3 Manchiche

Figura 48. Manchiche



Fuente: ref : 14

Nombre Científico: *Lonchocarpus castilloi*

Edad : Árbol adulto

Sinonimos: *L. costaricensis*: *Derris costaricensis* Donn. Smith. Pittier; *L. guatemalensis*; *I. darienensis* Pittier; *L. megalanthus* Pittier; *L. proteranthus* Pittier; *L. xuul* Lundell; *L. heptaphyllus*: *Amerimnon latifolium* Willd.; *Cytisus membranaceus* Sessé & Moc.; *Dalbergia heptaphylla* Poir.; *D. pentaphylla* Poir.; *L. belizensis* Lundell; *L. latifolius* (Willd.)H.B.K.; *L. pentaphyllus* (Poir.) Kunth ex DC.; *L. phaseolifolius*; *L. trifoliatus* Standl. ; *L. rugosus*: *Lonchocarpus apricus* Lundell.

Nombres comunes en Guatemala: Manchiche, manchuch, gusano y palo gusano.

La dureza y trabajabilidad de esta madera le hace tener usos similares a lo

largo de su distribución en América Central. Tradicionalmente, se venía usando para yugos y ejes de carretas. Hoy día, sus usos principales son aquellos donde no hace excesiva falta trabajar mucho la madera, como construcción en general y rústica, donde el acabado y niveles de carpintería empleados no sean muy elevados. También se aprecia como leña y para estacas y postes de cercas. En este último caso, a veces necesitan ser tratadas, dependiendo de la durabilidad. Tiene gran potencial para pisos industriales y decorativos, usando la adecuada tecnología. También se puede usar para mangos para herramientas. En general, es madera demasiado dura y pesada para contrachapado. Su madera es muy apreciada para embarcaciones de calado medio. Su corteza tiene una sustancia tóxica llamada rotenona, con propiedades insecticidas.

En Guatemala se encuentra distribuida en Quiché, Alta Verapaz e Izabal, pero principalmente en Petén.

Es un árbol de hasta 30-35 m de altura y 1 m de DAP. La dureza y el grano de su madera (oblicuo o muy irregular) la hace difícil de trabajar con máquina o con herramientas manuales. La textura de la madera áspera. Estas características la hacen muy resistente al ataque de insectos y a la descomposición.

1.7.4 Pucté

Figura 49. Pucté



Fuente: ref :14

Nombre Científico: *Terminalia Amazonia*

Edad: Árbol Adulto

Sinonimos: T.amazonia: Bucida angustifolia DC.; B. buceras var. Angustifolia (DC.). Eichler; Chuncoa amazonia J. F. Gmel.; Chuncoa obovata (Ruiz & Pav.) Steud.; T. odontoptera Van Huerck & Muell. Arg.T.lucida:lucida:T. firma Mart.; T. hayesii Pittier.

Nombre comunes en Guatemala: canchán, canxún, kanshan, pocte y pucte.

Es un árbol grande, ampliamente distribuido en el bosque lluvioso y altamente valorado por su madera de alta calidad. Junto con su crecimiento moderado, aun en suelos de mediana fertilidad, falta de plagas o patógenos serios hasta la fecha, y habilidad aparente a prosperar en rodales puros, es un buen candidato para plantar a altitudes bajas hasta medianas.

Es un árbol grande de hasta 50 m de altura (típicamente 20-35 m) y 1.5 m de DAP. Los árboles maduros típicamente tienen gambas grandes, con fustes limpios y cilíndricos a alturas de hasta 20 m. Corteza delgada, gris-café, con fisuras verticales. Hojas pequeñas (2 – 4.5 cm de largo) simples, puntiagudas, con márgenes enteros. Se concentran en las puntas de las ramas. Flores pequeñas, 6 mm de diámetro, verdes y ubicadas en espigas cuando los árboles están brevemente sin hojas, en los meses más secos del año. El fruto es alado (sámara), café-dorado cuando está maduro, de 1.5-2 cm de ancho, con dos alas grandes y tres de menor tamaño. Cada fruto contiene una semilla amarillenta, pequeña (2mm).

Produce una madera dura y durable, que es cotizada en los mercados nacionales e internacionales. Por su alta fortaleza y acabado atractivo, tiene diversos usos en construcción general, mueblería, pisos y construcción externa, incluyendo en durmientes para ferrocarriles y puentes. Se recomienda para mangos de herramientas, encofrados, puentes, pilotes, tarimas, pisos industriales, chapas parquet, barriles y puertas.

La corteza es rica en taninos y se utiliza para curar pieles de animales. También como ornamental atractivo a veces se encuentra en parques y áreas recreativas.

Tiene una amplia distribución natural desde el sur de México, a través de América Central hasta Brasil y Perú, incluyendo Trinidad. Es un componente de bosque lluvioso a lo largo de toda su distribución, y frecuente en bosques de galería (a la orilla de ríos).

1.7.5 Santa María

Figura 50. Santa María



Fuente: ref :14

Familia: *Guttiferea*.

Nombre Científico: *Calophyllum brasiliense*.

Nombre Común: *Santa María*.

Edad: Árbol Adulto

Sinónimos: *Calophyllum rekoy* Standl., *C. brasiliense* Camb., *C. chiapense* Standley, *C. antillanum* Brit. Standl.

Mario, María, Bari (Guatemala); Barí, Leche maría, Leche amarilla, Guaya, Barillo, Barilla, Cedro cimarrón, Gluaya (México); Palo María, Cedro María, Jaca (Centroamérica); Ocuje (Cuba), Bare, Barilla (República Dominicana); Dalemarie, Mara (Haití); Acuje, Calambuca (Colombia); Cachicamo, Polo rey rosado (Venezuela); Alfaro (Perú), Aca, Cupia (Brasil), Koerahara (Surinam).

1.7.5.1 Características de campo

Se le reconoce especialmente por su corteza que presenta fisuras en forma de diamante y que es de color pardo morena con algunas partes de color amarillo o amarillento, las fisuras suelen ser más oscuras y uniformes en el fuste de los árboles adultos, en los arboles jóvenes estas se presentan aisladas y pequeñas sobre la corteza que es más o menos lisa, lo mismo en las ramas de los árboles adultos. La corteza al corte produce látex de color amarillo y poco abundante. La base del fuste tiene en algunos casos contrafuertes pequeños.

Las hojas son simples y opuestas penninervadas, por esta característica suele confundirse con algunos géneros de las Sapotáceas, pero en este caso el látex es blanco y las hojas son alternas, también puede eventualmente confundirse con *Aspidosperma* de la familia Apocynaceae, pero también en este caso las hojas son alternas y el látex es blanco abundante o puede faltar. *Calophyllum* regularmente presenta sus hojas brillantes lo que hace distinguirlo a cierta distancia .

1.7.5.2 Descripción Botánica

Árbol grande, frecuentemente de 15 a 50 metros de alto y fuste de 0.5 a 1.8 m de diámetro a la altura del pecho.

Copa algo pequeña y extendida, las ramillas más o menos cuadrangulares o angostamente aladas, verdes .

Fuste recto, cilíndrico, algunas veces con pequeños contrafuertes en base, libre de ramas en sus dos terceras partes .

Corteza lisa o con fisuras en forma de diamantes, de color gris cafésácea, corteza interna de color café leve y con exudado de color amarillo limón o

simplemente amarillo de 6 a 12 mm de espesor. Presenta un exudado amarillo intenso.

Hojas simples, enteras, opuestas, decusadas, corto-pecioladas, variando de lance-oblongas a elípticas o ovovadas, en su mayor parte 8 a 15 cm de largo en las ramas fértiles pero en las estériles frecuentemente de 10 - 20 cm. de largo y de 2.5 a 5 cm de ancho, lustrosas, usualmente subagudas o corto-acuminadas, agudas en la base, las nervaciones laterales muy numerosas y colocadas muy juntas, paralelas. Haz color verde oscuro y envés verde pálido, ambas superficies glabras, peciolo de 1 a 2.5 cm de largo.

Flores en panículas racimosas, axilares y terminales en su mayor parte más cortas que las hojas, poco a mucho floreada, con un eje central de 3 a 9 cm de longitud, con 2 a 10 flores dióicas. Las flores masculinas de 4 a 8 mm de diámetro, con dos sépalos verdosos de 2.5 mm de largo, tres pétalos crema amarillentos de 4 mm de largo y numerosos estambres de 1 a 2.5 mm de largo; flores femeninas con el perianto semejante al de las masculinas, de 8 a 10 estambres, ovario supero unilocular, estilo corto y estigma obtuso.

Frutos en drupas globoso u oval 1 a 2.5 cm en diámetro y 2.5 a 3.0 cm de largo, de color verde pálido, amarillento en la madurez, conteniendo una sola semilla . Olor fragante, exocarpo coriáceo, mesocarpo carnoso con abundante látex amarillento, endocarpo delgado.

Semilla ovoide o esférica, de 10 a 15 mm de largo, testa color crema, suave, esponjosa de 1 mm de grosor. El embrión es recto, de color blanco o amarillo crema y ocupa toda la cavidad de la semilla; con dos cotiledones gruesos, carnosos, la radícula es corta y carecen de endospermo.

1.7.5.3 Distribución

Sudeste de México, Centroamérica, norte de América del sur en Perú y Brasil. También en las Antillas desde Cuba y Jamaica hasta Trinidad Indias Occidentales .

En Guatemala en los departamentos de Petén, Huehuetenango, Quiché Alta Verapaz, Izabal, Chiquimula, Jutiapa, Santa Rosa, Escuintla, Guatemala, Chimaltenango, Sololá, Suchitepéquez .

1.7.5.4 Ecología

Zonas de vida del bosque húmedo subtropical y bosque muy húmedo subtropical.

Tiene una Altitud desde 1 a 1,500 msnm.

Precipitaciones de 1,800 a 3,500 mm .

Temperatura de 24 a 28`C.

Con respecto a la fisiografía, crece bien en las faldas de pequeñas colinas. En América Central se halla en las faldas de colinas costeras. También se encuentra en planicies cercanas a ríos, lagunas y ciénagas, pero allí su crecimiento es menor.

Suelos aluviales, arcillosos o sílico arcillosos, muy húmedos o saturados de agua y ácidos (pH 4.5 a 6.0). Suelos ricos en hierro y aluminio, pero pobres en potasio y fósforo .

Con respecto ala Floración, la especie produce flores cada año. La mayor floración en gran parte del ámbito geográfico, tiene lugar entre junio y julio; en

Centroamérica se produce una segunda floración de noviembre a diciembre. En México, de julio a diciembre, en Honduras de febrero a marzo y de agosto a setiembre y en Costa Rica en mayo. La polinización es entomófila.

La producción de frutos es anual y se inicia cuando el árbol tiene aproximadamente 5 años de edad. La fructificación ocurre de octubre a diciembre en México, de marzo a abril y de setiembre a octubre en Honduras y, de diciembre a febrero y de junio a julio en Costa Rica. La diseminación de los frutos se realiza por animales silvestres, especialmente murciélagos.

1.7.5.5 Características de la madera

Muy similar a algunas caobas de las Filipinas, entre humedades relativas de 65 - 30% es más baja que todas las maderas duras usadas en los EEUU.

El color es madera de duramen color rosado, rojo ladrillo o rojizo rico y marcado por franjas más finas y levemente más oscuras sobre las superficies planas aserradas. Albura de color más claro y generalmente distinta del duramen (Aguilar), cuyo espesor fluctúa entre 3.5 y 6.5 cm, y la zona de transición entre albura y duramen esta bien definida .

Grano entrelazado con una franja amplia en las superficies cuarteadas .

Brillo ligero a mediano.

Textura media y uniforme.

Olor y sabor no característicos.

Veteado en bandas anchas longitudinales en las superficies radiales.

1.7.5.6 Usos de la madera

Es una madera ampliamente usada en los trópicos posiblemente después del Caoba y Cedro para mueblería en general, para embarcaciones y construcciones de lujo, se le ha usado para madera terciada como chapa en Guatemala. Fue usada por los Mayas para construcción.

También es usual como madera estructural, construcción interna y externa, carpintería en general, puertas, ventanas, pisos, gabinetes de primera clase, mangos de herramientas; forros, adornos, postes y estacas, artículos torneados, instrumentos musicales o parte de éstos; pisos para plataforma de camiones, carrocerías, peldaños de escaleras y pasamanos, juguetes, artesanías, durmientes de ferrocarril. Se considera buena en la fabricación de pulpa para papel.

Gabinetes, muebles finos, pisos, mástiles para barcos, postes, carpintería en general.

Se recomienda como sustituto de la caoba.

En combustible dado a que se quema despacio y por largo tiempo.

Uso Medicinal por incisión, la resma amarilla que exuda la corteza tiene uso medicinal (heridas, febrífugo, infusiones pectorales, etc.), el aceite de sus semillas sirve para el tratamiento de afecciones de la piel y las hojas pueden ser usadas en parches medicinales anti-inflamatorios y en infusiones para el asma y problemas estomacales.

2. METODOLOGÍA

2.1 Diseño de la Investigación

Se diseñó la investigación basándose en los lineamientos del método científico, el cual está sustentado por dos pilares fundamentales, el primero de ellos es la reproducibilidad, es decir, la capacidad de repetir un determinado experimento en cualquier lugar y por cualquier persona. Este pilar se basa, esencialmente, en la comunicación y publicidad de los resultados obtenidos. El segundo pilar es la falsabilidad, es decir, que toda proposición científica tiene que ser susceptible de ser falsada, esto implica que se puede diseñar un experimento que en el caso de dar resultados distintos a los predichos negarían la hipótesis puesta a prueba.

Enmarcada la investigación en la definición que le dió Francis Bacon , se apoya en:

- Observación
- Inducción
- Hipótesis
- Probar la hipótesis por experimentación.
- Demostración o refutación (antítesis) de la hipótesis.
- Conclusiones.

2.2 Recursos para la investigación

2.2.1 Recursos logísticos

2.2.1.1 Localización de materia prima

La corteza de caoba y cedro fue proporcionada por la Sociedad Civil Árbol Verde perteneciente a la Asociación de Cooperativas Forestales de Petén (ACOFOP), ubicada en el caserío El Caoba, perteneciente al municipio de Flores, departamento de Petén.

La corteza de Manchiche y Santa María fue proporcionada por la Sociedad Civil Custodios de la Selva perteneciente a la Asociación de Cooperativas Forestales de Petén (ACOFOP), ubicada en el municipio de Melchor de Mencos, departamento de Petén.

La corteza de Pucté fue proporcionada por la Sociedad Civil localizada en Betel perteneciente a la Asociación de Cooperativas Forestales de Petén (ACOFOP), ubicada en el municipio de La Libertad, departamento de Petén.

El Municipio de Flores se encuentra situado en la parte noreste de el departamento de Petén, en la Región VIII. Se localiza en la latitud $16^{\circ} 55' 45''$ y en la longitud $89^{\circ} 53' 27''$. Se encuentra a una altura de 127 metros sobre el nivel del mar, por lo que generalmente su clima es cálido. Cuenta con una ciudad: la cabecera departamental Flores, 4 aldeas, 28 caseríos y 13 parajes.

El Municipio de Melchor de Mencos, está localizado de la siguiente manera: Al norte colinda con México en el paralelo $17^{\circ} 49'$ al Sur colinda con el Municipio de Dolores en el paralelo $16^{\circ} 49'$

al este colinda con Belice en el Meridiano 89° 09' al oeste colinda con el Municipio de Flores en el Meridiano 89° 20'. El Municipio de Melchor de Mencos, Petén, está compuesto por 6 aldeas, 31 Caseríos y 5 parajes.

Los suelos de Melchor de Mencos se encuentran dentro del grupo II Suelos de los bosques, encontrándose dentro de este grupo las series Yaxhá (Yx), Yaloch (Ya), Macanche (Ma), Joljá (Jo) y Mopàn (Mo). La vegetación está compuesta por un bosque denso, característicos de los bosques subtropicales, se tienen estimado que aproximadamente 17 especies son de valor comercial. Cuenta con un clima cálido en extremo y húmedo, fresco por las constantes corrientes de aire que de todas direcciones se perciben durante el año.

La temperatura máxima y mínima del Municipio oscilan entre 37°C y 14°C respectivamente siendo la media 25.5°C, temperaturas más marcadas en los meses de marzo a mayo con una altura de 95 metros sobre el nivel del mar (msnm). La precipitación anual ha sido de 3.100 mm . Anuales distribuidos en 212 días al año.

El municipio de La Libertad pertenece a la Región Alta que corresponde a las montañas Mayas en la parte oeste del departamento, la de mayor elevación en el mismo, siendo las condiciones climáticas más favorables para el establecimiento de la ganadería y colonias agrícolas.

Los Municipios: Flores, La Libertad y Melchor de Mencos pertenecen a la región fisiográfica denominada Cinturón Plegado del Lacandon conocida también como Arco La libertad, esta zona es el resultado de plegamientos los cuales son de corto intervalo y gran frecuencia que se percibe mejor en la propia tierra de Lacandón y forman un arco que es cóncavo hacia las montañas mayas en el este.

El clima de esta zona en base a la clasificación de clima de Thornthwaite es cálido con una temperatura promedio de 23.9°C. Con invierno benigno, húmedo sin estación seca bien definida. La época lluviosa dura alrededor de 9 meses.

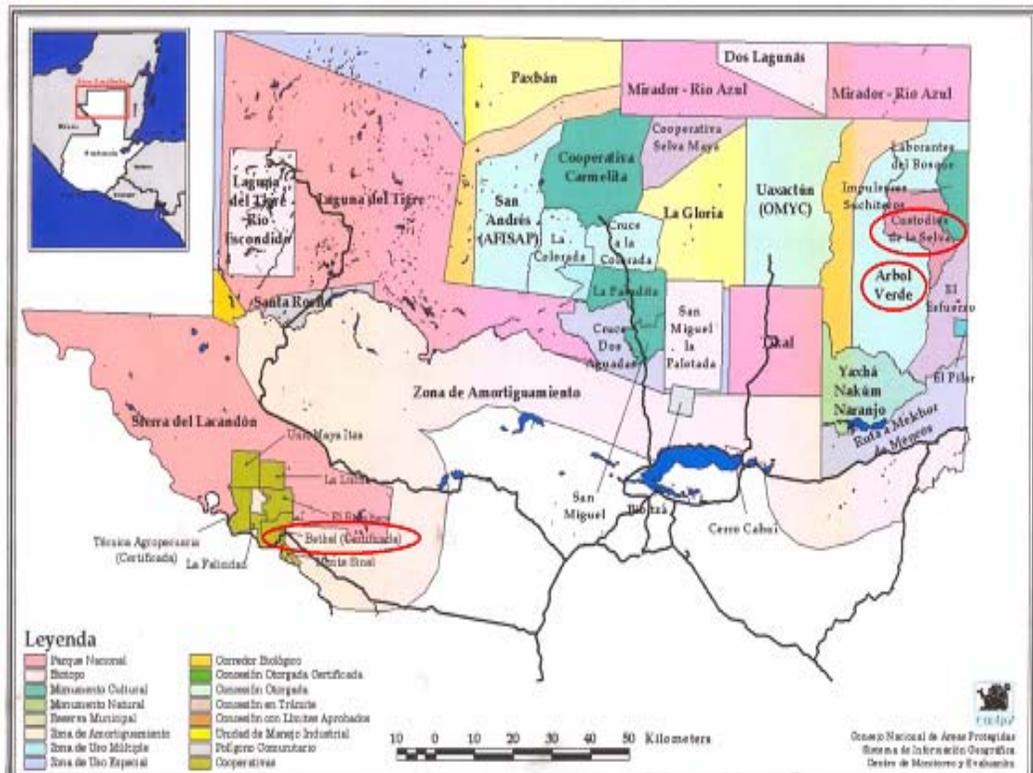
En hidrología tiene una vertiente del golfo de México con una Área de 50,803 km².

La clasificación de suelos es arcilla = 0 - 24 cm de profundidad. El Génesis de los suelos de esta zona están desarrollados sobre rocas calcáreas a elevaciones bajas. La mayor parte de los suelos son jóvenes, arcillosos, café gris, muy oscuros de reacción casi neutra. Existen áreas extensas de Molisoles (Rendizinas). Los Suelos de las sabanas están principalmente maduros, tienen subsuelos arcillosos café rojizos fuertemente ácidos. Existen extensas áreas de vertisoles (Gumosoles)

La susceptibilidad a la Erosión es muy grande o alta con un área 32,691 Km², constituye el 30.1% de todo el país. La zona de vida vegetal está clasificada de tropical a seca.

Esta región conocida como Tierra baja del norte y del Petén es la región faunista de vida silvestre más importante del país no solo por su extensión territorial sino por sus condiciones físico naturales. El potencial que estas condiciones producen sirve de refugio a la mas abundante fauna silvestre.

Figura 51. Mapa de localización de materia prima, Departamento de Petén.



Fuente: ref # 13

2.2.1.2 Localización experimental

La parte experimental de la investigación se realizó en las siguientes instalaciones:

1. Laboratorio de la Sección de Química Industrial del Centro de Investigaciones de la Facultad de Ingeniería de la USAC.
2. Laboratorio de Investigación de Productos Naturales, LIPRONAT, de la Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia de la USAC.

3. Laboratorio del Área de Química de la Escuela de Ingeniería Química de la Facultad de Ingeniería de la USAC.
4. Secador Solar, Facultad de Agronomía de la USAC.

2.2.1.3 Recursos Humanos

Investigador: Br. Natalia Cristina Espinal Corrales
Asesora: Inga. Qca. Telma Maricela Cano Morales
Co-Asesor: Ing.For.Msc. José Mario Saravia Molina

2.2.1.4 Material y Equipo

2.2.1.4.1 Materia prima

Corteza de caoba, corteza de Santa Maria, corteza de pucté, corteza de Manchiche y corteza de cedro con tamaño de partícula que pasa tamiz No . 50 y retenida en tamiz No. 60.

2.2.1.4.2 Cristalería

- Beakers 600 mL
- Earlenmeyers 1000 mL tipo Pyrex
- Micro pipetas
- Probetas graduadas 1000 mL
- Perlas de ebullición
- Varillas de agitación

- Viales 250 mL
- Tubos de ensayo
- Condensador
- Balon Fondo Plano
- Balon de Aforo

2.2.1.4.3 Equipo

- Balanza Analítica

Marca: Adventurer

Serie: G1231202040133

Voltaje: 8 -14.5 V

Frecuencia: 50/60 Hz

Máxima Capacidad: 150 g

Lectura Mínima: 0.001 g

Hecha en USA



Figura 52. Balanza Analítica

fuelle: Laboratorio Química,
Escuela de Ingeniería Química

- Balanza de Humedad

Marca: Boeco

Serie: 16204490

Voltaje: 230 V

Frecuencia: 50/60 Hz

Máxima Capacidad: 150 g

Lectura Mínima: 0.001 g

Hecha en Alemania



Figura 53. Balanza de Humedad

fuelle: Laboratorio Química,
Escuela de Ingeniería Química

- Bomba de vacío

Marca: Gast

Modelo: O523-VAFG588DX

Voltaje: 100 -115 V

Frecuencia: 50 Hz

Potencia: ¼ Hp

Revoluciones: 1725/1425 rpm

Hecha en Michigan, USA

Figura 54. Bomba de Vacío



fuelle: Laboratorio Quimica

Escuela de Ingenieria Quimica

- Molino

Marca: DEL KYRIOS

Modelo: Motovario 5.4Az112M4

Voltaje: 240-480 V

Frecuencia: 60 Hz

Hecho en Italia

Figura 55. Molino de Martillos



fuelle: Planta Piloto,

Escuela de Ingenieria Quimica

- Maquina Tamizadora

Marca:Sound Enclosure W.S. TYLER

Modelo: R- 30050

Hecho en Estados Unidos

Figura 56. Tamizadora



fuelle: Planta Piloto, Escuela de Ingenieria Quimica

- Plancha de calentamiento

Marca: CORNING

Modelo: PC-620

Voltaje: 120 V

Frecuencia: 60 Hz.

Potencia: 1113 W.

Hecha en Estados Unidos

Figura 57. Plancha de Calentamiento



fuelle: Laboratorio Quimica,
Escuela de Ingenieria Quimica

- Refractómetro

Marca: Abbe

Modelo: 32200

Rango de Temperatura: 0 a 70° C

Precisión: ± 0.0002

Rango de Medición: 1.3000 – 1.7000

Figura 58. Bomba de Vacio



fuelle: Laboratorio Quimica,
Escuela de Ingenieria Quimica

Refrigeradora

Marca: Daewoo

Modelo: FR-147RV

Voltaje: 115 - 120 V

Frecuencia: 60 Hz.

Amperaje 1.1 A

Refrigerante: R-134^a

Hecha en Korea

Figura 59. Refrigeradora



fuelle :Planta Piloto,
Escuela de Ingenieria Quimica

Figura 60. Secador Eléctrico

- Secador Eléctrico



fuelle: Laboratorio Química,
Escuela de Ingeniería Química

2.2.1.4.4 Reactivos

- Agua desmineralizada marca Salvavidas
- Ácido Clorhídrico Fumante al 34.5%
- Cloruro Férrico grado Reactivo
- Cloruro de Sodio
- Formaldehído al 35%
- Indicador Índigo de Carmín
- Permanganato de Potasio Titrisol
- Sulfito de Sodio Anhidro 2%

2.2.1.4.5 Útiles de Oficina y enseres

- Papel bond tamaño carta
- CD's
- Impresora
- Lapiceros
- Bitácora de trabajo

- Masking Tape
- Etiquetas
- Tijeras
- Mascarillas
- Guantes
- Recipientes plasticos
- Bolsas Plasticas

2.2.1.5 Transporte

Se realizaro un viaje a el departamento de Petén con duración de 4 dias para recolectar las muestras en los tres diferentes municipios. El transporte de la materia prima desde las Asociaciones Comunitarias Forestales de Petén hasta las instalaciones de el Secador Solar de la Facultad de Agronomía de la Universidad de San Carlos de Guatemala se realizo en un Pick up doble cabina 4 cilindros 858-BBK de el Centro de Investigaciones de la Facultad de Ingeniería, el cual es marca Nissan con capacidad de 1.5 toneladas y recorre 35 Km/galón .

2.2.2 Recursos Financieros

2.2.2.1 Grupo de Investigadores Proyecto Fodecyt 105-2006.

Transporte, Hospedaje y Alimentación por 4 días en viaje a recolecta de Materia Prima a el departamento de Petén.

**2.2.2.2 Asociación de Comunidades Forestales de Peten
-ACOFOP-**

- Corteza Caoba
- Corteza Cedro
- Corteza Manchiche
- Corteza Santa Maria
- Corteza Pucte

**2.2.2.2 Centro de Investigaciones de la Facultad de Ingeniería,
Sección de Química Industrial y Planta Piloto. Universidad
de San Carlos de Guatemala.**

- Equipo
- Reactivos
- Cristalería
- Energía Eléctrica
- Agua

**2.2.2.3 Facultad de Agronomía de la Universidad de San Carlos
de Guatemala.**

- Secador Solar

2.2.2.4 Estudiante

- Servicio de análisis de Tamizaje Fitoquímico.
- Útiles de oficina

2.2.3 Recursos políticos

La realización del presente trabajo de graduación está enmarcado en el ámbito político socio-económico de nuestro país. Formando parte del Proyecto de Investigación Fodecyt 105-2006 denominado “Evaluación del Potencial Curtiente de 5 especies forestales nativas de la Biosfera Maya”. El cual esta coordinado por el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología . Dicho Proyecto está siendo ejecutado por Investigadores del Centro de Investigaciones de la Facultad de Ingeniería y de la Facultad de Agronomía de la Universidad de San Carlos de Guatemala.

El Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología -CONCYT-, es el Órgano Rector en el campo del desarrollo científico y tecnológico del país, y le corresponde la promoción y coordinación de las actividades científicas y tecnológicas que realice el Sistema Nacional de Ciencia y Tecnología -SINCYT- ; tiene bajo su responsabilidad la conducción adecuada del Sistema a través de la preparación ejecución y seguimiento del Plan de Desarrollo Científico y Tecnológico y su correspondiente programa de trabajo.

2.2.4 Recursos Culturales

Las 5 especies forestales a estudiar son procedentes del departamento de Petén, el cual se caracteriza porque posee una biodiversidad biológica , una riqueza cultural multi-étnica y cuenta con innumerables alternativas de manejo de recursos naturales. Conformando así un patrimonio ecológico que se ha convertido en uno de los centros mas interesantes para el turismo mundial.

Las especies forestales están localizadas en los municipios de Flores, La Libertad y Melchor de Mencos. Estos pertenecen a las 99 áreas protegidas del país. Para poder tener acceso a las 5 especies forestales se cuenta con el apoyo de la Asociación de Comunidades Forestales de Petén –ACOFOP-. Ente

que proporcionó la materia prima a estudiar.

ACOFOP es una organización de base comunitaria, dinámica, que busca la integración socio-productiva local, que impulsa el ecodesarrollo y el empoderamiento de las comunidades indígenas y campesinas, basados en sus experiencias, como respuesta práctica a la vulnerabilidad socio- ambiental y cultural de la región Centroamericana.

2.3 Diseño del experimento.

Se realizó un experimento con 2 tratamientos y cinco repeticiones en un diseño completamente al azar. La unidad experimental se constituye por porciones de 50 g de corteza previamente molida y tamizada con tamiz numero 50 retenida en tamiz numero 60.

El tamaño del tratamiento de extracción por el método de extracciones sucesivas tiene una relación corteza/solvente (w/w) de 1:6, con tiempo de extracción de 45 minutos a una temperatura máxima de 70 °C.

Las variables de respuesta fueron: el rendimiento en peso de extracto total y el rendimiento de contenido de taninos en el extracto total.

Para la evaluación estadística el análisis de resultados se realizó mediante el siguiente modelo:

$$Y_{ij} = \mu + \alpha_i + \epsilon_{ij}$$

Donde:

Y_{ij} = es la variable respuesta rendimiento de extracto total y contenido de taninos en el extracto total , medida en la j-ésima repetición de la i-ésima especie.

μ = es el rendimiento promedio de extracto total o el contenido promedio de taninos en el extracto total.

α_i = el efecto de la i-ésima especie sobre el rendimiento de extracto total o sobre el contenido de taninos en el extracto.

ε_{ij} = el efecto de todos los puntos de variación no controladas en el experimento, llamado error experimental.

$$F = \frac{S^2_{\text{entre especies}}}{S^2_{\text{dentro especies}}}$$

Si $F \geq F_{\alpha, l}$ Se rechaza la H_0

2.4 Metodología experimental

2.4.1 Secado de materia prima

Para llevar a cabo el secado de la materia prima, se colocó el lote de corteza de madera en el secador solar ubicado en la Facultad de Agronomía de la USAC. Se monitoreo para cada especie la humedad día de por medio hasta estabilizarse a un valor menor al 10%, valor requerido para el proceso de molienda.

2.4.1.1 Determinación de humedad de materia prima

1. Se toma una muestra de materia prima y se coloca dentro de la balanza de humedad.
2. Se anota la lectura de humedad hasta que la humedad sea constante.

2.4.2 Molienda de materia prima

Se coloca la materia prima en el molino con un tamiz de tamaño de partícula de 4,76 mm.

2.4.3 Tamizaje de materia prima

1. Se coloca la materia prima molida que pase de un tamiz número 50 para ser retenida en un tamiz número 60. Con tamaño de partícula de 0,250 mm a 0,297 mm.

2. Se programa la máquina tamizadora por un tiempo de 10 minutos.
3. Se almacena la materia prima tamizada en un recipiente que la aisle de la humedad.

2.4.4 Método de extracciones sucesivas para obtener el extracto total.

Utilizar relación 1:6 de material vegetal/solvente de extracción (w/w) para Caoba, Cedro, Pucte y Manchiche. Para Santa Maria utilizar relación 1:7 (w/w).

1. Colocar 50 g de corteza seca en un earlenmeyer de 1000 mL de capacidad con agitador y agregarle 294 g de Sulfito de Sodio al 2%.
2. Mantener la temperatura a 70 °C con agitación por 45 minutos.
3. Luego se procede a filtrar la fase I , utilizando la técnica de filtrado al vacío.
4. El residuo se vuelve a someter a una segunda extracción, agregándole igual cantidad de solvente a 70°C y manteniendo así por 45 minutos.
5. Luego se procede a filtrar la fase II, utilizando la técnica de filtrado al vacío.
6. El residuo se vuelve a someter a una tercera extracción, agregándole igual cantidad de solvente a 70°C y manteniendo así por 45 minutos.
7. Luego se procede a filtrar la fase III , utilizando la técnica de filtrado al vacío.
8. El residuo de corteza se desecha.
9. Cada fase se calienta en un horno a temperatura no mayor de 70 °C, hasta total sequedad.
10. Se procede a pesar los residuos de los extractos totales.

2.4.5 Métodos para la caracterización de taninos, determinación de las propiedades fisicoquímicas de los extractos totales.

2.4.5.1 Determinación de densidad

La determinación de la densidad de los extractos totales líquidos se realiza con un picnómetro de 10 mL a temperatura de 20°C.

2.4.5.2 Determinación del índice de refracción

Se utilizó un refractómetro Abbe. Se limpia con Xilol y se vertió una gota del extracto total en el prisma, tomando nota de la lectura del aparato.

2.4.5.3 Identificación de Taninos, pruebas colorimétricas.

1. Utilizar 10 g de extracto total y colocarlo en un Erlenmeyer.
2. Añadir 25 mL de agua caliente al extracto, agitar con varilla y dejar enfriar.
3. Agregar 1 mL de solución de cloruro de sodio al 10% y filtrar.
4. Adicionar 3 mL del filtrado a 4 tubos de ensayo
5. Tubo 1: testigo
6. Tubo 2: Agregar 4 a 5 gotas de solución de gelatina al 1% (p/v).
7. Tubo 3: Agregar 4 a 5 gotas de gelatina-sal (1 % de gelatina y cloruro de sodio al 10%).
8. Tubo 4: Agregar 3 a 4 gotas de solución de cloruro férrico al 10% (p/v).
9. Observar la formación de precipitado y/o cambio de coloración. Con cloruro férrico: grisáceo-negro: catecol; negro-azulado: pirogalol.

2.4.5.4 Determinación de pH de una solución de extracto total.

1. Una solución de extracto sólido se prepara disolviendo una cantidad de extracto en agua caliente (ebullición) y luego se lleva a una temperatura de 10 – 20°C usando agua fría.
2. Se introduce el potenciómetro dentro de una muestra de solución preparada y se toma la lectura de pH.

2.4.5.5 Determinación de la solubilidad de extracto total en Agua.

1. Se disuelve 2 g de extracto total en 300 mL de agua a una temperatura de 30° C.
2. Se coloca la solución en un balón de 250 mL con condensador a reflujo por un tiempo de 48 horas.
3. Se filtra la solución con crisol gooch.
4. Luego se procede a realizar el calculo porcentual de solubilidad:

$$\% \text{ solubilidad} = [(W_1 - W_2) / W_1] \times 100 \quad \text{(ec.23)}$$

Donde:

W_1 = Peso inicial de extracto a solubilizar, en este caso 2 g

W_2 = Peso del extracto retenido después de la filtración.

2.4.6 Métodos para la determinación del porcentaje de taninos en el extracto total.

2.4.6.1 Método volumétrico Tara en Vaina para taninos de tipo hidrolizables.

1. Colocar 1 g del extracto total seco en un earlenmeyer de 1000 mL y disolverlo con 100 mL de agua destilada.
2. Luego transferir la solución a un balón de fondo plano y colocarla a reflujo por 4 horas.
3. En un earlenmeyer de 1000 mL colocar 12.5 mL de solución líquida tánica, agregarle 10 mL de indicador Índigo de Carmín y adicionar 375 mL de agua destilada.
4. Titular con Permanganato de Potasio Titrisol 0.1 N, hasta visualizar un color amarillo claro.
5. El residuo se desecha en un recipiente destinado para ello.
6. Preparar un blanco con agua, adicionando todos los reactivos en las mismas condiciones y titular sin la muestra.
7. Calcular el porcentaje de taninos en el extracto totalo por medio de la ecuación:

% Taninos

en el extracto = $\frac{[(0.1N(mlo-mlb)) \cdot (Pfg/\#e/1eq) \cdot (1eq/1000meq)]}{gcorteza} \cdot 100$

donde

mlo= mililitros utilizados de permanganato de potasio

mlb= mililitros de blanco obtenidos

Pfg= peso formula de gramos del tanino

#e = N{umero de electrones intercambiados (2e)

g corteza = 50 g o 50000 mg utilizados de corteza para obtención de extracto.

El punto de equivalencia de los miliequivalentes de KMnO_4 son iguales a los miliequivalentes de taninos, por lo tanto:

$$1 \text{ meq } \text{KMnO}_4 = 1 \text{ meq de tanino}$$

$$0.1 \text{ N (mlo - mlb)} = (4.2 \text{ mg tanino}/1000) * (\#e/\text{Pfg}) * (1000\text{meq}/1\text{eq}) * (12.5\text{mL}/100\text{mL})$$

$$\text{Pfg} = \frac{4.2\text{g tanino (2e)}(12.5\text{mL})}{0.1\text{N(mlo-mlb)}*100\text{ml}}$$

Obteniendose las ecuaciones:

$$\% \text{ Taninos en la corteza} = \left[\frac{(\text{mlo} - \text{mlb}) * 4.2 \text{ mg/ml } \text{KMnO}_4}{\text{mg corteza}} \right] * 100 \quad (\text{ec.24})$$

$$\% \text{ Taninos en el extracto} = \left[\frac{(\text{mlo} - \text{mlb}) * 4.2 \text{ mg/ml } \text{KMnO}_4 * 2e}{\text{mg extracto obtenido}} \right] * 100 \quad (\text{ec. 25})$$

La ecuación se obtuvo en base a los 50 g de muestra iniciales y a la siguiente relación 4.2 mg de tanino = 1ml *0.1N Permanganato de potasio.

2.4.6.1.1 Preparación del indicador índigo de carmín:

El índigo de carmín se prepara de la siguiente manera: disolver 6 g de reactivo en 500 mL de agua, calentar para que se disuelva, enfriar y agregar 50 mL de ácido sulfúrico, diluir a un volumen 1000 mL y filtrar.

2.4.6.2 Método Gravimétrico Stiasny para taninos condensables.

1. Colocar una muestra de 10 mL de extracto total líquido en un erlenmeyer de 200 mL.
3. Agregar 5 mL de ácido clorhídrico al 34.5% y 10 mL de formalina al 38%.
4. Colocar en un balón de fondo plano y calentar a reflujo por 30 minutos.
5. Filtrar con un embudo tipo buchner.
6. Secar el producto retenido en el papel filtro a 105°C por 24 horas.
7. Pesarse el producto obtenido para determinar el contenido tánico.
8. Determinar el porcentaje de taninos por medio de las ecuaciones:

$$\% \text{ Taninos en el extracto} = \text{NS} = \frac{(\text{PP}) \times 100}{(\text{PR})} \quad (\text{ec.27})$$

$$\% \text{ Taninos en la corteza} = \frac{(\text{NS}) \times (\text{ET})}{100} \quad (\text{ec.28})$$

Donde :

NS= No. Stiasny

PP = gramos de precipitado.

PR = residuo de extracto.

ET = % extracto total

2.4.6.3 Manejo y disposición de desechos

2.4.6.3.1 Desechos sólidos

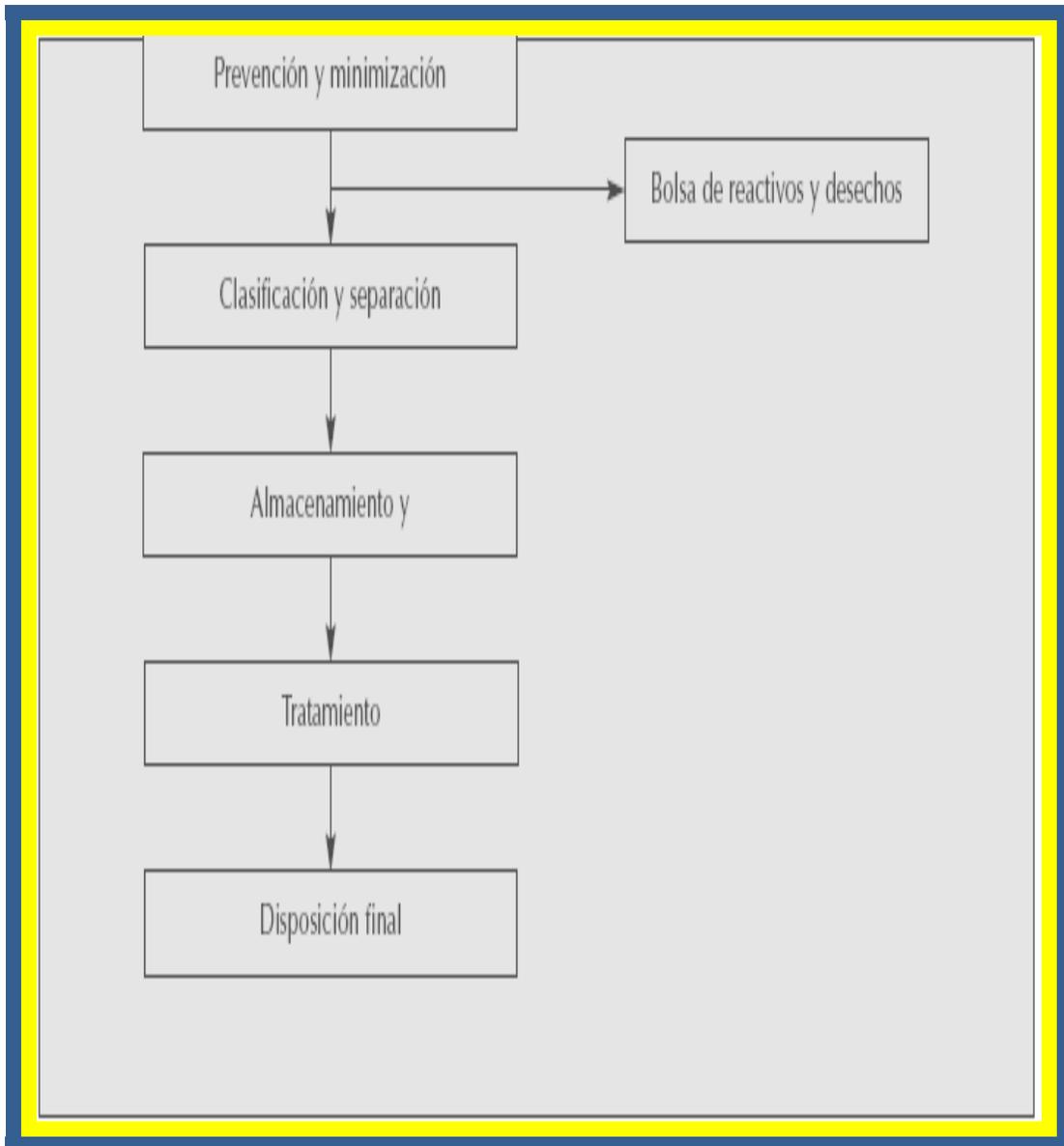
Producto de la molienda hay desechos sólidos de micro partículas , se recomienda equipo de protección de la persona y ser un lugar ventilado.

Al finalizar el proceso de lixiviación se desecha el sólido inerte de corteza (húmeda agotada), que se puede desecha acondicionando un lugar en un sitio y servir como abono.

En el caso de los desechos comunes, tales como residuos , bolsas y paquetes de plástico, papel, recipientes de vidrio en buenas condiciones, botellas plásticas, es conveniente reducir su volumen, debe de clasificarse, separar y etiquetar los desechos antes de depositar en el basurero.

2.4.6.3.2 Desechos líquidos

Figura 61. Etapas para manejo de desechos líquidos.



Fuente: Ref : 6

2.4.6.3.2.1 Desechos inorgánicos

Tabla I Manejo de desechos líquidos inorgánicos

Desecho	Método	Tratamiento
Restos Acuosos de Soluciones de ácido clorhídrico	Neutralización	Calcular la concentración de la solución y antes de descargar al drenaje debe reducirse la concentración ácida con una solución de sulfito de sodio al 10%. Agitar lentamente y medir pH hasta que esté cercano a 7.
Restos acuosos de Sulfito de Sodio.	Neutralización	Antes de descargar al drenaje debe reducirse la concentración básica con una solución de ácido clorhídrico al 10%. Agitar lentamente y medir pH hasta que esté cercano a 7.
Restos acuosos de Cloruro Férrico	Precipitación	Antes de descargar al drenaje debe tratarse con una solución de Hidróxido de Sodio 1 M.
Restos acuosos de Permanganato de Potasio	Reducción	Calcular la concentración de la solución y para cada mL de solución adicionar una gota de ácido sulfúrico concentrado, luego, en la vitrina de extracción, lentamente y con agitación, adicionar solución de sulfito de sodio al 10% hasta que desaparezca el color del permanganato y se inicie la precipitación de dióxido de manganeso, café. Luego neutralizar la solución resultante con carbonato de sodio sólido y desechar la solución incolora en el drenaje.

Fuente: ref :18

2.4.6.3.2.2 Desechos orgánicos

Tabla II Manejo de Desechos Líquidos Orgánicos

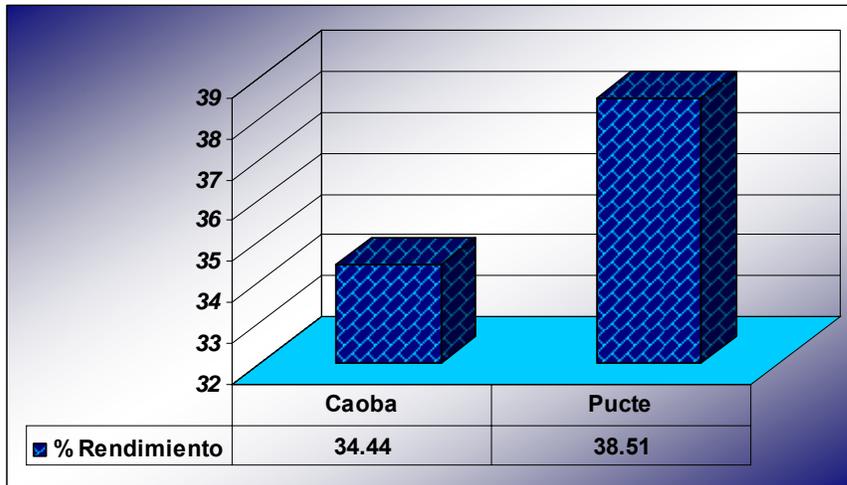
Desecho	Método	Tratamiento
Restos Acuosos de Soluciones de Formaldehído.	Oxidación	Calcular la concentración de la solución y la solución ácida debe diluirse hasta una concentración no mayor a 1M, después de lo cual se añade permanganato de potasio 0.01 N lentamente y con agitación. El pH de la solución final deberá estar cercano a 7.
Restos de Extracto Tánico Acuoso		

Fuente: ref : 18

3. RESULTADOS

Figura 62

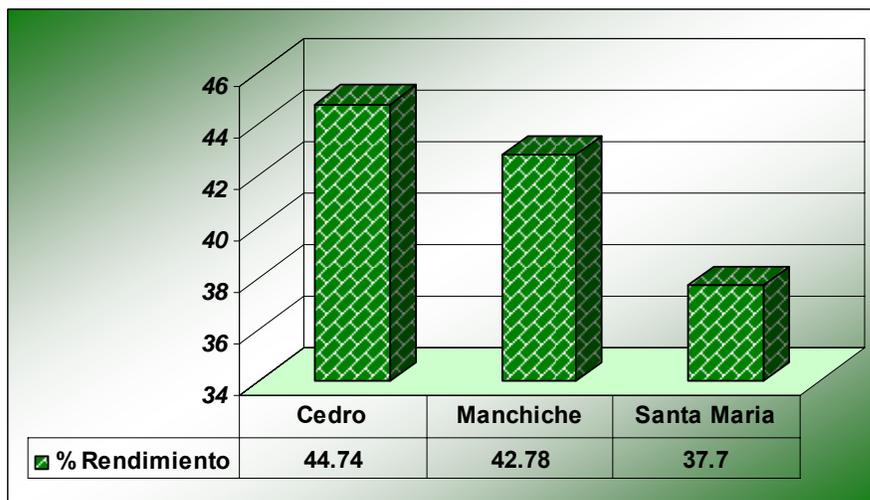
Rendimiento promedio porcentual del proceso de lixiviación de taninos en la corteza de las 2 especies forestales que contienen taninos de tipo pirogalolicos.



Fuente: Tabla III

Figura 63

Rendimiento promedio porcentual del proceso de lixiviación de taninos en la corteza de las 3 especies forestales que contienen taninos de tipo catequinicos.



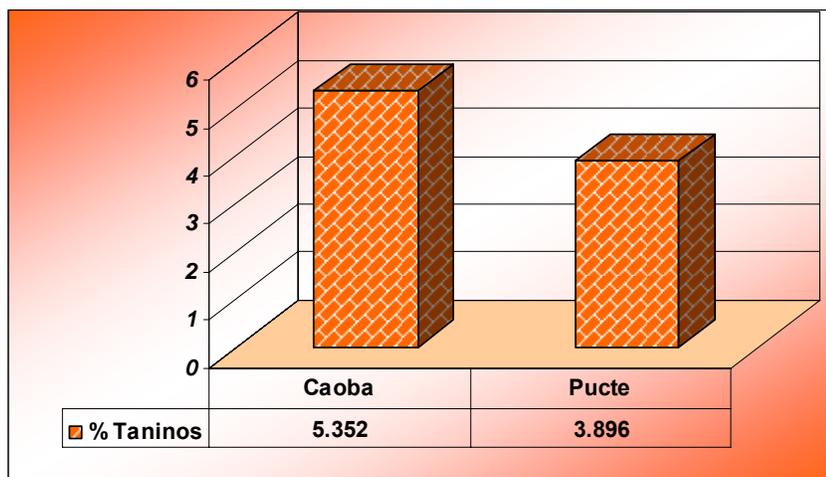
Fuente: Tabla III

Tabla III Rendimiento porcentual promedio del extracto total de la corteza de las 5 especies forestales lixiviadas con sulfito de sodio al 2%, por medio de maceración dinámica.

Especie	Tanino tipo Pirogalol		Tanino Tipo Catecol		
	Caoba (%)	Pucté (%)	Cedro (%)	Manchiche (%)	Santa María (%)
1	34.84	38.1	44.5	42.36	37.22
2	34.56	38.94	45.08	42.84	37.88
3	34.26	38.4	44.74	43.3	37.92
4	34.48	38.52	44.7	42.6	37.86
5	34.06	38.6	44.68	42.8	37.62
Media	34.44	38.512	44.74	42.78	37.7
Desviación Estándar	0.2969848	0.30548322	0.21118712	0.34756294	0.29291637
Desviación Media	0.224000	0.209600	0.136000	0.24000	0.224000

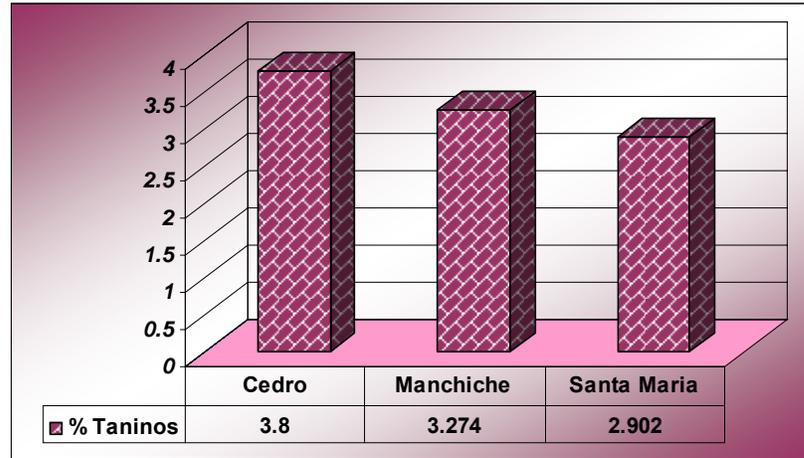
Fuente: Datos Calculados

Figura 64 Porcentaje promedio de taninos en el extracto total de la corteza de las 2 especies forestales que contienen taninos de tipo pirogalolicos.



Fuente: Tabla IV

Figura 65 Porcentaje promedio de taninos en el extracto total de la corteza de las 3 especies forestales, que contienen taninos de tipo catequínicos.



Fuente: Tabla IV

Tabla IV Porcentaje de taninos promedio en el extracto total obtenido de la corteza de las 5 especies forestales lixiviadas con sulfito de sodio al 2%, por medio de maceración dinámica.

Especie	Tanino tipo Pirogalol		Tanino tipo Catecol		
	Caoba (%)	Pucté (%)	Cedro (%)	Manchiche (%)	Sta. Maria (%)
1	5.38	3.92	3.82	3.35	2.87
2	5.47	3.86	3.82	3.25	2.85
3	4.97	3.83	3.93	3.26	2.94
4	5.64	3.91	3.61	3.24	2.92
5	5.30	3.96	3.82	3.27	2.93
Media	5.352	3.896	3.800	3.274	2.902
Desviación Estándar	0.24813303	0.05128353	0.11640447	0.04393177	0.03962323
Desviación Media	0.1736	0.0408	0.076	0.0304	0.0336

Fuente: Datos Calculados

Tabla V Índice de refracción promedio de los extractos totales reconstituidos con agua de la corteza de las 2 especies forestales, que contienen taninos de tipo pirogalolicos.

Especie	Indice de Refracción	Desviación Estándar	Desviación Media
Caoba	1.3343	0.000198746	0.000164
Pucté	1.3348	6.7082E-5	4.8E-5

Fuente: Datos Calculados

Tabla VI Índice de refracción promedio de los extractos totales reconstituidos con agua de la corteza de las 3 especies forestales, que contienen taninos de tipo catequínicos.

Especie	Indice de Refracción	Desviación Estándar	Desviación Media
Cedro	1.3351	6.7082 E -5	5.6E-5
Manchiche	1.3352	8.21584E-5	6.8E-5
Santa María	1.3342	6.7082E-5	4.8E-5

Fuente: Datos Calculados

Tabla VII Densidad promedio de los extractos totales reconstituidos con agua de la corteza de las 2 especies forestales, que contienen taninos de tipo pirogalolicos.

Especie	Densidad (g/mL)	Desviación Estándar	Desviación Media
Caoba	1.1159	0.003737245	0.002744
Pucté	1.0979	0.001962906	0.001432

Fuente: Datos Calculados

Tabla VIII Densidad promedio de los extractos totales reconstituidos con agua de la corteza de las 3 especies forestales, que contienen taninos de tipo catequínicos.

Especie	Densidad (g/mL)	Desviación Estándar	Desviación Media
Cedro	1.0967	0.000571839	0.000416
Manchiche	1.0975	0.002176465	0.001864
Santa Maria	1.1077	0.002946184	0.00224

Fuente: Datos Calculados

Tabla IX Potencial de Hidrogeno promedio de los extractos totales reconstituidos con agua de la corteza de las 2 especies forestales, que contienen taninos de tipo pirogalolicos.

Especie	pH	Desviación Estándar	Desviación Media
Caoba	6.41	0.023558438	0.0152
Pucte	6.15	0.02138925	0.0164

Fuente: Datos Calculados

Tabla X Potencial de Hidrogeno promedio de los extractos totales reconstituidos con agua de la corteza de las 3 especies forestales, que contienen taninos de tipo catequínicos.

Especie	pH	Desviación Estándar	Desviación Media
Cedro	6.72	0.057835975	0.0416
Manchiche	6.43	0.01917029	0.0148
Santa Maria	6.81	0.03232646	0.0216

Fuente: Datos Calculados

Tabla XI Solubilidad porcentual promedio de los extractos totales reconstituidos con agua a 30 °C, de la corteza de las 2 especies forestales, que contienen taninos de tipo pirogalolicos.

Especie	Solubilidad en agua (%)	Desviación Estándar	Desviación Media
Caoba	98	0.262377352	0.1844
Pucté	98	0.206261363	0.149

Fuente: Datos Calculados

Tabla XII Solubilidad porcentual promedio de los extractos totales reconstituidos con agua a 30 °C, de la corteza de las 3 especies forestales, que contienen taninos de tipo catequínicos.

Especie	Solubilidad en agua (%)	Desviación Estándar	Desviación Media
Cedro	95	0.157247814	0.1058
Manchiche	91	0.277278064	0.2082
Santa Maria	95	0.288343328	0.2026

Fuente: Datos Calculados

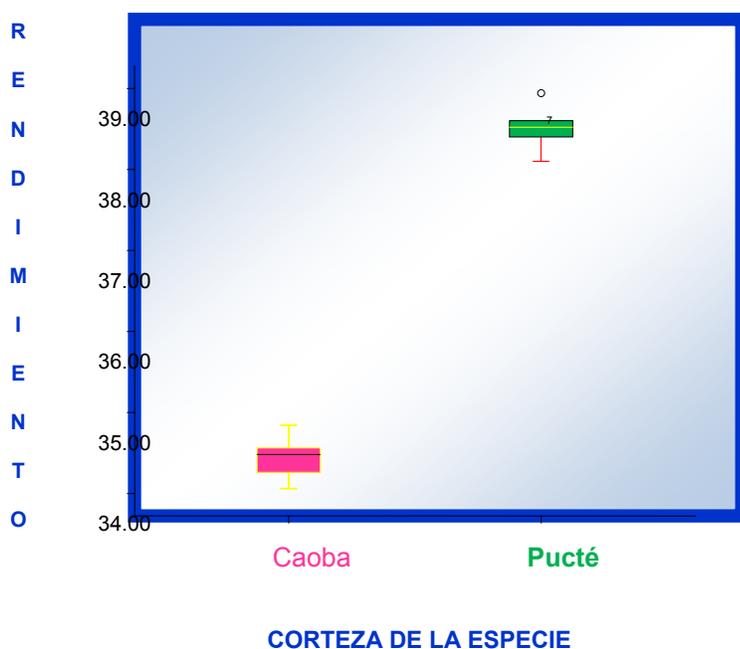
Tabla XIII Tipo de tanino presente en las 5 especies forestales.

Prueba Especie	Solución ácida de gel 1% (p/v)	Solución ácida de gel 1%(p/v) y NaCl 10% (p/v)	Cloruro Férrico 10% (p/v)	Tipo de tanino
Caoba	+	+	Azul negro	Pirogalol
Cedro	+	+	Negro grisáceo	Catecol
Manchiche	+	+	Negro grisáceo	Catecol
Pucte	+	+	Azul negro	Pirogalol
Santa Maria	+	+	Negro grisáceo	Catecol

Fuente: Laboratorio de Investigación de Productos Naturales, LIPRONAT, de la Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia de la USAC.

ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Figura 66 Distribución de los resultados experimentales del rendimiento porcentual de extracto total en función de la corteza lixiviada de las 2 especies forestales, que contienen taninos pirogalolicos.



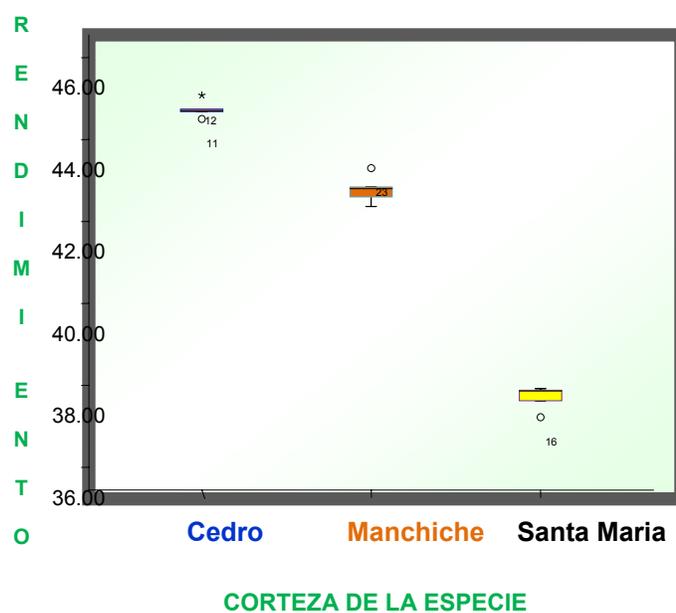
Fuente: Análisis Estadístico

Tabla XIV Análisis de Varianza para el porcentaje de rendimiento en el extracto total de corteza de las 2 especies forestales, que contienen taninos pirogalolicos.

Fuente	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Media cuadrática	F	Significancia
Especie	41.453	1	41.453	456.732	0.000
Error	0.726	8	0.091		
Total	42.179	9			
$R^2 = 0.983$					

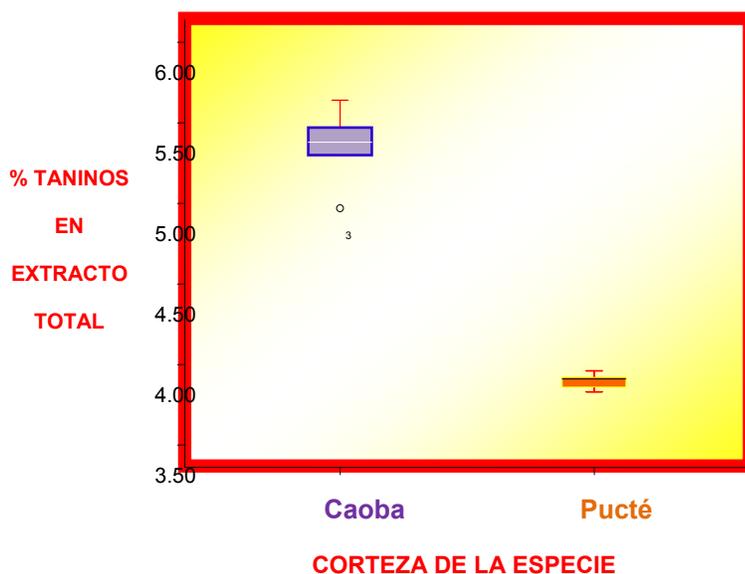
Fuente: Análisis Estadístico ANDEVA

Figura 67 Distribución de los resultados experimentales del rendimiento porcentual de extracto total en función de la corteza lixiviada de las 3 especies forestales, que contienen taninos catequínicos.



Fuente: Análisis Estadístico

Figura 68 Distribución de los resultados experimentales del porcentaje de taninos en el extracto total de corteza lixiviada de las 2 especies forestales, que contienen taninos pirogalolicos.



Fuente: Análisis Estadístico

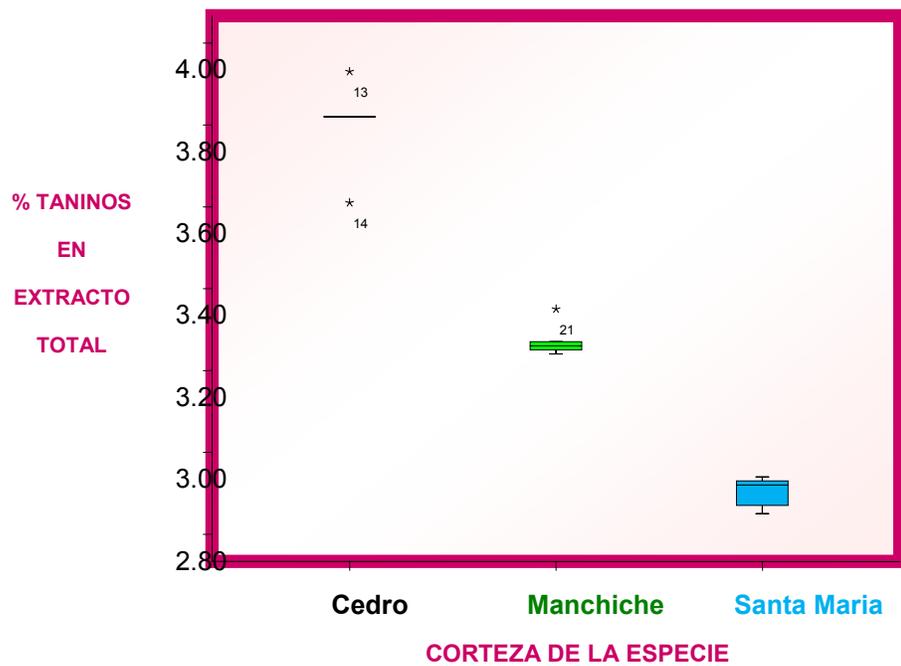
Tabla XV Análisis de Varianza para el porcentaje de taninos en el extracto total de corteza lixiviada de las 2 especies forestales, que contienen taninos pirogalolicos.

Fuente	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Media cuadrática	F	Significancia
Especie	5.300	1	5.300	165.104	0.000
Error	0.257	8	0.032		
Total	5.557	9			
$R^2 = 0.954$					

Fuente: Análisis Estadístico ANDEVA

Figura 69

Distribución de los resultados experimentales del porcentaje de taninos en el extracto total de corteza lixiviada de las 3 especies forestales, que contienen taninos catequínicos.



Fuente: Análisis Estadístico

Tabla XVI Análisis de Varianza para el índice de refracción en el extracto total reconstituido con agua de la corteza de las 2 especies forestales que contienen taninos pirogalolicos.

Fuente	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Media cuadrática	F	Significancia
Especie	6.25E-007	1	6.25E-007	25.510	0.001
Error	1.96E-007	8	2.45E-008		
Total	8.21E-007	9			
R ² =0.761					

Fuente: Análisis Estadístico ANDEVA

Tabla XVII Análisis de Varianza para densidad del extracto total reconstituido con agua de la corteza de las 2 especies forestales que contienen taninos pirogalolicos.

Fuente	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Media cuadrática	F	Significancia
Especie	0.001	1	0.001	91.111	0.000
Error	7.13E-005	8	8.91E-006		
Total	0.001	9			
R ² =0.919					

Fuente: Análisis Estadístico ANDEVA

Tabla XVIII Análisis de Varianza para pH del extracto total reconstituido con agua de la corteza de las 2 especies forestales que contienen taninos pirogalolicos.

Fuente	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Media cuadrática	F	Significancia
Especie	0.173	1	0.173	341.575	0.000
Error	0.004	8	0.001		
Total	0.177	9			
R ² =0.977					

Fuente: Análisis Estadístico ANDEVA

Tabla XIX

Análisis de Varianza para solubilidad del extracto total en agua de la corteza de las 2 especies forestales que contienen taninos pirogalolicos.

Fuente	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Media cuadrática	F	Significancia
Especie	5.52E-005	1	5.52E-005	0.001	0.976
Error	0.445	8	0.056		
Total	0.446	9			
R² =0.000					

Fuente: Análisis Estadístico ANDEVA

4. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

En la presente investigación se utilizó la operación unitaria de separación por lixiviación inducida, con el fin de obtener extracto total de la corteza de las especies forestales Caoba (*Swietenia macrophylla King*), Cedro (*Cedrela odorata L.*), Manchiche (*Lonchocarpus castilloi S.*), Pucté (*Terminalia amazonia DC*) y Santa María (*Calophyllum brasiliense Standl*), utilizando la técnica de extracciones sucesivas, con maceración dinámica, para así poder determinar el rendimiento de extracto total obtenido, el rendimiento de contenido de taninos en el extracto total y llevar a cabo la caracterización fisicoquímica de dicho extracto total.

La recolección de muestras de la corteza de las cinco especies forestales se realizó en el departamento de Petén. La corteza de caoba y cedro fue proporcionada por la Sociedad Civil Árbol Verde, ubicada en el caserío El Caoba, perteneciente al municipio de Flores. La corteza de Manchiche y Santa María fue proporcionada por la Sociedad Civil Custodios de la Selva, ubicada en el municipio de Melchor de Mencos. La corteza de Pucté fue proporcionada por la Sociedad Civil localizada en Betel ubicada en el municipio de La Libertad, dichas Sociedades Civiles pertenecen a la Asociación de Cooperativas Forestales de Petén (ACOFOP), El tipo de muestreo realizado inició con la corta y apeo de los árboles luego de lo cual se procedió a descortezar manualmente las trozas. La corteza se colocó en las bandejas de el secador solar, iniciándose entonces un monitoreo de humedad hasta que el peso fue constante y la lectura de humedad estaba entre 5 y 8 %.

Basándose en pruebas preliminares hechas en el laboratorio, experiencias recopiladas en otros trabajos de investigación similares y mediante

criterios y datos teóricos obtenidos de Bibliografías y publicaciones; se escogieron los parámetros para el proceso de lixiviación de taninos. (Ver apéndice A)

Dichos parámetros llevaron a especificar un proceso de lixiviación que es de tipo inducida combinada por medios físicos y químicos, realizándose una solubilización con efecto térmico, reducción de tamaño y coadyuvante..

El proceso de reducción de tamaño de partícula se realizó en un molino de martillos y después se hizo pasar la corteza molida por un tamiz No. 50 retenidas las partículas en un tamiz No. 60.

Las pruebas preliminares que se realizaron fueron la determinación del número de extracciones sucesivas con maceración dinámica y la determinación del tiempo de duración de cada una de ellas, esto en función de el pH de cada sistema de lixiviación. Esto se llevó acabo trazando graficas de pH vrs. tiempo de extracción para cada una de las especies, para lo cual se midieron tiempos cada 5 minutos en una sola corrida hasta que el pH en la solución permaneció constante, determinando así el tiempo de extracción óptimo. Como puede verse en las figuras 71 para la especie caoba hay una caída considerable de pH antes de los 15 minutos, en la figura 72 puede verse para la especie cedro que la caída de pH se da antes de los 30 minutos, en la figura 73 para la especie manchiche la caída de pH se da antes de los 10 minutos de igual forma que la especie Santa María y la especie pucté, lo cual puede verse en las figuras 74 y 75. Después de esta caída considerable de pH que es en donde se extrae la mayor cantidad de taninos ácidos, se observa la misma tendencia por las 5 especies de llegar a pH constante y se justifica que el tiempo de extracción óptimo es de 135 minutos lo cual hace un número de tres extracciones sucesivas de 45 minutos cada una.

A partir de las variables de procesos fijadas se procedió a la lixiviación de taninos con sulfito de sodio al 2%, para lo cual se tomaron por cada una de las especies 5 muestras, a cada una de las cuales se realizaron 3 extracciones sucesivas. Realizándose en esta parte 15 tratamientos por especie, haciendo un total de 75 tratamientos en la parte de obtención de extractos totales. Evaluándose entonces el porcentaje de rendimiento de taninos en el extracto total, estos resultados se visualizan en las figuras 62 ,63 y tabla III.

Luego de la obtención de los extractos totales se procedió a la caracterización fisicoquímica de estos extractos totales para cada una de las 5 especies. Primero se reconstituyeron los extractos totales con agua y después se determinó para cada muestra Índice de refracción, densidad, y pH, Además se determinó la solubilidad de extracto total en agua y se realizó tamizaje fitoquímico para identificación de taninos en el extracto total. Estos resultados están recopilados en las tablas V a la XIII. Para cada una de las 5 muestras por cada una de las 5 especies se realizaron dos corridas, determinando desviación estándar y desviación media para cada resultado promedio de cada una de las propiedades evaluadas. Realizándose así 200 corridas en la parte de caracterización de extractos totales.

Al realizarse el tamizaje fitoquímico para identificación de taninos se determinó que las especies que contienen taninos de tipo hidrolizables o pirogalolicos (taninos solubles en agua) son Caoba y Pucté y que las especies que contienen taninos tipo condensables o catecol (taninos insolubles en agua) son Cedro, Manchiche y Santa Maria.

Después de caracterizar los extractos totales se procedió a la determinación del rendimiento de contenido de taninos en el extracto total para los extractos totales obtenidos de cada una de las especies. Utilizando para cuantificación de taninos en el extracto total de las 2 especies forestales, que

contienen taninos de naturaleza pirogalolica, Caoba y Pucté, el método volumétrico Tara en Vaina y para cuantificación de taninos en el extracto total de las 3 especies forestales que contienen taninos de naturaleza catequínica, Cedro, Manchiche y Santa María, el método gravimétrico Stiasny. Estos resultados pueden apreciarse en las figuras 64, 65 y tabla IV. En donde se evaluaron los resultados promedios con un análisis de desviación estándar y desviación media.

Tomando como base el concepto que los taninos de naturaleza condensable o catequínica son insolubles en agua, que los taninos de naturaleza hidrolizables o pirogalolica son solubles en agua y el hecho de que el solvente utilizado en la lixiviación de sólidos totales solubles en las 5 especies forestales estudiadas fue una solución acuosa de sulfito de sodio al 2%, se llega a determinar que solamente las especies Caoba y Pucté contienen taninos solubles en agua por lo que la obtención de extractos totales contenidos en la corteza de dichas especies corresponden a magnitudes reales tanto para el rendimiento de extracto total, rendimiento de contenido de taninos en el extracto total y cada una de las variables caracterizadas fisicoquímicamente para estas 2 especies.

Para las especies Cedro, Manchiche y Santa María que contienen taninos insolubles en agua se puede interpretar que la obtención de extractos totales contenidos en la corteza de dichas especies no corresponden a magnitudes reales tanto para el rendimiento de extracto total, rendimiento de contenido de taninos en el extracto total y cada una de las variables caracterizadas fisicoquímicamente para estas 3 especies. Por estas razón no se aplico un análisis de estadístico de comparación entre especies ni un análisis estadístico de varianza para encontrar significancia para rendimiento de extracto total, rendimiento de contenido de taninos en el extracto total, índice de refracción, pH, densidad y solubilidad.

Para encontrar diferencia significativa entre las especies Caoba y Pucté se procedió a realizar un análisis estadístico diseñado completamente al azar con 2 tratamientos y 5 repeticiones. Como resultado se tiene la distribución de los resultados experimentales del rendimiento porcentual de extracto total en función de la corteza lixiviada de 2 especies forestales. En la figura 66, según las graficas de caja y alambres, no hay datos que sean considerados fuera de contexto, lo cual da confiabilidad al proceso empleado. Lo que en ellas se observa respecto a las diferencia en rendimiento de extracto total entre las especies es confirmado por el análisis de varianza en la tabla XIV, en donde se determina que ésta diferencia es altamente significativa, ($P < 0.000$). Se determina que la especie con mayor rendimiento porcentual de extracto total de la corteza es Pucté.

El mismo análisis se procedió a realizar para determinar el comportamiento entre las 2 especies en el rendimiento de contenido de taninos en el extracto total. En la figura 67, se tiene la distribución de los resultados experimentales del porcentaje de taninos en el extracto total de corteza lixiviada de las 2 especies forestales que contienen taninos pirogalolicos. El análisis de varianza en la tabla XV, indica que la diferencia entre especies es significativa, ($P < 0.000$). Se determina que la especie con mayor rendimiento de contenido de taninos en el extracto total de la corteza es Caoba.

En la caracterización fisicoquímica de los extractos totales de la corteza de las especies Caoba y Pucté se realizó una análisis estadístico de varianza para determinar diferencia significativa entre los extractos totales reconstituidos con agua obtenidos de la corteza de las dos especies tanto para índice de refracción, densidad y pH. Según las tablas XVI, XVII y XVIII se determina para los tres parámetros que la diferencia entre las dos especies es significativa, ($P < 0.000$). Los extractos totales de la corteza de la especie Pucté

tienen un mayor índice de refracción que los extractos totales de la corteza de la especie Caoba. La densidad del extracto total de la corteza de Caoba es mayor a la densidad del extracto total de la corteza de Pucté. El pH del extracto total de la especie Caoba es mayor al pH del extracto total de la especie Pucté.

En la tabla XIX se determina por medio de un análisis de varianza que no hay diferencia significativa entre las dos especies ($P > 0.000$), para el parámetro de solubilidad del extracto total en agua obtenido de la corteza de Caoba y Pucté.

CONCLUSIONES

1. Es factible la obtención de extracto total de la corteza de especies forestales, que contengan taninos de naturaleza pirogalolica por medio de la operación unitaria lixiviación inducida acuosa.
2. La obtención de extractos totales contenidos en la corteza de las especies Caoba y Pucté corresponden a las magnitudes reales en vista que los taninos son de naturaleza pirogalolica (solubles en agua).
3. La obtención de extractos totales contenidos en la corteza de las especies Manchiche, Santa María y Cedro no corresponde a las magnitudes reales en vista que los taninos son de naturaleza catequínica (insolubles en agua).
4. Existe diferencia significativa en el rendimiento de extracto total y en el rendimiento de contenido de taninos entre las cortezas de las especies Caoba y Pucté.

5. No fue aplicable el análisis de varianza para encontrar significancia en el rendimiento de extracto total y en el rendimiento de contenido de taninos entre las cortezas de las especies forestales Cedro, Manchiche y Santa María, por contener taninos de tipo catequínicos (insolubles en agua).
6. La corteza de la especie Pucté tiene un mayor rendimiento de extracto total que la especie Caoba.
7. La corteza de la especie Caoba tiene un mayor rendimiento de contenido de taninos en el extracto total que la especie Pucté.
8. En general existe diferencia entre los parámetros de índice de refracción, densidad y pH de los extractos reconstituídos con agua de la corteza de las especies Caoba y Pucté, pero no es altamente significativa.
9. No existe diferencia significativa en la solubilidad en agua de los extractos totales obtenidos de la corteza de las especie Caoba y Pucté

RECOMENDACIONES

1. Debe realizarse el tamizaje fitoquímico a una extracción preliminar de cada especie para verificar su naturaleza hidrosoluble o no.
2. Seleccionar un medio extractivo adecuado para la obtención del extracto total del cual se derivan los contenidos tánicos catequínicos, debe ser no acuoso o por lo menos de menor constante dieléctrica que el agua.
3. Realizar un estudio histológico a las partes de la planta para considerar la presencia y la ubicación en los componentes celulares y extracelulares.
4. Realizar tamizaje fitoquímico completo a los extractos totales obtenidos para determinar los metabolitos secundarios presentes en la especie en estudio.
5. Al realizar el cálculo de rendimiento de extracto total para especies de naturaleza pirogalollica se debe de sustraer el contenido masico incrementado, por la adición de sulfito de Sodio al 2%.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Akú Ramírez, Ingrid Liliana. Evaluación del contenido tánico en la corteza de dos especies forestales guatemaltecas, mangle colorado (*Rhizophora mangle*) y pino blanco (*Pinus Ayacahuite*), por medio de dos métodos de extracción. Trabajo de graduación de Ingeniería Química. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería año 2000.
2. Robert H. Perry – Don W. Green **Manual del Ingeniero Químico**, séptima edición. Editorial McGrawHill.2001
3. Dirección General de Investigación-DIGI- **Extracción y caracterización de taninos en corteza de 3 especies forestales cultivadas en Guatemala, pino ocote (*Pinus oocarpa Schiede*), encino negro (*Quercus brachystachys Benth*) y aliso común (*agnus jorulensis HBK.*) Una alternativa de desarrollo agroindustrial para el uso de taninos naturales.** Octubre 2002.
4. Équite de León, Madeleine Walleska. Determinación del contenido de taninos en el extracto tánico de la corteza de melina (*Gmelina arborea Roxb.*), utilizando dos métodos de extracción a nivel laboratorio. Trabajo de graduación de Ingeniería Química. Guatemala, Universidad San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 2004.
5. Suchini Leytán, José Manuel. Comparación de rendimientos de dos métodos de extracción de taninos (ácido pinutánico) a partir de la corteza del pino Caribe (*Pinus caribaea*) a nivel laboratorio. Trabajo de graduación de Ingeniería Química. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 2002.

6. **Ponencias del Primer Congreso Nacional de Calidad de Laboratorios de Ensayo.** Acreditación y Gestión Ambiental en América Central. Febrero 2008.

REFERENCIAS ELECTRÓNICAS

7. Comunidad Virtual del Cuero. www.cueronet.com. **Flujograma de Curtiembre. Proceso de Curtido.**(04/02/2008).

8. <http://taninos.tripod.com/metodologiataninos.htm> **Metodología para el análisis de taninos.**(16/02/2008)

9. www.ecologia.edu.mx/publicaciones/myb/ **Comparación del contenido de compuestos fenólicos en la corteza de ocho especies de pinos.**(23/02/2008).

- 10 <http://www.monografias.com/trabajo/maderas2.shtml>. **Maderas.** (06/06/2008).

- 11.<http://www.agrobyte.com/agrobyte/publicaciones/eucalipto/7aprovechamiento.html>. **Manual Técnico de Selvicultura.** (13/06/2008).

12. <http://www.semarnat.gob.mx/pfnm/Taninos.html>. **Colorantes y taninos.** (09/03/2008).

13. www.ccad.ws/documentos/repml/gt/ACOFOP.ppt Asociación de Comunidades Forestales de Peten.(20/02/2008)

BIBLIOGRAFÍA

14. Agrar-und hydrotechnik (aht) y asesoria y promocion economica s.a. (apesa). 1992. **Plan de desarrollo integrado de Petén, Inventario Forestal del departamento de Petén.** Convenio Gobiernos Alemania/Guatemala. Guatemala, Petén, Santa Elena. 95 p..
15. APHA-AWWA-WPCF. **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater**, 14 th Edition, 1965, p.460.
16. Ronald Walpole - Raymond H. Myers - Sharon Myers **Probabilidad y Estadística para ingenieros.** (Prentice Hall) edición 1999.
17. Treybal, Robert E. **Operaciones de Transferencia de Masa.** Segunda Edición. México. 1988. pp 821
18. Taiz, Lincoln y Eduardo Zeiger. **Secondary Metabolites and Plant Defense.** En: *Plant Physiology, Fourth Edition.* Sinauer Associates, Inc. 2006. Capítulo 13.
19. De La Peña Vilar. **Secado directo e indirecto.** Riera Nadeu. SA, Barcelona. 1994.

APÉNDICE

APÉNDICE A

1. **Justificación de parámetros a utilizar para proceso lixiviación de taninos.**

Basándose en pruebas preliminares hechas en el laboratorio, experiencias obtenidas en otros trabajos de investigación similares y mediante criterios y datos teóricos obtenidos de Bibliografías y publicaciones; se escogieron los parámetros para el proceso de extracción de taninos.

1.1 **Método de extracción**

Se obtuvo el extracto tánico de las especies en estudio por medio del proceso de lixiviación inducida realizando una extracción sólido-líquido utilizando para ello la técnica de extracciones sucesivas. Dicha técnica consiste en realizar varias extracciones a una misma muestra hasta agotamiento (Ref. 3, Pág.25). Según lo investigado en la tesis “Comparación de rendimientos de dos métodos de extracción de taninos a partir de la corteza del pino caribe (*Pinus caribaea*) a nivel laboratorio” después de comparar un método de extracción utilizando soxhlet con un método de maceración mecánica se llegó a la conclusión de que se obtiene un mayor rendimiento de extracto tánico por medio del método de maceración mecánica , la mejora a este método es hacer varias extracciones en vez de solo una y así obtener mayor rendimiento de extracto.

1.2 Tamaño de partícula

Tomando en cuenta que se trabaja a una escala a nivel laboratorio y utilizando como referencia el trabajo de investigación “Extracción y caracterización de taninos en 3 especies forestales cultivadas en Guatemala, pino ocote (*Pinus oocarpa Schiede* , encino negro (*Quercus brachystachys Benth*) y aliso común (*Alnus jorulensis HBK*). Una alternativa de desarrollo agroindustrial para el uso de taninos naturales” (Ref. 3, Pag.24), trabajo de graduación de Akú Ramírez (Ref.1, pág. 17) y para fines de el proceso de extracción sólido-líquido se escogió realizar una separación de tipo *fina*, tomando como criterio utilizar separación con mallas comprendidas entre 4 y 48 (Ref.2 ,Pag.19-22,Tabla 19.5) realizando entonces un tamizaje en donde las partículas pasan de un tamiz número 50 y se retienen en un tamiz numero 60. Lo que equivale a un tamaño de partícula intermedio comprendido entre 0,250 mm a 0,297 mm (según Ref.2 , pág 19-23, tabla 19.6)

1.3 Disolvente

En el trabajo de graduación de Akú Ramirez (Ref. 1, Pág. 51,52) pueden observarse los resultados de extractos curtientes obtenidos utilizando dos solventes distintos : Agua destilada y sulfito de sodio 1%, pudiéndose apreciar que se obtiene 6 veces más extracto curtiente con sulfito de sodio al 1% que con agua desmineralizada.

En la tesis de Suchiny Leytan (Ref. 5, Pág,36) se observa el análisis de varianza para el promedio de extracto tánico en función de la utilización de sulfito de sodio al 2%, al 1%, al 0.5% determinándose que se obtiene casi el doble de extracto total con sulfito de sodio al 2% que con sulfito de sodio al 1%. Además la concentración de disolvente utilizada para extracción de taninos en

el trabajo de investigación DIGI (Ref.3, Pág.25) fue del 2%.

En función de lo anterior expuesto se escogió la concentración de disolvente a utilizar de sulfito de sodio es del 2 % .

1.4 Relación material vegetal-disolvente

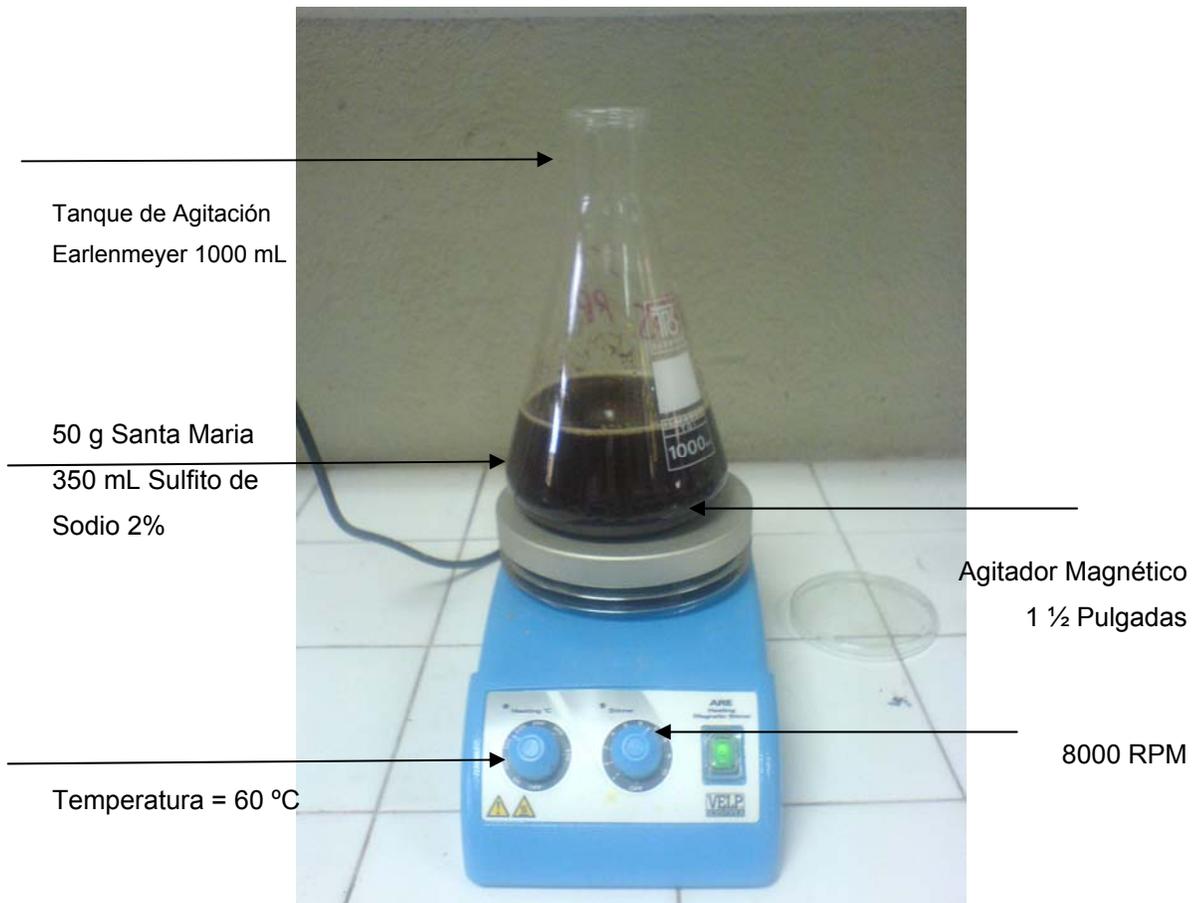
Para determinar la relación a utilizar de cantidad de material vegetal y de disolvente para llevar a cabo la extracción , se tomó como referencia el trabajo de graduación de Akú Ramírez (Ref.1, pág. 17) y el trabajo de investigación DIGI (Ref 3, pág.25) en donde se utilizó una proporción 1:5, sin embargo al realizar las pruebas para las diferentes especies, se determinó experimentalmente para Caoba, Cedro, Pucté y Manchiche una relación 1:6 (w/w) y para Santa Maria una relación 1:7 (w/w).Tomando en cuenta para esto la movilidad de las partículas sólidas en el fluido , agregando solvente hasta que se observara una agitación uniforme de partículas sin sedimentación.

Se utilizó para cada extracción 50 g de corteza de madera tomando en cuenta que la cantidad de extracto total que se necesita para todos los diferentes análisis a realizar debe ser suficiente.

1.5 Tanque de Lixiviación

En función de la geometría se utilizó un earlenmeyer (cono invertido), que por su estructura impide que partículas sólidas se queden adheridas a la pared, lo cual sucede si se utiliza un beacker. No se utiliza un balón con reflujo ya que en este dispositivo la temperatura alcanza los 90 °C y debido a que la temperatura debe mantenerse a 70 °C según metodología utilizada en el proyecto DIGI (Ref.3 , Pág.25).

Figura 70 Tanque de Lixiviación



Fuente: Laboratorio de Química,
Escuela de Ingeniería Química

1.6 Relación diámetro de agitador – diámetro Tanque Lixiviación.

Como se menciona en la sección 1.2.4.6 del presente informe, se utilizó el criterio de diseño de Diámetro de Tanque / 2. Se utilizó entonces un agitador de 1 ½ pulgadas.

1.7 Métodos de cuantificación a utilizar

1.7.1 Método Tara en Vaina

El método a utilizar para cuantificar taninos de tipo hidrolizables es un método cuantitativo adaptado del Método de la OFFICIAL METHODS OF ANÁLISIS(A.O.A.C.), edición 14-1984, pag. 564 # 30.018.

1.7.2 Método Stiasny

El método a utilizar para cuantificar taninos de tipo condensables es el método cuantitativo stiasny. Consultado en el artículo de investigación **“Comparación del contenido de compuestos fenólicos en la corteza de ocho especies de pinos”**, realizado por Martha Rosales Castro y Ruben F. Gonzáles Laredo en el estado de Durango México. Basándose el Método en lo indicado por *Yazaki et al.(1993)*, *Yazaki y Hillis(1980)* y *Pizzay y Mittal (1994)*. (Ref. No. 11).

APÉNDICE B
ANÁLISIS PRELIMINARES

Tabla XX Tiempo de agitación y número de extracciones sucesivas.

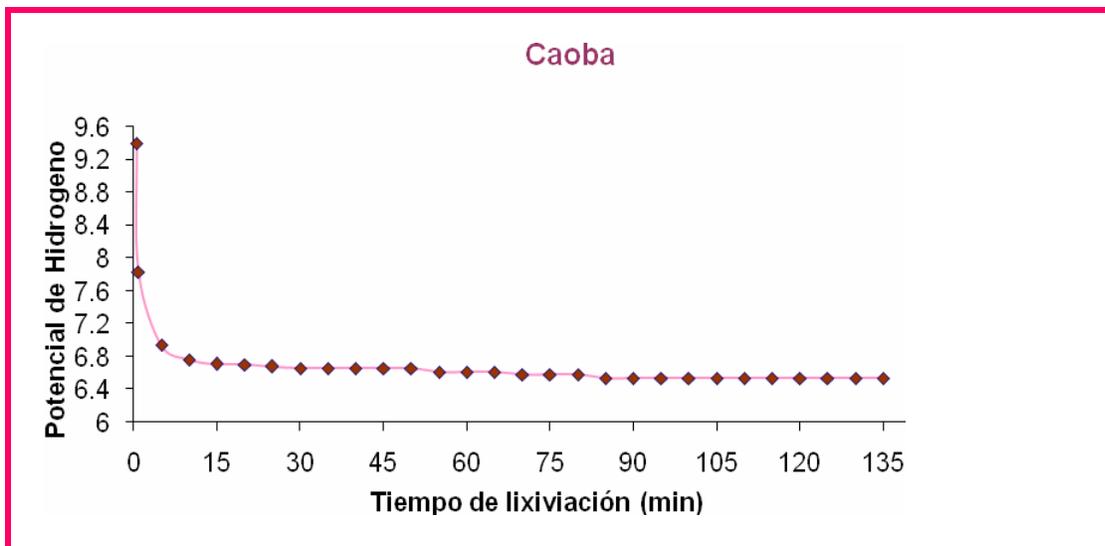
tiempo (minutos)	Caoba	Cedro	Manchiche	Santa María	Pucte
0.25	9.40	9.40	9.40	9.40	9.40
0.50	7.83	8.55	8.12	7.73	7.26
5	6.94	8.34	7.64	7.23	6.78
10	6.76	8.26	7.47	7.21	6.64
15	6.71	8.24	7.45	6.98	6.59
20	6.7	7.86	7.42	6.96	6.51
25	6.68	7.71	7.41	6.83	6.53
30	6.66	7.71	7.41	6.83	6.53
35	6.66	7.66	7.35	6.83	6.53
40	6.66	7.66	7.22	6.71	6.53
45	6.66	7.65	7.22	6.71	6.53
50	6.66	7.63	7.22	6.65	6.39
55	6.61	7.63	7.2	6.65	6.39
60	6.61	7.6	6.98	6.53	6.39
65	6.61	7.57	6.98	6.53	6.39
70	6.58	7.57	6.86	6.53	6.39
75	6.58	7.57	6.79	6.53	6.37
80	6.58	7.57	6.79	6.48	6.37
85	6.54	7.49	6.78	6.48	6.37
90	6.54	7.49	6.78	6.48	6.37
95	6.54	7.36	6.78	6.48	6.37
100	6.54	7.36	6.78	6.42	6.37
105	6.54	7.3	6.78	6.42	6.37
110	6.54	7.3	6.79	6.42	6.37
115	6.54	7.3	6.78	6.42	6.37
120	6.54	7.27	6.78	6.42	6.37
125	6.54	7.27	6.78	6.42	6.37
130	6.54	7.27	6.78	6.42	6.37
135	6.54	7.27	6.78	6.42	6.37

Fuente: Datos Originales

1. Determinación de tiempo de agitación y número de extracciones sucesivas en maceración dinámica.

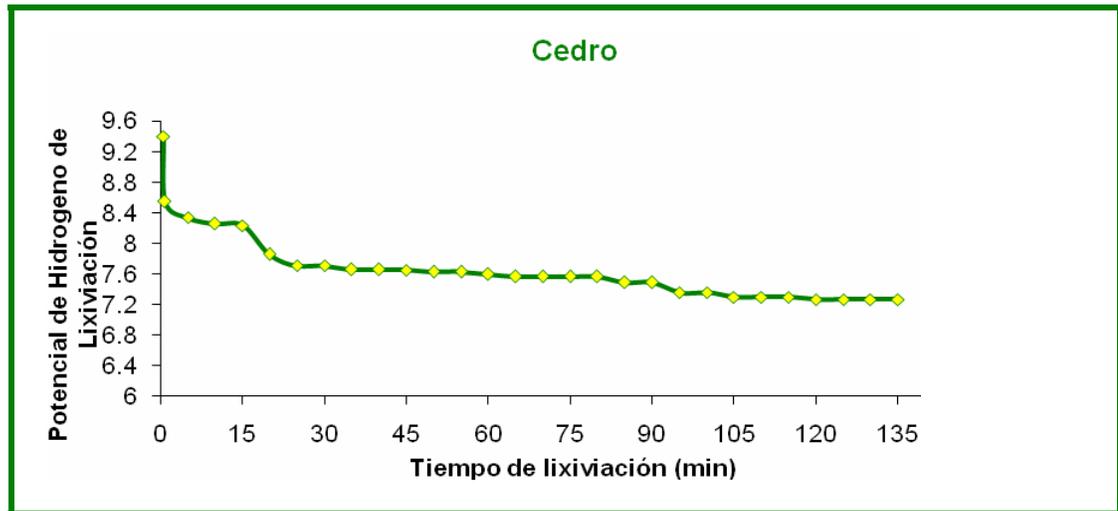
Según metodología utilizada en el proyecto DIGI, se utilizó 45 minutos y 4 extracciones sucesivas, sin embargo el número de extracciones sucesivas está en función del pH del sistema. Se realizó experimentalmente la maceración dinámica de corteza con sulfito de sodio tomando lectura de pH cada 5 minutos hasta que el pH estuviera constante con el objetivo de determinar el número de extracciones sucesivas. Con los pH y tiempos tomados que pueden verse en la tabla XIV se realizaron curvas de pH vrs tiempo de agitación. Determinándose 3 extracciones sucesivas para cada especie. Datos con los cuales se realizaron graficas de pH en función del tiempo para justificar el tiempo de extracción en cada etapa. Determinándose 45 minutos para cada extracción.

Figura 71 Comportamiento de pH de corteza de caoba lixiviada con solución de sulfito de sodio al 2% en función del tiempo.



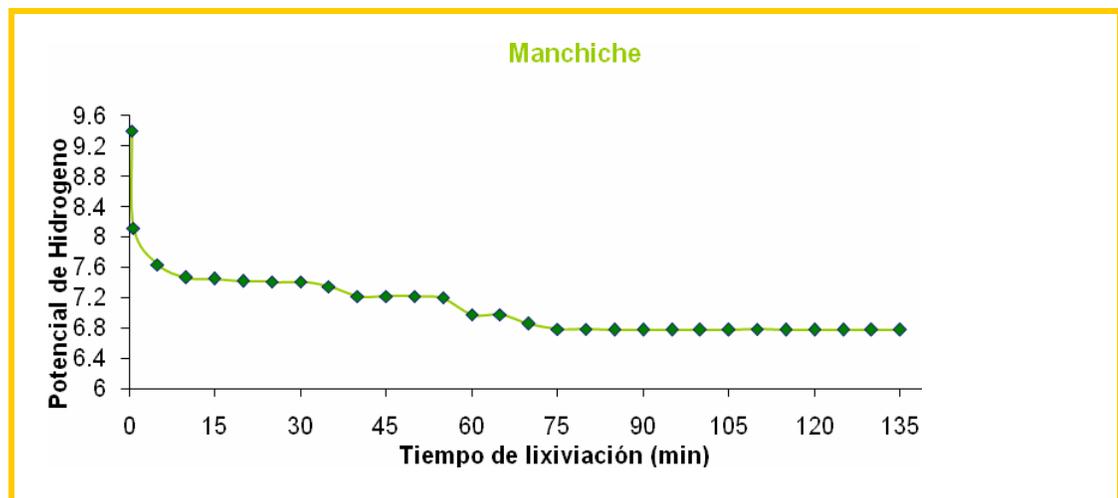
Fuente: Tabla XX

Figura 72 Comportamiento de pH de corteza de cedro lixiviada con solución de sulfito de sodio al 2% en función del tiempo.



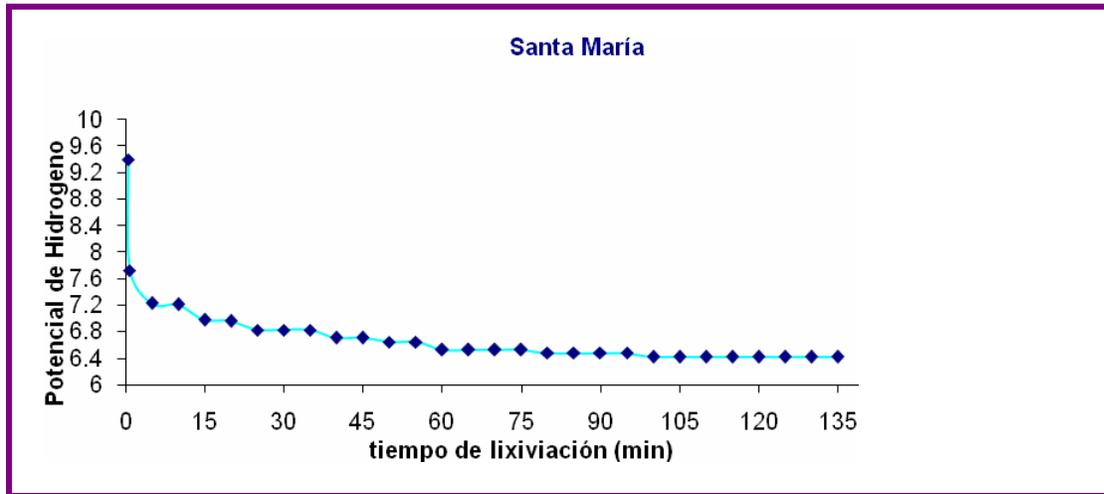
Fuente: Tabla XX

Figura 73 Comportamiento de pH de corteza de Manchiche lixiviada con solución de sulfito de sodio al 2% en función del tiempo.



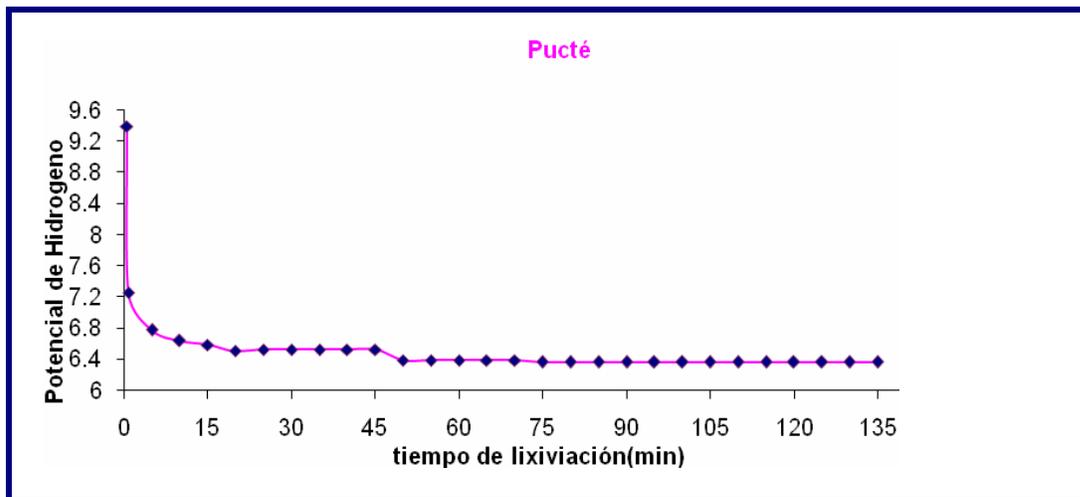
Fuente: Tabla XX

Figura 74 Comportamiento de pH de corteza de Santa María lixiviada con solución de sulfito de sodio al 2% en función del tiempo.



Fuente: Tabla XX

Figura 75 Comportamiento de pH de corteza de Pucté lixiviada con solución de sulfito de sodio al 2% en función del tiempo.



Fuente: Tabla XX

2. Velocidad de agitación

Tomando en cuenta el criterio cualitativo de agitación uniforme se determinó que para caoba, cedro, Pucté y Manchiche se utilizaron 7000 revoluciones por minuto. Mientras que para Santa Maria se utilizaran 8000. revoluciones por minuto.

APÉNDICE C

MUESTRA DE CÁLCULO

1. Cálculo de porcentaje de rendimiento de extracto total en la corteza de las 5 especies forestales.

$$\% \text{ Rendimiento} = \left[\frac{\text{g secos de extracto obtenidos de lixiviación}}{\text{g de corteza a lixiviar}} \right] \times 100 \quad (\text{ec.26})$$

$$\% \text{ Rendimiento} = (17.42 \text{ g} / 50 \text{ g}) \times 100 = 34.84 \%$$

2. Cálculo de % taninos en el extracto total de la corteza de las especies forestales para taninos de tipo hidrolizables.

$$\% \text{ Taninos en el extracto} = \left[\frac{((\text{mL}) \text{KMnO}_4 - (\text{mL}) \text{Blanco}) * 4.2 \text{ mg/ml KMnO}_4 * (2e))}{\text{mg extracto obtenido}} \right] \times 100 \quad (\text{ec.25})$$

Donde:

mL KMnO₄ = mililitros de permanganato de potasio gastados en la titulación de extracto.

mL KMnO₄ = mililitros de permanganato de potasio gastados en la titulación del blanco.

$$\% \text{ Taninos en el extracto} = \left[\frac{((46.5 \text{ mL} - 4.9 \text{ mL}) * 4.2 * 2)}{6140 \text{ mg}} \right] \times 100$$

$$\% \text{ Taninos en el extracto} = 5.69\%$$

3. Cálculo de porcentaje de taninos en el extracto total de la corteza de las especies forestales para taninos de tipo condensable.

$$\begin{array}{l} \text{\% Taninos} \\ \text{en el extracto} = \text{NS} = \frac{(\text{PP})}{(\text{PR})} \times 100 \end{array} \quad (\text{ec.27})$$

Donde :

NS= No. Stiasny

PP = gramos de precipitado.

PR = residuo de extracto.

$$\begin{array}{l} \text{\% Taninos} \\ \text{en el extracto} = \frac{0.0386\text{g}}{1.000\text{g}} \times 100 \end{array}$$

$$\begin{array}{l} \text{\% Taninos} \\ \text{en el extracto} = 3.86\% \end{array}$$

4. Cálculo de densidad de extracto total reconstituido con agua

$$\rho = \frac{\text{gramos de extracto tánico restituidos}}{\text{mL de extracto tánico restituidos}} \quad (\text{ec.29})$$

Donde:

ρ = densidad de extracto total reconstituido.

Se utilizó un picnómetro con capacidad de mL y tara de 24.023 g.

$$\rho = \frac{27.9550\text{ g}}{25\text{ mL}}$$

$$\rho = 1.1182\text{ g / mL}$$

5. Cálculo de solubilidad porcentual de extracto total en agua.

$$\% \text{ solubilidad} = [(W_1 - W_2) / W_1] \times 100 \quad (\text{ec.23})$$

Donde:

W_1 = Peso inicial de extracto a solubilizar, en este caso 2 g

W_2 = Peso del extracto retenido después de la filtración.

$$\% \text{ Solubilidad} = [(2 \text{ g} - 0.0301 \text{ g}) / 2 \text{ g}] \times 100$$

$$\% \text{ Solubilidad} = 98.4950 \%$$

APÉNDICE D

DATOS CALCULADOS

Tabla XXI Rendimiento porcentual promedio de el extracto total de la corteza de las 5 especies forestales lixiviadas con sulfito de sodio al 2%, por medio de maceración dinámica.

Especie	Caoba	Cedro	Manchiche	Pucte	Santa Maria
Corrida	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)
1	34.84	44.5	42.36	38.1	37.22
2	34.56	45.08	42.84	38.94	37.88
3	34.26	44.74	43.3	38.4	37.92
4	34.48	44.7	42.6	38.52	37.86
5	34.06	44.68	42.8	38.6	37.62
Media	34.44	44.74	42.78	38.512	37.7
Desviación Estándar	0.2969848	0.21118712	0.34756294	0.30548322	0.29291637
Desviación Media	0.224000	0.136000	0.24000	0.209600	0.224000

Fuente: Tabla XXII

Tabla XXII Determinación del rendimiento porcentual de extracto total de la corteza de 5 especies forestales en función de las 3 extracciones sucesivas.

Especie: Caoba					
Extracción	M1 (g)	M2 (g)	M3 (g)	M4 (g)	M5 (g)
1	6.14	5.92	6.06	5.99	5.89
2	5.90	5.8	5.93	5.63	5.6
3	5.38	5.56	5.14	5.62	5.54
Rendimiento (%)	34.84	34.56	34.26	34.48	34.06
Especie: Cedro					
1	8.05	7.93	8.32	7.95	7.98
2	7.32	7.46	7.12	7.37	7.20
3	6.88	7.15	6.93	7.03	7.16
Rendimiento (%)	44.5	45.08	44.74	44.7	44.68
Especie : Manchiche					
1	7.15	7.39	7.33	7.66	7.34
2	7.11	7.16	7.22	7.38	7.13
3	6.92	6.87	7.1	6.26	6.93
Rendimiento (%)	42.36	42.84	43.3	42.6	42.8
Especie : Santa Maria					
1	6.69	6.61	6.4	6.42	6.56
2	6.45	6.21	6.31	6.34	6.17
3	5.47	6.12	6.25	6.17	6.08
Rendimiento (%)	37.22	37.88	37.92	37.86	37.62
Especie : Pucte					
1	6.55	6.58	6.78	6.67	6.83
2	6.26	6.55	6.06	6.75	6.28
3	6.24	6.34	6.36	5.84	6.19
Rendimiento (%)	38.1	38.94	38.4	38.52	38.6

Fuente: Aplicación de la ecuación 26 de la muestra de cálculo

Tabla XXIII Porcentaje de taninos promedio en el extracto total obtenido de la corteza de las 5 especies forestales lixiviadas con sulfito de sodio al 2%, por medio de maceración dinámica.

Especie	Caoba	Cedro	Manchiche	Pucte	Sta. Maria
Muestra	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)
1	5.38	3.82	3.35	3.92	2.87
2	5.47	3.82	3.25	3.86	2.85
3	4.97	3.93	3.26	3.83	2.94
4	5.64	3.61	3.24	3.91	2.92
5	5.30	3.82	3.27	3.96	2.93
Media	5.352	3.800	3.274	3.896	2.902
Desviación Estándar	0.24813303	0.11640447	0.04393177	0.05128353	0.03962323
Desviación Media	0.1736	0.076	0.0304	0.0408	0.0336

Fuente: Tabla XXIV

Tabla XXIV Determinación de Porcentaje de taninos en el extracto total obtenido de la corteza de las 5 especies forestales lixiviadas con sulfito de sodio al 2% por medio de maceración dinámica, en función de 5 muestras por cada una de las 5 especies con 3 extracciones para cada muestra.

Extracción	M1 (%)	M2 (%)	M3 (%)	M4 (%)	M5 (%)	Promedio	Desviación Estándar	Desviación Media
Especie: Caoba								
E1	5.69	5.55	5.14	5.76	5.43	5.514	0.07436	0.0648
E2	5.32	5.37	4.97	5.68	5.26	5.329	0.04669	0.0352
E3	5.14	5.46	4.81	5.47	5.18	5.212	0.05069	0.0416
% Taninos promedio	5.383	5.465	4.975	5.64	5.295	5.352	0.246058	0.1736
Especie: Cedro								
E1	3.86	3.88	3.95	3.65	3.84	3.836	0.11193	0.0744
E2	3.84	3.86	3.93	3.67	3.82	3.824	0.09555	0.0632
E3	3.78	3.83	3.89	3.46	3.79	3.750	0.16777	0.116
% Taninos promedio	3.82	3.82	3.93	3.61	3.82	3.80	0.116404	0.076
Especie: Manchiche								
E1	3.46	3.36	3.32	3.28	3.31	3.346	0.06985	0.0512
E2	3.33	3.22	3.26	3.23	3.27	3.262	0.04324	0.0304
E3	3.27	3.18	3.19	3.20	3.22	3.212	0.035637	0.0264
% Taninos promedio	3.35	3.25	3.26	3.24	3.27	3.274	0.043931	0.0304
Especie: Pucte								
E1	3.98	3.86	3.85	3.99	4.00	3.936	0.07436	0.0648
E2	3.90	3.86	3.84	3.91	3.96	3.892	0.04669	0.0352
E3	3.90	3.85	3.82	3.83	3.94	3.861	0.05069	0.0416
% Taninos promedio	3.92	3.86	3.83	3.91	3.96	3.896	0.051283	0.0408
Especie: Santa Maria								
E1	2.91	2.92	2.98	2.97	2.96	2.95	0.03114	0.0264
E2	2.87	2.85	2.94	2.91	2.93	2.9	0.03872	0.032
E3	2.82	2.78	2.89	2.88	2.90	2.855	0.05176	0.0432
% Taninos promedio	2.87	2.85	2.94	2.92	2.93	2.902	0.039623	0.0336

Fuente : Tabla XXV. Tabla XXVI, Tabla XXVII, Tabla XXVIII y Tabla XXIX.

Tabla XXV Determinación de Porcentaje de taninos en el extracto total obtenido de la corteza de la especie caoba utilizando el método volumétrico cualitativo Tara en Vaina para cada uno de los extractos obtenidos de las tres extracciones sucesivas.

Extracción	Volumen KMnO ₄ (mL)	Peso Obtenido de Extracto (g)	% Taninos en el extracto tánico
MUESTRA 1			
1	46.5	6.14	5.69
2	41	5.90	5.14
3	39	5.38	5.32
MUESTRA 2			
1	44	5.92	5.55
2	42	5.80	5.37
3	41	5.56	5.46
MUESTRA 3			
1	42	6.06	5.14
2	40	5.93	4.97
3	34	5.14	4.81
MUESTRA 4			
1	46	5.99	5.76
2	43	5.63	5.68
3	41.5	5.62	5.47
MUESTRA 5			
1	43	5.89	5.43
2	40	5.60	5.26
3	39	5.54	5.18

Fuente: Aplicación de ecuación 25 de la muestra de cálculo.

Tabla XXVI Determinación de Porcentaje de taninos en el extracto total obtenido de la corteza de la especie *Pucté* utilizando el método volumétrico cualitativo Tara en Vaina para cada uno de los extractos obtenidos de las tres extracciones sucesivas.

Extracción	Volumen KMnO ₄ (mL)	Peso Obtenido de Extracto (g)	% Taninos en el extracto tánico
MUESTRA 1			
1	36	6.55	3.98
2	34	6.26	3.90
3	34	6.24	3.90
MUESTRA 2			
1	35	6.58	3.86
2	35	6.55	3.86
3	34	6.34	3.85
MUESTRA 3			
1	36	6.78	3.85
2	34	6.36	3.84
3	32.5	6.06	3.82
MUESTRA 4			
1	37	6.75	3.99
2	36	6.67	3.91
3	31	5.84	3.83
MUESTRA 5			
1	37	6.83	4.00
2	34	6.28	3.96
3	34	6.19	3.94

Fuente: Aplicación de ecuación 25 de la muestra de cálculo.

Tabla XXVII Determinación de Porcentaje de taninos en el extracto total obtenido de la corteza de la especie Cedro, utilizando el método gravimétrico Stiasny, para cada uno de los extractos obtenidos de las tres extracciones sucesivas.

Extracción	Peso Obtenido después de secado (g)	% Taninos en el extracto tánico
MUESTRA 1		
1	0.0386	3.86
2	0.0384	3.84
3	0.0378	3.78
MUESTRA 2		
1	0.0388	3.88
2	0.0386	3.86
3	0.0383	3.83
MUESTRA 3		
1	0.0395	3.95
2	0.0393	3.93
3	0.0389	3.89
MUESTRA 4		
1	0.0367	3.67
2	0.0365	3.65
3	0.0346	3.46
MUESTRA 5		
1	0.0384	3.84
2	0.0382	3.82
3	0.0379	3.79

Fuente: Aplicación de ecuación 27 de la muestra de cálculo.

Tabla XXVIII Determinación de Porcentaje de taninos en el extracto total obtenido de la corteza de la especie Manchiche, utilizando el método gravimétrico Stiasny, para cada uno de los extractos obtenidos de las tres extracciones sucesivas.

Extracción	Peso Obtenido después de secado (g)	% Taninos en el extracto tánico
MUESTRA 1		
1	0.0346	3.46
2	0.0330	3.33
3	0.0327	3.27
MUESTRA 2		
1	0.0336	3.36
2	0.0322	3.22
3	0.0318	3.18
MUESTRA 3		
1	0.0332	3.32
2	0.0326	3.26
3	0.0319	3.19
MUESTRA 4		
1	0.0328	3.28
2	0.0323	3.23
3	0.0320	3.20
MUESTRA 5		
1	0.0331	3.31
2	0.0327	3.27
3	0.0322	3.22

Fuente: Aplicación de ecuación 27 de la muestra de cálculo.

Tabla XXIX Determinación de Porcentaje de taninos en el extracto total obtenido de la corteza de Santa Maria, utilizando el método gravimétrico Stiasny, para cada uno de los extractos obtenidos de las tres extracciones sucesivas.

Extracción	Peso Obtenido después de secado (g)	% Taninos en el extracto tánico
MUESTRA 1		
1	0.0291	2.91
2	0.0287	2.87
3	0.0282	2.82
MUESTRA 2		
1	0.0292	2.92
2	0.0285	2.85
3	0.0278	2.78
MUESTRA 3		
1	0.0298	2.98
2	0.0294	2.94
3	0.0289	2.89
MUESTRA 4		
1	0.0297	2.97
2	0.0291	2.91
3	0.0288	2.88
MUESTRA 5		
1	0.0296	2.96
2	0.0293	2.93
3	0.0290	2.90

Fuente: Aplicación de ecuación 27 de la muestra de cálculo.

Tabla XXX Determinación de índice de refracción de los extractos total restituidos con agua para las 5 muestras de cada una de las 5 especies forestales, realizando dos repeticiones por cada muestra.

Repetición	M1	M2	M3	M4	M5	Promedio	Desviación Estándar	Desviación Media
Especie : Caoba								
R1	1.3341	1.3346	1.3340	1.3344	1.3342	1.33426		
R2	1.3341	1.3345	1.3342	1.3344	1.3342	1.33428		
Índice Promedio	1.3341	1.3346	1.3341	1.3344	1.3342	1.33427	0.000198	0.000164
Especie: Cedro								
R1	1.3352	1.335	1.3351	1.3352	1.335	1.3351		
R2	1.3352	1.3352	1.3351	1.3352	1.3351	1.33516		
Índice Promedio	1.3352	1.3351	1.3351	1.3352	1.3351	1.33513	6.7082E-05	5.6E-05
Especie : Manchiche								
R1	1.3352	1.3351	1.3353	1.3352	1.3351	1.33518		
R2	1.3352	1.3351	1.3352	1.3352	1.335	1.33514		
Índice Promedio	1.3352	1.3351	1.33525	1.3352	1.3351	1.33516	8.215E-05	6.8E-05
Especie : Pucte								
R1	1.3348	1.3348	1.3348	1.3347	1.3348	1.33478		
R2	1.3348	1.3348	1.3348	1.3346	1.3348	1.33476		
Índice Promedio	1.3348	1.3348	1.3348	1.3347	1.3348	1.33477	6.708E-05	4.8E-05
Especie: Santa Maria								
R1	1.3342	1.334	1.3342	1.3342	1.3342	1.33416		
R2	1.3342	1.3341	1.3342	1.3342	1.3342	1.33418		
Índice Promedio	1.3342	1.3341	1.3342	1.3342	1.3342	1.33417	6.708E-05	4.8E-05

Fuente: Datos originales, Laboratorio de Química. Escuela de Ingeniería Química.

Tabla XXXI Determinación de densidad de los extractos total restituidos con agua para las 5 muestras de cada una de las 5 especies forestales.

Repetición	M1 (g/mL)	M2 (g/mL)	M3 (g/mL)	M4 (g/mL)	M5 (g/mL)	Promedio	Desviación Estándar	Desviación Media
Especie: Caoba								
R1	1.1182	1.1177	1.1096	1.1186	1.1153	1.11588		
R2	1.1182	1.1177	1.1096	1.1186	1.1153	1.11588		
Densidad Promedio	1.1182	1.1177	1.1096	1.1186	1.1153	1.11588	0.0037372	0.002744
Especie: Cedro								
R1	1.0961	1.0968	1.0965	1.0964	1.0976	1.09668		
R2	1.0961	1.0968	1.0965	1.0964	1.0976	1.09668		
Densidad Promedio	1.0961	1.0968	1.0965	1.0964	1.0976	1.09668	0.0005718	0.000416
Especie: Manchiche								
R1	1.0949	1.0991	1.0954	1.0984	1.0996	1.09748		
R2	1.0949	1.0991	1.0954	1.0984	1.0996	1.09748		
Densidad Promedio	1.0949	1.0991	1.0954	1.0984	1.0996	1.09748	0.0021764	0.001864
Especie: Pucte								
R1	1.0983	1.0976	1.0961	1.1008	1.0964	1.09784		
R2	1.0983	1.0974	1.0961	1.1012	1.0964	1.09788		
Densidad Promedio	1.0983	1.0975	1.0961	1.101	1.0964	1.09786	0.0019629	0.001432
Especie: Santa María								
R1	1.1098	1.1036	1.1112	1.1067	1.1072	1.1077		
R2	1.1098	1.1036	1.1112	1.1067	1.1072	1.1077		
Densidad Promedio	1.1098	1.1036	1.1112	1.1067	1.1072	1.1077	0.0029461	0.00224

Fuente: Aplicación de ecuación 29 de la muestra de Cálculo

Tabla XXXII Determinación de pH de los extractos totales restituidos con agua para las 5 muestras de cada una de las 5 especies forestales.

Repetición	M1	M2	M3	M4	M5	Promedio	Desviación Estándar	Desviación Media
Especie: Caoba								
R1	6.4	6.41	6.44	6.42	6.35	6.404		
R2	6.42	6.41	6.44	6.42	6.4	6.418		
pH Promedio	6.41	6.41	6.44	6.42	6.375	6.411	0.023558	0.0152
Especie: Cedro								
R1	6.74	6.61	6.75	6.72	6.78	6.72		
R2	6.76	6.63	6.73	6.7	6.75	6.714		
pH Promedio	6.75	6.62	6.74	6.71	6.765	6.717	0.057835	0.0416
Especie: Manchiche								
R1	6.44	6.42	6.45	6.38	6.44	6.426		
R2	6.44	6.42	6.46	6.43	6.43	6.436		
pH Promedio	6.44	6.42	6.455	6.405	6.435	6.431	0.01917	0.0148
Especie: Pucte								
R1	6.14	6.15	6.11	6.16	6.17	6.146		
R2	6.14	6.16	6.12	6.16	6.17	6.15		
pH Promedio	6.14	6.155	6.115	6.16	6.17	6.148	0.021389	0.0164
Especie: Santa. Maria								
R1	6.8	6.76	6.82	6.86	6.81	6.81		
R2	6.8	6.76	6.81	6.84	6.81	6.804		
pH Promedio	6.8	6.76	6.815	6.85	6.81	6.807	0.032326	0.0216

Fuente: Datos originales, Laboratorio de Química. Escuela de Ingeniería Química.

Tabla XXXIII Determinación de porcentaje promedio de solubilidad de los extractos totales en agua a 30 ° C, para las 5 muestras de cada una de las 5 especies forestales.

Repetición	M1 (%)	M2 (%)	M3 (%)	M4 (%)	M5 (%)	Promedio (%)	Desviacion Estándar	Desviacion Media
Especie: Caoba								
R1	98.495	98.140	97.750	97.500	98.065	97.990		
R2	97.640	98.320	98.055	97.555	97.935	97.901		
% Solubilidad Promedio	98.0675	98.23	97.9025	97.528	98	97.9455	0.26237	0.1844
Especie: Cedro								
R1	95.665	95.160	95.245	95.165	95.200	95.287		
R2	95.495	95.140	95.335	95.520	95.365	95.371		
% Solubilidad Promedio	95.58	95.15	95.29	95.343	95.283	95.329	0.15724	0.1058
Especie: Manchiche								
R1	90.715	91.775	91.260	90.945	91.325	91.204		
R2	91.420	91.330	91.490	90.720	91.055	91.203		
% Solubilidad Promedio	91.0675	91.553	91.375	90.833	91.19	91.2035	0.27727	0.2082
Especie: Pucte								
R1	97.59	98.03	97.945	97.995	98.320	97.976		
R2	97.65	98.085	97.870	98.010	98.005	97.924		
% Solubilidad Promedio	97.62	98.058	97.9075	98.003	98.163	97.95	0.20626	0.149
Especie Santa Maria								
R1	95.930	95.340	95.065	95.390	94.840	95.313		
R2	95.520	95.295	95.235	95.350	95.055	95.291		
% Solubilidad Promedio	95.725	95.318	95.15	95.37	94.948	95.302	0.28834	0.2026

Fuente: Tabla XXXIV, Tabla XXXV y Tabla XXXVI.

Tabla XXXIV Determinación de porcentaje de solubilidad de los extractos totales en agua a 30 ° C, para las 5 muestras de cada una de las 5 especies forestales.

Especie	Sólidos después de filtrar (g)	Porcentaje de Solubilidad (%)
Caoba / Muestra 1		
R1	0.0301	98.4950
R2	0.0432	97.6400
Caoba / Muestra 2		
R1	0.0372	98.1400
R2	0.0336	98.3200
Caoba / Muestra 3		
R1	0.0450	97.7500
R2	0.0389	98.0550
Caoba / Muestra 4		
R1	0.0387	98.0650
R2	0.0413	97.9350
Caoba / Muestra 5		
R1	0.0478	97.6100
R2	0.0502	97.4900
Cedro / Muestra 1		
R1	0.0867	95.6650
R2	0.0901	95.4950
Cedro / Muestra 2		
R1	0.0968	95.1600
R2	0.0972	95.1400
Cedro / Muestra 3		
R1	0.0951	95.2450
R2	0.0933	95.3350

Fuente: Aplicación de ecuación 23 de la muestra de cálculo.

Tabla XXXV Determinación de porcentaje de solubilidad de los extractos totales en agua a 30 ° C, para las 5 muestras de cada una de las 5 especies forestales.

Especie	Sólidos después de filtrar (g)	Porcentaje de Solubilidad (%)
Cedro / Muestra 4		
R1	0.0967	95.1650
R2	0.0896	95.5200
Cedro / Muestra 5		
R1	0.0963	95.5200
R2	0.0927	95.3650
Manchiche / Muestra 1		
R1	0.1857	90.7150
R2	0.1716	91.4200
Manchiche / Muestra 2		
R1	0.1645	91.7750
R2	0.1734	91.3300
Manchiche / Muestra 2		
R1	0.1748	91.2600
R2	0.1702	91.4900
Manchiche / Muestra 4		
R1	0.1811	90.9450
R2	0.1856	90.7200
Manchiche / Muestra 5		
R1	0.1735	91.3250
R2	0.1789	91.0550
Pucte / Muestra 1		
R1	0.0482	97.5900
R2	0.0470	97.6500

Fuente: Aplicación de ecuación 23 de la muestra de cálculo.

Tabla XXXVI Determinación de porcentaje de solubilidad de los extractos totales en agua a 30 ° C, para las 5 muestras de cada una de las 5 especies forestales.

Especie	Sólidos después de filtrar (g)	Porcentaje de Solubilidad (%)
Pucte / Muestra 2		
R1	0.0394	98.0300
R2	0.0383	98.0850
Pucte / Muestra 3		
R1	0.0411	97.9450
R2	0.0426	97.8700
Pucte / Muestra 4		
R1	0.0401	97.9950
R2	0.0398	98.0100
Pucte / Muestra 5		
R1	0.0336	98.3200
R2	0.0399	98.0050
Santa Maria / Muestra 1		
R1	0.0814	95.9300
R2	0.0896	95.5200
Santa Maria / Muestra 2		
R1	0.0932	95.3400
R2	0.0941	95.2950
Santa Maria / Muestra 3		
R1	0.0987	95.0650
R2	0.0953	95.2350
Santa Maria / Muestra 4		
R1	0.0922	95.3900
R2	0.0930	95.3500
Santa Maria / Muestra 5		
R1	0.1032	94.8400
R2	0.0989	95.0550

Fuente: Aplicación de ecuación 23 de la muestra de cálculo.

APÉNDICE E

Figura 76. IMPACTOS AMBIENTALES GENERADOS POR LA INVESTIGACIÓN “LIXIVIACIÓN, CARACTERIZACIÓN FÍSICOQUÍMICA Y CUANTIFICACIÓN DE TANINOS OBTENIDOS DE LA CORTEZA DE 5 ESPECIES FORESTALES PROCEDENTES DE PETEN”

No.	Aspecto Ambiental	Impacto ambiental	Tipo de impacto ambiental (de acuerdo con la descripción del cuadro anterior)	Actividades de la Investigación donde Aplica el Impacto Ambiental	Manejo ambiental Indicar qué se hizo para evitar el impacto al ambiente.
1	AIRE	Gases o partículas (polvo, vapores, humo, hollín, monóxido de carbono, óxidos de azufre, etc.)	1. Partículas 2. Polvo 3. Gases	<ul style="list-style-type: none"> ○ Molienda (1,2) ○ Tamizaje (2) ○ Lixiviación (3) ○ Cuantificación de Taninos (3) ○ Caracterización de Taninos (3) 	Para mitigar el impacto en aire de los gases a generar se utilizó campana de extracción de gases dentro del laboratorio.
		Ruido	Contaminación acústica	<ul style="list-style-type: none"> ○ Molienda ○ Tamizaje 	Enchufamiento de equipo tamizador.
		Vibraciones	No aplica	No Aplica	No aplica, pues no genera ningún impacto ambiental.
		Olores	1. No perceptible 2. Muy débilmente Perceptible 3. Débilmente Perceptible 4. Distinguible 5. Fuerte 6. Muy fuerte 7. Extremadamente Fuerte	<ul style="list-style-type: none"> ○ Lixiviación (4) ○ Caracterización de taninos (3) ○ Cuantificación de taninos. (5) 	Realizaron los análisis dentro de la campana de extracción.

2	AGUA	Abastecimiento de agua	<p>1. Lavado de Cristalería</p> <p>2. Limpieza</p>	<ul style="list-style-type: none"> o Muestreo (2) o Secado (1,2) o Molienda (1,2) o Tamizaje (1,2) o Lixiviación (1,2) o Caracterización de taninos (1,2) o Cuantificación de Taninos (1,2) 	El agua se utilizó racionalmente, exclusivamente para cubrir las necesidades de la investigación y no afecto a personas ni al ambiente.
		Aguas residuales ordinarias (aguas residuales generadas por las actividades domésticas)	No aplica, porque las aguas residuales están conectadas al drenaje principal.	No aplica, pues no se generará ningún impacto ambiental.	No aplica, pues no genera ningún impacto ambiental.
		Aguas residuales Especiales (aguas residuales generadas por servicios públicos municipales, actividades de servicios, industriales, agrícolas, pecuarias, hospitalarias)	Si aplica, pues se generarán aguas residuales provocadas por el manejo de desechos de laboratorio.	<ul style="list-style-type: none"> o Lixiviación o Caracterización de Taninos o Cuantificación de Taninos. 	Se realizó el manejo de desechos adecuado para que el impacto ambiental no fuese significativo..
		Mezcla de las aguas residuales anteriores.	No aplica, pues solo se generarán mezclas de las agua antes mencionadas.	No aplica, pues no se generará ningún impacto ambiental.	No aplica, pues no genera ningún impacto ambiental.
		Agua de lluvia	No aplica	No aplica, pues no se generará ningún impacto ambiental.	No aplica, pues no genera ningún impacto ambiental.

3	SUELO	Desechos sólidos (basura común)	<ol style="list-style-type: none"> 1. Papel 2. Plásticos 3. Residuos de Corteza 	<ul style="list-style-type: none"> o Lixiviación(1,2,3) o Caracterización de Taninos(1,2,3) o Cuantificación de taninos.(1,2,3) 	Manejo de Desechos Sólidos dentro del laboratorio.
		Desechos Peligrosos (líquidos)	<ol style="list-style-type: none"> 1. Corrosivos 2. Reactivos 3. Explosivos 4. Tóxicos 5. Inflamables 6. Bioinfecciosos 	<ul style="list-style-type: none"> o Lixiviación(4) o Caracterización de Taninos(1,4,5) o Cuantificación de taninos (1,4,5) 	Manejo de desechos líquidos.
		Modificación del relieve o topografía del área	No aplica, pues no se alteraro la topografía del terreno .	No aplica, pues no genera ningún impacto ambiental.	No aplica, pues no genera ningún impacto ambiental.
4	BIODIVERSIDAD	Flora (árboles, plantas)	Tala de Árboles: Caoba, Cedro, Manchiche, Santa Maria y Pucte.	Muestreo de Especies.	Se utilizó la corteza que forma parte de los desechos de los aserraderos, los cuales forman parte de un programa de reforestación y cuidado de medio ambiente.(ACOFOP).
		Fauna (animales)	No aplica, ya que no se expondrá la vida de animales que habitan los alrededores del área .	No aplica, pues no genera ningún impacto ambiental.	No aplica, pues no genera ningún impacto ambiental.
		Ecosistema	No aplica, pues no se destruirá el hábitat de ninguna especie.	No aplica, pues no genera ningún impacto ambiental.	No aplica, pues no genera ningún impacto ambiental.

5	VISUAL	Modificación del paisaje	No aplica, porque no se modificó ni la topografía, ni el paisaje, ya que no hubieron cambios significativos en el área de trabajo.	No aplica, pues no genera ningún impacto ambiental.	No aplica, pues no genera ningún impacto ambiental.
6	Social	Cambio o modificaciones sociales.	<ol style="list-style-type: none"> 1. Cultural 2. Político 3. Económico 	Al final de la investigación se obtuvo un avance tecnológico al aprovechar material de desecho de la industria de aserraría que tiene un impacto de mejora en el ámbito económico, cultural y político de nuestro país.	Se realizaron todas las actividades de la investigación procurando causar el mínimo impacto ambiental.

Fuente: Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales(MARN)

APÉNDICE G

Presupuesto de la Investigación "Extracción, Caracterización fisicoquímica y Cuantificación de taninos obtenidos de la corteza de cinco especies Forestales procedentes de el Departamento de Petén"

1. Obtención de Materia Prima

Viaje a Petén		Descripción	Costo (Quetzales)
		Combustible	Q. 33.35 / Galon (35 Km/Galon)
	Hospedaje	Q. 50/noche (4 noche)	200
	Alimentación	Q.25/tiempo(12 tiempo)	300
		SUB-TOTAL	1738,71

2. Material y Equipo

CRISTALERIA	Cantidad	Artículo	Descripción	Capacidad	Costo Unitario	Costo Total	Fecha	Lugar
		5	Erlenmeyer	vidrio Boeco	1000 mL	205,55	1027,75	08/05/2008
	15	Beaker	vidrio Boeco	600 mL	34,10	511,50	08/05/2008	PROINCA
	1	Mortero con Pistilo	Porcelana	pequeño	501,30	501,30	08/05/2008	PROINCA
	1	Probeta	vidrio Boeco	1000 mL	254,00	254,00	08/05/2008	PROINCA
	1	kitazato	vidrio Kimax	500 mL	178,25	178,25	08/05/2008	PROINCA
	75	Viales	vidrio	250 mL	2,50	187,50	08/05/2008	PROINCA
	1	Bureta	Llave Teflon DIV. 0.02	25 mL	323,75	323,75	08/05/2008	PROINCA
	1	Balon Aforado	Vidrio / Tapadera Plastica	1000 mL	202,25	202,25	08/05/2008	PROINCA
	3	Balon de fondo Plano	vidrio Kimax	250 mL	207,57	622,71	08/05/2008	PROINCA
	3	Condensadores de re	vidrio pyrex NS24	29/42	465,00	1395,00	17/02/2008	PROINCA
	2	Varilla de Agitación	Vidrio	8*300 mm	10,30	20,60	08/05/2008	PROINCA
	1	Micropipeta	Vidrio	250 Unidades	160,00	160,00	23/05/2008	MERCK
	1	Gradilla 32 Tubos de	Metalica	32 tubos	150,00	150,00	30/06/2008	PROINCA
	1	Embudo Buchner	Porcelana Diametro 110 m	500 mL	93,75	93,75	06/05/2008	KRON
	2	Crisol Gooch	porcelana Porcelana	40 mL/1150°C	334,50	669,00	06/05/2008	KRON
	2	Espatula	Mango Madera 100mm	15 cm largo	62,00	124,00	06/05/2008	KRON
	1	Pipeta Volumetrica	Vidrio	25 mL	44,50	44,50	08/05/2008	PROINCA
	1	Tamiz	Bronce	8" #50	550,00	550,00	21/03/2008	KRON
	1	Tamiz	Bronce	8" #60	550,00	550,00	21/03/2008	KRON

	1	Tapon	Hule	# 10	10,35	10,35	15/05/2008	PROINCA
	1	Parafilm	Rollo	4"X125'	245	245,00	29/07/2008	PROINCA
	1	Pizeta	Polietileno	125 mL	23,52	23,52	29/07/2008	PROINCA
	1	Papel Filtro	Whatman No. 20	12.5 cm 100 U	165,50	165,50	29/07/2008	PROINCA
	5	Agitadores	Magneticos	1 Pulgada	45,32	226,60	06/05/2008	KRON
				SUB-TOTAL		8236,83		

	Nombre	Descripcion	Precio	depreciación Anu	Costo/6 meses	COTIZACION	
						Fecha	Lugar
EQUIPO	Horno de Pe	ejas VWR 52352-100	14.958	2.991,60	1495,80	01/03/2008	PROINCA
	Balanza Ana	ACCULAB ALC-210.4	18.395	3.679,00	1839,50	01/03/2008	KRON
	Hot Plate co	VELP MODELO ARE	3.280	656,00	328,00	21/03/2008	KRON
	Bomba de V	5 pies/min 26 mmHg	5.925	1.185,00	592,50	19/01/2008	PROINCA
	Molino de M	YRIOS Motovario	30.264,87	6.052,97	3026,49	23/05/2008	LABOTEC
	Tamizadora	Enclosure W.A: Tyler	17.138,14	3.427,63	1713,81	23/05/2008	INSBAL
	Potenciome	pH 213 3 electrodos	7.500	1.500,00	750,00	17/02/2008	PROINCA
	Refractome	Abbe 32200	3136	627,20	313,60	23/05/2008	INSBAL
	Campana d	LABOTEC	36957	7.391,40	3695,70	23/05/2008	INSBAL
	Balanza de	o/Sartorius 110 Volts	19455,77	3.891,15	1945,58	17/02/2008	PROINCA
			SUB-TOTAL		15700,98		

	Cantidad	Reactivo	Descripcion	Costo Unitario	Costo Total	Fecha	Lugar
REACTIVOS	1	Ácido Clorhidrico Fur	2.5 L MERCK	195,82	195,82	09/05/2008	RGH
	1	Cloruro de Sodio	1 Kg	197	197,00	15/05/2008	RGH
	1	Cloruro Ferrico	1 Kg	209,45	209,45	15/05/2008	RGH
	1	Permanganato de Po	1 L	270	270,00	09/05/2008	RGH
	1	Sulfito de Sodio Anhi	500 g MERCK	296,69	296,69	15/05/2008	RGH
	2	Agua Desmineralizad	18.9 L	12,7	25,40	30/06/2008	Emb.Mariposa
	1	Formaldehido al 37%	1 L	270	270,00	09/05/2008	RGH
	1	Indigo Carmin	25 g MERCK	538,15	538,15	09/05/2008	RGH
			SUB-TOTAL		2002,51		

3. SERVICIOS					
Cantidad	Analisis	Costo Unitario	Costo Total	Lugar	
5	Tamizaje Fit	250	1.250	LIPRONAT	
SUB-TOTAL			1.250		

4. ENERGIA					
Equipo	Consumencia (W/h)	No. Horas	kW-hora totales	Costo kW-hora	Costo Total
Plancha de Ca	1113	78,75	87,64	1,67	146,36
Bomba de Vac	483	6,25	3,01	1,67	5,03
Horno Electric	800	180,00	144,00	1,67	240,48
Balanza de Hu	12	5,00	0,06	1,67	0,10
Tamizadora	4000	8,33	33,32	1,67	55,64
Balanza Analit	6	25,00	0,15	1,67	0,25
Molino de Mar	4200	5,00	21,00	1,67	35,07
Fuente: Seccion 7.6				SUB-TOTAL	482,93

5. OTROS					
Cantidad	Articulo	Costo Unitario	Costo Total	FECHA	LUGAR
5	Recipientes	20,25	101,25	05/05/2008	Paiz
1	Maskintape	6,75	6,75	05/05/2008	Paiz
1	Marcador P	12,30	12,30	05/05/2008	Paiz
1	Bitacora de	10,50	10,50	05/05/2008	Paiz
100	Etiquetas	4,75	475,00	05/05/2008	Paiz
1	Tijeras	15,70	15,70	05/05/2008	Paiz
2	CD's	2,50	5,00	05/05/2008	Paiz
5	Mascarilla 3	19,75	98,75	30/06/2008	PROINCA
1	Mascarilla F	200,00	200,00	30/06/2008	PROINCA
1	Par Guante	70,00	70,00	30/06/2008	PROINCA
				SUB-TOTAL	995,25

6. COSTOS TOTALES DE INVERSION (Quetzales)			
1	Obtension de Materia Prima		1738,71
2	Material y Equipo		
2,1	Cristaleria	8236,83	
2,2	Depreciacion Equip	15700,97	
2,3	Reactivos	2002,51	
			25940,31
3	Servicios		1250,00
4	Energia		482,93
5	Otros		995,25
	TOTAL		30407,20

Nota: El presupuesto no incluye costo de Asesoría Profesional

Determinación de Consumo de Energía Eléctrica.

1. Cálculo de número de horas de desgaste de Aparatos Eléctricos utilizados en la realización de la investigación.

Tabla No. 5

Proceso	Aparato Eléctrico	Tiempo por muestra	No. Muestras	Total Horas
Determinación de Humedad	Balanza de Humedad	5 minutos	60	5
Molienda	Molino de Martillos	1 hora	5	5
Tamizado	Maquina Tamizadora	10 minutos	50	8.33
Lixiviación	Pruebas Preliminares	135 minutos	10	22.50
	Plancha Calentamiento/Agitación	135 minutos	25	56.25
Filtración	Bomba de Vacío	5 minutos	75	6.25
Secado de Extractos Líquidos	Horno Eléctrico	36 horas	75	180
Cuantificación de Extractos totales	Stiasny/Equipo a Reflujo	30 minutos	25	12.50

Fuente: Metodología Experimental

2. Cálculo de kW-hora de consumo.

$$\text{Potencia} = (\text{Amperaje})(\text{Voltaje}) = \text{Watts}$$

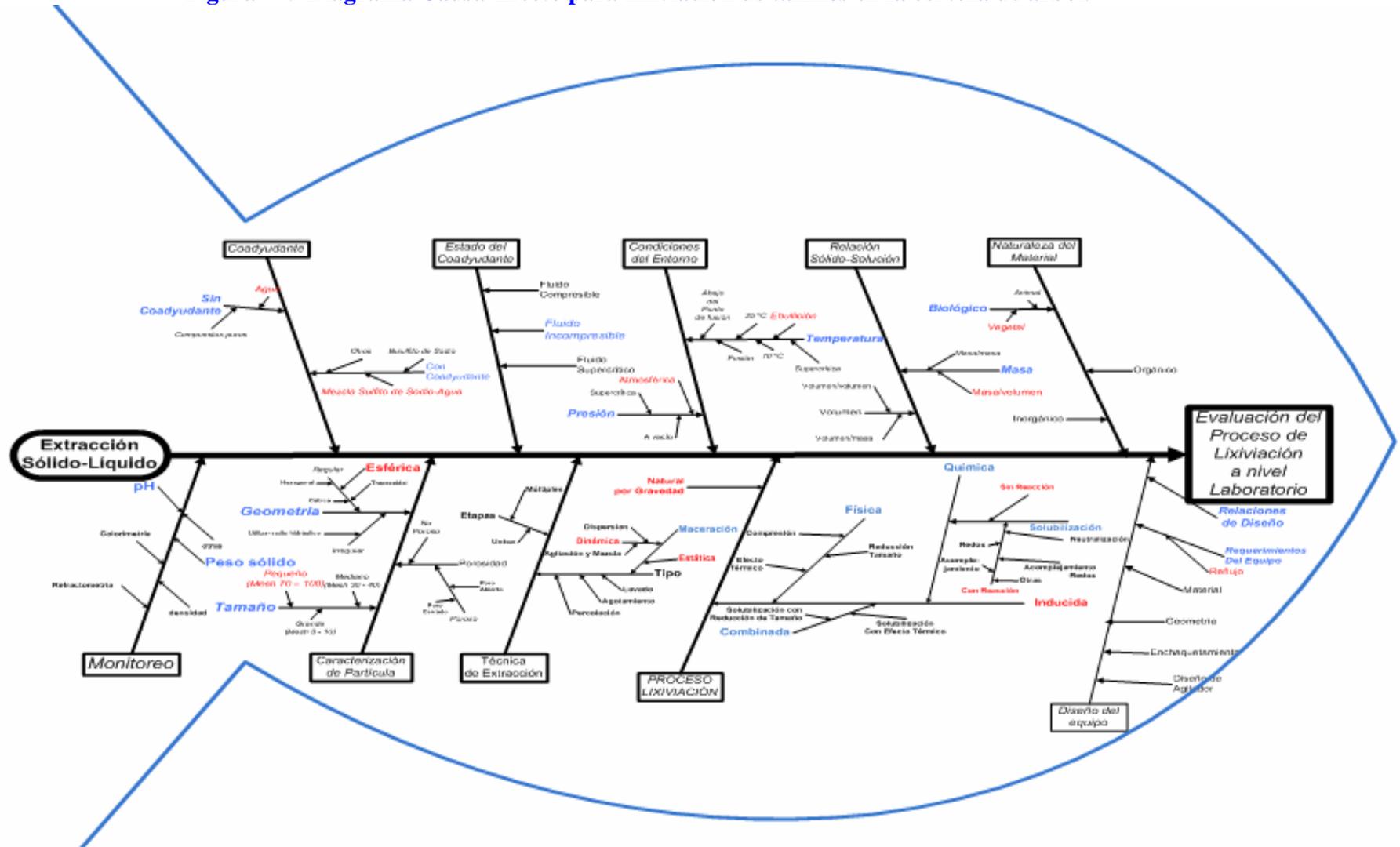
$$1 \text{ Watts} = 1000 \text{ kW}$$

1 kW-h tiene el valor de Q.1.45 y por distribución se cobra adicional Q. 0.22.

1 kW-hora = Q.1.67 - Valor consultado en la Empresa Eléctrica Guatemala S.A. el día 26 de Agosto de 2008.

APÉNDICE F

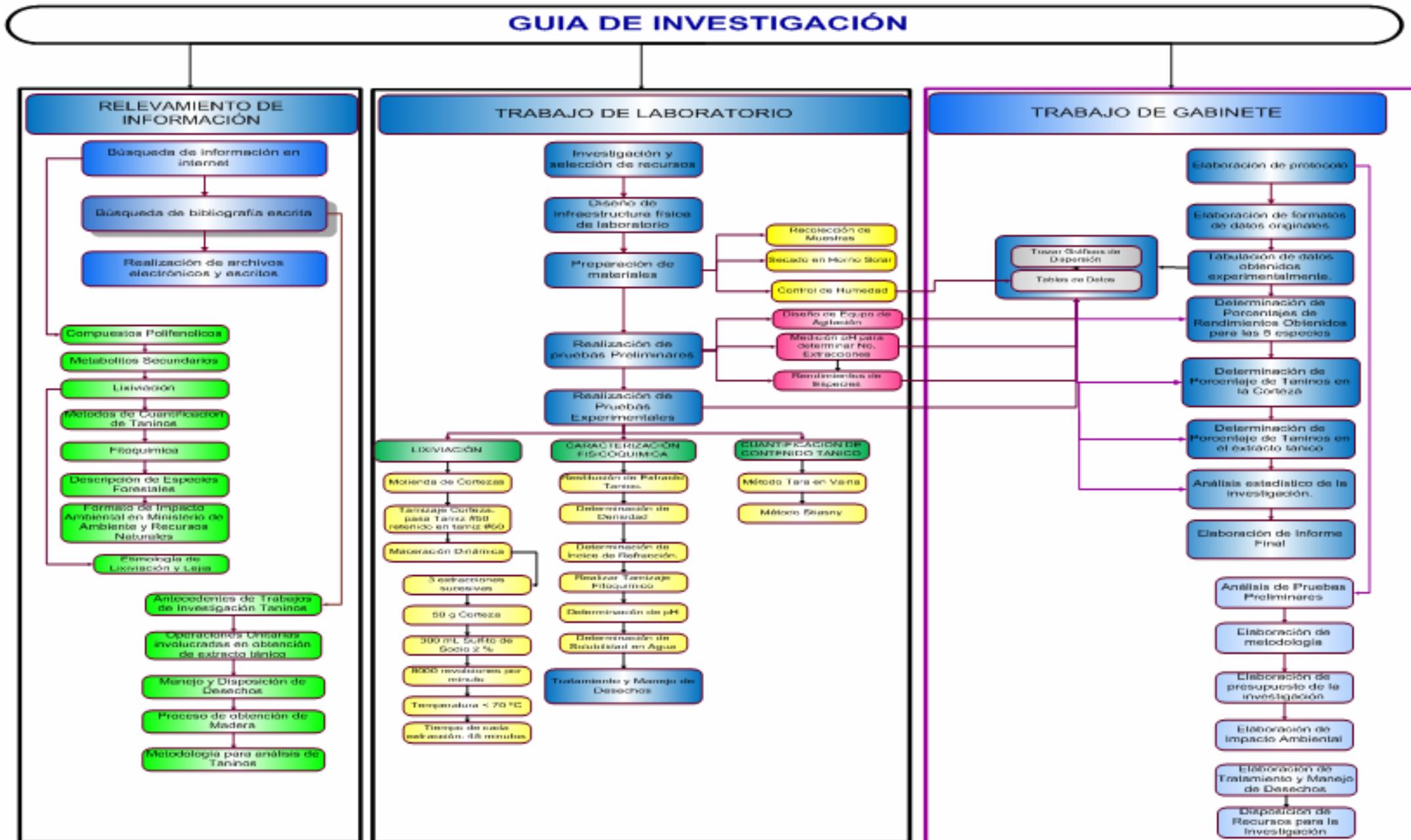
Figura 77. Diagrama Causa-Efecto para lixiviación de taninos en la corteza de árbol.



Fuente: Metodología Experimental

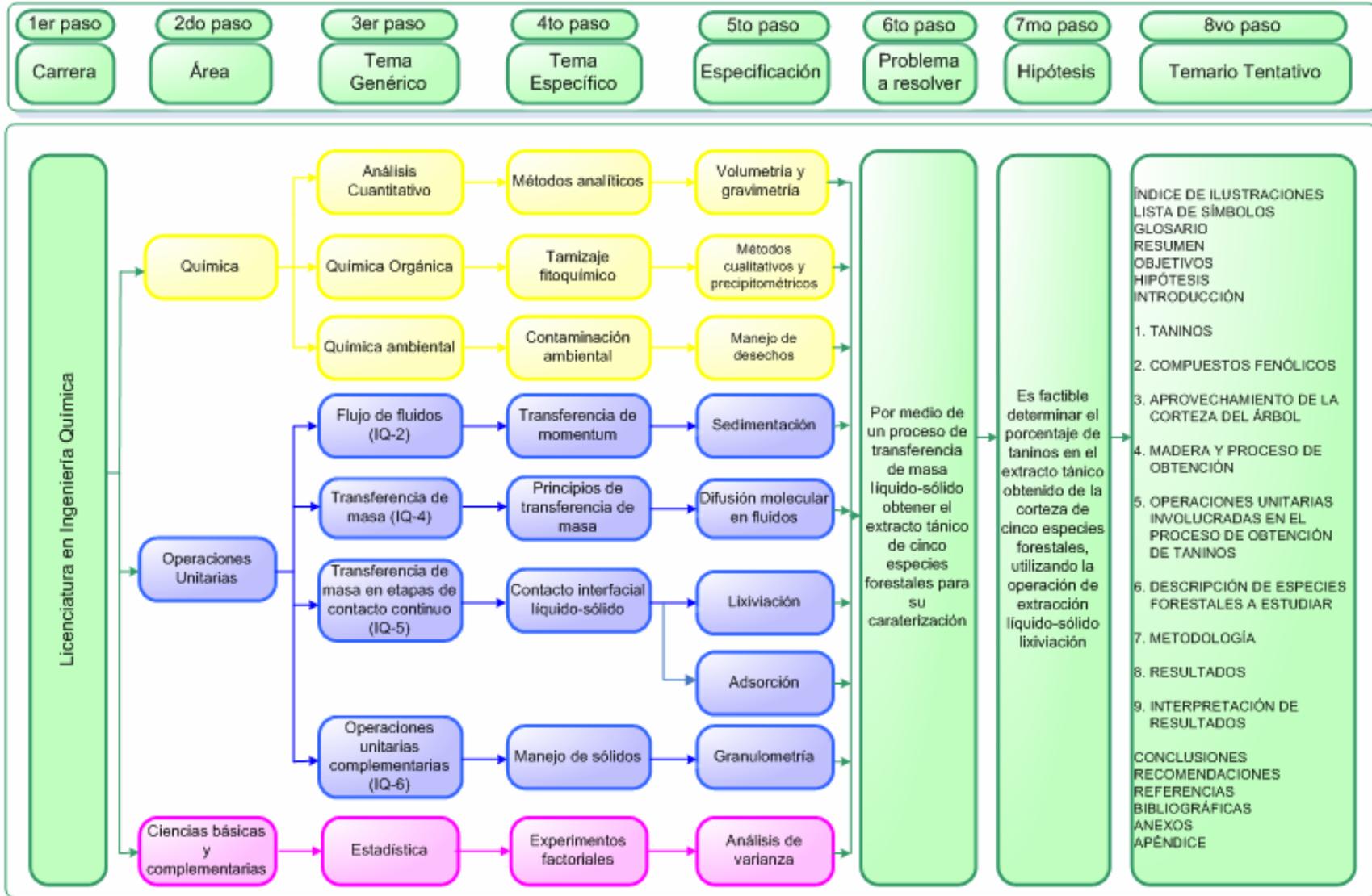
APÉNDICE H

Figura 78. Flujograma de metodología del proceso de lixiviación de taninos en la corteza de 5 especies forestales.



APÉNDICE I

Figura 79. Requerimiento Académico para la elaboración de Trabajo de graduación de lixiviación inducida en la carrera de Ingeniería Química.



APÉNDICE J
FOTOGRAFÍAS PROCESO DE LIXIVIACIÓN DE TANINOS DE LA CORTEZA
DE 5 ESPECIES FORESTALES

Figura 80 Primera fila-izquierda :corteza de caoba. Derecha: corteza de cedro.
Segunda fila-izquierda: corteza de Manchiche. Derecha: corteza Pucté.



Figura 81 Primera fila-izquierda :corteza de Santa Maria. Derecha: corteza molida de Santa Maria y Pucté. Segunda fila: corteza molida de caoba, cedro y Manchiche.



Figura 82 Primera fila-izquierda : Unidad de lixiviación en el proceso. Derecha: maceración dinámica de corteza con solución acuosa de sulfito de sodio al 2%. Segunda fila-izquierda: filtrado de extracto total fluido .Derecha: secado de extractos totales.



Figura 83 Primera fila-izquierda :extractos totales de caoba y cedro.Derecha: Viales para almacenamiento de extractos totales secos. Segunda fila: extractos totales de Manchiche, Pucté y Santa Maria.



Figura 84 Primera fila-izquierda : extractos totales reconstituidos con agua a ebullición y reflujo.Derecha: extractos totales reconstituidos previos a caracterizar, en el orden caoba, cedro, Manchiche, Pucté y Santa Maria . Segundo fila: extractos totales reconstituidos.

