



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

**OBTENCIÓN DEL EXTRACTO TÁNICO POR MACERACIÓN
DINÁMICA DE LA CORTEZA DE ÁRBOLES JÓVENES DE CUATRO
ESPECIES FORESTALES, A NIVEL LABORATORIO.**

Adela María Marroquín González

Asesorado por : Inga. Telma Maricela Cano Morales

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

Guatemala, noviembre de 2008

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



**OBTENCIÓN DEL EXTRACTO TÁNICO POR MACERACIÓN
DINÁMICA DE LA CORTEZA DE ÁRBOLES JÓVENES DE
CUATRO ESPECIES FORESTALES, A NIVEL LABORATORIO.**

TRABAJO DE GRADUACIÓN
PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR:

ADELA MARÍA MARROQUÍN GONZÁLEZ

ASESORADO: INGA. QCA. TELMA MARICELA CANO MORALES

ING. FOR. M.SC. JOSÉ MARIO SARAVIA MOLINA

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERA QUÍMICA

GUATEMALA, NOVIEMBRE DE 2008

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. 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. Williams Guillermo Álvarez Mejía
EXAMINADOR	Inga. Teresa Lisely De León Arana
EXAMINADOR	Ing. César Alfonso García Guerra
SECRETARIA	Inga. Marcia Ivónne Véliz Vargas



Guatemala 15 de Octubre del 2008

Ing. Williams Guillermo Alvarez Mejia
Director de la Escuela de Ingeniería Química
Facultad de Ingeniería
Universidad de San Carlos

Ingeniero Alvarez Mejia:

Con un cordial saludo me dirijo a usted para informarle que he asesorado y aprobado el Informe Final de trabajo de graduación titulado: "OBTENCIÓN DEL EXTRACTO TÁNICO POR MACERACIÓN DINÁMICA DE LA CORTEZA DE ÁRBOLES JÓVENES DE CUATRO ESPECIES FORESTALES, A NIVEL LABORATORIO."

Elaborado por la estudiante de Ingeniería Química Adela María Marroquín González con número de carné 2000-11777.

Considero que el Informe Final de trabajo de graduación desarrollado por la estudiante Marroquín González, 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
Supervisora Sección Química Industrial
Colegiada 433





UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE AGRONOMÍA
SUB ÁREA DE PRODUCCIÓN FORESTAL



Guatemala 15 de Octubre del 2008

Ing. Williams Guillermo Alvarez Mejía
Director de la Escuela de Ingeniería Química
Facultad de Ingeniería
Universidad de San Carlos

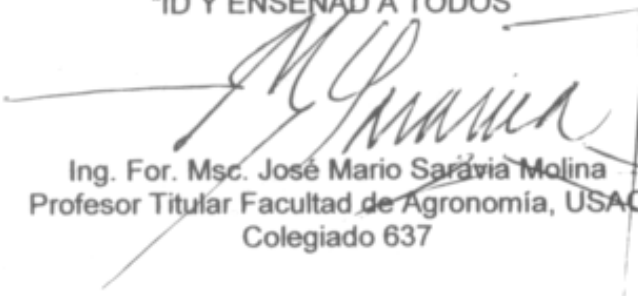
Ingeniero Alvarez Mejía:

Por la presente me permito informarle que he coasesorado el Informe Final de trabajo de graduación titulado: **"OBTENCIÓN DEL EXTRACTO TÁNICO POR MACERACIÓN DINÁMICA DE LA CORTEZA DE ÁRBOLES JÓVENES DE CUATRO ESPECIES FORESTALES, A NIVEL LABORATORIO"**, elaborado por la estudiante de Ingeniería Química Adela María Marroquín González con número de carné : 2000-11777.

Después de haber revisado el documento en cuestión y efectuadas las correcciones pertinentes, considero que llena los requisitos necesarios para su aprobación.

Atentamente,

"ID Y ENSEÑAD A TODOS"


Ing. For. Msc. José Mario Saravia Molina
Profesor Titular Facultad de Agronomía, USAC
Colegiado 637





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

Guatemala, 23 de octubre de 2008
Ref. EI.Q.305.2008

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

Estimado Ingeniero Álvarez:

Como consta en el Acta TG-126-08-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 **ADELA MARÍA MARROQUÍN GONZÁLEZ**, identificada con carné No. **2000-11777**, titulado: "**OBTENCIÓN DEL EXTRACTO TÁNICO POR MACERACIÓN DINÁMICA DE LA CORTEZA DE ÁRBOLES JÓVENES DE CUATRO ESPECIES FORESTALES, A NIVEL LABORATORIO**", el cual ha sido asesorado por la Ingeniera Química **Telma Maricela Cano Morales**, como consta en el Acta.

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

"ID Y ENSEÑADA A TODOS"

Inga. **Teresa Lisely de León Arana, M.Sc.**



ESCUELA DE
INGENIERIA QUIMICA


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 **Adela María Marroquín González** titulado: “ **OBTENCIÓN DEL EXTRACTO TÁNICO POR MACERACIÓN DINÁMICA DE LA CORTEZA DE ÁRBOLES JÓVENES DE CUATRO ESPECIES FORESTALES, A NIVEL LABORATORIO**”, 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, noviembre de 2,008

C.c.: archivo



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: **OBTENCIÓN DEL EXTRACTO TÁNICO POR MACERACIÓN DINÁMICA DE LA CORTEZA DE ÁRBOLES JÓVENES DE CUATRO ESPECIES FORESTALES, A NIVEL LABORATORIO**, presentado por la estudiante universitaria **Adela María Marroquín González**, procede a la autorización para la impresión del mismo.

IMPRÍMASE.


Inq. Murphy Olympo Paiz Recinos
DECANO



Guatemala, noviembre de 2008

ACTO QUE DEDICO A:

Dios	Mi Padre celestial, mi guía y el centro de mi vida.
Virgen María	Por ser modelo de perseverancia y paciencia.
Mis padres	José Ángel y Elisa, por ser los pilares donde me sostengo, por amarme tanto y darme el mejor ejemplo de constancia y amor. Este triunfo es para ambos.
Mis hermanos	Alejandro, Haydeé, Mariana, Luis José y José Ángel. Por el amor que nos une.
Mis cuñadas	Julieta y Ana Lucía. Con todo mi cariño y apoyo por siempre.
Mis sobrinos	Santiago Alejandro D.E.P. José Alejandro. A los dos con todo mi amor.
Mis abuelos	Haydeé Figueroa de González, "...no tengas miedo solamente ten fe"... con todo mi amor. José Ramiro González D.E.P. Adela Marroquín Crispín D.E.P. seguiré poniendo tu nombre en alto por siempre. Te amo.
Mis tíos maternos	Ramiro, Julita, Álvaro, Lissette, Leonel, Silvia, Ana María y Lucila. Gracias por estar allí cuando más los necesito.
Mis tíos paternos	Magda, Hugo, Carlota, Esperanza, René, Cony, Luis D.E.P. y Roxana. Gracias por apoyarme durante toda mi vida.
Mis primos y primas	A cada uno por ser tan especial con todo mi cariño.

Mis amigos y amigas

Gracias por el apoyo y cariño demostrado pero sobre todo, por su amistad incondicional.

Ingenieros

Inga. Telma Cano, Ing. Williams Álvarez, Ing. César García. Mil gracias por sus enseñanzas.

AGRADECIMIENTOS A:

Dios	Por demostrarme su amor infinito y misericordia en cada momento de mi vida.
Virgen María	Por ser mi madre del cielo y guiarme. Gracias por cuidarme.
Mis padres	José Ángel y Elisa, por su amor en cada instante.
Mis hermanos	Alejandro, Haydeé, Mariana, Luis José y José Angel. Por todo su amor, respeto y cariño.
Mis cuñadas	Julieta y Ana Lucía. Con todo mi cariño.
Mis abuelos	Haydeé, Ramiro y Adela, por ser mis segundos padres y por consentirme tanto.
Mis tíos	Por ser cada uno especiales conmigo.
Mis primos y primas	Daniela, Estefania, Liza, Álvaro, Estuardo, Roxana, Daniel, Enmanuel, Hugo, Lorena, Francis, Alan, Luis, Rosita, Noemí, Francisco, Ruth, Magda, Julio, Mynor, Magalí, Alfredo, César.
Mis amigas	Celeste, Ligia, Candy, Tannia, Liceth, Lubia, Cori, Andrea, Gaby, Paola, Mariela, Angélica, Julia, Karen, Marisol, Merari, Natalia y Verónica.
Mis amigos	Juan Francisco, Amilcar, Alex, Darío, Anibal, Adrián, Joze, Francisco, Paulo, Carlos, Sergio, Mario José, José Enrique, José Leonel, Julio.
Compañeros	Silvia, Deify, Francisco, Manolo, Roberto y Byron.
A las familias	Pérez Cuellar, Estrada Gómez y

Inga. Telma Cano	García Fernandez. Gracias por todo, pero especialmente por el cariño hacia mi persona, la quiero mucho.
Ing. Williams Álvarez	Gracias por todo su apoyo y paciencia. Mi respeto y agradecimiento con cariño.
Ing. César García	Mil gracias por sus sabias enseñanzas, por su paciencia y apoyo con mucho cariño para usted.
Ing. José Mario Saravia	Gracias por todo el apoyo brindado.
Ingenieros	Ing. Otto Raúl De León, Ing. Marino Barrientos, Ing. Francisco Rosales, Ing. Jorge Godínez, Ing. Sergio Penados, Ing. Jorge Mario Estrada, Ing. Byron Aguilar, Inga. Casta Zeceña, Ing. Ericka Cano, Licda. Ingrid Benitez, Inga. Lisely De León. Mi admiración, cariño y respeto para cada uno de ustedes.
Escuela de Ingeniería Química, Departamento de Química General, Sección Química Industrial CII/ USAC	Gracias a cada una de las personas que compartieron conmigo en mis lugares de desempeño laboral. Les agradezco por cada uno de los momentos compartidos.
Facultad de Ingeniería	Gracias por formarme en mi carrera profesional.
Universidad de San Carlos de Guatemala	Te llevaré por siempre en el corazón.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	VII
LISTA DE SÍMBOLOS	XVII
GLOSARIO	XIX
RESUMEN	XXIII
OBJETIVOS	XXV
HIPÓTESIS	XXVII
INTRODUCCIÓN	XXIX
1. ANTECEDENTES	1
2. MARCO TEÓRICO	5
2.1 Anatomía de la madera	5
2.2 Clasificación de las maderas	5
2.3 Estructura del tallo	6
2.3.1 Secciones fundamentales de observación	7
2.3.2 Sección transversal o de extremo	7
2.3.3 Sección longitudinal tangencial	7
2.3.4 Sección longitudinal radial	7
2.4 Componentes del tallo	8
2.4.1 Médula	9
2.4.2 Duramen	9
2.4.3 Albura	9
2.4.4 Cerno	10
2.4.5 Corteza	10
2.4.5.1 Composición Química de la Corteza	12
2.4.5.1.1 Fracción Fibrosa	12
2.4.5.1.2 Extractivos	13
2.4.5.1.3 Minerales	14

2.5 Taninos	15
2.5.1 Formación del Tanino en los vegetales	16
2.5.2 Funciones atribuidas a la planta	17
2.5.3 Propiedades de los Taninos en Plantas Medicinales	18
2.5.3.1 Tratamiento de las Hemorroides	18
2.5.3.2 Curación de úlceras en la boca	18
2.5.3.3 Tratamiento para la garganta irritada	18
2.5.3.4 Cuidado de a piel	18
2.5.3.5 Detención de la diarrea	19
2.5.3.6 Antioxidantes	19
2.5.3.7 Antibacterianas	19
2.5.3.8 Antídotos contra los venenos	20
2.5.3.9 Colesterol	20
2.5.3.10 Toxicidad de los Taninos	20
2.5.4 Propiedades comunes de los Taninos	21
2.5.5 Características comunes de los Taninos	23
2.5.6 Clasificación de los Taninos	23
2.5.6.1 Taninos Hidrolizables pirogálicos	23
2.5.6.1.1 Características de los Taninos Hidrolizables	24
2.5.6.2 Taninos No Hidrosolubles o Condensados	26
2.5.6.2.1 Características de los Taninos Condensados	27
2.5.6.3 Métodos Experimentales para diferenciar Taninos	28
2.5.6.3.1 Taninos condensados	28
2.5.7 Clasificación de los Taninos por su origen	29
2.5.8 Descripción de extractos curtientes Vegetales	30
2.5.8.1 Obtención del Extracto Curtiente	32
2.5.8.2 Extractos curtientes comerciales	34
2.5.9 Flujogramas de Métodos de extracción de Taninos	35

2.6 Fundamentos teóricos en base a la metodología	43
2.6.1 Gravimetría	43
2.6.2 Volumetría	43
2.6.3 Secado	45
2.6.4 Lixiviación	46
2.6.4.1 Preparación del sólido	49
2.6.4.2 Temperatura de Lixiviación	51
2.6.5 Operación en estado no estacionario	52
2.6.5.1 Lixiviación <i>in situ</i>	52
2.6.5.2 Lixiviación a la intemperie	53
2.6.6 Tanques de Percolación	54
2.6.6.1 Retención del líquido después del drenado	56
2.6.6.2 Contacto múltiple a contracorriente	59
2.6.7 Percolación en tanques cerrados	62
2.6.8 Lixiviación en filtro prensa	64
2.6.9 Tanques con agitación	64
2.6.9.1 Sedimentación por lotes	67
2.6.9.2 Floculación	70
2.6.9.3 Agitación	71
2.6.9.4 Concentración	72
2.6.9.5 Altura	72
2.6.10 Percolación versus agitación	75
2.6.11 Operación en estado estacionario (continuo)	76
2.6.11.1 Lixiviación durante el molido	76
2.6.11.2 Tanques con agitación	77
2.6.11.3 Espesadores	81
2.6.11.4 Descantación a contracorriente continua	85
2.6.11.5 Sedimentación continua	86
2.6.11.6 Hidrociclones	89

2.6.11.7 Lixiviación continua de sólidos gruesos	91
2.6.11.8 Clasificadores	91
2.6.11.9 Lixiviación de semillas vegetales	93
2.6.12 Métodos de cálculo	99
2.6.13 Eficiencia de las etapas	100
2.6.14 Equilibrio práctico	101
2.6.15 Lixiviación en una sola etapa	106
2.6.16 Lixiviación en varias etapas a corriente cruzada	109
2.6.17 Lixiviación en varias etapas a contracorriente	110
2.6.18 Rapidez de la Lixiviación	115
2.7 Descripción de las especies forestales	118
2.7.1 Teca (<i>Tectona grandis</i> L.f.)	118
2.7.2 Ciprés (<i>Cupressus lusitanica</i> Mill)	120
2.7.3 Melina (<i>Gmelina arborea</i> Raxb.)	122
2.7.4 Palo Blanco (<i>Cyristax donell-smithii</i>)	125
2.7.5 Definición y propósito de raleo	128
2.7.5.1 Desarrollo natural del rodal	128
2.7.5.2 Definición de raleos	129
2.7.5.2.1 Propósitos de los raleos	130
2.7.5.3 Introducción al concepto espacio para crecer	131
2.7.5.4 Composición y desarrollo de las plantaciones	131
2.7.5.5 Tipos de raleos	132
2.7.5.6 Principios biológicos de raleo	136
2.7.5.7 Efecto del raleo sobre el crecimiento del rodal	138
2.7.5.8 Mejor uso de la productividad del sitio	140

2.7.6 Operaciones de poda	141
2.7.6.1 Crecimiento y rendimiento	142
2.7.6.2 Crecimiento de árboles individuales	144
2.7.6.3 Crecimiento de masas forestales	145
3. METODOLOGÍA	147
3.1 Metodología de Investigación	147
3.1.1 Recursos Humanos	147
3.1.2 Recursos Físicos	147
3.2 Preparación de las muestras	150
3.3 Metodología Experimental	151
3.3.1 Tratamiento previo de la corteza	152
3.3.2 Análisis cuantitativo	153
3.3.2.1 Determinación Gravimétrica del Extracto Tánico en la corteza	153
3.3.2.2 Determinación volumétrica del porcentaje de Taninos en el Extracto Tánico	157
3.4 Diseño experimental	161
4. RESULTADOS	163
5. DISCUSIÓN DE RESULTADOS	177
CONCLUSIONES	183
RECOMENDACIONES	185
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	187
REFERENCIAS ELECTRÓNICAS	191
BIBLIOGRAFÍA	193

APÉNDICE	195
Apéndice A Análisis preliminares	195
Apéndice B Densidades	211
Apéndice C Muestra de cálculo	217
Apéndice D Datos calculados	219
Apéndice E Fotografías del proceso	231
Apéndice F Diagramas de proceso y cursos	239

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1	Clasificación de maderas	6
2	Secciones tridimensionales de observación	8
3	Taninos Hidrosolubles o Pirogálicos	25
4	Estructura de Tanino de Tara	26
5	Estructura Flavan 3,4 diol	27
6	Método de Extracción de Taninos con solución acuosa de sulfito de sodio al 4%.	35
7	Determinación del Porcentaje de Taninos en el extracto tánico. método de Tara en vaina. Método volumétrico.	36
8	Determinación del Porcentaje de Taninos en el extracto tánico. Método Stiasny. Método gravimétrico.	37
9	Método de extracción de Taninos con solución acuosa de sulfito de sodio al 2%.	38
10	Diagrama del proceso de secado-concentración de los extractos obtenidos por el método de extracción en etapas sucesivas con agua y solución acuosa de sulfito de sodio al 2%.	41
11	Diagrama de operaciones en el proceso de obtención de sustancias curtientes de origen vegetal.	42
12	Drenado de lechos empacados	58
13	Contacto múltiple a contracorriente, sistema de Shanks	60
14	Difusor de remolachas	63
15	Tanque de Lixivación por lotes de agitación	64
16	Tanque Pachuca	65

17	Sedimentación por lotes	68
18	Rapidez de sedimentación	71
19	Sedimentación por lotes de suspensiones. Efecto de la concentración suspensión.	73
20	Sedimentación por lotes de suspensiones a diferentes alturas	74
21	Rotaevaporacion de extractos etanólicos y acuosos.	79
22	Espesador de Dorr (Dorr - Oliver)	80
23	Espesador de platos balanceados de Dorr (Dorr- Oliver, Inc)	82
24	Decantación a contracorriente continua (DDC) a) diagrama de flujo simple b) con agitación intermedia y filtración de sólidos.	84
25	Características de un espesador continuo	87
26	Determinación del área del espesor con base en la curva de flux	89
27	Hidrociclón	90
28	Clarificador simple de Dorr para el lavado de sólidos gruesos	92
29	Arreglo esquemático de Rotocel	93
30	Extractor Kennedy	95
31	Extractor de Bollman	97
32	Extractor horizontal continuo (esquemático)	97
33	Diagrama de flujo para la lixiviación en filtro horizontal	98
34	Concentraciones en la lixiviación y lavado	102
35	Diagramas típicos en el equilibrio	105
36	Lixiviación o lavado en una sola etapa (Balance de Masa)	107
37	Lixiviación o lavado en una sola etapa	109

38	Lixiviación a contracorriente en varias etapas	110
39	Lixiviación o lavado a contracorriente en varias etapas	113
40	Posibles estructura de Tanino	154
41	Equipo utilizado para la Lixiviación	155
42	Unidad de Lixiviación	156
43	Equipo de Ebullición a Reflujo	159
44	Equipo para Titulación Volumétrica	160
45	Distribución de los resultados experimentales del porcentaje de extracto tánico en función de la corteza Lixiviada de árboles jóvenes de cuatro especies forestales	167
46	Medias del porcentaje de rendimiento de extracto tánico de acuerdo a la especie en función de la posición de la corteza en el fuste (tallo)	169
47	Distribución de los resultados experimentales del porcentaje de Taninos en el extracto tánico en función de la corteza lixiviada de árboles jóvenes de cuatro especies forestales.	170
48	Medias del porcentaje de Taninos en el extracto tánico de acuerdo a la especie en función a la posición de la corteza en el fuste (tallo).	172
49	Distribución de los resultados experimentales del producto entre el porcentaje de rendimiento y el porcentaje de Taninos en el extracto tánico en función de la corteza lixiviada de árboles jóvenes de cuatro especies forestales.	173
50	Medias del producto entre el porcentaje de rendimiento y el Porcentaje de Taninos en el extracto tánico, de acuerdo a la especie en función de la posición en el fuste (tallo).	175
51	Gráfica de calibración plancha de calentamiento con lámpara Estroboscópica utilizando agitador magnético de 2.5 cm en un beacker de 600mL con agua desmineralizada.	196

52	Gráfica de pH de la disolución de sulfito de sodio al 2% y la corteza (tamiz#40) de cuatro especies forestales durante la Lixiviación en rangos de cinco minutos.	200
53	Gráfica de pH de la disolución de sulfito de sodio al 4% y la corteza (tamiz#40) de cuatro especies forestales durante la lixiviación en rangos de cinco minutos.	204
54	Gráfica de pH de la disolución de sulfito de sodio al 4% y la corteza de Palo Blanco (tamiz#40) durante la lixiviación en rangos de cinco minutos.	205
55	Gráfica de pH de la disolución de sulfito de sodio al 4% y la corteza de Ciprés (tamiz#40) durante la lixiviación en rangos de cinco minutos.	206
56	Gráfica de pH de la disolución de sulfito de sodio al 4% y la corteza de Melina (tamiz#40) durante la lixiviación en rangos de cinco minutos	207
57	Gráfica de pH de la disolución de sulfito de sodio al 4% y la corteza de Melina (tamiz#40) durante la lixiviación en rangos de cinco minutos.	208
58	Gráfica de elevación de la temperatura en función del tiempo de lixiviación en un volumen de 104 mL de solución.	209
59	Gráfica de la disminución del pH de lixiviación en función de la temperatura de lixiviación.	210
60	Fotografías: primera fila izquierda: corteza de Palo Blanco. Derecha: corteza de Ciprés. Segunda fila izquierda: corteza de Melina. Derecha: Corteza de Teca.	231
61	Fotografías: primera fila izquierda: horno o secador eléctrico de flujo transversal. Derecha: molino de martillos trifásico. Segunda fila derecha: Máquina tamizadora de ocho tamices en serie. Derecha: corteza tamizada retenida sobre el tamiz No. 40.	232
62	Fotografías: primera fila izquierda: corteza molida y tamizada de Palo Blanco. Derecha: corteza molida y tamizada Ciprés. Segunda fila izquierda: corteza molida y tamizada de Melina. Derecha: corteza molida y tamizada de Teca.	233

63	Fotografías: primera fila izquierda: medidor de humedad. Derecha: preparación de corteza molida y tamizada para segunda etapa de secado. Segunda fila centro: matraz de Lechatelier previo a la determinación de la densidad de las cortezas de las cuatro especies forestales.	234
64	Fotografías: primera fila izquierda: lámpara Estroboscópica derecha: planchas de calentamiento durante el proceso de maceración dinámica. Segunda fila Izquierda: unidad de Lixiviación en el proceso. Derecha: filtración para obtener el extracto Tánico fluido libre de corteza agotada.	235
65	Fotografías: primera fila izquierda: extracto tánico fluido recién filtrado. Derecha: medición de la densidad del extracto tánico con Picnómetro. Segunda fila Izquierda: extracto tánico seco en polvo. Derecha: extracto tánico almacenado en botes ámbar.	236
66	Fotografías: primera fila izquierda: extracto tánico restituido a ebullición con reflujo Derecha: extracto tánico con Índigo de Carmín previo a la Titulación con Permanganato de potasio. Segunda fila izquierda: primer viraje en el proceso de y titulación. Derecha: último viraje del indicador Índigo de carmín a color amarillo que indica presencia de Taninos en el extracto tánico.	237
67	Diagrama causa y efecto	239
68	Diagrama de cursos	240

TABLAS

I	Clasificación de Lixiviación	117
II	Características de la madera de Teca	119
III	Operaciones de Poda	142
IV	Crecimiento en altura, diámetro y volumen a lo largo de la vida del árbol	144
V	Porcentaje de de rendimiento de la corteza de Palo Blanco posterior al proceso de maceración dinámica y Porcentaje de Taninos en el extracto tánico, determinado por el método de Tara en vaina.	163
VI	Porcentaje de de rendimiento de la corteza de Ciprés posterior al proceso de maceración dinámica y Porcentaje de Taninos en el extracto tánico, determinado por el método de Tara en vaina.	164
VII	Porcentaje de de rendimiento de la corteza de Melina posterior al proceso de maceración dinámica y Porcentaje de Taninos en el extracto tánico, determinado por el método de Tara en vaina.	165
VIII	Porcentaje de de rendimiento de la corteza de Teca posterior al proceso de maceración dinámica y Porcentaje de Taninos en el extracto tánico, determinado por el método de Tara en vaina.	166
IX	Análisis de varianza para el porcentaje de rendimiento en el extracto Tánico.	168
X	Comparación de Tukey para las medias del porcentaje de rendimiento de extracto Tánico.	168
XI	Análisis de varianza para el porcentaje de Taninos en el extracto tánico.	171
XII	Comparación de Tukey para las medias porcentaje de Taninos en el extracto tánico.	171

XIII	Comparación de Tukey según la posición de la corteza en el fuste (tallo)	171
XIV	Análisis de varianza para el producto del rendimiento de extracto Tánico, por el Porcentaje de Taninos en el extracto tánico.	174
XV	Comparación de Tukey para las medias del producto del Rendimiento de extracto tánico, por el porcentaje de Taninos en el extracto tánico.	174
XVI	Comparación de Tukey para las medias del producto del Rendimiento de extracto Tánico, por el Porcentaje de Taninos en el extracto tánico.	174
XVII	Datos obtenidos de la calibración de la plancha de calentamiento utilizando una lámpara estroboscópica con un agitador magnético de 2.5 cm en un beacker de 600mL con agua desmineralizada.	195
XVIII	pH de soluciones (2%) a temperatura	197
XIX	Cambio de pH de las cortezas sumergidas en agua con respecto al agua desmineralizada	198
XX	Cambio de pH de las cortezas sumergidas en solución acuosa de sulfito de sodio en función de la solución acuosa de sulfito de sodio al 2%.	198
XXI	pH y aumento de temperatura de lixiviados en rangos de cinco minutos con solución acuosa de sulfito de sodio al 2%.	199
XXII	pH de soluciones a temperatura ambiente.	201
XXIII	Cambio de pH de las cortezas sumergidas en agua con respecto al agua desmineralizada.	202
XXIV	Cambio de pH de las cortezas sumergidas en solución acuosa de sulfito de sodio en función de la solución acuosa del sulfito de sodio al 4%.	202

XXV	pH y aumento de temperatura de lixiviados en rangos de cinco minutos con solución acuosa de sulfito de sodio al 4%.	203
XXVI	Densidades de cortezas de las cuatro especies forestales (tamiz 40) obtenidas con el matraz de Lechatelier utilizando como solvente Acetona.	211
XXVII	Densidad por corrida de la corteza de cada especie forestal.	212
XXVIII	Densidad promedio de la corteza de cada especie forestal previo al proceso de maceración dinámica.	212
XXIX	Densidad promedio del agua y de las soluciones de sulfito de sodio al 2% y al 4% utilizando picnómetro con capacidad de 50mL y tara de 43.902g.	213
XXX	Densidad promedio de los extractos tánicos después de la lixiviación utilizando picnómetro con capacidad de 50mL y tara de 43.804g.	213
XXXI	Densidad de cortezas de las cuatro especies forestales (tamiz 40) obtenidas con el matraz de Lechatelier utilizando como solvente acetona después de la Lixiviación.	214
XXXII	Densidad por corrida de la corteza de cada especie forestal después de la Lixiviación.	215
XXXIII	Densidad promedio de la corteza de cada especie forestal después de la Lixiviación.	215
XXXIV	Porcentaje de Humedad de la corteza de Palo Blanco, previo al a la maceración dinámica.	219
XXXV	Cálculo del porcentaje de rendimiento del extracto tánico obtenido de 4 gramos de corteza seca y molida de la especie Palo Blanco, posterior al proceso de maceración dinámica.	220

XXXVI	Determinación de porcentaje de Taninos en la corteza y en el extracto tánico de la especie Palo Blanco, por el método de Tara en vaina.	221
XXXVII	Porcentaje de humedad de la corteza de Ciprés, previo al a la maceración dinámica.	222
XXVIII	Cálculo del porcentaje de rendimiento del extracto tánico obtenido de 4 gramos de corteza seca y molida de la especie Ciprés, posterior al proceso de maceración dinámica.	223
XXXIX	Determinación de Porcentaje de Taninos en la corteza y en el extracto tánico de la especie Ciprés, por el método de Tara en vaina.	224
XL	Porcentaje de humedad de la corteza de Melina, previo al a la maceración dinámica.	225
XLI	Cálculo del porcentaje de rendimiento del extracto tánico obtenido de 4 gramos de corteza seca y molida de la especie Melina, posterior al proceso de maceración dinámica.	226
XLII	Determinación de Porcentaje de Taninos en la corteza y en el extracto tánico de la especie Melina, por el método de Tara en vaina.	227
XLIII	Porcentaje de humedad de la corteza de Teca, previo al a la maceración dinámica.	228
XLIV	Cálculo del porcentaje de rendimiento del extracto Tánico obtenido de 4 gramos de corteza seca y molida de la especie Teca, posterior al proceso de maceración dinámica.	229
XLV	Determinación de Porcentaje de Taninos en la corteza y en el extracto tánico de la especie Teca, por el método de Tara en vaina.	230

LISTA DE SÍMBOLOS

F	Significancia
g	Gramos
H_i	Hipótesis alternativa
H_o	Hipótesis nula
H_p	Potencia en horse-power
Hz	Hertz
m	metros
mm	milímetros
mL	Mililitros
PM	Peso molecular
RPM	Revoluciones por minuto
T	Temperatura
T_{eb.}	Temperatura de ebullición
pH	Potencial de Hidrógeno
°C	Grados Celsius
%	Porcentaje
ρ	Densidad en g/mL
σ	Desviación estándar
Y_{ijk}	Porcentaje de extracto tánico en la k-ésima repetición de la j-ésima especie y la posición i-ésima posición de la corteza en el árbol.
μ	Promedio general de extracto tánico.

α_i	El efecto de la i-ésima posición de la corteza en el árbol.
β_j	El efecto de la j-ésima especie forestal evaluada
$(\alpha\beta)_{ij}$	La interacción entre la posición de la corteza y la especie evaluada.
ϵ_{ijk}	Error Experimental

GLOSARIO

dap	Diámetro a la altura del pecho.
Difusión:	Flujo de materia desde una zona de mayor Concentración a otra de menor concentración, tendente a producir una distribución homogénea.
Curtiente:	Compuestos utilizados para preparar y tratar las pieles para convertirlas en cuero.
Descortezar:	Quitarle la corteza al árbol.
Extracción:	Separación de los componentes de cualquier Sustancia por el contacto con un líquido.
Extracto curtiente:	Producto preparado por extracción acuosa de materiales tánicos, seguido por la concentración de las soluciones, ya sea como un extracto sólido o líquido.
Fuste	Parte aérea de la planta donde se sostiene las ramas. Sinónimo de tallo de una planta.
Hipótesis	Es un enunciado o conjunto de enunciados que precede a otros enunciados y constituye su fundamento.

Lixiviación	Es la disolución preferente de uno o más componentes de una mezcla sólida por contacto con un disolvente.
Maceración	Operación que consiste en sumergir un sólido vegetal en un líquido para extraer de él sus partes solubles.
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.
Micrones	Unidad de medida adoptada en la micrografía, equivalente a la milésima parte de un milímetro. Unidad de medida utilizada en los tamices.
Picnómetro	Recipiente calibrado para la determinación de densidades mediante pesado.
pH	Valor que representa convencionalmente la concentración de iones de hidrógeno de una disolución acuosa.
Principios activos	Compuestos químicos de estructura relativamente compleja, como los flavonoides, que ejercen la acción de tinción.

Tamizaje fitoquímico

El tamizaje fitoquímico es una técnica que se utiliza para detectar metabolitos secundarios presentes en especies vegetales, desde el punto de vista cualitativo y se basa en la realización de reacciones químicas con diferentes reactivos, donde la aparición de determinado color o precipitado coloreado o no, es indicativo de la presencia de un determinado metabolito.

Taninos

Compuestos polifenólicos elaborados en el interior de las plantas principalmente herbáceas y leñosas, formados por carbono, hidrógeno y oxígeno, al aplicarse en pieles las convierten en cueros, en que le confiere una función protectora.

RESUMEN

Se realizó un proceso de transferencia de masa llamado Lixiviación, a nivel laboratorio, con la finalidad de obtener extracto tánico y determinar el porcentaje de taninos en cada uno ellos. El proceso de separación sólido- líquido se realizó a la corteza de cuatro especies forestales en árboles jóvenes las cuales fueron: Teca (*Tectona grandis* L.f.), Melina (*Gmelina arborea* Roxb), Ciprés (*Cupressus lusitánica* Mill) Y Palo Blanco (*Cybistax donnel-smithii* Seibert).

Para dicho procedimiento se obtuvieron nueve árboles jóvenes de cada una de las especies en raleos que se llevaron a cabo en cuatro regiones diferentes del país. Se dividió el fuste de cada árbol en tres secciones: basal, media y apical; cada una de las secciones se descortezó y al material así obtenido se le retiró la humedad en un secador eléctrico de flujo transversal hasta un rango de 3% a 6% . Luego se molió en un molino de martillos y se tamizó; utilizando para la lixiviación la corteza que se retuvo en el tamiz No. 40. Para el proceso de Lixiviación se utilizó como solvente una solución acuosa de sulfito de sodio al 4% , dejándose en contacto con la corteza por cuarenta y cinco minutos con agitación y calor previendo que la temperatura no pasara los 70⁰C. Después de proceso de lixiviación o maceración dinámica, se procedió a filtrar y a secar el extracto tánico; para luego determinar el porcentaje de rendimiento.

Para determinar el porcentaje de taninos en el extracto tánico se utilizó el Método de Tara en Vaina y para ello se tomó un gramo de extracto tánico seco y se restituyó en cien mililitros de agua para someterlo a ebullición con reflujo por cuatro horas.

Luego se sometió a una titulación con permanganato de potasio utilizando como indicador Índigo de carmín; donde determinando el gasto de titulante y cálculos estequiométricos se estableció el porcentaje de taninos en el extracto tánico.

A los resultados obtenidos de cada especie según la posición en el árbol se le realizó un análisis estadístico utilizando un diseño experimental bifactorial. Para determinar qué especie tenía el mayor Rendimiento, se realizó una comparación de las medias mediante el criterio de Tukey. Con esta prueba se determinó que es el Ciprés la especie que mayor rendimiento tiene, La Teca produjo el menor rendimiento y el Palo Blanco y la Melina tiene un rendimiento intermedio.

En el caso del porcentaje de taninos en el extracto tánico igualmente se utilizó el criterio de Tukey en donde se determinó que el Palo Blanco posee el mayor porcentaje de taninos en el extracto tánico, la Melina el menor y el Ciprés y la Teca poseen un porcentaje intermedio.

Finalmente para determinar cuál de las especies es más rentable utilizando la misma cantidad de corteza y dar más cantidad de taninos se llevó a cabo un análisis estadístico para el producto del rendimiento de extracto tánico entre el porcentaje de taninos en el extracto. Y el resultado según el criterio de Tukey fue el mayor para el Palo Blanco, un resultado intermedio para la Teca y el Ciprés y el menor fue para la Melina.

OBJETIVOS

General

Obtención a nivel laboratorio del extracto tánico por el método de Maceración dinámica de la corteza de árboles jóvenes, según la posición basal, media y apical de cuatro especies forestales: Teca (*Tectona grandis L.f.*), Melina (*Gmelina arborea Roxb.*), Ciprés (*Cupressus lusitánica Mill*) Y Palo Blanco (*Cybistax donnel-smithii Seibert*).

Específicos:

1. Obtención del extracto tánico de la corteza de las cuatro especies forestales referidas en la posición basal, media y apical de árboles jóvenes por el método de maceración dinámica, mediante una solución acuosa de sulfito de sodio al 4%, a una temperatura no mayor de 70⁰C.
2. Determinar por el método de Tara en vaina el porcentaje de taninos de cada uno de los extractos tánicos de la corteza de las cuatro especies referidas, según la posición en el árbol: basal, media y apical.
3. Realizar una evaluación estadística para comparar el rendimiento de extracto tánico obtenido de la corteza las cuatro especies forestales referidas, en función de la posición en el árbol: basal, media y apical.
4. Realizar una evaluación estadística para comparar el porcentaje de taninos en cada extracto tánico, obtenido de la corteza de las cuatro especies forestales referidas, en función de la posición en el árbol: basal, media y apical.

HIPÓTESIS

Hipótesis general

Es posible por la operación de separación sólido-líquido llamado Lixiviación (Maceración dinámica) la obtención de extracto tánico de la corteza de árboles jóvenes de cuatro especies forestales, en función de la posición: basal, media y apical de la corteza utilizada.

Hipótesis estadística

Hipótesis nula: H_0

No existe diferencia significativa en el porcentaje de extracto tánico obtenido a diferentes posiciones (basal, media y apical) de la corteza de árboles jóvenes; de las cuatro especies forestales estudiadas: palo blanco, ciprés, melina y teca.

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

Hipótesis alternativa: H_{11}

Sí existe diferencia significativa en el porcentaje de extracto tánico obtenido a diferentes posiciones (basal, media y apical) de la corteza de árboles jóvenes; de las cuatro especies forestales estudiadas: palo blanco, ciprés, melina y teca.

$$\square_i = 1,2,3 / \mu_i \neq \mu$$

Hipótesis nula: H_0

No existe diferencia significativa en el porcentaje de taninos en el extracto tánico obtenido a diferentes posiciones (basal, media y apical) de la corteza de árboles jóvenes; de las cuatro especies forestales estudiadas: palo blanco, ciprés, melina y teca.

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

Hipótesis alternativa: H_1

Sí existe diferencia significativa en el porcentaje de taninos en el extracto tánico obtenido a diferentes posiciones (basal, media y apical) de la corteza de árboles jóvenes; de las cuatro especies forestales estudiadas: palo blanco, ciprés, melina y teca.

$$\square_i = 1,2,3 / \mu_i \neq \mu$$

INTRODUCCIÓN

La presente investigación tiene como finalidad el aprovechamiento de la corteza de árboles jóvenes de cuatro especies forestales; es decir utilizar este subproducto o residuo de la madera como un recurso trabajable y aprovechable del país de una forma científica brindando información del porcentaje de extracto tánico; con un previo análisis a nivel de laboratorio.

Las cuatro especies forestales son: Teca (*Tectona grandis L.f.*) Melina (*Gmelina arborea Roxb*) Ciprés (*Cupressus lusitánica Mill*) y Palo Blanco (*Cybistax donnel-smithii Seibert*). Para la obtención de las muestras se identificaron plantaciones con las especies de interés, en la base de datos del Programa de Incentivos Forestales del Instituto Nacional de Bosques (INAB), se seleccionaron aquellos proyectos que tuviesen una superficie arriba de las 10 Ha. Estas especies serán obtenidas en el primer raleo de maderas juveniles con edades entre 4 y 6 años. Se seleccionaron ejemplares entre los 8 y 12 cm. de DAP(diámetro a la altura del pecho).

Cada árbol a muestrear estaba distanciado un mínimo de 30 m y no presentar características especiales que le hagan diferente del resto de la población. Previo al corte del árbol se marcó el dap (1.30m del suelo), luego se derribó, dejando un tocón de 6 a 10cm de altura.

La corteza de las cuatro especies se evaluó de acuerdo a tres diferentes posiciones de la corteza en los árboles, siendo en el dap (diámetro a la altura del pecho 1.30 m) denominada basal; posición media, en la parte media del fuste y posición alta o apical, delimitada superiormente por un diámetro mínimo de utilización de 6cm.

El proceso de extracción se llevó a cabo a nivel laboratorio y para ello se utilizó como solvente agua y como coadyuvante sulfito de sodio para preparar

una solución acuosa de sulfito de sodio al 4%; lo cual sirvió para la determinación del porcentaje de taninos en el extracto tánico de la corteza de los árboles de cada especie.

Se llevaron cabo los siguientes procedimientos: El primer paso fue la extracción con maceración dinámica de la corteza para la obtención del extracto tánico y se realizó la determinación del porcentaje de taninos en dicho extracto por el método de Tara en vaina. Dicho método implica un análisis volumétrico; utilizando para titular permanganato de potasio y como indicador índigo de carmín.

Posteriormente, se presentaron los resultados que determinaron cuál de las especies posee más porcentaje de extracto tánico y más porcentaje de taninos en el extracto tánico y a qué posición en el árbol; y para ello se realizó el análisis estadístico pertinente.

1. ANTECEDENTES

Los taninos se presentan en especies de familias vegetales de todo el mundo, se han identificado aproximadamente 500 especies de plantas que contienen varias cantidades de taninos, entre las principales familias botánicas con importancia en la obtención de taninos se pueden citar a las siguientes: Leguminosae, Rosaceae, Polygonaceae, Fgaceae, Rhyzophoraceae y Myrtaceae.

Con el fin de aprovechar la corteza que se pierde anualmente en Guatemala, se han hecho varios estudios para evaluar el contenido tánico en la corteza de algunas especies forestales, dichos estudios fueron realizados en la sección de Química Industrial del Centro de Investigaciones y en el laboratorio del área de Química de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala.

En 1992, la Ingeniera Química María L. Lemus Lucas, de la Facultad de Ingeniería USAC, trabajó en la recuperación de taninos a partir de la corteza de encino(*quercus conspersa benth*), por medio de dos métodos de extracción a nivel de planta piloto, los resultados mostraron que es factible 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 el 34.65% más efectivo que el método de extracción que utiliza como solvente alcohol etílico con agitación, aplicando vapor directo.

En 1992, el Ingeniero Químico Sergio W. Ortiz Alburez, de la Facultad de Ingeniería USAC. Trabajó en la obtención y caracterización de los extractos crudos de guayaba (*psidium guayaba*), a nivel de planta piloto por medio de tres métodos de extracción. Los resultados de este estudio demostraron que el método más conveniente para obtener extractos duros (taninos), a partir de las

hojas de guayaba se consigue empleando trituración de la hoja en 1/10 del tamaño original, agitación, filtración con reflujo y utilizando como solvente agua, en una relación peso de materia prima/volumen 1:5 y destilación al vacío, para obtener un extracto concentrado. El mejor método para obtener los extractos blandos (flavonoides), se consiguen empleando concentración de alcohol etílico al 70% en volumen, extracción sólido – líquido en caliente, agitación filtración para obtener un extracto fluido.

En el año 2000, Akú Ramírez, I L., evaluó el 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. Concluyó que es factible la obtención de extractos curtientes, a nivel laboratorio, a través de la utilización de agua desmineralizada y una solución acuosa de sulfito de sodio como solventes, obteniendo mayores rendimientos al utilizar como solvente, solución acuosa de sulfito de sodio al 1%.

En el año 2002, el Ing. For. José Mario Saravia Molina de la Facultad de Agronomía y la Inga. Telma Maricela Cano Morales de la Facultad de Ingeniería; y la Dirección General de Investigación DIGI, de la Universidad de San Carlos de Guatemala, realizaron un estudio sobre la extracción y caracterización de taninos en corteza de tres 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. Se concluyó que el rendimiento promedio porcentual de extracto tánico a nivel laboratorio con el método de extracción en etapas sucesivas con agua y solución de sulfito de sodio al 2% fueron de 51.27% para pino ocote, 45.07% para encino negro y 42.36% para aliso común, para las tres especies con un 95% de probabilidad de

acierto, no se encontró diferencia significativa del rendimiento promedio porcentual de extracto tánico de la corteza en función de la clase diamétrica.

En el año 2002, Suchinni Lieytan, M, realizó la comparación de los rendimientos de dos métodos de extracción de taninos (ácido pinutánico) a partir de la corteza de *Pinus caribaea* a nivel laboratorio, concluyendo que, si existe diferencia significativa en rendimientos de extracto tánico entre el método I de extracción sucesiva (varias etapas, utilizando soxhlet) y el método II de extracción con maceración mecánica (de una etapa a distintas concentraciones de sulfito de sodio al 2%), siendo del 5.63% y del 15.77%, respectivamente; mostrando que con el método I, se logra obtener un rendimiento superior pero no significativo con respecto al método II, siendo aproximadamente de 8 horas para el método I y de 45 minutos para el método II.

En el año 2003, Orozco Escobar, Mary Patricia, realizó el estudio: determinación del contenido tánico de la corteza de pino de cumbre (*Pinus rudis* E.) y pino triste (*Pinus pseudostrobus* L.), mediante extracciones alcalinas con sulfito de sodio (Na_2SO_3), a nivel laboratorio, concluyendo que el mayor porcentaje de taninos, observando en la corteza de pino triste fue de 48.71%, y para el pino de cumbre de 24.46%, no existe diferencia significativa en el rendimiento de extractos curtientes en ambas especies de pinos en función del diámetro del árbol, y se determinó una relación directamente proporcional entre el extracto-curtiente y los porcentajes de taninos en las especies.

En el año 2004, Equité de León, Madeleine Walleska, realizó el estudio: Determinación del contenido de Taninos en extracto tánico de la corteza de Melina (*Gmelina arborea* Roxb.) Utilizando dos métodos de extracción a nivel laboratorio.

La mayor recuperación de extracto tánico se observó en las extracciones con solución acuosa de sulfito de sodio al 2% con un 53.39% para 1.3m, 46.87% para 4.83m y 29.78% para 11.16m, y el mayor porcentaje de ácido tánico se dio al utilizar el agua como solvente con un 6.3927% para 1.3m de altura del árbol.

2. MARCO TEÓRICO

2.1 Anatomía de la madera

Anatomía de la madera es la rama de la ciencia botánica que procura conocer la constitución y el arreglo estructural u organización de los diversos elementos que constituyen el tallo de los árboles.

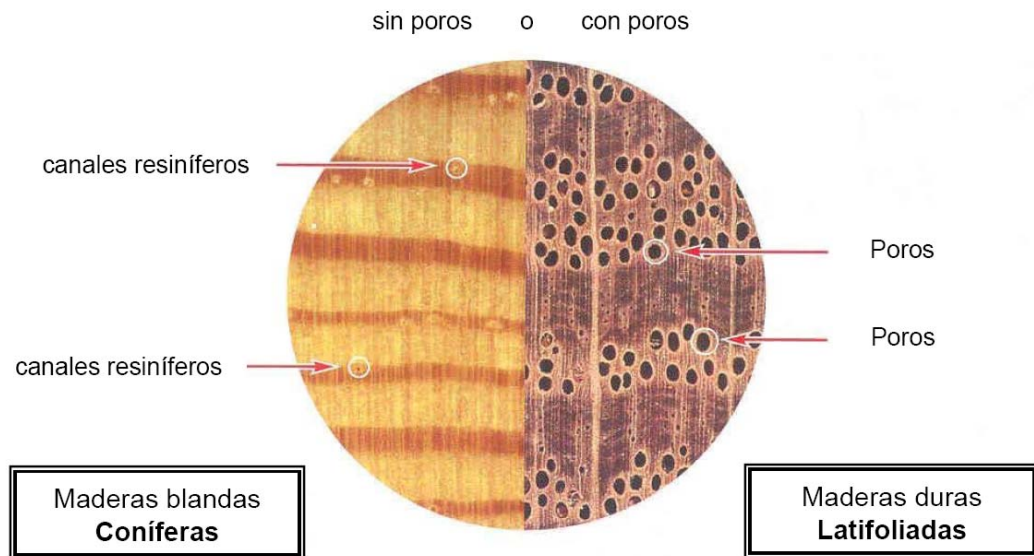
2.2 Clasificación de las maderas

Las maderas pueden ser clasificadas taxonómicamente en dos categorías:

- Maderas de Gimnospermas
- Maderas de Angiospermas

Las primeras también llamadas coníferas, resinosas, no porosas o “maderas suaves”, son producidas por especies del orden de las coníferas. El término “no porosas” se refiere a la ausencia de vasos o poros en su estructura. Las maderas de angiospermas son también llamadas foliosas, porosas o “maderas duras”. En las regiones de clima templado los árboles de la mayoría de las angiospermas pierden su follaje durante el invierno, fenómeno que no ocurre las angiospermas tropicales.

Figura 1 Clasificación de maderas



Fuente: Referencia electrónica 3.

2.3 Estructura del tallo

En el estudio anatómico de la madera se pretende conocer principalmente la estructura del tallo, puesto que corresponde a la parte de mayor interés del vegetal. En plantas que viven más de un año su tallo va creciendo en grosor, llegando en bastantes capas a formar un verdadero tronco.

2.3.1 Secciones fundamentales de observación

La madera es un material tridimensional y su anatomía puede ser mejor descrita a través de observaciones en tres secciones o superficies, fundamentales de observación, las cuales se destacan a continuación.

2.3.2 Sección transversal o de extremo

Es el plano de corte de la madera perpendicular a los elementos axiales o al eje del tallo. En esta sección se observan con mayor facilidad las varias disposiciones de los tejidos del tallo para fines de identificación.

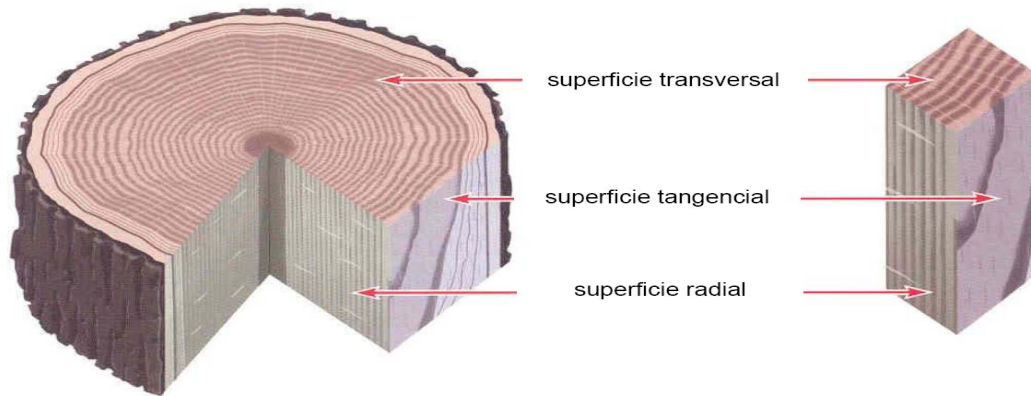
2.3.3 Sección longitudinal tangencial

Es el plano de corte de la madera en el sentido axial, paralelo al eje del tallo. En esta sección se observan con mayor facilidad las varias disposiciones de los tejidos del tallo para fines de identificación.

2.3.4 Sección longitudinal radial

Es el plano de corte en el sentido axial, pasando por el eje del tallo, paralelo al radio y además, perpendicular a los estratos de crecimiento.

Figura 2 Secciones tridimensionales de observación



Fuente: Referencia electrónica 3.

2.4 Componentes del tallo

En la sección transversal se observan, del centro a la periferia del tallo, las siguientes regiones: médula, corno albura y corteza. Entre la corteza y albura se encuentra una región denominada cambium, visible solamente al microscopio. En las maderas de gimnospermas, principalmente aparecen en el tallo, regiones oscuras intercaladas por regiones claras, en conjunto son denominadas anillos de crecimiento.

2.4.1 Médula

La médula es un tejido primario, continuo localizado en la región central del tallo. Su función es almacenar sustancias nutritivas para la planta, el tamaño, coloración y forma son muy variables, principalmente en los Angiospermas. Es un tejido muy susceptible al ataque de microorganismos xilófagos. Tiene un diámetro muy pequeño.

2.4.2 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 más oscura que la exterior. Madera adulta y compacta. Es aprovechable. La duraminización 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.

2.4.3 Albura

El tallo de una planta joven está constituido enteramente de células vivas y funcionales, responsables por la conducción de la savia bruta (agua y sales minerales) y otras actividades vitales asociadas con el almacenamiento de sustancias nutritivas. El conjunto de dichas células recibe el nombre de albura.

La albura constituye la región permeable del tallo y presenta mayor importancia desde el punto de vista de tratabilidad de la madera. En esta

región se encuentran almacenados materiales nutritivos para insectos, brocas, hongos y otros microorganismos que la deterioran con facilidad. A partir de un determinado período de tiempo, que varía con la especie del vegetal y con las condiciones de su crecimiento, ocurre la muerte del protoplasma las células centrales que forman la albura, esto conduce a la pérdida de actividad fisiológica dando origen a la formación del cerno en estratos consecutivos.

2.4.4 Cerno

La transformación de la albura en cerno está acompañada por la formación de varias sustancias orgánicas conocidas genéricamente por extractivos o infiltraciones. Las maderas que presentan esas inclusiones o infiltraciones en los vasos son de permeabilidad muy baja o nula a las soluciones preservantes.

Así la parte central del tallo, consiste de tejido fisiológicamente muerto que constituye el cerno. En la práctica esas maderas son denominadas “maderas de albura” y son generalmente de fácil impregnación. De un modo general, el cerno presenta una baja permeabilidad respecto de la albura natural más alta y mecánicas del cerno un tanto superiores a las de la albura.

2.4.5 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.

La corteza puede clasificarse en dos estratos denominados:

- Corteza interna o Floema y
- Corteza externa o Ritidoma

La corteza interna fisiológicamente activa, es de color claro y conduce a la savia elaborada. La corteza externa, compuesta de tejido muerto, protege los tejidos vivos del árbol contra el, ataque de microorganismos e insectos, daños mecánicos y variaciones climáticas.

Entre la albura y la corteza interna (floema) se encuentra un lecho de células denominado región cambial o cambium, responsable por la formación de los estratos de células madre de la albura y el floema.

El cambium tiene una actividad periódica, puesto que en primavera y verano, donde normalmente existe bastante luz, calor y agua, se presenta un rápido crecimiento y formación del leño nuevo que puede disminuir a los anillos o estrato de crecimiento.

El leño presenta células con paredes delgadas, diámetro mayor y longitud menor que en el leño tardío. Por lo tanto, el leño inicial es menos denso que el tardío.

En las regiones de clima tropical, donde no hay estaciones bien definidas, los anillos que se forman en el tallo pueden no corresponder a los períodos anuales de crecimiento, como también puede ocurrir el apareamiento de más de un anillo de crecimiento durante el año.

2.4.5.1 Composición Química de la corteza

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.

2.4.5.1.1 Fracción fibrosa

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

a) 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.

b) 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, flavofenos 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 %.

2.4.5.1.2 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.

2.4.5.1.3 Minerales

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.

2.5 Taninos

Los taninos son polímeros polifenólicos producidos en las plantas como compuestos secundarios y que tienen la habilidad de formar complejos con proteínas, polisacáridos, ácidos nucleicos, esteroides, alcaloides y saponinas desempeñando en las plantas una acción defensiva frente a los insectos. Son astringentes (precipitan las proteínas) y curten la piel. Químicamente se diferencian los taninos hidrolizables o hidrosolubles (pirogálicos: se hidrolizan en ácidos fenólicos y azúcares) y los taninos condensados no hidrosolubles (taninos catéquicos y los leucoantocianos; son polímeros muy difíciles de hidrolizar; los más ampliamente distribuidos en las plantas).

Además, son un grupo de sustancias complejas que están ampliamente distribuidas en el reino vegetal, en casi todas las familias. Pueden encontrarse en todos los órganos o partes de la planta: tallos, madera, hojas, semillas y cúpulas, pero con particular abundancia en las excreciones patológicas provocadas por ciertos insectos, conocidas comúnmente con el nombre de agallas; cuando se presentan en cantidades considerables, suelen localizarse en determinadas partes, como las hojas, frutos, corteza o tallos. Es común que en las plantas herbáceas se presenten localizados en una cantidad considerable en las raíces disminuyendo mucho la concentración cuando se trata de plantas anuales. En las plantas leñosas, tanto la localización como la abundancia son variadas.

Los taninos hidrolizables son los que mayor interés toxicológico encierran. Entre los ácidos fenólicos más frecuentes en su composición destacan el ácido gálico, tánico, cafeico, hexohidrofénico y elágico.

El ganado vacuno tolera plantas con taninos como el *Sorghum halepense* (L.) Pers. En cantidades de 500 gr./cabeza y día, pero mayores cantidades

provocan gastroenteritis, glomerulonefritis, edema en el aparato digestivo con mucosas congestionadas y hemorrágicas, aumento del tamaño de los riñones, presencia de sangre hemolítica y edema en pulmón, disminución de las proteínas, aumento del nitrógeno uréico, creatinina, potasio y fósforo. La mortalidad alcanza el 80% Los équidos manifiestan en intoxicaciones crónicas, ictericia y anemia hemolítica. Los taninos se consideran sustancias hemoglobinizantes. Los pollos manifiestan anomalías en las patas. El diagnóstico se realiza por los síntomas y lesiones, determinando en orina las concentraciones de ácido caféico y pirogalol y determinando taninos en dieta.

2.5.1 Formación del Tanino y su rol en los vegetales

La formación del tanino en el vegetal estaría ligada a la función clorofiliana: fenómenos de fotosíntesis dependientes de la luz solar, la clorofila y el dióxido de carbono. Se constata en efecto que las partes del vegetal expuestas al sol son las más ricas en tanino. Se admite que los taninos se formarían por una transformación de los sacáridos que producirían derivados cíclicos, los que sufrirían enseguida condensaciones y oxidaciones variables, pero cuyos detalles no son aún bien conocidos.

2.5.2 Funciones atribuidas en la planta

Dentro de las funciones que desempeñan en la planta, se les atribuye, entre otras, las que a continuación se mencionan:

- Contribuyen a la formación del súber.
- Son imprescindibles en la formación de sustancias vegetales, como aceites esenciales, resinas, lignina, etc.
- Juegan un papel protector, evitando el ataque de insectos y hongos, de allí que se le atribuya propiedades fungicidas y bacteriostáticas.
- Cumplen un papel moderador de los procesos de oxidación y de acciones antifermentos.
- Se le considera sustancias de reserva, y por otro lado, materiales de desecho; en este último caso, luego de proteger a la planta en ciertas etapas del crecimiento, finalmente se destruyen o depositan como producto del metabolismo en ciertos tejidos muertos de la planta madura, como el súber externo, el leño y las agallas.
- Los tubérculos y los troncos ricos en tanino resisten largo tiempo a los fenómenos de putrefacción. En los fenómenos de germinación el tanino parece ser una sustancia de reserva. Parece verdadero que el rol de un mismo tanino puede ser diferente según las condiciones en las cuales se encuentra la célula que lo contiene.

2.5.3 Propiedades de los Taninos en las plantas medicinales

Curación de heridas y cuidado de la piel: Los taninos cumplen una función cicatrizante al acelerar la curación de las heridas y hemostática, al detener el sangrado. La cicatrización se produce por la formación de las costras al unirse las proteínas con los taninos y crear un medio “ seco” que impide el desarrollo de las bacterias. Al constreñir los vasos sanguíneos ayudan a la coagulación de la sangre y , por tanto, contribuyen a la curación de las heridas. La milenrama o el llantén, por ejemplo, son dos plantas que se utilizan con esta finalidad. Entre las numerosas aplicaciones podríamos mencionar:

2.5.3.1 El tratamiento de las hemorroides.

(Una decocción de la corteza de roble podría utilizarse con esta finalidad.)

2.5.3.2 La curación de las úlceras de la boca

(Las infusiones de hojas secas de fresa son muy astringentes y pueden ser útiles)

2.5.3.3 Tratamientos para la garganta irritada

(El aloe vera contiene muchos taninos y su jugo diluido en agua resulta adecuado para realizar gargarismos)

2.5.3.4 Cuidado de la piel

A parte de estos y muchos más usos en fitoterapia de uso externo estos principios tienen su aplicación en la cosmética y resultan útiles para el cuidado externo de la piel, ayudando a la curación de granos, espinillas o a la eliminación de la grasa en las pieles que presentan demasiada, etc. Una de las

plantas con gran proporción de taninos utilizada para esta finalidad es la salvia o la hamamelis.

2.5.3.5 Detención de la diarrea

Por su acción astringente, (que contrae los tejidos seca las secreciones) resultan eficaces en el tratamiento de la diarrea, contribuyendo a que el organismo pueda realizar deposiciones más secas. Plantas que se utilizan para esta finalidad muy ricas en taninos son, por ejemplo, el algarrobo, la gayuba , el lentisco o los escaramujos de la rosa canina.

2.5.3.6 Antioxidantes

Los taninos se consideran antioxidantes por su capacidad para eliminar los radicales libres, previniendo la aparición de numerosas enfermedades degenerativas, entre ellas el cáncer. (Más información sobre radicales libres) Entre las plantas con propiedades antioxidantes muy ricas en taninos tenemos el té verde , el orégano,

2.5.3.7 Antibacterianas

La función antibacteriana de los taninos se produce fundamentalmente al privar a los microorganismos del medio apropiado para que puedan desarrollarse. El hipérico durante mucho tiempo fue llamado hierba militar por su capacidad para curar las heridas y prevenir sus infecciones. Podríamos considerar a esta planta como la penicilina del pasado de ahí que se la ha bautizado con el nombre de hierba de las heridas. La salvia o el aloe, etc. Sería más ejemplos de plantas que se utilizan por su contenido en taninos para que las heridas no se infecten.

2.5.3.8 Antídotos contra los venenos

la capacidad que tienen estos principios de inhibir la absorción de los alimentos en el tubo digestivo es aprovechada , en caso de ingestión de productos venenosos, para impedir que los venenos entren en la corriente sanguínea. El ácido tánico se utiliza como contraveneno para precipitar las sustancias venenosas de los alcaloides y ciertas sales metálicas. Aunque la utilización de este componente por vía interna pueda producir síntomas gastrointestinales desagradables, su acción positiva en la neutralización de los venenos justifica su uso.

2.5.3.9 Colesterol

Los taninos reducen el colesterol al inhibir su absorción y expulsarlo a través de las heces. Se ha comprobado una reducción de los niveles de colesterol “ malo” (LDL) y triglicéridos y un aumento de “colesterol bueno” (HDL) (Más información sobre el colesterol); al ingerir plantas ricas en este componente como la uva o el aceite de oliva.

2.5.3.10 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. Para ver más información sobre su toxicidad consultarla en el apartado de plantas venenosas

2.5.4 Propiedades comunes de los Taninos

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

- .-La mayor parte son compuestos incristalizables, de naturaleza coloidal y dotados de propiedades astringentes.
- .-Son solubles en el agua y el alcohol; sus soluciones acuosas tienen carácter ligeramente ácido.
- .-Forman con las proteínas combinaciones insolubles e imputrescibles, particularidad que es usada en la industria de curtidos.
- .-Producen, en contacto con sales de hierro, combinaciones fuertemente coloreadas en azul o verde oscuros y más o menos solubles en agua.
- .-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.
- .-Sus soluciones son precipitados por diversas sustancias básicas tales como: colorantes orgánicos básicos, el agua de cal, el agua de barita, los alcaloides, etc.
- .- 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.

En curticiones totalmente al tanino como cueros de suela por ejemplo, luego del curtido se exprimen para recuperar parte de los baños que son altamente concentrados en tanino y se lava hasta por dos horas para descurtir y eliminar todo el tanino suelto. De esta forma se evita la oxidación y la sobrecurtición.

Muchas veces en ese lavado con solución de borato de sodio también se le puede incorporar un aceite sulfitado porque las dos cosas blanquean y además impiden la oxidación en la capa superficial. Además este aceite sulfitado forma una barrera bloqueadora que impide la evaporación violenta del agua que cuando sucede arrastra consigo el tanino profundo depositándose en la superficie y oxidándose. Los taninos sintéticos actúan como ácidos y decolorantes disminuyendo la tendencia a la oxidación. La diversidad de constitución de los taninos nos explica que no hay dos taninos que den resultados idénticos. También hay taninos sintéticos que evitan la formación de flobagenos que son unos depósitos que se forman por aglomeración de los coloides de taninos y mantienen todo el sistema en suspensión, evitan que se pudran y evitan la formación de lodos de taninos que dejan agrios los baños.

2.5.5 Características comunes de los Taninos:

- Compuestos químicos no cristalizables cuyas soluciones acuosas son coloidales, de reacción ácida y sabor astringente.
- Precipitan con gelatina, albúmina y alcaloides en solución.
- Con sales férricas dan coloraciones negro azuladas o verdosas.
- Producen un color rojo intenso con ferricianuro de potasio y amoniaco.
- Precipitan a las proteínas en solución y se combinan con ellas, haciéndolas resistentes a las enzimas proteolíticas. Esta propiedad, denominada astringencia, fue mencionada anteriormente.

2.5.6 Clasificación de los Taninos

Dado que estos compuestos se han investigado durante más de 100 años, se diseñaron diferentes clasificaciones de acuerdo con el nivel del conocimiento que de éstos se tenía en los diferentes periodos de tiempo. La clasificación de Freudenberg, que actualmente es empleada, tiene su fundamento en el tipo de estructura base del tanino. Es así que los agrupa en dos grandes clases: taninos hidrolizables y taninos condensados. Al igual se describirá la clasificación de los taninos según su origen.

2.5.6.1 Taninos Hidrolizables pirogálicos

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 (OH).

Depositán, habitualmente, ácido elágico (compuesto amarillento, cristalizado y poco soluble en agua) finamente dividido que forma en el fondo de las cubas y eflorescencias en el cuero. Con sales de hierro dan coloración negro-azulada.

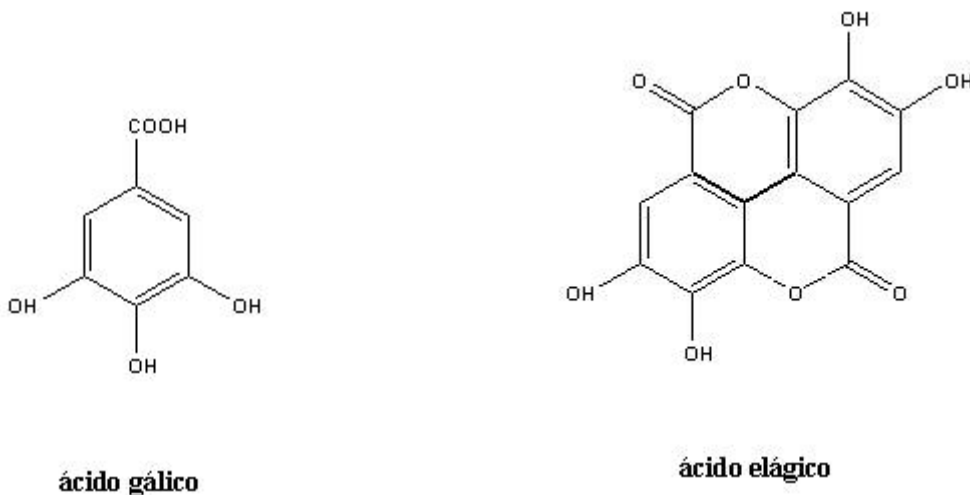
Los extractos tánicos hidrolizables se pueden clasificar en dos grandes grupos:

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

2.5.6.1.1 Características de Taninos Hidrosolubles o Pirogálicos

- Se hidrolizan con facilidad por la acción de los ácidos, bases o enzimas, en un azúcar, un polialcohol y un ácido fenolcarboxílico. Dependiendo del tipo de ácido que produce por la reacción se subdividen en: galotaninos (ácido gálico) y elagitaninos (ácido elágico o dilactona estable del ácido hexahidroxidifénico)
- Los 24úcleos bencénicos están unidos por medio de átomos de oxígeno
- Dan coloración azul con FeCl_3 .
- No precipitan con soluciones de Bromo.

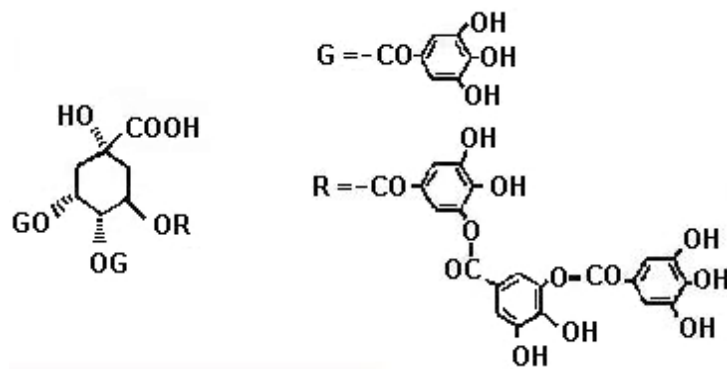
Figura 3 Taninos hidrosolubles o pirogálicos



Fuente: Referencia electrónica 1.

Como ejemplos de taninos hidrolizables, del subgrupo de galotaninos podemos mencionar al que se obtiene de los frutos de *Caesalpinia Spinosa* (nombre común: tara). Este tanino es fácilmente hidrolizable por la acción de la enzima tanasa. Esto permitió asignar la estructura de un éster poligaloílico del ácido químico a dicho tanino, con un peso molecular aproximado de 800. Es común, también en las agallas del encino y en la raíz del zumaque. Dentro de los elagitaninos, podemos poner como ejemplo al corilagin, primer tanino aislado de este tipo, de *Caesalpinia coriarea* (nombre común: divi-divi) y *Terminalia chebula* (nombre común: mirabolano). El isorugosin B, aislado de *Liquidambar*, es otro ejemplo.

Figura 4 Estructura de Tanino de Tara



Tanino de Tara

Fuente: Referencia electrónica 1.

2.5.6.2 Taninos no hidrosolubles o condensados

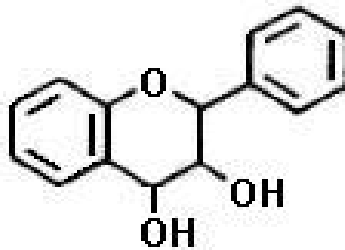
Los extractos condensados o catequínicos que en las mismas condiciones forman precipitados. Sus núcleos constituyentes están reunidos entre sí con intervención de átomos de carbono. Se les llama catequínicos porque sometidos a destilación seca, casi todos, dan pirocatequina. Los taninos condensados son polímeros de flavan-3,4-dioles.

Los taninos condensados presentes en leguminosas tropicales se encuentran en tres formas principales: (a) extractables (reactivos con proteína), (b) ligados a proteína, y (c) ligados a fibra. Existen leguminosas donde todos los taninos son extractables (e.g. *Acacia boliviana*) y en otras donde todos son ligados (e.g. *Gliricidia sepium*).

Por otra parte, se ha demostrado que el secado de una muestra puede afectar la distribución de taninos en el tejido de una planta. Por ejemplo, se ha observado que en varias leguminosas secadas al horno (60 °C) hubo una

reducción de taninos extractables y un aumento de taninos ligados en comparación con muestras liofilizadas

Figura 5 Estructura de Flavan- 3,4- diol



Fuente: Referencia electrónica 1.

2.5.6.2.1 Características de los Taninos condensados

- Son derivados de unidades de flavan-3,4-dioles (leucoantocianidinas o proantocianidinas monómeras), conocidos actualmente también como proantocianidinas condensadas.
- Al ser tratados con ácidos en caliente, se origina una polimerización progresiva hasta dar taninos amorfos, llamados flobafenos o taninos rojos.
- En ellos, los núcleos bencénicos están unidos por átomos de carbono (por ejemplo C-4 a C-8, C-4 a C-6).
- Dan coloración verde con FeCl_3 .
- Precipitan con soluciones de bromo.

Ejemplo de este tipo de taninos los encontramos en la corteza de mimosa (*Acacia mollissima* Willd), en la madera de quebracho (*Schinopsis lorenzii*, Engl.), en la corteza de mangle (*Rhizophora mangle*), en las hojas de lentisco (*Pistacia lentiscus*), en la madera del castaño (*Castanea sativa*), entre otros.

2.5.6.3 Métodos experimentales para diferenciar Taninos Pirogálicos de taninos condensados

2.5.6.3.1 Taninos condensados

- **Método I**

Calentar a punto de ebullición una solución de extracto fuertemente acidificada con ácido clorhídrico a la que previamente se le haya agregado un poco de formaldehído. Los extractos hidrolizables permanecerán solubles mientras que los condensados precipitarán. El ácido clorhídrico en caliente actúa hidrolizando las moléculas de los extractos hidrolizables, dando moléculas más pequeñas que aunque lleguen a condensar con el formaldehído continúan siendo solubles. En los extractos condensados sin embargo, el formaldehído forma puentes metilénicos entre dos o más moléculas, lo que hace disminuir su solubilidad y llegan a precipitar.

- **Método II**

Realizando una valoración potenciométrica de una solución del extracto queda de manifiesto que los taninos hidrolizables tienen grupos carboxílicos con un carácter más ácido que los grupos fenólicos de los taninos catequínicos. Los extractos vegetales forman lacas con las sales férricas de colores oscuros; si son taninos hidrolizables lacas de color negro verdoso y si son taninos condensados de color negro azulado.

2.5.7 Clasificación de los taninos por su origen

- **Taninos fisiológicos**

Son el resultado de las funciones metabólicas de la planta.

- **Taninos patológicos**

Son una respuesta al ataque de insectos, ya sea por ovoposición o por picadura.

2.5.8 Descripción de extractos curtientes vegetales

Los extractos curtientes vegetales (líquidos, sólidos, polvo) se extraen con agua y posteriormente son concentrados. Es muy importante considerar la naturaleza del agua empleada, pues el contenido de sales puede influir en su calidad y propiedades. Sus características se pueden determinar mediante el análisis tánico que nos permitirá obtener los porcentajes de humedad, insolubles, no taninos, taninos y los valores de pH, acidez y sales.

Las soluciones de extractos curtientes en general tienen un porcentaje más o menos elevado de sustancias insolubles en agua que se pueden encontrar en forma de suspensión o precipitado, que pueden proceder de la materia vegetal misma, formarse en su proceso de extracción o durante la fabricación del cuero. Cuando provienen de la materia vegetal extraída son taninos de un grado de polimerización elevado y no pueden mantenerse en suspensión por el efecto peptizante de los otros componentes del extracto. Las gomas o resinas, por ejemplo, pueden influir en la formación de precipitados dificultando la difusión del tanino hacia el interior de la piel. Si se originan en la curtición, pueden provocar una precipitación, o una disolución de las moléculas del tanino.

El componente fundamental de los extractos curtientes es el tanino que es capaz de transformar las pieles en cuero. Los taninos son compuestos polifenólicos de gran complejidad que pueden tener composiciones y estructuras muy diferentes dependiendo de su procedencia.

En los extractos tánicos, junto a los taninos, se encuentran sustancias no curtientes las que se han separado de los vegetales durante el proceso de extracción. Estas materias, llamadas no taninos, están constituidas por hidratos de carbono de diverso tipo, ácidos orgánicos, fenoles simples que

no alcanzaron la magnitud molecular de los taninos, sales contenidas en el tejido vegetal y las provenientes del agua que se utiliza para su extracción, proteínas y compuestos de lignina. Entre estos no taninos hay sustancias que no son absorbidas por la piel, pero que durante el proceso de curtición pueden evolucionar y transformarse por polimerización en verdaderos taninos. Los no taninos intervienen activamente en el curtido porque los azúcares por fermentación de los ácidos y su aumento modifica la relación de ácido a sal.

Las sustancias insolubles son sustancias que no se solubilizan en el agua, pero que por su tamaño pequeño no dañan sino que favorecen el curtido o dan peso. Algunos de los curtidos vegetales como el de suela pura se vende por kilo y es necesario tener entonces sustancias que le den peso. Las sales de magnesio forman tanatos insolubles y no solo favorecen al curtido final dándole peso sino dan una menor permeabilidad al agua y una mayor fijación de los taninos.

Las sustancias insolubles que poseen los taninos favorecen el curtido, porque si lo que utilizamos como sustancia curtiente fuera un 100% sustancia tánica, sustancia curtiente, se produciría (a pesar de que estos fueran condicionados al pH ideal de los taninos, alrededor de 4.5-5) una sobrecurtición superficial que impediría el pasaje de los taninos para adentro. Todas estas sustancias no taninos son las que favorecen la penetración del tanino y evitan la sobrecurtición. También se utilizan como precurtientes los taninos sintéticos que por tener la molécula pequeña, penetran antes y con gran rapidez, antes que los taninos naturales que están formados por coloides de estructura mucho más grande. Estos taninos precurtientes abren el camino y favorecen la penetración. Por eso es frecuente utilizarlos con anterioridad como precurtientes y se pueden también poner juntos.

2.5.8.1 Obtención del extracto curtiente

Para la obtención de un extracto curtiente se requieren numerosas operaciones:

1.-Reducción del tamaño de su partícula. Se tritura para aumentar su superficie y que la extracción sea más eficaz.

2.- Extracción: En las fábricas de extractos se utilizan tinajas para la extracción, las cuales son en general de madera, modernamente de acero inoxidable y de una forma tronco-cónica para facilitar la salida del material extraído. Para facilitar la extracción se utiliza agua de condensación templada o caliente dependiendo del tanino que se trate y un principio a contracorriente. La extracción puede realizarse en cubas abiertas o en autoclave donde se trabaja con una temperatura superior a los 100°C. En el primero de los casos se obtendrá un extracto de mejor calidad, color más claro e índice de pureza (relación tanino/no tanino) mayor pero con un rendimiento inferior al otro sistema que al trabajar con elevadas temperaturas disuelve no sólo los taninos sino otros elementos no curtientes que no se disuelven a temperaturas menores oscureciendo su color.

3.- Clarificación: Saliendo de la extracción las soluciones tienen de 2° a 4° Bé y una temperatura de aproximadamente 80⁰-90°C. Son soluciones límpidas pero durante el enfriamiento se enturbian y dejan decantar sustancias insolubles en frío. Si fueran enviadas directamente a la concentración, darían extractos ricos en materias insolubles y de color intenso, llamados extractos brutos.

4.- Concentración: Las soluciones obtenidas en la extracción tienen alrededor de 10-15% de sólidos y es necesario concentrarlo en un 50%.

5.- Tratamientos químicos: Modificándose el equilibrio entre la acidez y el contenido salido de un extracto vegetal curtiente se pueden obtener curtientes con propiedades diferentes. Por ejemplo, el extracto de castaño se dulcifica con sulfito sódico que tiene una acción reductora, amoníaco concentrado para modificar el pH del tanino y mejorar su poder de penetración y bisulfito sódico para disminuir el color del extracto. La dulcificación permite obtener un cuero mucho más claro que antes. La sulfitación del extracto de quebracho da soluciones solubles en agua fría, transparentes a temperatura ambiente y que son relativamente poco astringentes.

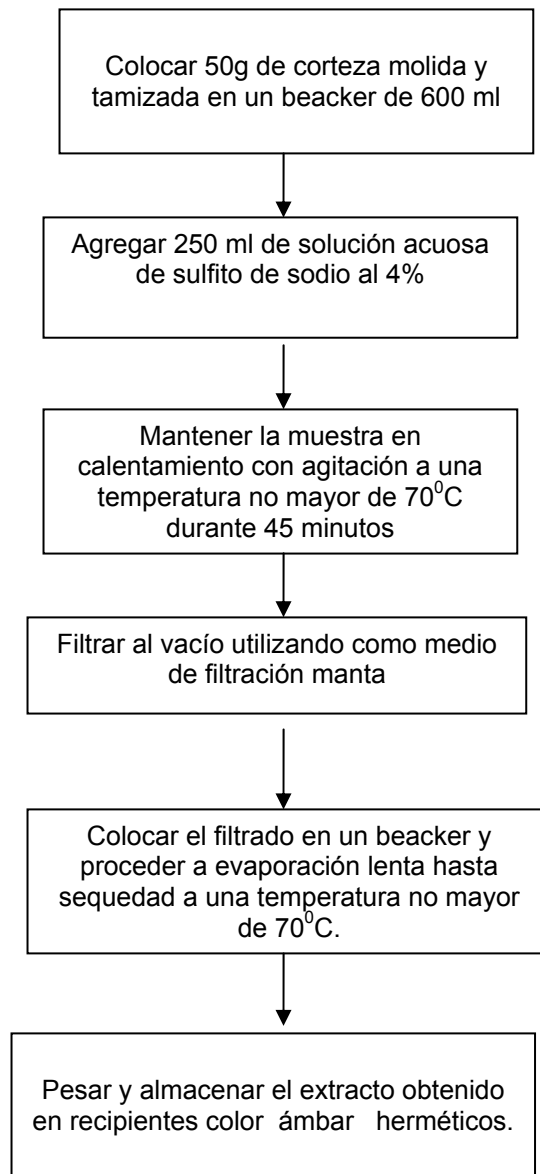
6.-Secado: Después de los tratamientos químicos los licores tánicos pasan a concentradores de vacío dejándolos en una humedad del 15-20%. Otro sistema es a través de la atomización que nos permite lograr un extracto con una humedad de alrededor de 4-6%.

2.5.8.2 Extractos curtientes comerciales

1. **extracto de pino**, de gran astringencia, da al cuero un color rojizo
2. **extracto de encina**, da cueros firmes de color pardo amarillento.
3. **extracto de zumaque**, es un extracto suave que penetra rápidamente en la piel, da cuero de tacto suave y flexible y de color muy claro.
4. **extracto de valonea**, de gran astringencia da cueros de color amarillento bastante impermeables
5. **extracto de castaño**, de astringencia elevada, da cueros firmes de color avellana. Este extracto es el más sólido a la luz
6. **extracto de mimosa**, fácilmente soluble en agua, da cueros flexibles de color beige amarillento
7. **extracto de quebracho natural** da cueros firmes, solubles en frío por bisulfitación da cueros más flexibles y suaves.
8. **extractos de lignina**. En el tratamiento de maderas con sulfitos y bisulfitos para la obtención de la pasta del papel se logran grandes cantidades de compuestos lignosulfónicos solubles que luego son purificadas con tratamientos químicos y desecadas por atomización. Los ácidos lignosulfónicos se fijan bien sobre el colágeno pero no tienen propiedades curtientes, se aplican como auxiliares retardando la fijación del tanino, facilitando la dispersión de los sedimentos y mejorando su difusión en los taninos.

2.5.9 Flujogramas de Métodos de Extracción de Taninos

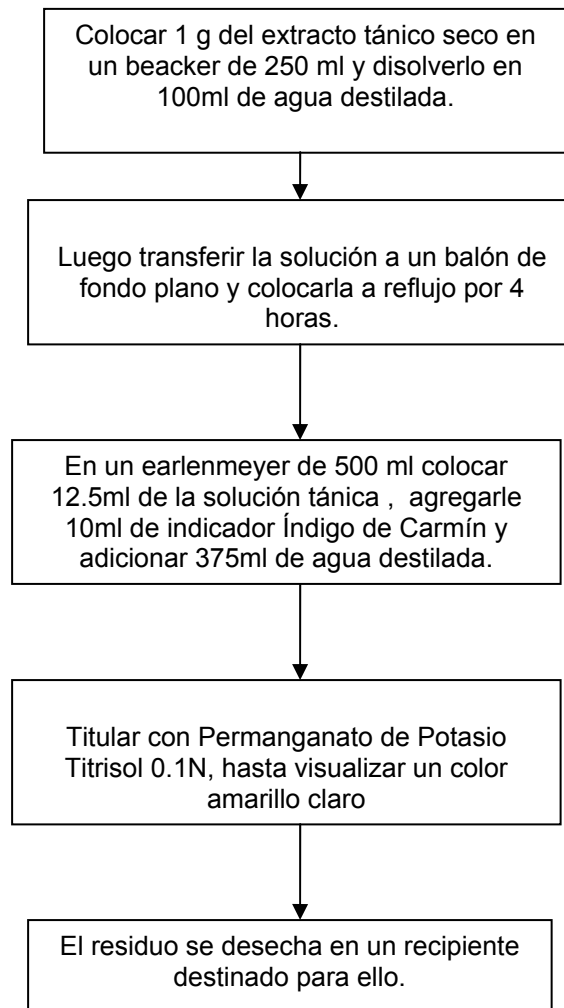
Figura 6 Método de Extracción de Taninos con solución acuosa de sulfito de sodio al 4%



Fuente: Referencia Bibliográfica 15.

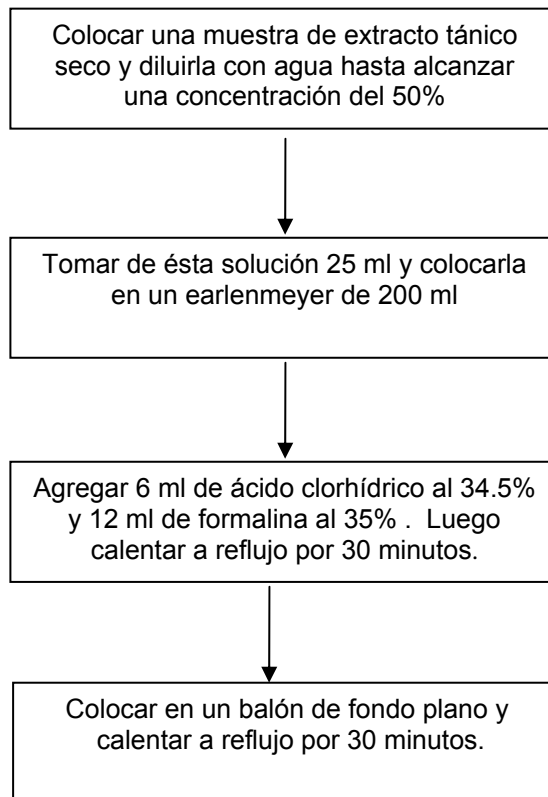
Figura 7

Determinación del Porcentaje de Taninos en el Extracto Tánico. Método de Tara en Vaina. Método Volumétrico



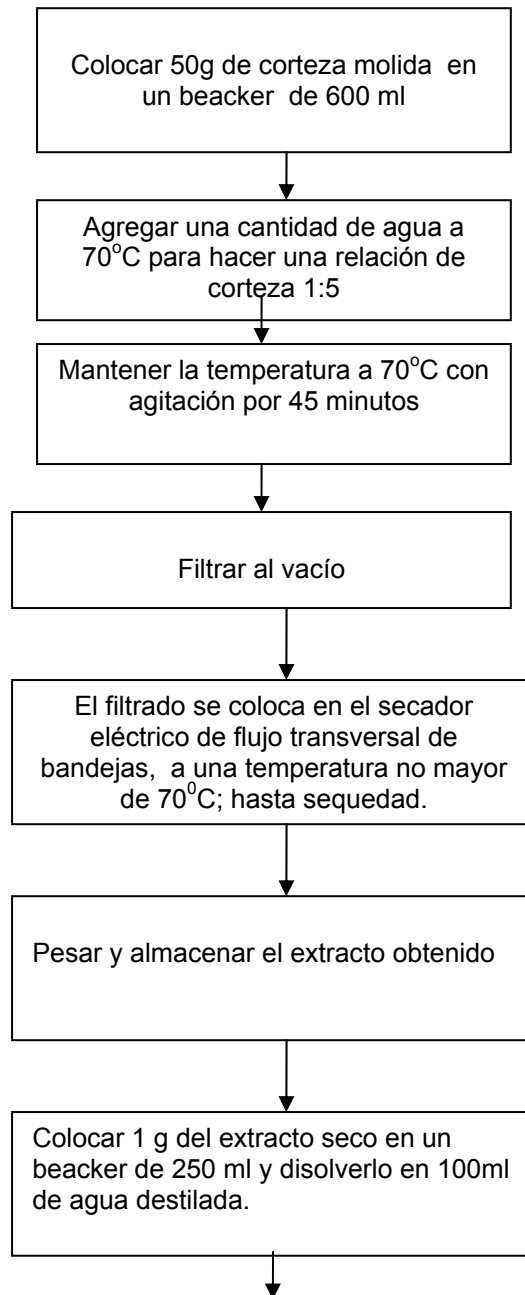
Fuente: Referencia Bibliográfica 15.

Figura 8 **Determinación del Porcentaje de Taninos en el Extracto Tánico. Método Stiasny. Método Gravimétrico**

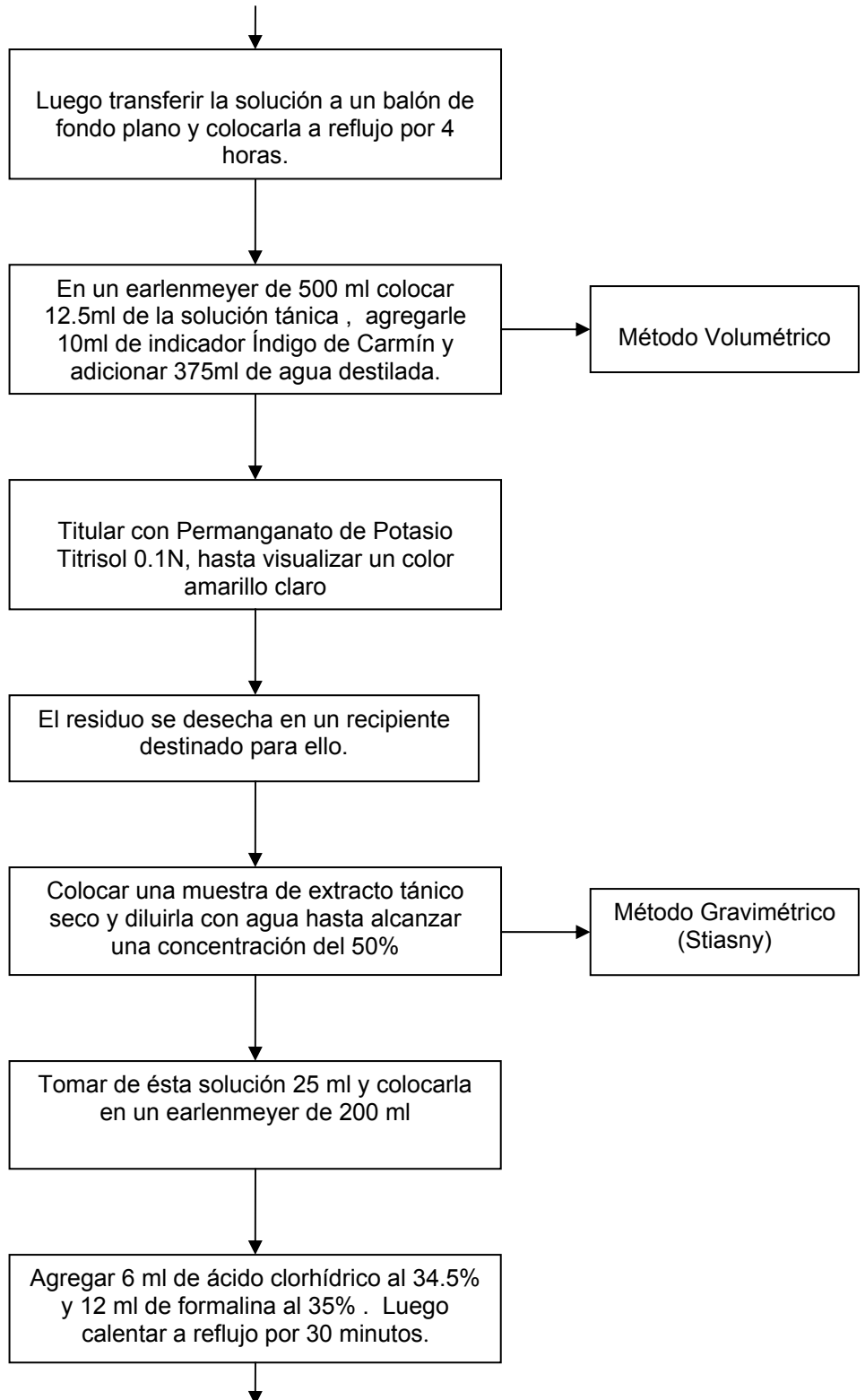


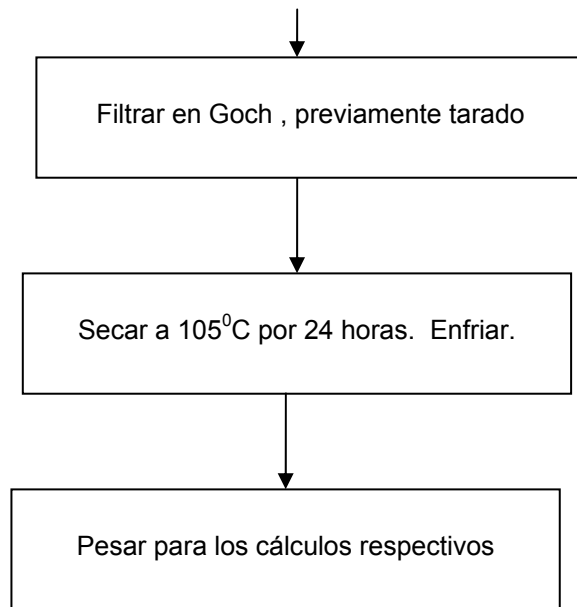
Fuente: Referencia Bibliográfica 15.

Figura 9 **Método de Extracción de Taninos con solución acuosa de sulfito de sodio al 4%**



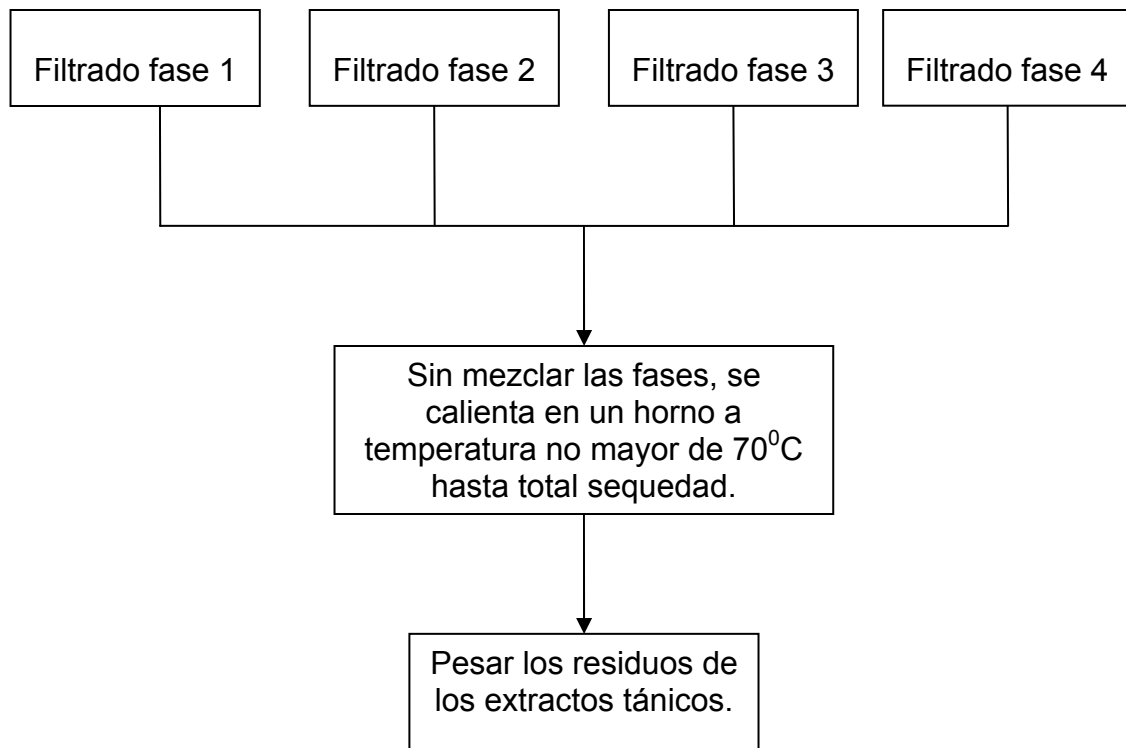
Fuente: Referencia Bibliográfica 15.





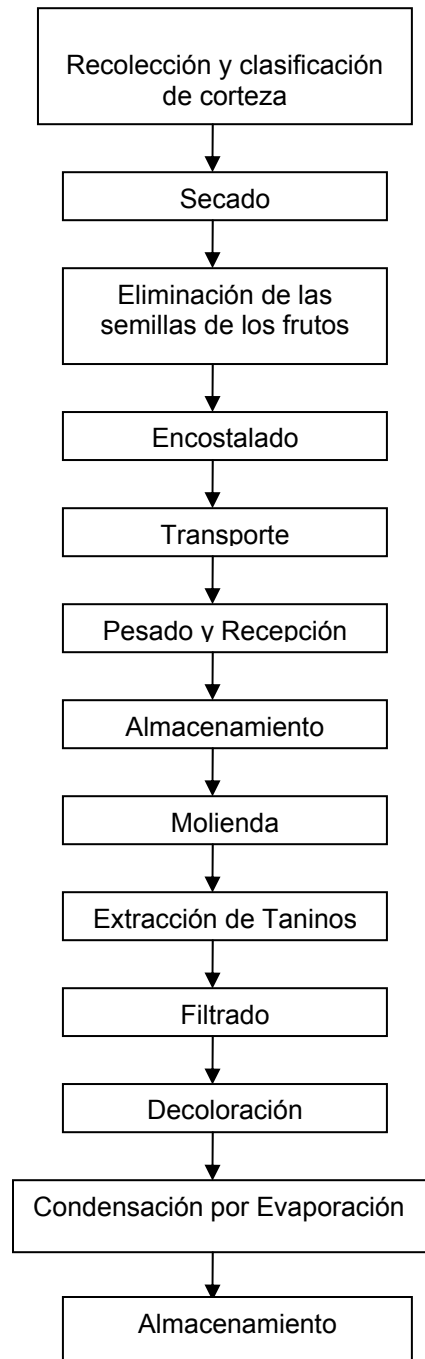
Fuente: Referencia Bibliográfica 15.

Figura 10 Diagrama del proceso de secado-concentración de los extractos obtenidos por el método de extracción en etapas sucesivas con agua y solución acuosa de sulfito de sodio al 2%.



Fuente: Referencia Bibliográfica 15.

Figura 11 Diagrama de operaciones en el proceso de obtención de sustancias curtientes de origen vegetal.



Fuente: Referencia Bibliográfica 15.

2.6 Fundamentos teóricos con base a la metodología

2.6.1 Gravimetría

La determinación gravimétrica se refiere al método de análisis cuantitativo que se basa en la determinación de la composición de una sustancia problema midiendo el peso de la masa obtenida en el experimento. La masa es la cantidad de sustancia contenida en un cuerpo. El peso es la fuerza con que el cuerpo presiona el lugar de reposo.

En la determinación gravimétrica se emplea la balanza analítica, permitiendo así que las mediciones de la masa sean precisas. Según Kreshkov, las determinaciones gravimétricas se dividen en: Primer tipo, el componente a determinar es componente a determinar se elimina por completo y el residuo se pesa. Segundo tipo, el componente a determinar se elimina por completo y el residuo se pesa. Tercer tipo, el componente a determinar se convierte cuantitativamente en un compuesto químico, en forma que pueda ser separado y pesado.

Según los métodos propuestos, la determinación gravimétrica se aplica en los procedimientos para la determinación de la humedad de la corteza y en la obtención del extracto tánico.

2.6.2 Volumetría

La determinación volumétrica consiste en un método de análisis cuantitativo en que la medición de la masa se efectúa por medio de la medición de volúmenes. El método consiste en una disolución preparada a partir de una muestra pesada de una sustancia que se

somete el análisis, se agrega la disolución de concentración conocida hasta que las sustancias combinadas interaccionen completamente.

Cuando las sustancias que interaccionan se consumen por completo, se denomina el punto de equivalencia, haciendo notar que la reacción llegó al punto final, y en este momento las cantidades de sustancias que entraron en la reacción son estrictamente equivalentes.

Las condiciones para satisfacer de forma adecuada la reacción determinante son las siguientes: La reacción debe ser prácticamente irreversible, el punto final de la reacción debe ser lo suficientemente perceptible procurando una verificación rápida de la reacción y la variación de las condiciones externas no debe alterar al proceso.

Según Kreshkov, los métodos se pueden clasificar en función del tipo de reacción química utilizada: de oxidación-reducción, de neutralización alcalina o ácida, de precipitación y en formación de complejos.

Según el procedimiento de determinación del porcentaje de taninos en el extracto tánico el método volumétrico será el adecuado, siendo de óxido-reducción por el efecto del permanganato de potasio en una solución de extracto tánico, midiendo así el volumen de titulante utilizado, haciendo las mediciones respectivas.

2.6.3 Secado

Es el proceso en donde se elimina agua de un cuerpo en cantidades relativamente pequeñas. También se refiere a la eliminación de otros líquidos tales como orgánicos. Casi siempre se elimina el agua en forma de vapor con aire, siendo a temperatura ambiente o por aire caliente.

Los procesos de secado se dividen principalmente en dos: tipo continuo, en donde el material a secar se pasa en el equipo de secado sin interrupciones; por lotes, cuando una cantidad específica de material es secado por flujo de aire en estado estacionario.

También se pueden clasificar en base a las condiciones de extracción de vapor y transferencia de calor. En primer lugar, se tiene un proceso en donde la materia es sometida a calor por contacto directo con aire caliente y el agua es removida por el vapor contenido en el mismo aire expulsado. En segundo lugar, se tiene secado al vacío, en donde el agua se evapora a presiones bajas, y el calor recibido es indirecto por contacto con una pared conductora en donde existe también la manifestación de radiación.

En tercer lugar, el agua se sublima directamente de un material congelado, por medio del vapor de agua que se forma a bajas temperaturas; proceso conocido como liofilización.

El secado será vital para obtener resultados confiables, debido a que el agua es el principal componente que altera las propiedades de la corteza; se empleará para secar la corteza a tratar, y también la corteza

molidas y tamizadas previo a los muestreos, así como el secado de los taninos en el extracto tánico.

2.6.4 Lixiviación

La lixiviación es la disolución de uno o más compuestos de interés de una mezcla sólida por medio del contacto con un solvente líquido. Recibe el nombre de colada cuando se separaba un álcali a partir de cenizas de madera.

Cuando se habla de extracción se aplica a las operaciones de separación que utilizan métodos de transferencia de masa o mecánicos. La elusión es la operación donde el material soluble está sobre la superficie de un sólido insoluble y se lava con el disolvente.

La operación unitaria de extracción es conocida como extracción líquido-líquido. La lixiviación es una operación de separación sólido-líquido; cuando el agua es el solvente el proceso recibe el nombre de lavado. Ciertos productos orgánicos se separan por medio de lixiviación; en el caso de aceites vegetales son recuperados a partir de semillas, como en el caso del algodón con disolventes orgánicos.

En este caso se aplica para determinar taninos en madera, que se obtienen por lixiviación con soluciones acuosas alcalinas de sulfito de sodio como solvente. También el caso del azúcar, en donde se hace una separación de la misma con agua caliente en el caso de la remolacha.

Según Treybal, a temperaturas elevadas la viscosidad del líquido es menor y la difusividad mayor; incrementando la solubilidad del soluto en el solvente incrementando la rapidez del proceso. Por ello, la

temperatura es importante en el proceso de lixiviación, aunque en ciertos materiales surge una descomposición indeseada del soluto y su procedencia por las altas temperaturas del disolvente.

El material debe tratarse previamente para un buen proceso de lixiviación, esto con lavados previos para retirar sustancias indeseadas que son insolubles en el solvente. Para acelerar y optimizar dicho proceso se muele y tritura el material permitiendo mayor accesibilidad de contacto solvente-soluto por el aumento del área superficial.

Para preparar el sólido se debe tomar en cuenta la proporción de constituyente y solvente adecuada, la distribución del material, tamaño y naturaleza de las partículas y material. Si el material es biológico, las paredes celulares presentar gran resistencia en el proceso, ya que el material contenido forma parte de la composición de dicho material. Por ello se recomienda moler los materiales biológicos debido a lo mencionado con el material anterior.

El procedimiento para la obtención del extracto tánico y de los taninos en el extracto tánico implica el proceso de la lixiviación.

La lixiviación es la disolución preferente de uno o más componentes de una mezcla sólida por contacto con un disolvente líquido. Esta operación unitaria, una de las más antiguas en la industria química, ha recibido muchos nombres, según la técnica más o menos compleja utilizada para llevarla a cabo.

La colada se refería originalmente a la percolación del líquido a través de un lecho fijo del sólido, pero en la actualidad se utiliza para describir la operación en forma general, sin importar la forma en que se realice la Lixiviación se utiliza con menos frecuencia como sinónimo para colada, aunque al principio se refería específicamente a la colada de álcali a partir de cenizas de madera.

El término extracción también se emplea por lo común para describir esta operación particular, aunque también se aplica a todas las operaciones de separación, que utilicen métodos de transferencia de masa o mecánicos. La decocción se refiere específicamente al uso del disolvente a su temperatura de ebullición. Cuando el material soluble está sobre todo en la superficie de un sólido insoluble y simplemente se lava con el disolvente, la operación algunas veces recibe el nombre de elución. En este capítulo también se analizarán estas operaciones de lavado, puesto que frecuentemente se relacionan íntimamente con la lixiviación. Tal vez las industrias metalúrgicas son las que más utilizan las operaciones de lixiviación. La mayoría de los minerales útiles se encuentran en forma de mezclas, con grandes proporciones de componentes indeseables; por eso, la lixiviación del material valioso es un método de separación que se aplica con frecuencia.

Por ejemplo, los minerales de cobre se disuelven preferentemente a partir de algunos de sus minerales por lixiviación con ácido sulfúrico o soluciones amoniacales, y el oro se separa de sus minerales con la ayuda de soluciones

de cianuro de sodio. En forma similar, la lixiviación juega un papel importante en el procesamiento metalúrgico de aluminio, cobalto, manganeso, níquel y zinc. Muchos productos orgánicos naturales se separan de sus estructuras originales mediante lixiviación. Por ejemplo, el azúcar se separa por lixiviación de la remolacha con agua caliente; los aceites vegetales se recuperan a partir de semillas, como las de soya y de algodón mediante la lixiviación con disolventes orgánicos; el tanino se disuelve a partir de diferentes cortezas arbóreas mediante lixiviación con agua; en forma similar, muchos productos farmacéuticos se recuperan a partir de raíces y hojas de plantas.

El té y el café se preparan doméstica e industrialmente por operaciones de lixiviación. Además, los precipitados químicos con frecuencia se lavan de sus aguas madres adheridas mediante técnicas y equipo muy similares a los utilizados en las verdaderas operaciones de lixiviación, como en el lavado del licor de sosa cáustica del carbonato de calcio precipitado después de la reacción entre óxido de calcio y carbonato de sodio.

2.6.4.1 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. Esto es lo que sucede con muchos materiales metalúrgicos.

La trituración y molienda de estos sólidos acelerará bastante la acción de lixiviación, porque las porciones solubles son entonces más accesibles al disolvente. Por ejemplo, cierto mineral de cobre puede lixivarse

eficazmente por soluciones de ácido sulfúrico de 4 a 8 h, si se muele hasta que pase a través de una malla de 60 micrones; en 5 días, si se tritura hasta gránulos de 6 mm, y de 4 a 6 años si se utilizan rocas de 140 mm . Puesto que la molienda es cara, la calidad del mineral tiene mucho que ver con la elección del tamaño al cual se va lixiviar. Por otra parte, en el caso de ciertos minerales de oro, las pequeñas partículas metálicas están revueltas en una matriz de cuarzo que es tan impenetrable a la acción de lixiviación del disolvente que es básico moler la roca para que pase por una malla de 100 micrones para que ocurra la lixiviación.

Cuando la sustancia soluble está distribuida más o menos uniformemente en todo el sólido o aún en solución del sólido, la acción de lixiviación puede proporcionar canales para el paso del disolvente fresco y tal vez no sea necesaria una molienda muy fina. El derrumbe del esqueleto insoluble que permanece después de la separación del soluto puede, sin embargo, presentar problemas.

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. Así, la remolacha se corta en rebanadas delgadas, en forma de cuñas, antes de la lixiviación, a fin de reducir el tiempo requerido para que el agua disolvente llegue a cada célula vegetal. Sin

embargo, las células se dejan deliberadamente intactas, de forma que el azúcar pase a través de las paredes celulares semipermeables y que los indeseables materiales coloidales y albumínicos queden casi completamente detrás. En el caso de muchos productos farmacéuticos, recuperados a partir de raíces, tallos y hojas vegetales, el material vegetal con frecuencia se seca antes del tratamiento; esto favorece la ruptura de las paredes celulares y la liberación del soluto mediante la acción directa del disolvente. Las semillas vegetales y los cereales, tal como la soya, se aplanan o se hacen hojuelas para obtener partículas de 0.15 a 0.5 mm. Por supuesto, las células tienen un tamaño menor, pero se rompen bastante debido al proceso de formación de hojuelas; entonces, los aceites se ponen más fácilmente en contacto con el disolvente. Cuando el soluto se adsorbe sobre la superficie de las partículas sólidas o se disuelve simplemente en una solución adherente, no es necesaria la trituración o molienda y las partículas pueden lavarse directamente.

2.6.4.2 Temperatura de lixiviación

Por lo general, se desea realizar la lixiviación a temperaturas lo más elevadas posible. Las temperaturas elevadas producen la mayor solubilidad del soluto en el disolvente y, en consecuencia, concentraciones finales mayores en el licor de lixiviación. A temperaturas elevadas la viscosidad del líquido es menor y mayores las difusividades; esto incrementa la rapidez de lixiviación. En el caso de algunos productos naturales, como las remolachas, las temperaturas muy elevadas pueden producir la lixiviación de cantidades excesivas de solutos indeseables o de deterioro químico del sólido.

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.

2.6.5 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.

2.6.5.1 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.

2.6.5.2 Lixiviación a la intemperie

Los minerales con bajo contenido, cuyo valor en mineral no garantiza el gasto de molienda o trituración, pueden lixiviar 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(10⁷) 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.

2.6.6 Tanques de percolación

Los sólidos de tamaño intermedio pueden lixiviarse 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 período. 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 aspersión 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.

2.6.6.1 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 periodo 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 líquido que pudo haberse retenido dentro de los poros de un sólido poroso. En la figura 12 se muestra la variación de S (fracción de volumen vacío ocupado por el solvente) 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 ($s = 1$.O) 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,

$$s_{pr} = \frac{(Z - Z_D)s_0}{Z} + \frac{Z_D}{Z} \quad (\text{ec. 1})$$

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

$$Z_D = \frac{0.275(g_c/g)}{(K/g)^{0.5}(\rho_L/\sigma)} \quad (\text{ec. 2})$$

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:

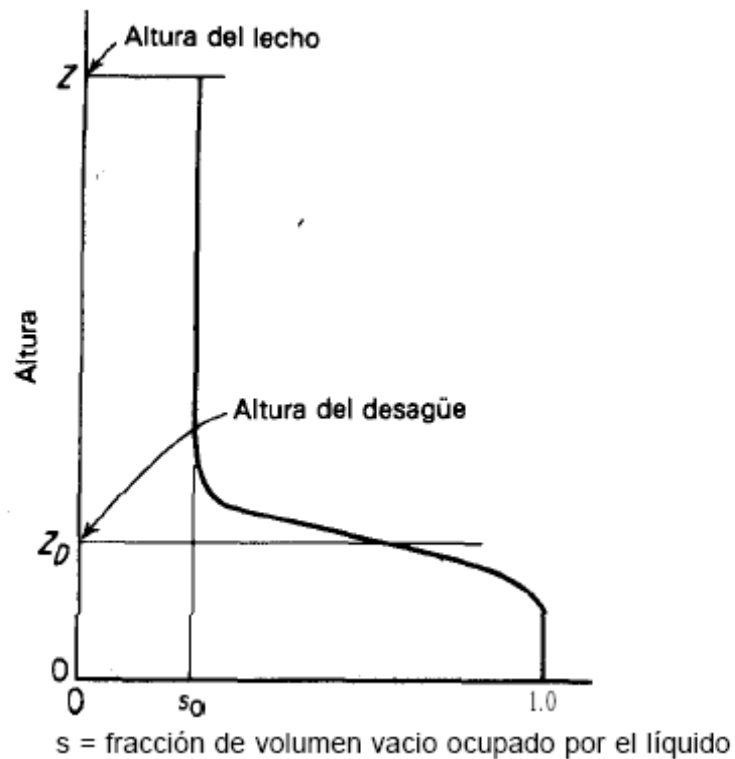
$$s_0 = \begin{cases} 0.075 & \frac{K\rho_L}{g\sigma} \frac{g}{g_c} < 0.02 & (\text{ec. 3}) \\ \frac{0.0018}{(K\rho_L/g\sigma)(g/g_c)} & \frac{K\rho_L}{g\sigma} \frac{g}{g_c} > 0.02 & (\text{ec. 4}) \end{cases}$$

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,

$$G = \frac{K \rho_L \Delta p}{\mu_L Z} \frac{g}{g_c} \quad (\text{ec. 5})$$

Figura 12 Drenado de lechos empacados



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

en donde \mathbf{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 (6) 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 $\mathbf{Ap/Z}$ de esta ecuación se sustituye en la ecuación (5), si Re se reemplaza por $d_p G / \mu_L$, y simplificando, se obtiene.

$$K = \frac{d_p^2 \epsilon^3 g}{150(1 - \epsilon)^2} \quad (\text{ec. 6})$$

en donde d_p es el diámetro de una esfera con la misma relación superficie/volumen que las partículas del lecho y ϵ es el volumen vacío fraccionario. Para materiales fibrosos y otros cuyo valor de d_p puede resultar difícil de calcular, K puede obtenerse con la ecuación (13.5), después de la medición experimental de la caída de presión para el flujo laminar a través del lecho.

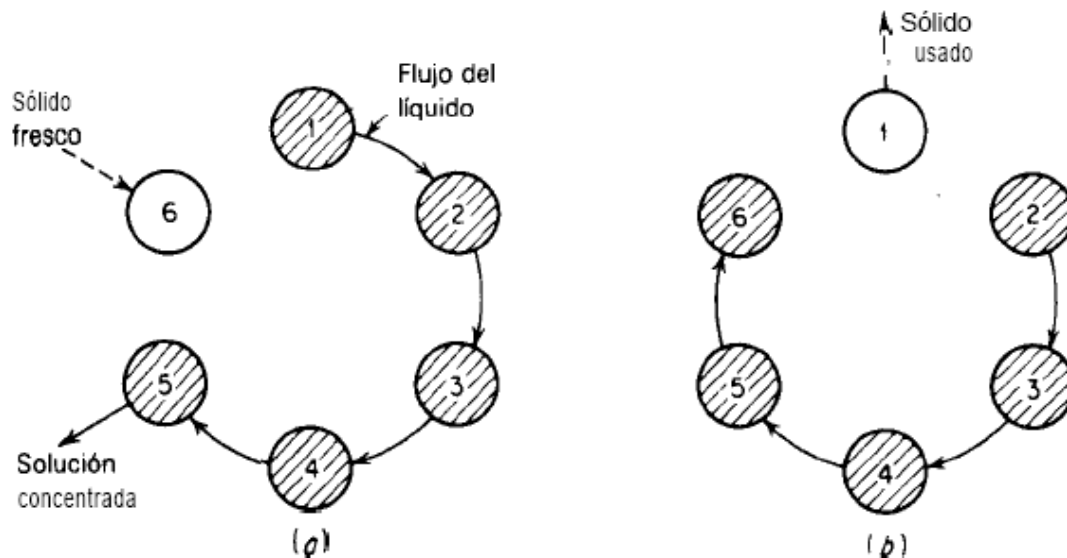
2.6.6.2 Contacto múltiple a contracorriente; el sistema de Shanks

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 7 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

Figura 13 Contacto múltiple a contracorriente, sistema de Shanks.



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

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.

- 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 7 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 7 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***

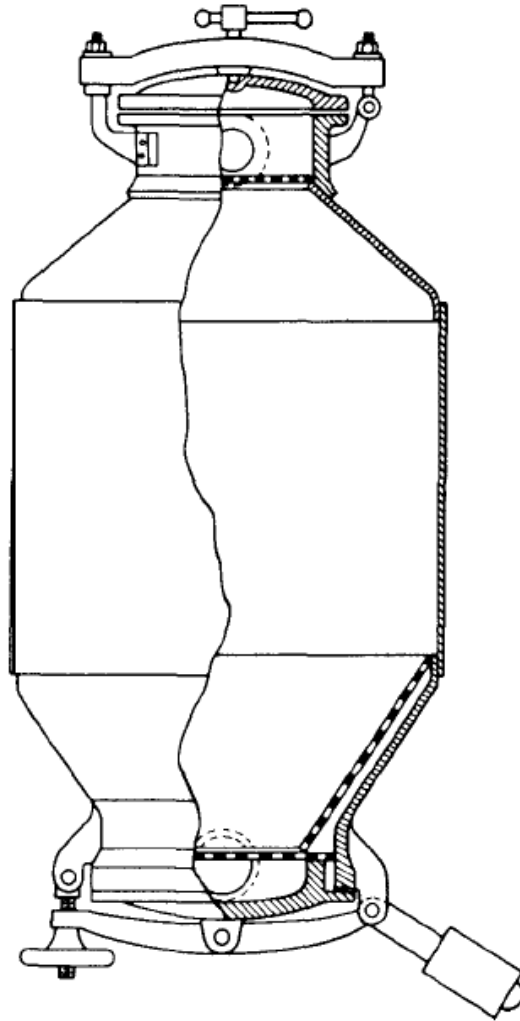
cortezas y maderas arbóreas, para la lixiviación del nitrato de sodio a partir de la roca chilena de nitrato (caliche) y en muchos otros procesos.

2.6.7 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 14 Difusor de remolacha (cortesía de Institution of Chemical Engineers)



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

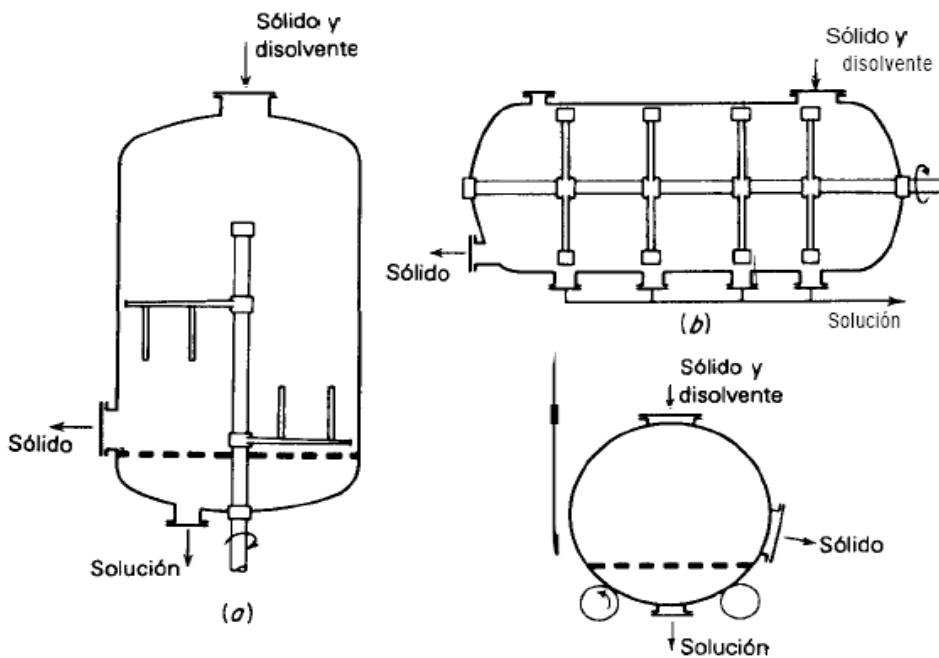
2.6.8 Lixiviación en filtro prensa

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.

2.6.9 Tanques con agitación

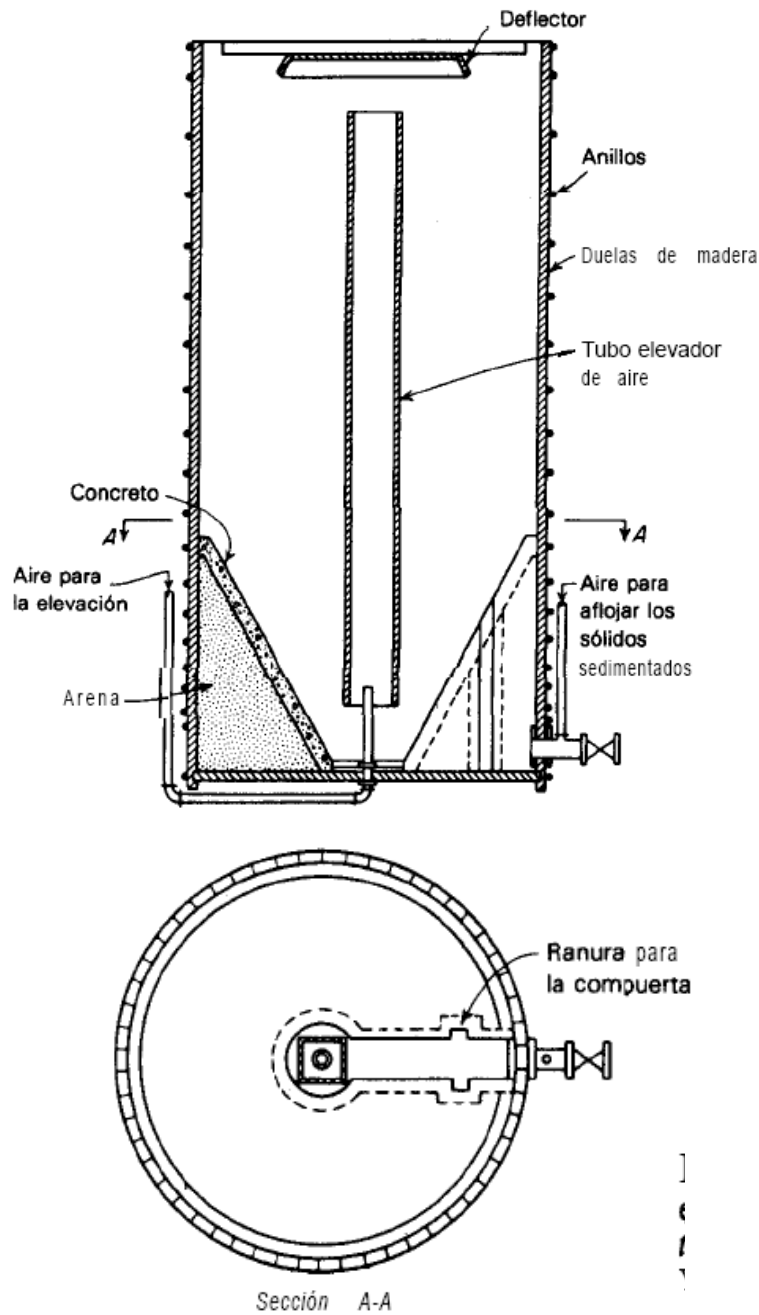
El acanalamiento del disolvente en la percolación o en la lixiviación mediante filtros prensa de lechos fijos, y su lenta e incompleta lixiviación subsecuente, pueden evitarse mediante la agitación del líquido y el sólido en tanques de lixiviación. Para sólidos gruesos, se han diseñado muchos tipos de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

Figura 15 Tanques de lixiviación por lotes con agitación



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

Figura 16 Tanque Pachuca (Lideell Handbook of Non-Ferrous Metallurgy, 2ª ed. McGraw-Hill, Nueva Cork 1945)



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

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 más 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.

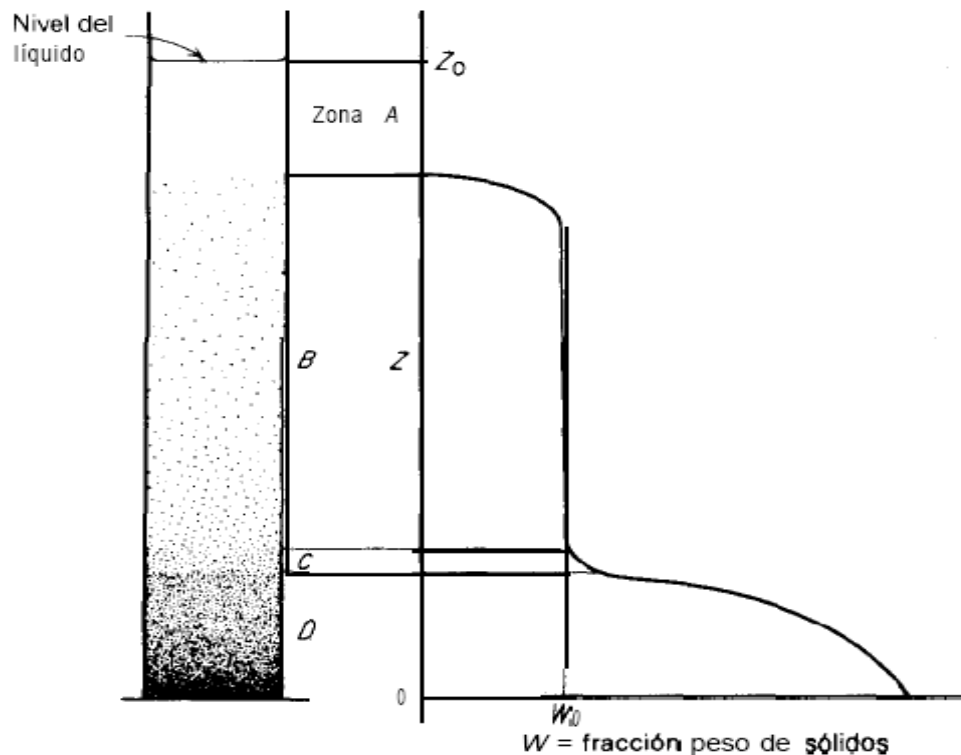
2.6.9.1 Sedimentación por lotes

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 esta 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 mas 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 18 Sedimentador por lotes



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

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 resta una zona de compresión que contiene a todos los sólidos y que va disminuyendo lentamente hasta cierta altura final.

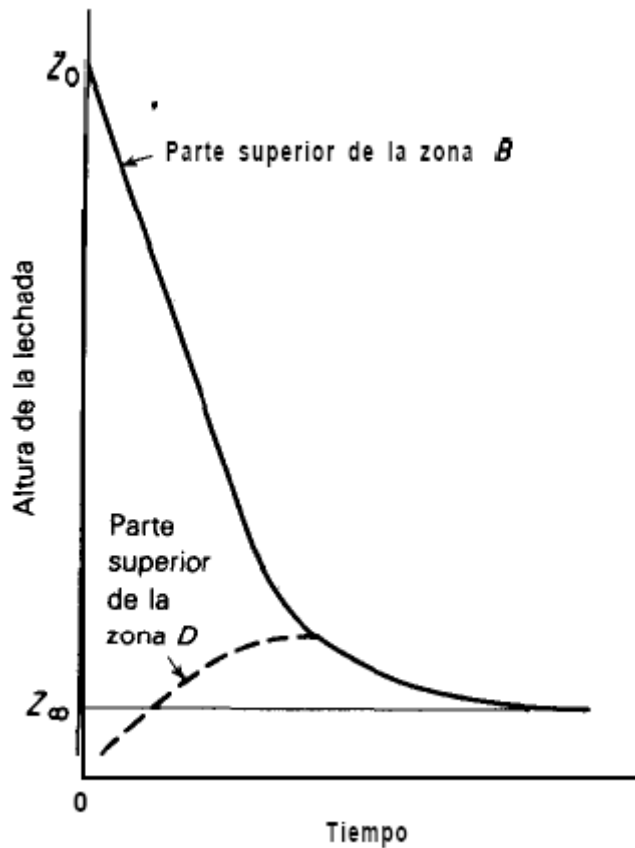
La rapidez de sedimentación generalmente se sigue al graficar la altura de la línea de demarcación entre las zonas A y B contra el tiempo, como se muestra mediante la curva sólida de la figura. La curva punteada representa la posición del nivel superior de la zona **D**. La parte superior de la zona 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 periodos de sedimentación a rapidez constante, sin periodo 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.

2.6.9.2 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 18 Rapidez de sedimentación



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

2.6.9.3 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.

2.6.9.4 Concentración

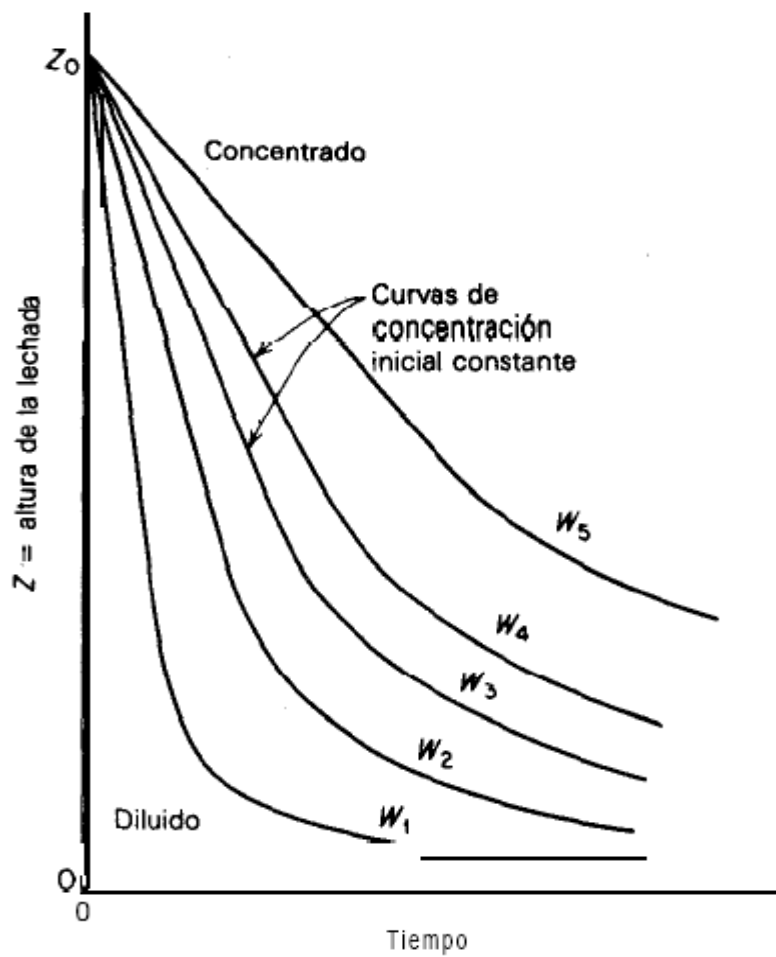
La rapidez de sedimentación decrece al aumentar la concentración inicial de los sólidos debido al aumento de la densidad y viscosidad efectivas del medio a través del cual se sedimentan las partículas.

En la figura 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.

2.6.9.5 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** sea **OB** = Z_{∞}/Z_0 .

Figura 19 Sedimentación por lotes de suspensiones. Efecto de la concentración de la suspensión

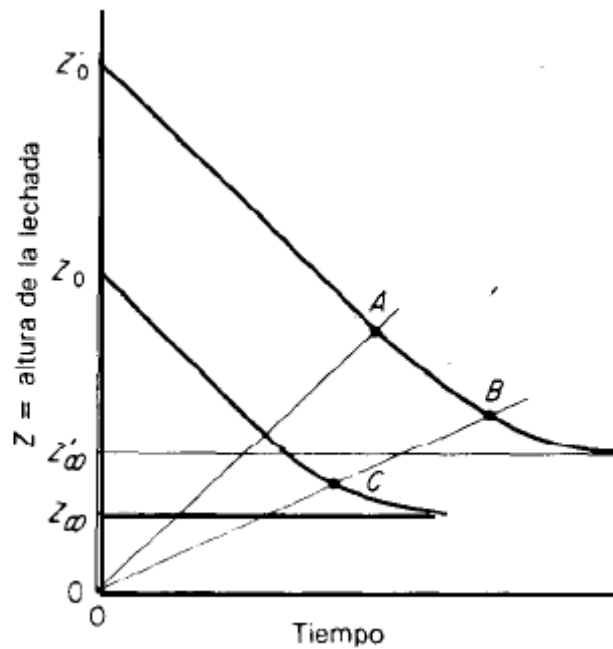


Fuente: Treybal, Robert E. **Operaciones de Transferencia de Masa**. Segunda Edición. México. 1988.

Por tanto, el tiempo para que una lechada se sedimente a una altura fraccionaria fija Z/Z_0 , es proporcional a la altura inicial Z_0 . 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 20 Sedimentación por lotes de suspensiones a diferentes alturas iniciales.



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

2.6.10 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 lixivian 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.

2.6.11 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.

2.6.11.1 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.

2.6.11.2 Tanques con agitación

Los sólidos finamente molidos que son fáciles de suspender en líquidos por medio de la agitación, pueden lixiviarse 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 21 Agitador de Dorr (Dorr – Oliver, Inc)

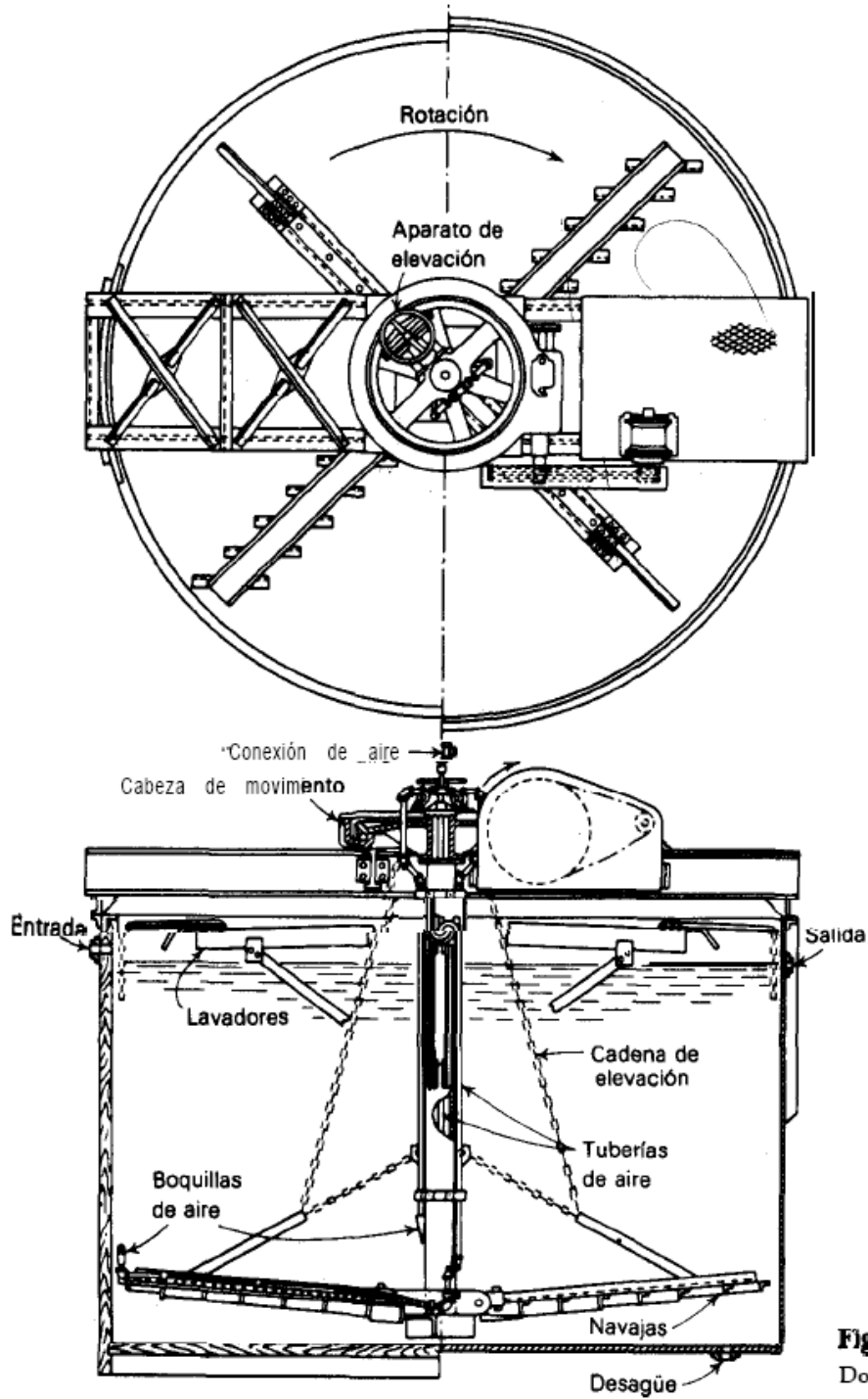
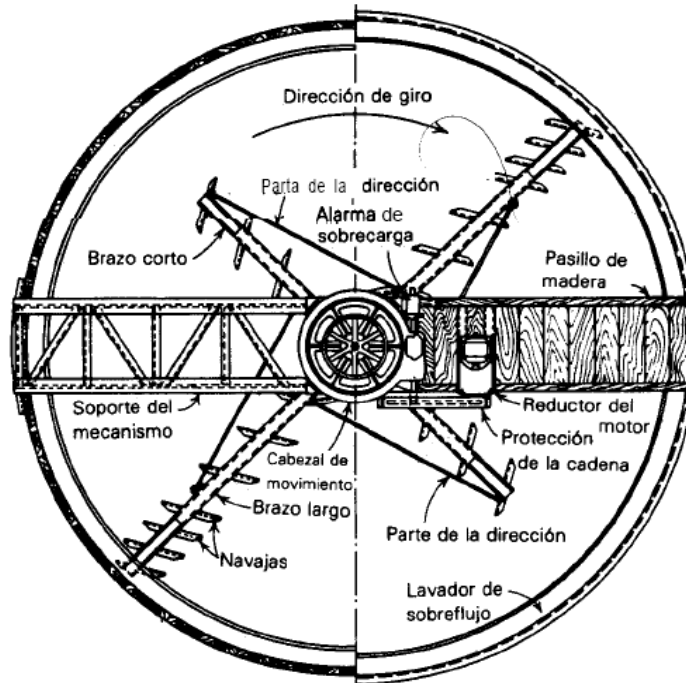


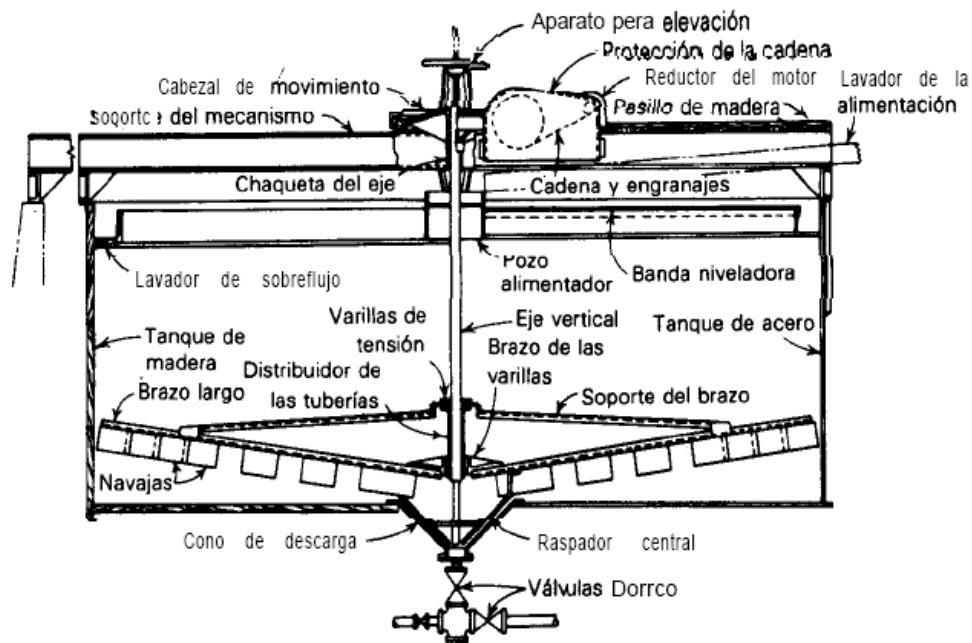
Figura 1
Dorr (Dc)

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

Figura 22 **Espesador de Dorr (Dorr - Oliver)**



DISEÑO



ALZADO DE LA SECCIÓN

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

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.

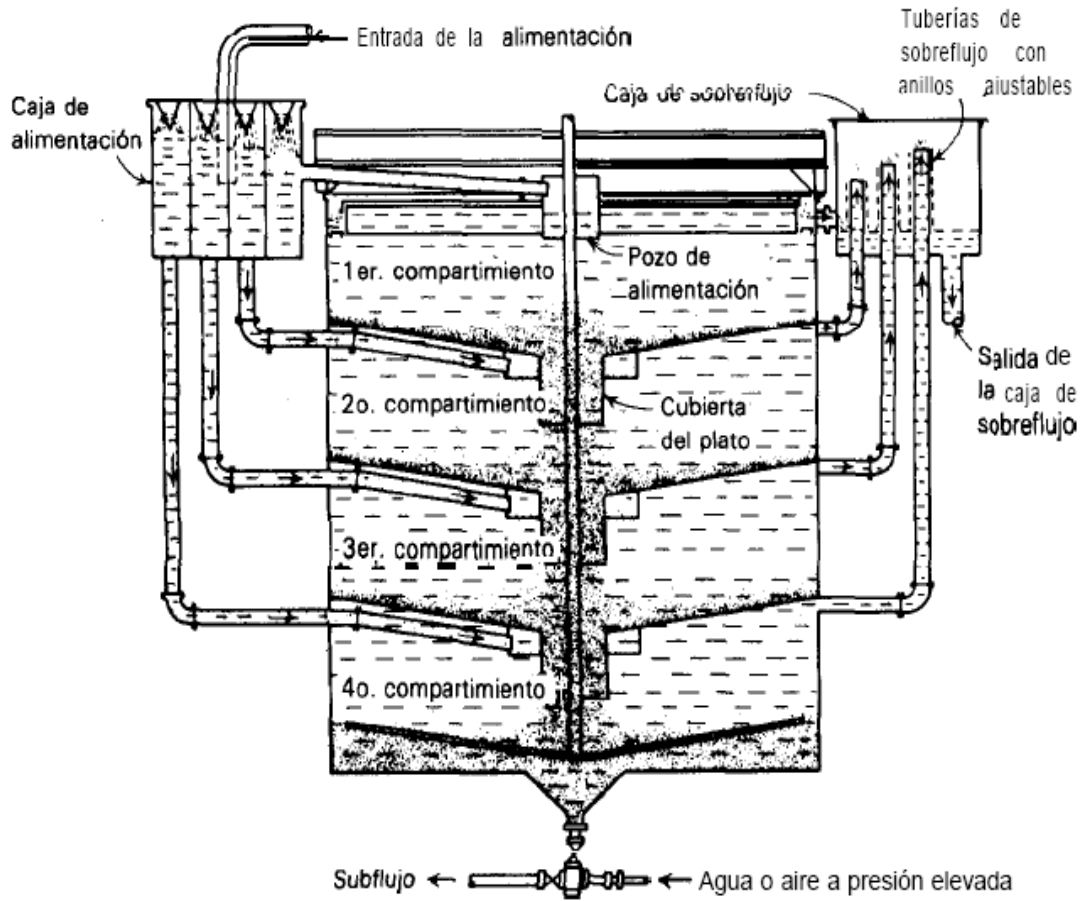
2.6.11.3 Espesadores

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 23 Espesador de platos balanceados de Dorr (Dorr-Oliver, Inc)



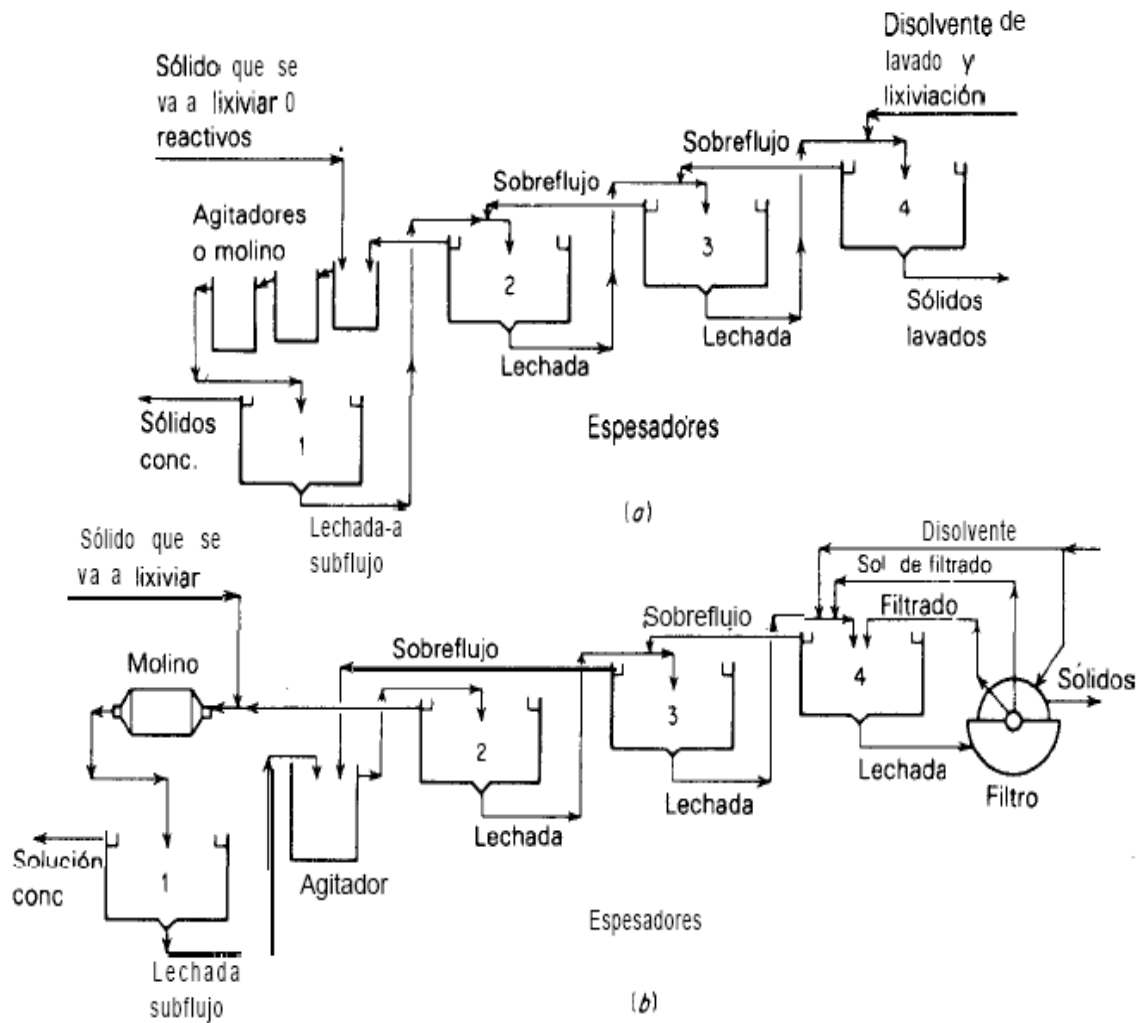
Fuente: Treybal, Robert E. **Operaciones de Transferencia de Masa**. Segunda Edición. México. 1988.

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 24 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.

2.6.11.4 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 2na 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

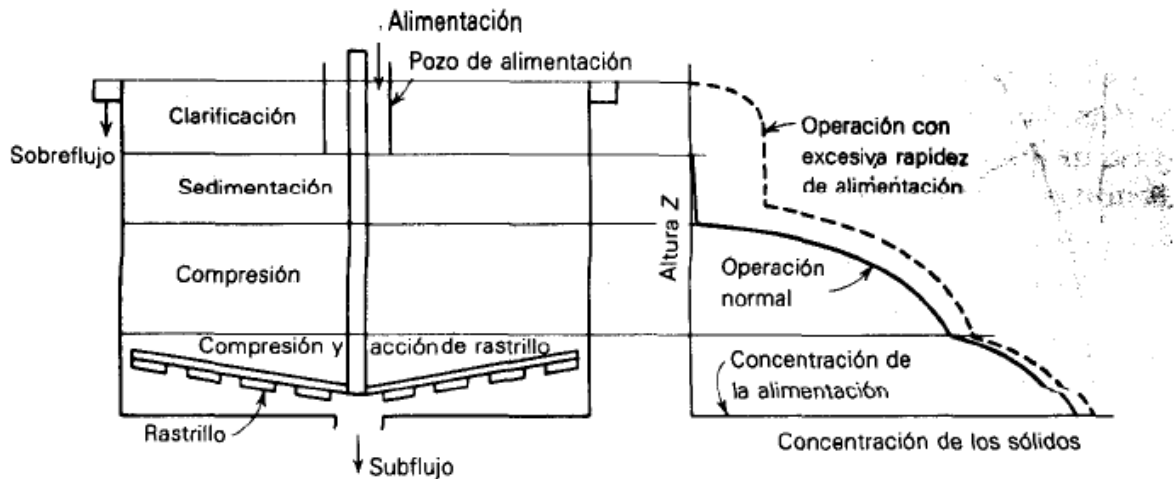
de la última etapa puede filtrarse, como se muestra, cuando el sólido es valioso y se tiene que obtener razonablemente seco o cuando el soluto es valioso y la solución adherida a los sólidos lavados debe reducirse a un mínimo. Para la operación exitosa de estas plantas, son necesarios los flujos muy 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.

2.6.11.5 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; 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 ésta 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 más baja que en la alimentación, debido a la dilución, pero aumenta rápidamente en la zona de compresión que se encuentra inmediatamente abajo.

Figura 25 Características de un espesador continuo
 (cortesía de Industrial and Engineering chemistry)



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

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 dadas de la alimentación puede aumentarse reduciendo el flujo de descarga del

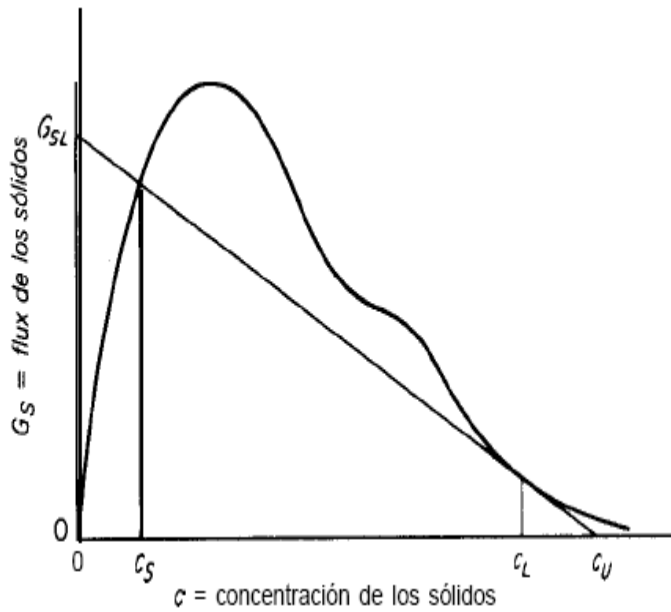
sólido. Esto aumenta la profundidad de la zona de compresión y aumenta el tiempo de retención de los sólidos dentro del espesador, aunque es importante no aumentar el nivel de la zona de compresión a tal grado que el sólido aparezca en el líquido derramado. La capacidad de los espesadores continuos, 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.

$$A = \frac{W}{G_{SL}} \quad (\text{ec. 7})$$

Figura 26 Determinación del área del espesor con base en la curva de flux

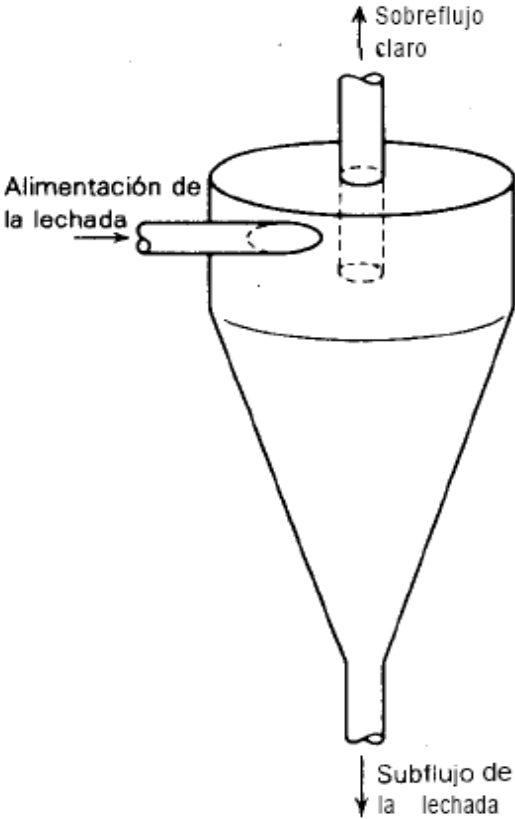


Fuente: Treybal, Robert E. **Operaciones de Transferencia de Masa**. Segunda Edición. México. 1988.

2.6.11.6 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 27 Hidrociclón



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

2.6.11.7 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 Il 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.

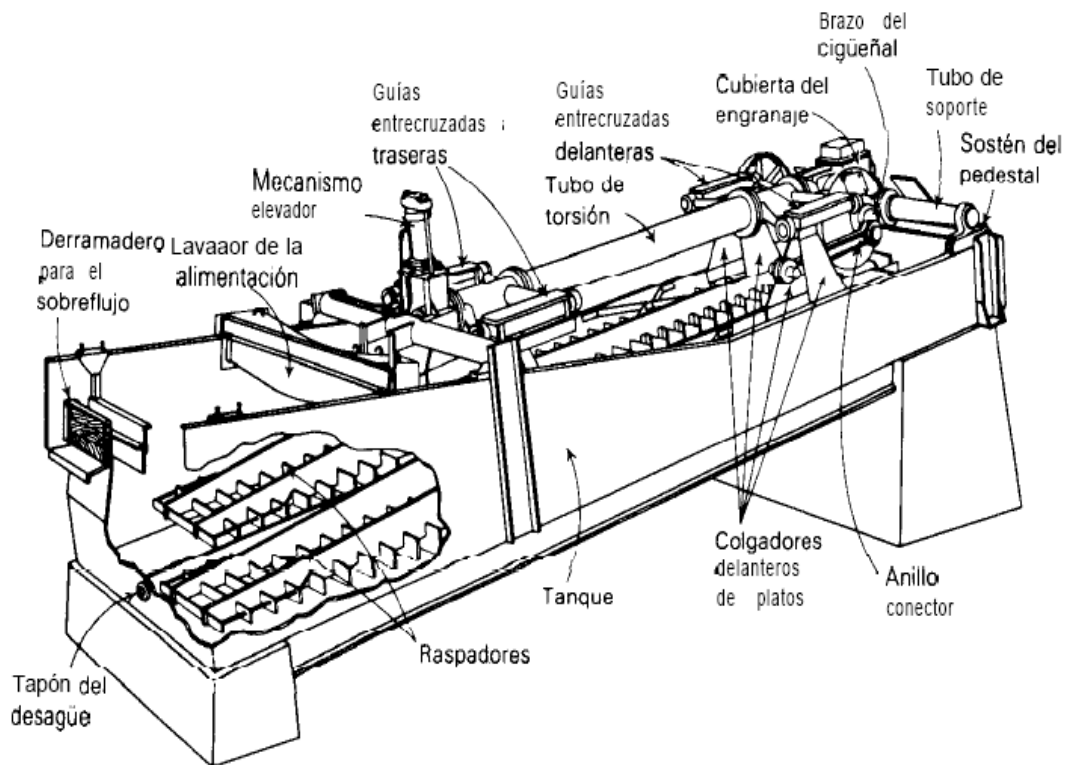
2.6.11.8 Clasificadores

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 13.17. 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 28 Clarificador simple de Dorr para el lavado de sólido gruesos (Dorr-Oliver, Inc)



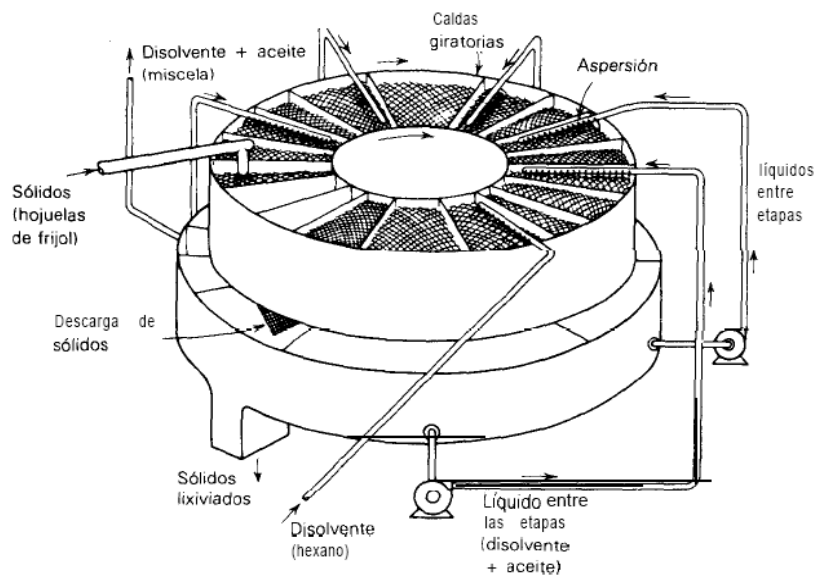
Fuente: Treybal, Robert E. **Operaciones de Transferencia de Masa**. Segunda Edición. México. 1988.

2.6.11.9 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 29 Arreglo esquemático de Rotocel



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

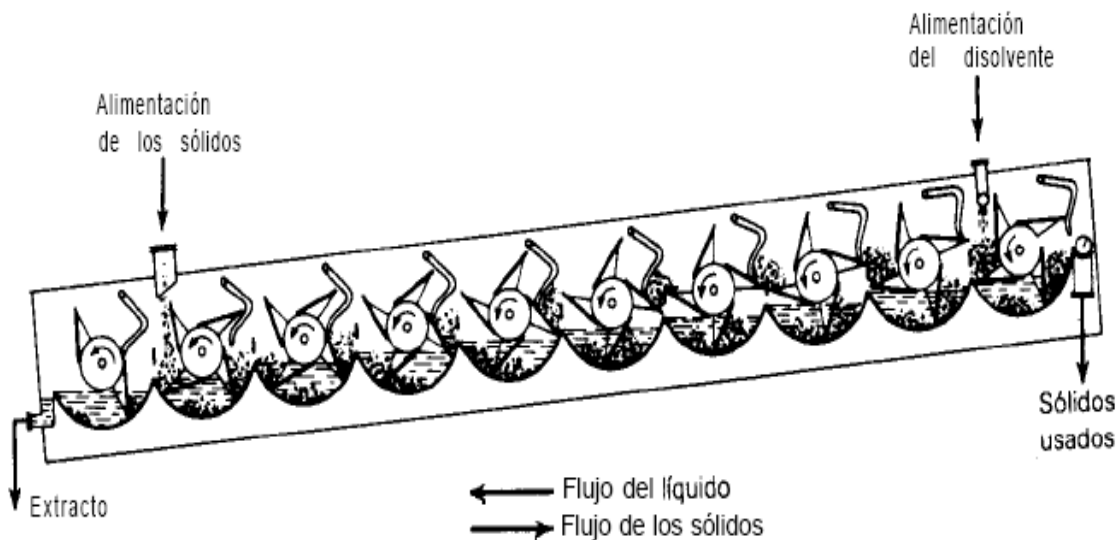
En esta industria, los diferentes aparatos de lixiviación generalmente se conocen como “extractores”, El **Rotocel** es básicamente una modificación del sistema de Shanks en donde los tanques de lixiviación se mueven continuamente, de forma que permiten la introducción y descarga continua de los sólidos. 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 30 Extractor de Kennedy (The Vulcan Copper and Supply)



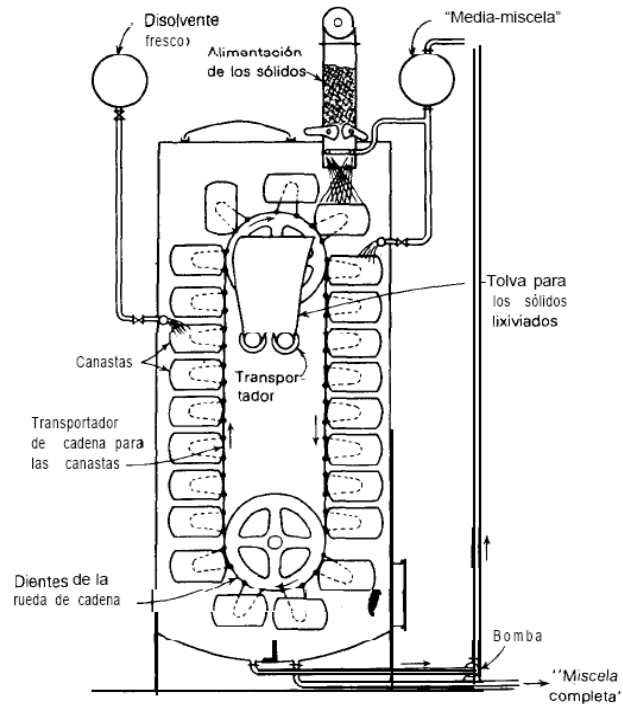
Fuente: Treybal, Robert E. **Operaciones de Transferencia de Masa**. Segunda Edición. México. 1988.

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.

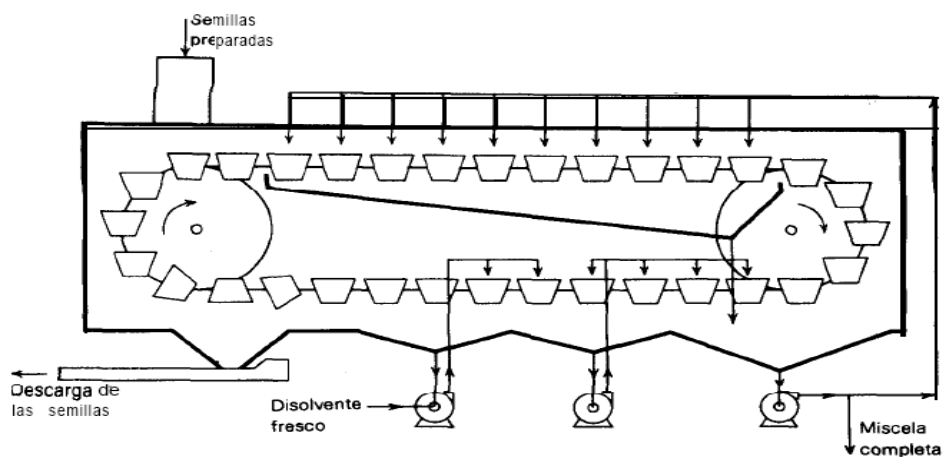
Al ascender, los sólidos se van lixiviando a contracorriente por medio de una aspersión de disolvente fresco y proporcionan la media miscela. Se da un tiempo corto de drenado antes de que las canastas se vacíen en la parte superior. Hay muchas variantes de este aparato. Los filtros de charola inclinada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

Figura 31 Extractor de Bollman



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

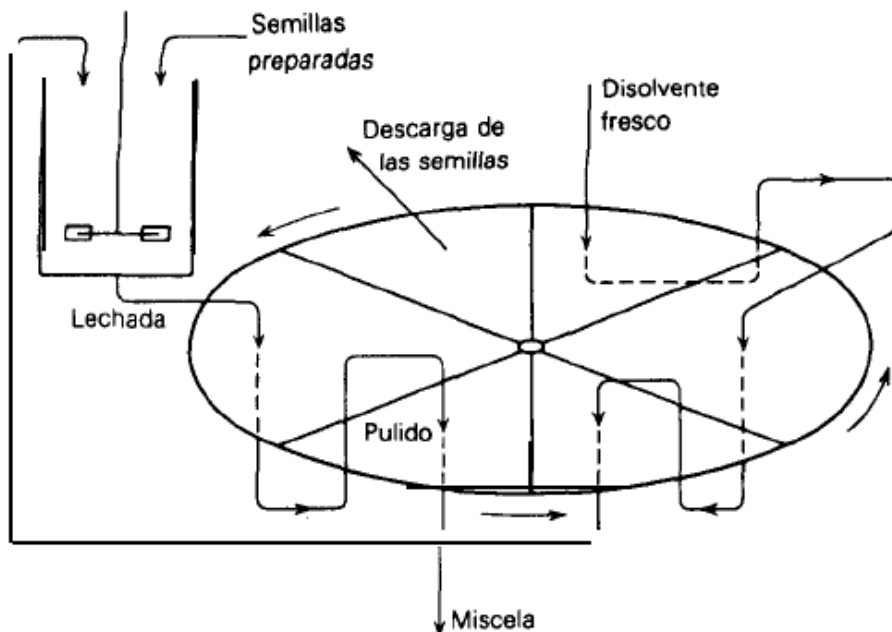
Figura 32 Extractor horizontal continuo (esquemático)



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

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 33 Diagrama de flujo para la lixiviación en filtro horizontal



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

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.

2.6.12 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 se conocerá 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.

2.6.13 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.

2.6.14 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.

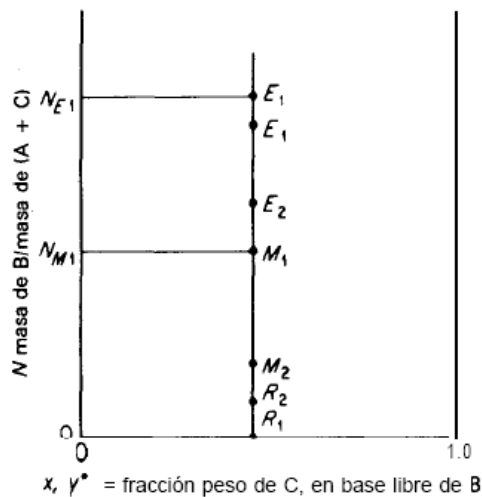
En los casos más sencillos se debe trabajar con sistemas de tres componentes, que contienen el disolvente puro (A), el sólido acarreador insoluble (B) y el soluto soluble (C). Los cálculos y las representaciones gráficas pueden hacerse sobre coordenadas triangulares para cualquier sistema ternario de este tipo; ya están resueltos los detalles [37]. 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 δt 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 34 Concentraciones en la lixiviación y lavado.



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

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 $8r$ 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 gráfica. 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 señaló 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 prácticas 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.

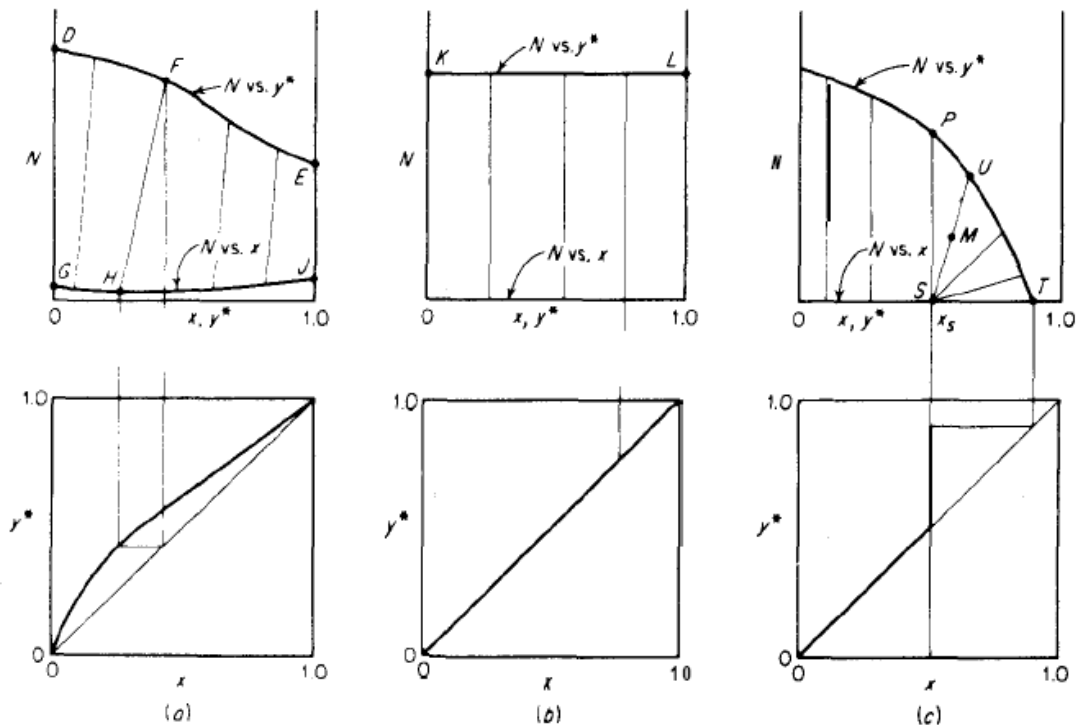
En este caso, es posible (aunque no necesario) distinguir experimentalmente entre los dos efectos; con este fin, se efectúan mediciones de la cantidad y composición del líquido retenido sobre el sólido después de un tiempo corto y después de un tiempo largo de contacto; este último se utiliza para establecer 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 1.0. 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 35 Diagramas típicos en el equilibrio



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

La figura 35 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 x_S en el disolvente A. No se puede obtener una solución clara más concentrada que X_S ; así que las líneas de unión que unen la suspensión y la solución saturada deben converger, como se muestra. En este caso, cualquier mezcla M a 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.

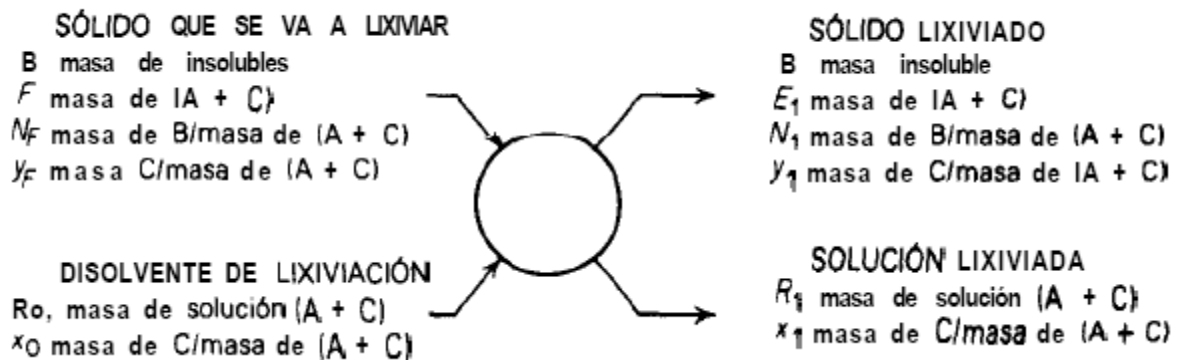
2.6.15 Lixiviación en una sola etapa

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,

$$B = N_F F = E_1 N_1 \quad (\text{ec. 8})$$

Figura 36 Lixiviación o lavado en una sola etapa



Fuente: Treybal, Robert E. **Operaciones de Transferencia de Masa**. Según Edición. México. 1988.

Un balance de soluto (C), (ec. 9)

$$F y_F + R_0 x_0 = E_1 y_1 + R_1 x_1$$

Un balance de disolvente (A),

$$F(1 - y_F) + R_0(1 - x_0) = E_1(1 - y_1) + R_1(1 - x_1) \quad (\text{ec.10})$$

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

$$F + R_0 = E_1 + R_1 = M_1 \quad (\text{ec. 11})$$

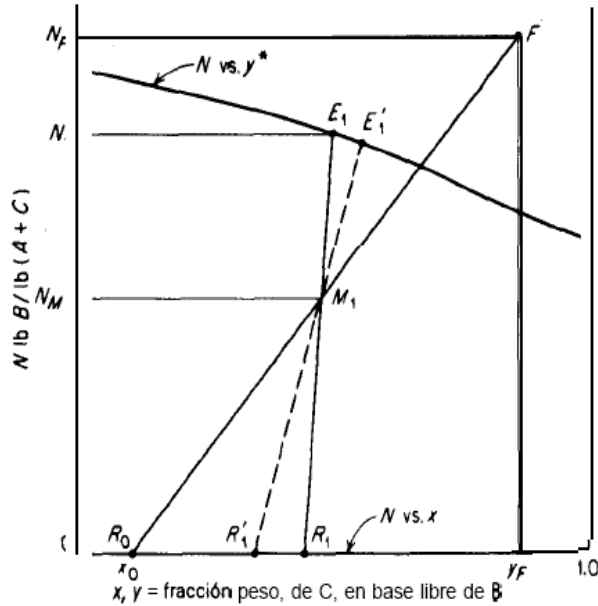
El mezclado de los sólidos que se van a lixiviar y el disolvente de lixiviación produce una mezcla de masa MI libre de B tal que

$$N_{MI} = \frac{B}{F + R_0} = \frac{B}{M_1} \quad (\text{ec. 12})$$

$$y_{M1} = \frac{y_F F + R_0 x_0}{F + R_0} \quad (\text{ec. 13})$$

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 RI 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_0 . 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 37 Lixiviación o lavado en una sola etapa



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

2.6.16 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.

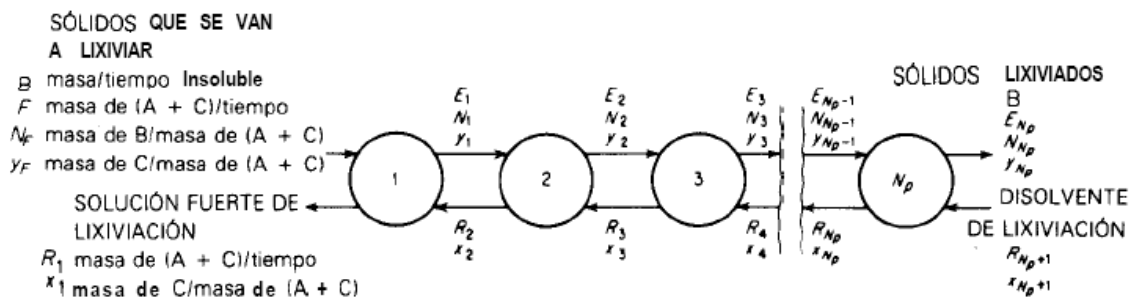
Los cálculos para las etapas adicionales simplemente son repeticiones del procedimiento para una sola etapa, pero los sólidos lixiviados de cualquier etapa se convierten en los sólidos de alimentación para la siguiente. Se aplican las ecuaciones basta hacer los cambios obvios en los subíndices para indicar 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 está 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.

2.6.17 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 38 Lixiviación a contracorriente en varias etapas



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

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

$$F + R_{N_p+1} = R_1 + E_{N_p} = M \quad (\text{ec. 14})$$

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

(ec. 15)

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

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

$$N_M = \frac{B}{F + R_{N_p+1}} \quad (\text{ec. 16})$$

$$y_M = \frac{Fy_F + R_{N_p+1}x_{N_p+1}}{F + R_{N_p+1}} \quad (\text{ec. 17})$$

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

$$F - R_1 = E_{N_p} - R_{N_p+1} = \Delta_R \quad (\text{ec. 18})$$

En forma similar, un balance de la solución para cualquier número de etapas, como las primeras tres, puede crear reglarse en la forma

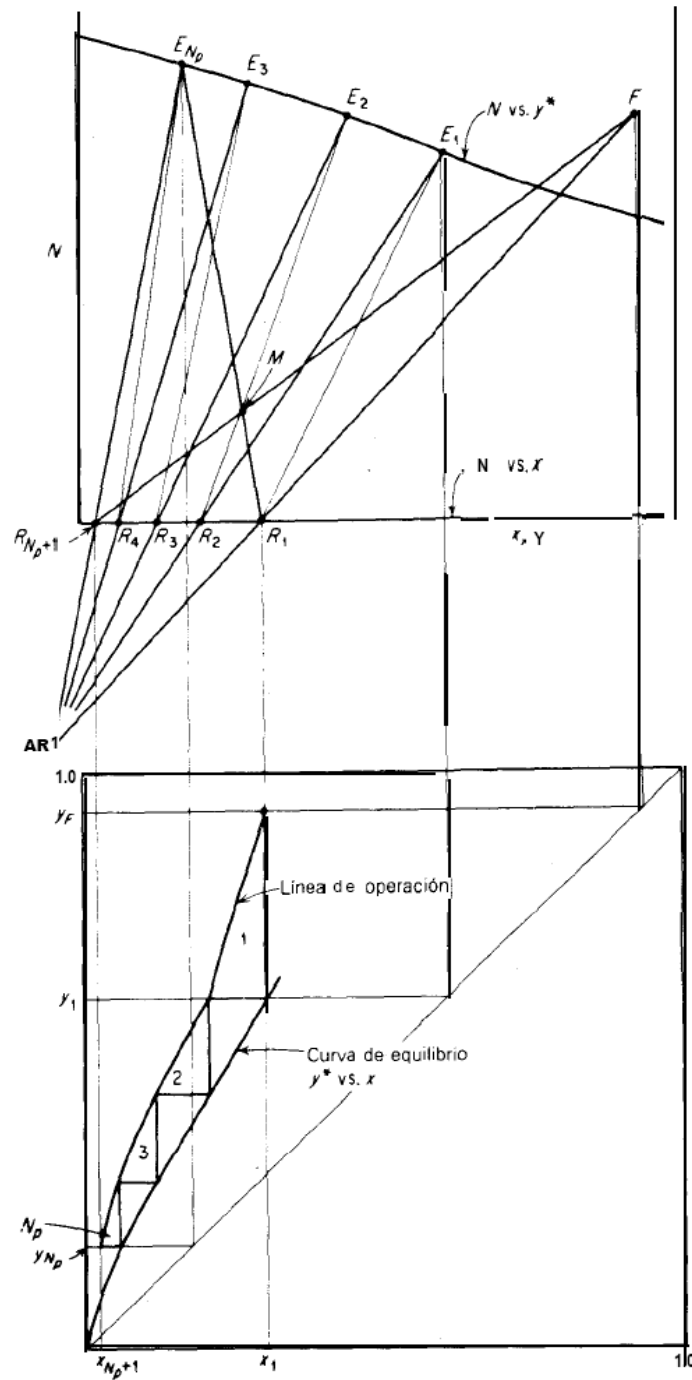
$$F - R_3 = E_3 - R_4 = \Delta_R \quad (\text{ec. 19})$$

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 debida al corto tiempo de contacto, tal como se hizo antes para la absorción de gases y la destilación.

Figura 39 Lixiviación o lavado a contracorriente en varias etapas



Fuente: Treybal, Robert E. **Operaciones de Transferencia de Masa**. Segunda Edici\u00f3n. M\u00e9xico.

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 gráfica es recta, de forma que $m = y^*/x = \text{constante}$, entonces se aplican las ecuaciones. Adaptando la primera a la situación presente,

$$\frac{y_F - y_{N_p}}{y_F - mx_{N_p+1}} = \frac{(R/mE)^{N_p+1} - R/mE}{(R/mE)^{N_p+1} - 1} \quad (\text{ec. 20})$$

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, $m = 1$. 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/E 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 39 a esa parte de la cascada, excluir la primera etapa y sustituir y_1 por y_F y N_1 por $N_p + 1$. En general, la ecuación o la gráfica 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.

2.6.18 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.

Tabla I Clasificación de Lixiviación

PROCESO	DEFINICIÓN
PERCOLACIÓN	Se procede a colocar el sólido en gran tamaño en lecho fijo; si éste está triturado en un soporte para sumergirlo en el disolvente o para hacer pasar disolvente sobre él y así obtener una colada.
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 ser 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 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.

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

2.7 Descripción de las Especies Forestales

2.7.1 Teca (*Tectona grandis* L.f.)

Es una especie latifoliada de la familia Verbenaceae. En su lugar de origen es un árbol grande, decíduo, puede alcanzar más de 50 m de altura y diámetros de 2 m. Es un árbol de fuste recto de corteza áspera y delgada, fisurada de color café claro se desprende en grandes y delgadas placas.

Conocida generalmente como Teca. Es originaria de Birmania, Tailandia e India. En Centroamérica florece a los 5-8 años, desde cuando comienza a producir semilla fértil. Prefiere climas con estación seca bien definida (3-5 meses), con temperaturas medias anuales entre 22 y 28°C, con una precipitación media anual de 1250 -2500mm y altitudes entre los 0 y 100 m.s.n.m. Se adapta a gran variedad de suelos y prefiere los franco arenoso o arcillosos, profundos, bien drenados, con pH neutros.

La madera tiene gran resistencia al ataque de hongos e insectos; por su resistencia y propiedades físicas, se le considera una de las más valiosas del mundo. En diferentes sitios de Centro América se reporta un IMA entre 1.83 y 2.24.

La albura es amarillenta blancuzca; el duramen es verde oliva que al cortarse se vuelve café oscuro. La madera es moderadamente dura, pesada y presenta anillos de crecimiento. Es una madera fina y dura. Tiene una densidad de 0.61 a 0.69. Es fácil de trabajar, secar y preservar. Su durabilidad natural es buena y tiene buena estabilidad dimensional. No es corrosiva y tiene resistencia natural a las termitas y hongos. La madera

contiene cristales de calcio y sílice, que provocan el embotamiento de las herramientas en su laboreo.

Tabla II Características de la madera de Teca

Propiedad	Valores
Peso específico al 12%	590 – 670 Kg / m ³
Resistencia a la flexión	101 N / mm ²
Módulo de elasticidad	10,700 N / mm ²
Resistencia a la presión	58 N / mm ²
Dureza Janka	4450 N
Contracción total radial en 12 %	2.9 % – 2.6 %
Contracción total tangencial en 12 %	4.1 % - 5.6 %

Fuente: Referencia Bibliográfica 5.

Usos

La madera de Teca se usa en construcciones navales, puentes, muebles y carpintería en general, enchapado y contrachapado, madera para parquet (pisos) y duelas para la fabricación de barriles, tanques, cubas, campanas para productos químicos y pisos de laboratorio.

2.7.2 Ciprés (*Cupressus lusitanica* Mill)

Familia de las Cupressaceae, alcanza alturas superiores a los 30 m y diámetros superiores a los 100 cm. Es monoica. Las varias especies americanas del género *Cupressus* son típicamente árboles y arbustos de montaña. Se extienden desde el suroeste de Oregon a California y Nuevo México, y hacia el sur a través de México y Centro América. La principal especie de este género en México parece ser *C. lusitanica* Mill. Que incluye la variedad *Benthami* (Endl.) Carr., que crece desde cerca de 21⁰ de altitud norte hacia el sur a través de las montañas de Guatemala y Honduras.

La madera es altamente apreciada localmente a lo largo de su rango de ocurrencia, pero los árboles nativos ocurren escasamente en sitios de difícil acceso. El duramen es amarillento, castaño pálido o rosáceo, algunas veces más o menos vetado o jaspeado. La albura es blanca, usualmente pronunciadamente de marcas. Lustrosa y fragantemente perfumada. Textura muy fina y uniforme; grano recto a irregular. Excelente labrado y alta durabilidad.

El ciprés es de fácil adaptación a un rango alto de condiciones ambientales. Se recomienda su establecimiento entre los 1500 y 2500 msn, con precipitación anual de 1000 a 300 mm, suelos nuevos y bien drenados. El crecimiento del ciprés se considera de medio a bajo. El crecimiento en volumen varía entre 21 y 30 m³ / ha – año. La albura en condición seca es de color gris amarillento claro, duramen anaranjado amarillento claro; textura fina, grano recto e irregular superficie brillante. En condición verde, olor aromático, sabor no característico. Madera de densidad media, contracción verde, olor aromático, sabor no característico. Madera de densidad media, contracción volumétrica baja (8 %) ; seca con pocos defectos (pocas grietas y leves torceduras); duramen difícil de tratar con soluciones preservantes. Tiene

buena trabajabilidad. La madera se utiliza para construcción en general, partes de muebles y postes.

Los anillos de crecimiento son visibles, marcados por bandas claras, regulares, concéntricas de color oscuro. Es una madera moderadamente liviana, con un peso específico de 0.44. La albura es fácilmente atacada por hongos. Otros usos de la especie son: cortina rompevientos, por su altura y copa densa. Es apreciada para plantar con fines ornamentales y como árbol navideño.

2.7.3 Melina (*Gmelina arborea* (Raxb.))

Botánica y Ecología:

La especie *Gmelina arborea* (Raxb. fue descrita por Raxburg como de muy alta distribución natural en el sureste asiático). Se le encuentra desde el nivel del mar hasta los 1800 m.s.n.m. en diversas zonas climáticas y edáficas. Se ha introducido con éxito en diversos países tropicales, lo que incluye Centroamérica, donde se ha desarrollado en las zonas de los tipos de bosque húmedo y seco tropicales. Se desarrolla con éxito en ecosistemas que van de los 24 a los 35 grados Celsius, precipitaciones anuales de 1000 a 3000 milímetros y desde 0 a 500 msnm.

La *Gmelina* exige suelos bien drenado, profundos y que permitan el desarrollo radicular de la planta, es sensible la competencia de malezas, en especial, las gramíneas.

La especie ha sido utilizada con éxito para la producción de leña; poder calorífico entorno a 20,000 Kj / Kg. La madera de esta especie aserrada tiene buena trabajabilidad, durabilidad y ausencia de distorsiones dimensionales, se usa en fabricación de muebles instrumentos musicales, cajonería, postes para cerca y todo tipo de construcciones rurales aún en exteriores. Se han logrado resultados muy satisfactorios con la producción de pulpa para papel así como en la industria de chapas y contrachapados .

El valor promedio de peso específico (densidad básica) de la *Gmelina* es de 0.37 con un rango de 0.29 a 0.44 este valor va en aumento de la médula hacia la corteza. Se ha encontrado que a mayor peso específico mayor es la longitud de fibra y que a mayor altura en el tronco, disminuye el peso específico mayor es la longitud de fibra y que a mayor altura en el tronco,

disminuye el peso específico de la madera, en una proporción de un 3% (Hughes y Eaju, 1969, citado por Murillo O. 1991).

La madera es de color amarillento grisáceo o blanco rosáceo. En condición seca, no se diferencia la albura del durámen. El grano es recto en lo usual con individuos de grano moderadamente entrecruzado y a veces rizado. El parénquima es apotraqueal difuso, paratraqueal vasicéntrico con 2 a 5 células de ancho y formado por bandas traqueales a ciertos intervalos.

En la mayoría de los casos la madera presenta porosidad, anchor, aunque algunos árboles de esta especie se tiene madera con porosidad difusa. Los anillos de crecimiento no están bien delimitados, siendo posible observarlos en las secciones de mayor diámetro. Los poros, visibles a simple vista, son de tamaño mediano a pequeño y presentan gran contenido de tílides. Los radios, visibles a simple vista son uniseriados y multiseriados.

El módulo de ruptura verde es de 378.8 Kg / cm² con un rango de 294 a 469. El módulo de elasticidad verde es de 4200 y seco es de 9600 kg / cm². La especie presenta madera juvenil en los primeros 3 o 4 años, edad en la que comienza la formación de madera adulta. Esta especie contiene más extraíbles solubles en alcohol que la mayoría de latifoliadas tropicales (2.9 a 5.7%). El contenido total de lignina es de un 29.7%.

La especie es de secado lento y no presenta problemas de agrietamiento durante el proceso, si se aplica un programa de secado. Para tablas de 38mm de espesor se comienza con 71⁰C. Piezas de 1.6 a 2.54 com tardan de 70 a 100 días para secar al aire libre. Los valores de contracción al secado son de 0.8 % radial y 1 % tangencial (Greaves ,1981, citado por Murillo O. 1991). La albura puede ser talada con los métodos de célula llena.

El lento proceso de secado y el alto contenido de extraíbles hacen difícil el uso de preservantes. El durámen no permite la impregnación de preservantes. La compresión perpendicular al grano, en condición verde, es de 2.62 Kg / cm² y en condición seca es de 2.97 Kg / cm². La compresión paralela al grano, en condición verde, es de 27.7 Kg / cm² en condición seca.

La madera de Melina es de fácil aserrío tiene buena trabajabilidad y produce una superficie lisa de buen acabado. El grano entrecruzado y los nudos pueden reducir las características benéficas de esta propiedad.

La madera es fácil de debobinar en la industria de chapas, laminar de 1.6 y 1.8 mm de espesor, son fáciles de manipular, permanecen planas y lisas después del secado. Se pueden pegar fácilmente (Peh y Khso, 1984, citado por Murillo, 1991). Presenta resistencia a la humedad ya que contiene en sus tejidos ceras, grasas y sustancias resinosas. La empresa Stone Forestal, que opera en Costa Rica y en la Simpson Company que opera en Guatemala, tienen como objetivo la producción de materia prima para la producción de papel. La empresa Scot Paper en Costa Rica, parte de la producción de papeles para usos domésticos, en pulpa de madera de Gmelina (Murillo, 1991).

La empresa Jari Forestal, localizado en la rivera del río del mismo nombre en la amazonia brasileña, usa el 50% de materia prima que consume de Melina y tiene una repoblación en torno de medio millón de hectáreas de Melina.

La Melina ha sido utilizada como leña en Malawi, Sierra Leona y Nigeria. En Costa Rica ha usado como tal salineras. Poder calórico bueno (alrededor de 20,00 kj / kg ó 4800 kcal / kg). Produce carbón que arde bien y sin humo, pero con abundante ceniza. En Costa Rica, madera de 34 meses

rindió 19,124 kj / kg y un 0.81% de cenizas. La madera es susceptible al ataque de termitas.

2.7.4 Palo Blanco (*Cybistax donell-smithii* (Rose) Seibert):

Esta especie estuvo distribuida en forma natural en los departamentos de Chiquimula, Santa Rosa, Escuintla, Suchitepequez, Retalhuleu y San Marcos, sin embargo su distribución fue disminuyendo por la extracción de su madera para exportación hacia los Estados Unidos.

Actualmente puede encontrarse dispersamente en los departamentos de Santa Rosa, Escuintla, Suchitepéquez y Retalhuleu, y según observaciones realizadas en el campo por el equipo recolector de semillas forestales del banco de semillas forestales del INAB, se le encuentra comúnmente en la orilla de las carreteras y como cerco vivo en potreros.

a. Clasificación taxonómica.

La clasificación taxonómica del Palo blanco es la siguiente:

Reino:	Plantae.
Subreino:	Embryobionta
División:	Magnoliophyta
Clase:	Magnoliopsida.
Subclase:	Asteridae
Orden:	Schophulariales

Familia: Bignoniaceae

Género: *Cybistax*

Especie: *Cybistax donnell-smithii* (Rose) Seibert

Sinónimos: *Roseodendron donnell-smithii*, *Tabebuia donnell-smithii*

b. Descripción botánica.

Árbol de 35 metros de altura, con un diámetro de 60 a 100 cm, su corteza es blanca. Sus hojas son deciduas, palmaticompuestas, regularmente de 5 a 7 folios, éstos son membranosos con largos peciolulos y el margen es aserrado irregular. Posee largas inflorescencias paniculadas, el cáliz es membranoso, bilabiado y pubescente. La corola es amarilla, de 4.5 a 6 cm. Su fruto es una cápsula de 30 a 45 cm de largo y de 2 a 3 cm de ancho.

C. Características maderables.

La madera del Palo blanco es amarillo pálida, en algunos casos se torna blanca o café clara. No tiene ningún olor o sabor distintivo. Posee una gravedad específica de 0.45, aunque es fácilmente trabajable, no es muy durable. Su uso principal es para hacer muebles, aunque puede usarse también en construcción.

Requerimientos Edafoclimáticos

D. Requerimientos climáticos

El Palo Blanco necesita un clima tropical húmedo o semi-húmedo, el rango altitudinal va de 0 -600 m.s.n.m. precipitación media anual 1,000 a 2500 mm. Temperaturas máxima promedio de 23 a 31⁰C y mínima promedio de 17 a 23⁰C. No tolera sequías muy largas (2 a 3 meses).

E. Requerimientos de suelos

Esta especie requiere de suelos arenosos o franco arenosos, con pH neutro o ácido, profundos y bien drenados, aunque se adaptará a suelos arcillosos con la condición que poseer un buen drenaje.

F. Experiencias del Cultivo en el Área:

Es una especie nativa que se encuentra en bosques naturales, se considera una madera con buenas características para la carpintería por su trabajabilidad y es muy aceptada por el consumidor.

G. Producción.

El Palo Blanco es de crecimiento bastante rápido, obteniéndose un rendimiento es volumen de 1.7 m³ / árbol al aprovechamiento final.

2.7.5 Definición y propósito de raleo

2.7.5.1 Desarrollo natural del rodal

La base de la teoría que se sigue en los raleos, se encuentra en el desarrollo natural del rodal. El dosel típico empieza con un número grande de árboles pequeños; inicialmente miles de árboles por hectárea. El número de árboles por unidad de superficie disminuye naturalmente con el crecimiento y expansión de estos con lo que se tendrá una disminución progresiva en el número de árboles y hacia el fin del turno, la masa queda reducida a unos pocos árboles por unidad de superficie. Esta disminución continua en el número de árboles, es el resultado de una selección natural y es la expresión de una de la fundamentales leyes biológicas de la Silvicultura. Los árboles más vigorosos o mejor adaptados al ambiente son los capaces de sobrevivir en la competencia por luz, la humedad y las sustancias nutritivas del suelo. Sin embargo, el proceso no es simplemente una selección estable y progresiva de los más adaptados, ya que puede ser interrumpido o temporalmente invertido por accidente naturales. Además los árboles más adaptados desde el punto de vista de selección natural no son necesariamente los mejores desde el punto de vista forestal.

La competencia entre árboles se expresa por los cambios constantes en sus posiciones relativas de copas dentro del dosel. El signo visible de la lucha por la existencia se nota en la posición relativa y el estado de copas de los árboles. Los vigorosos que han aventajado a sus vecinos ocupan posiciones superiores en el dosel y normalmente tienen mayores posibilidades de sobrevivir a la futura competencia. Los árboles menos vigorosos ocupan sucesivamente más bajas en el dosel hasta que sucumben; proceso que se conoce como diferenciación en clase de copas.

El proceso de selección mediante la eliminación por competencia es largo y además, durante su transcurso y lucha por la existencia en las masas densas es tan fuerte que puede reducir el crecimiento y el vigor de todos los árboles del bosque. La reducción resultante del crecimiento en diámetro no es completamente perjudicial y que estos árboles fácilmente pueden ser podados y llegar a contener una elevada proporción de fuste limpio. La severa competencia es también causa de que los fustes sean más rectos, estas ventajas de la competencia entre árboles deben ser conservadas por lo menos parcialmente, limitando los raleos de forma que se desarrollen rodales con espaciamientos apropiados. El objetivo principal es sin embargo conseguir que los árboles más prometedores tengan un crecimiento estable sacando a los árboles vecinos menos deseables antes de que su competencia sea perjudicial.

2.7.5.2. Definición de raleos

Los raleos son operaciones culturales que se hacen en un bosque con el fin de dirigir el funcionamiento de la selección natural y tener en todo momento la población formada en su mayoría de especies deseables, donde el número, las formas y el estado de crecimiento son tales, que el bosque responda de manera satisfactoria como le sea posible y permanentemente, de acuerdo con los fines de producción.

Otros autores han definido al raleo forestal como cortas hechas en masas inmaduras con el fin de estimular el crecimiento de los árboles que quedan conformando la plantación y de aumentar la producción de material utilizable de la masa boscosa.

El raleo en masas forestales tiene como objetivos producir los beneficios más altos posibles, en términos cuantitativos, cualitativos y valor

financiero, manteniendo la capacidad productiva del sitio, mediante la concentración de la producción en un número menor de árboles de mayor valor comercial probable, con lo que se podrá acelerar la tasa de crecimiento y se mejorarán las condiciones sanitarias del rodal.

Se sacan árboles sobrantes para concentrar la producción potencial de madera del rodal en árboles seleccionados. La producción total del rodal aumenta porque se utilizan árboles que últimamente van a morir por selección natural y el valor de la corta final será mayor que los árboles remanentes son de mejor calidad y tendrán un crecimiento más rápido que el que pueden tener sin raleo.

2.7.5.2.1 Propósito de los raleos

- 1.- Reducir el número de árboles en un rodal para que los remanentes tengan más espacio para el desarrollo de sus raíces y copas, lo que favorece su crecimiento en diámetro. Así alcanzarían un tamaño comercial más rápidamente.
- 2.- Sacar árboles de mala forma, torcidos, bifurcados, con ramas gruesas, etc. Para que el incremento futuro se concentre en los mejores individuos.
- 3.- Eliminar árboles muertos o enfermos, o cualquier árbol que podría ser el foco de una infección.
- 4.- Favorecer a los árboles más vigorosos, con buena forma, los cuales serán para la cosecha final.
- 5.- Cuando factible, proveer de una fuente de ingresos durante el desarrollo del rodal.

2.7.5.3. Introducción al concepto espacio para crecer

El espacio es el conjunto de factores que influyen/limitan el crecimiento de plantas en un sitio. Los factores más importantes son luz solar, agua, nutrientes, oxígeno y dióxido de carbono. Muchas actividades que se realizan en el establecimiento y manejo de plantaciones forestales centran en aumentar la disponibilidad de uno o más de estos factores.

Los árboles crecen libremente y utilizan los factores mencionados hasta que el crecimiento se limita por la falta de uno o más de ellos. La ley del mínimo dice que “el espacio para crecer” existe hasta que uno de los factores necesario para el desarrollo de las plantas se encuentre limitado. Por ejemplo, un sitio podría disponer de casi todos los factores necesarios para permitir un buen crecimiento de plantas, pero si hubiera niveles muy deficientes de un nutriente (P, por ejemplo), el desarrollo sería limitado por la falta de ese nutriente.

2.7.5.4 Composición y desarrollo de las plantaciones

Para la aplicación de los raleos es necesario tener conocimiento de la composición y desarrollo de las plantaciones, un camino es la clasificación silvícola como sigue: Dominante, codominante, intermedio y dominado.

Los árboles dominantes son aquellos con copas que se extienden más arriba del nivel general del dosel y reciben plena luz desde arriba y parcialmente de los lados.

Un árbol codominante es aquel cuya copa forma el nivel general del dosel y que reciben plena luz desde arriba pero relativamente poca de los lados.

El árbol intermedio es más pequeño que los dos anteriores pero con copas extendiéndose al nivel general del dosel; reciben poca luz directa desde arriba y nada de los lados.

Los árboles dominados u oprimidos son los de copas enteramente bajo el nivel general del dosel, no reciben luz directa de arriba ni de los lados.

Otra clasificación que es importante para el manejo forestal es la determinación de los estados de desarrollo de las poblaciones, para lo cual se toma generalmente la edad y en ocasiones se hace una correlación entre el diámetro, la altura y el número de árboles. Estos estados de desarrollo son: Brinzal, Monte bravo, Bardascal, Bajo latizal, alto latizal, Joven fustal y Viejo fustal.

2.7.5.5 Tipos de raleo

Se ha hecho una diferenciación de tipos de raleos debido a que esta no es una actividad rígida y al estar dirigida tanto a las plantaciones forestales como al bosque natural, el administrador forestal podrá escoger entre los diferentes tipos de raleo a los que mejor se adapte en su caso específico. Tratando de lograr la mayor flexibilidad en la aplicación de raleos se ha hecho esta clasificación en tipos de raleos en la cual más comunes son:

- a) Raleo por lo bajo:** Corte de todos los árboles del nivel inferior y si el raleo es fuerte sólo se dejan los árboles dominantes y codominantes. Si algunos de los dominantes tienen defectos, se pueden cortar si los árboles vecinos son lo suficiente vigorosos para llenar los espacios dejados. A este tipo de raleo se le conoce también como “aclareo ascendente”. Durante la operación se eliminan primeramente todos los árboles de una

clase, por ejemplo los oprimidos, antes de iniciar la corta de la siguiente clase.

- b) Raleo por lo alto:** Solamente un número limitado de los mejores árboles dominantes y algún codominante son dejados para que tengan suficiente espacio para un rápido crecimiento; este espacio es ocupado por los árboles del estrato intermedio y dominado y se eliminan los sujetos muertos y los que no podrán sobrevivir para el próximo raleo. A este tipo de raleo se le denomina “aclareo descendente” en el cual se cortan los árboles de las clases dominantes y codominantes para favorecer el crecimiento de la clase de árboles intermedio y de árboles oprimidos vigorosos. El aclareo se efectúa sobre todo en la clase de árboles codominantes.
- c) Raleo de selección:** Corte de todos los árboles dominantes y en el estrato inferior sólo aquellos dominados que no pueden sobrevivir al próximo raleo. Esto se realiza con el fin de promover el crecimiento de los árboles de los demás estratos.
- d) Raleo mixto:** Corte de aquellos árboles dominantes y codominantes que obstruyan de alguna forma el crecimiento de los mejores árboles del piso superior y corte de los árboles entre los intermedios y oprimidos que por sus características físicas, especie y nula protección al suelo, no tienen interés alguno.
- e) Raleo mecánico:** Los árboles a cortar o dejar en este método no son seleccionados con base a la posición relativa de sus copas en el dosel, sino con base a un espaciamiento o diseño predeterminado. Dentro del raleo mecánico se puede distinguir dos tipos que se denominan raleo por espaciamiento y raleo por fajas o líneas. En el primer método se determina un espaciamiento, se dejan los árboles dentro de éste límite y los

demás se cortan por ejemplo, si los árboles fueron plantados en hileras se podrá hacer un corte de fila por medio o cada tercer fila. Además de lo anterior, dentro de las filas que quedaron, se puede hacer un entre saque; por ejemplo, se puede cortar un árbol de cada cinco y este será el que presente las peores condiciones de desarrollo. El método de raleo por fajas consiste en cortar fajas estrechas de árboles a intervalos fijos por toda la masa; esto se utiliza en terrenos con poca pendiente, cuando las hileras no se pueden ver con facilidad y generalmente se emplea equipo mecanizado; además, se puede hacer un raleo en las fajas tratadas, retirando un árbol de cada cinco y siempre el que tenga más defectos. Este método de aclareo se emplea sobre todo en rodales jóvenes y uniformes. Frecuentemente es utilizado para eliminar árboles que todavía no son comerciales.

- f) **Raleo libre:** Los rodales naturales son rara vez uniformes como para garantizar la futura formación de un rodal cuando se trata a través de cualquiera de los métodos de raleo descritos anteriormente. Al preparar un rodal para una alta utilización del suelo y obtener una producción de buena calidad, es necesario cortar árboles de todas las clases. El método en el que se cortan árboles de todas las clases, después de una discusión libre se denomina método de raleo libre. El raleo libre fue propuesto como un sistema alrededor del año 1900, aún cuando se venía usando mucho tiempo atrás en los bosques de Dinamarca. El sistema no tiene reglas específicas de cuales árboles deben cortarse, aunque si establece cuales árboles se deben dejar. Esto puede explicarse de la siguiente manera: ralear libremente es dejar un número adecuado de los mejores árboles bien espaciados como sea posible en el área. En esta definición se

establece que se dejarán los mejores árboles, pero cuáles son los mejores árboles que se dejarán en cada caso; esto dependerá así mismo del producto que se necesite. Si la idea es producir madera para pulpa, se dejarán aquellos árboles con crecimiento más rápido, ya que producirán volúmenes más altos de este material, aún cuando algunos de estos árboles tienden a convertirse en árboles deformes; aunque no representa problemas para el tipo de utilización propuesta. Por otra parte, si el objetivo es producir madera para aserrío, la calidad de los fustes adquiere gran importancia y por lo tanto se dejarán los árboles con fustes rectos y ramas delgadas, aún cuando su crecimiento sea un poco menor que los árboles a cortar.

- g) Raleo natural:** Al mantener plantaciones con alta densidad se produce el raleo natural. La competencia entre los árboles, causa un atraso en su desarrollo, más aún cuando hay una escasez de agua o nutrientes. Además de la muerte de los árboles más débiles, puede provocar condiciones fisiológicas desfavorables en los demás con lo cual la recuperación después de un raleo resulta insuficiente y son más susceptibles a ataques de plagas o enfermedades.

2.7.5.6 Principios biológicos del raleo

En términos muy simples, el proceso biológico de crecimiento se da en un ciclo que inicia con la absorción de agua y minerales del suelo por las raíces, convirtiéndose en la llamada savia.

Esta sustancia es transportada a través del xilema hacia las hojas en la copa. Es aquí en las hojas, las que funcionan como fábricas, donde por efecto del proceso del fotosíntesis o sea por la energía del sol (luz), la savia bruta es transformada en los compuestos bioquímicos indispensables para el crecimiento vegetativo y, de allí son transportados a todos los demás órganos de la planta a través del floema; como por ejemplo a las raíces, cerrándose así el ciclo vital de absorción-asimilación.

Es importante hacer algunas consideraciones prácticas sobre el crecimiento en altura y en diámetro y, se ha observado poca influencia de la densidad del roda. Por otro lado, el crecimiento en diámetro y, se ha observado poca influencia de la densidad del rodal. Por otro lado, el crecimiento en diámetro requiere de grandes cantidades de hidratos de carbono y es altamente dependiente en relación directa a la densidad del rodal.

La zona de más intenso crecimiento en diámetro se da de la base de la copa activa hacia arriba, manteniendo así una forma más cilíndrica del fuste. Las ramas que están bajo intensa sombra y que producen hidratos de carbono únicamente para forma su sostenimiento, no contribuyen al crecimiento en diámetro, sino más bien pueden consumir el producto de otras ramas activas, y sobre todo forman nudos que disminuyen la calidad de la madera.

En general se ha observado que al reducir al altura de la copa de los pinos a un 30% de la altura total del fuste, se comienza a reducir el crecimiento en diámetro aunque no así el crecimiento en altura. Una altura de copa de 40% parecer ser un indicador confiable de una tasa de crecimiento adecuado y aún manteniendo un fuste de buena calidad.

Durante el desarrollo del rodal, tan pronto como la competencia por luz, agua y nutriente del suelo se inicia e intensifica, algunos árboles comienzan a ser suprimidos y eventualmente eliminados, iniciando el proceso de selección natural, que se expresa por una ley cuyo enunciado expresa que para una determinada densidad corresponde un tamaño máximo que el árbol promedio puede alcanzar. Cuando este tamaño promedio máximo es alcanzado, cualquier incremento en tamaño debe ser acompañado por una disminución de la densidad. Es importante observar que en esta relación se ha comprobado muy poca o nula influencia del índice de sitio.

La densidad es un indicador de cómo los recursos del sitio están siendo utilizados por los árboles de un rodal, y se expresa en términos de número de árboles por hectárea. Su relación con el manejo forestal solamente se establece cuando la densidad estimada se compara con objetivos de densidad deseada para un determinado estado de desarrollo del rodal.

Todo árbol requiere de un espacio mínimo de crecimiento correspondiente a su tamaño definido por el diámetro y altura del fuste así como por el volumen de la copa. Es generalmente aceptado que este espacio, es principalmente definido por un círculo con centro en árbol y diámetro igual al de la copa; ya que a pesar de que las raíces pueden extenderse hasta dos o tres veces más allá que el diámetro

igual al de la copa; ya que a pesar de que las raíces pueden extenderse hasta dos o tres veces más allá que el diámetro igual al de la copa; ya que a pesar de que las raíces pueden extenderse hasta dos o tres veces más allá que el diámetro de las copas, se ha encontrado que la zona de máxima concentración de raíces absorbentes se localiza bajo la periferia de la copa. Así, cualquier otro tipo de vegetación dentro de este espacio entra en la competencia por luz, agua y nutrientes del suelo.

De esta manera, se acepta que el proceso de competencia se establece cuando los espacios de crecimiento se traslapan, esto es, cuando las copas de los árboles comienzan a entrelazarse afectando negativamente el crecimiento de cada árbol y del rodal en general.

Así podemos deducir que es necesario, para un crecimiento óptimo del árbol, que haya en equilibrio o sea una relación adecuada entre las raíces y el tamaño de la copa, a fin de que podamos tener una relación óptima entre altura total y diámetro del fuste. En resumen, los árboles necesitan espacio aéreo suficiente para desarrollar copas las que al recibir la luz en cantidad y calidad adecuada, serán capaces de producir hidratos de carbono para generar y mantener un sistema radicular capaz de adsorber agua en cantidades suficientes. De tal forma que las deficiencias tanto en agua y nutrientes del suelo como de luz interactúan significativamente con efectos acumulativos.

2.7.5.7 Efecto del raleo sobre el crecimiento del rodal

El raleo influye en el crecimiento y la forma de los árboles por la reducción de la competencia y la alteración del medio, de tal manera que este queda más favorable al crecimiento acelerado de los árboles remanentes. Así

el raleo trata de concentrar la producción de biomasa en un número adecuado de árboles seleccionados por su mayor tamaño, buena calidad y forma del fuste y copa, además de su alto vigor de crecimiento y por tanto mayor potencial de incremento en volumen como respuesta al raleo. Es oportuno que la producción total del sitio no varía en una amplia gama de intensidades de raleo, porque en un sitio dado las cantidades de agua, nutriente y luz son fijos; esto limita la cantidad de biomasa que una especie puede producir en un período determinado.

La ventaja de un buen sistema de raleo es entonces la producción de pocos árboles de mayor tamaño y de gran valor económico. Menor período de tiempo, en vez de muchos árboles pequeños de escaso valor; con la oportunidad de obtener beneficios marginales antes de la cosecha final.

Del sistema de raleo depende la magnitud de la alteración favorable o no del medio. La remoción solo de árboles intermedio y suprimidos no disminuirá significativamente la competencia que surgen los árboles dominantes y codominantes, porque estos árboles no compiten considerablemente con árboles mayores. Si además, también son removidos árboles dominantes y codominantes en proporción adecuada, seguramente la competencia que sufren los árboles remanentes de las mismas clases es significativamente reducida. Evidentemente es de esperar un mayor efecto en el segundo caso.

La intensidad es otro aspecto básico del raleo. Cuándo se realiza y cuánto se extrae en términos de números de árboles, área basal y volumen, tienen gran importancia en la aceleración del crecimiento esperada en los árboles remanentes, así como en el período de la próxima intervención. Esto implica que es necesario tomar muy en consideración también los costos económicos del raleo.

Una primera meta del raleo es evitar la estagnación o paralización del crecimiento del rodal por consecuencia de la competencia. Si esto ocurre, las pérdidas económicas pueden ser cuantiosas, y las inversiones en raleos pueden probablemente no ser compensadas por un incremento del crecimiento. En los rodales densos no intervenidos la altura de la copa fotosintéticamente activa, disminuye con la edad del rodal, observándose muchos árboles muy delgados, altos y con una copa insignificante en la punta del fuste. Extremo cuidado es recomendable en estos casos, porque un raleo fuerte puede súbitamente exponer las copas a altas temperaturas, causando daños y mayor respiración en vez de incremento en la asimilación fotosintética. Además, el rodal queda expuesto también a los daños por el viento, con el peligro de perder todo el rodal.

2.7.5.8 Mejor uso de la productividad del sitio a través del raleo

Obtener fustes de tamaño y calidad deseado en el menor tiempo posible es uno de los principales objetivos de los bosques de producción eficientemente manejados. El objetivo es completado con el uso óptimo del espacio total del crecimiento disponible en el sitio, a fin de maximizar la producción de madera total en las calidades requeridas. El raleo es la forma de lograr estos objetivos si es ejecutado en el tiempo y con la periodicidad oportuna; extrayendo solamente los árboles necesarios para reducir la competencia a niveles deseados y, canalizando los recursos del sitio hacia los árboles remanente de mayor potencial de crecimiento, los cuales están distribuidos uniformemente en el sitio.

Es de fundamental importancia que la especie del árbol deseado mantenga la hegemonía del sitio en contra de especies indeseables de otros árboles, arbustos y hierbas (pastos); los que pueden llegar a construirse en grandes competidores por los recursos limitados del sitio.

De tal forma que de acuerdo al principio de que la producción neta total del sitio es relativamente constantes en una amplia gama de rangos de intensidades de raleo, podría suceder que cuando el raleo es muy fuerte y la densidad resultante es muy baja se pierda producción porque el sitio no está bien aprovechado. Caso contrario, cuando la densidad es demasiado alta como resultado de raleos leves o ausencia de los mismos, se pierde producción por alta mortalidad y/o estagnación.

El alto vigor de crecimiento de los árboles remanentes de un raleo apropiadamente conducido, se reflejan en el desarrollo de una alta resistencia al ataque de enfermedades y sobre todo al ataque de insectos tal como el gorgojo de la corteza. Los bosques jóvenes de pino creciendo bajo alto índice de competencia, han demostrado ser muy susceptibles al ataque desbastador de este gorgojo.

2.7.6 Operaciones de poda:

La operación de poda representa un gasto. Este gasto debe ser soportado por lo menos por el volumen adicional que representa el incremento de calidad en la madera. En las plantaciones se efectúan dos podas generales. Después se podan solamente las ramas de árboles seleccionados para la corta final. Un esquema de poda para pino de rápido crecimiento puede ser el siguiente:

Tabla III **Altura de árboles por Poda**

Altura de Árboles (m)	Altura de Poda
6 m Todos los árboles	2.5 m
6 m Todos los árboles	4.5 m
12 m 150 fustes selectos	6.6 m

Fuente: Referencia Bibliográfica 7

Las fábricas de chapas emplean rollos de madera limpia, sin nudos. Los rollos se desembobinan hasta un diámetro de 15 cm. Esto implica que la poda de árboles destinados a la producción de chapas debe comenzar cuando los árboles tienen un diámetro de 15 cm en la base.

Para acelerar el proceso de saneamiento de las heridas, se efectúa la poda poco antes de terminar la época de dormancia. Los árboles de rápido crecimiento o de crecimiento continuo, se podan durante la época de crecimiento.

2.7.6.1 Crecimiento y rendimiento

Crecimiento se refiere al incremento en peso y volumen del árbol masa forestal observado, en ellos íntegramente. Rendimiento es el volumen de los árboles de una cosecha o en volumen de los árboles de un grupo particular de especies por unidad de superficie.

El crecimiento se puede entender a nivel de un solo árbol o bien a nivel de un solo rodal. Del mismo modo puede ser enfocado básicamente bajo aspectos fisiológicos. Las medidas utilizadas para

expresar el crecimiento es el incremento, este significa el crecimiento de un árbol o masa forestal en un período de tiempo.

Algunas variaciones de esta modalidad son el incremento corriente anual, el incremento periódico, el incremento total, incremento medio anual. Estos incrementos se consideran como crecimiento absoluto. El crecimiento relativo consiste en la determinación del crecimiento absoluto en determinada etapa o período del desarrollo general de la masa forestal o del árbol individual. Generalmente se presentan como relación entre el crecimiento anual y el valor de la magnitud que precede al crecimiento del año en que el crecimiento se produce.

Los métodos para calcular el crecimiento se clasifican en tres grupos:

- a) **Método del incremento absoluto:** Se utiliza el crecimiento en diámetro observado en el incremento total del árbol.
- b) **Método del incremento porcentual:** Se basa en tablas promedio de crecimiento de doble (diámetro promedio número de anillos en X longitud en cm), presentando los resultados en porcentaje, del incremento de área basal.
- c) **Método de paso de una categoría diamétrica a otra:** Se basa en la dinámica de crecimiento del árbol. Abarca el método general del tiempo de paso (basado en la medición del incremento en diámetro, por medio del cual se calcula el porcentaje de árboles que pasan de una categoría diamétrica a otra) y el método de Ken Neth Dais (basado en la elaboración de gráficas por medio del aumento en longitud de barras, con relación a un incremento promedio). Para obtener

datos confiables de crecimiento y rendimiento, es necesario contar con registros permanentes de los bosques o por medio del apeo de árboles para practicar cuidadosamente su análisis epidométrico.

2.7.6.2 Crecimiento de árboles individuales:

En un árbol la rapidez de crecimiento depende de una serie de factores no siempre fáciles de reconocer. En primer lugar, el sitio y la fertilidad del suelo, el clima y sus variaciones, luego la calidad (los árboles viejos casi no crecen) y por fin la competencia de otras plantas (principalmente árboles). Los tres elementos de crecimiento (altura, diámetro y volumen) no tienen ritmo paralelo a lo largo de la vida del árbol.

Tabla IV Crecimiento en altura, diámetro y volumen a lo largo de la vida del árbol.

Período del Árbol	Altura	Diámetro	Volumen
Muy Joven	Muy Rápida	Lento	Muy Lento
Joven	Rápido	Rápido	Rápido
Maduro	Lento	Regular	Rápido
Viejo	Ninguno	Muy Lento	Lento

Fuente: Referencia Bibliográfica 7

El crecimiento en volumen del árbol, alcanza su máximo en la edad mediana, lo cual puede ser diferente de una especie a otra. En la ordenación forestal el conocimiento del período de máximo crecimiento volumétrico reviste gran importancia para su debido aprovechamiento. También es importante reconocer la edad en la cuál los árboles de una especie llegan al estancamiento en su crecimiento.

2.7.6.3 Crecimiento de masas forestales:

En principio, el crecimiento de una masa forestal es la suma del crecimiento de todos los árboles que componen dicha masa. En un inventario forestal se sigue este principio.

El crecimiento total dentro de un rodal puede expresarse en muchas formas que dependen especialmente de la ordenación forestal; entre estas formas se encuentra el rendimiento total a lo largo de la rotación, incremento medio anual, incremento periódico anual, crecimiento bruto y el crecimiento neto.

El crecimiento de los rodales se ve afectado por el estado de desarrollo de la comunidad, la edad, la calidad de sitio, las especies, la densidad, el área basal, los tratamientos silvícolas.

El desarrollo de un rodal es función de un rodal, pero su carácter depende de la especie y de la calidad del sitio; a medida que aumenta la calidad alcanza un estadio particular de desarrollo a una edad más corta.

3.- METODOLOGÍA

3.1 Metodología de investigación

3.1.1 Recursos humanos

- Investigador: Adela María Marroquín González
- Asesora: Inga. Qca. Telma Maricela Cano Morales
- Coasesor: Ing. For.Msc. José Mario Saravia Molina
- Revisor: Ing. César Alfonso García Guerra

3.1.2. Recursos Físicos

Materia prima: Corteza de cuatro especies forestales triturada en un molino de martillos trifásico de 5 caballos de fuerza. Las partículas obtenidas se pasarán por un tamiz No. 40, el cual es el tamaño idóneo para llevar a cabo las extracciones.

REACTIVOS

- Agua desmineralizada, marca Salvavidas
- Sulfito de sodio (Na_2SO_3) grado analítico. Envase 500 g. Peso molecular 126g/mol.
- Permanganato de potasio (KMnO_4) grado analítico.
- Índigo de carmín ($\text{C}_{16}\text{H}_8\text{N}_2\text{Na}_2\text{O}_8\text{S}_2$) Peso molecular 466.36 g/mol. Envase 25 g. Casa proveedora MERKC KGaA.

EQUIPO

- Secador industrial de Flujo transversal (ubicado en la planta piloto)
- Molino de martillos, motor Kohlbach (modelo 184T) (ubicado en la planta piloto)
- Plancha de calentamiento con agitación, marca Corning, modelo PC-620, 120V/100V, frecuencia 60Hz, Potencia 1113w, rango 0 – 480⁰C, 0 – 1100 rpm.
- Bomba de vacío, marca –gast, modelo 0523-V4F-6588DX, vacío hasta 30 in Hg, manómetros analíticos, modelo 100-115v, frecuencia 50Hz potencia 1/4Hp, revoluciones 1725/1425rpm hecha en Michigan USA.
- Balanza Marca: Adventur serie: G1231202040133 Voltaje 8-14.5V frecuencia 50/60 Hz. Máxima Capacidad 150g, Lectura mínima 0.001g Hecha en U.S.A.
- Campana de extracción de 110 V y 900 Watts, marca Serproma de motor con capacidad de ¾ Hp.
- Lámpara Estroboscópica, Marca AMETEK Mansfield & Green Division, corriente AC 110V; rango de flash por minuto 2 a 60 (X 100) (200rpm-6000rpm); rango de trabajo intermitente (1/2 time ON, ½ time OFF) 10 minutes for ambient up to 30⁰C (80⁰F) 5 minutes for ambient up to 50⁰C (120⁰F).
- Potenciómetro H1221 HI223 (pH/mV/ °C) Bench Meters with calibration check. HANNA instruments Manufacturer since 1978. Hecho en Portugal.
- Cronómetro digital. Con control manual utiliza baterías alcalinas con marcador de segundos, minutos y hora, marca CASIO.

CRISTALERÍA

- Balones esmerilados de 500 mL , marca Cornin-Pirex
- Condensador de bolas boquilla 24/40, marca Cornin-Pirex
- Pipetas de 10 mL, 50 mL y de 5 mL
- Beackers de 50 mL , 100 mL, 250 mL 600 mL y de 1000mL, marca Pirex.
- Matraces de: 250 mL, 500mL y de 1000 mL, marca Pirex.
- Balones de 250 mL, 500 mL, de 1000 mL, marca Pirex.
- Embudos de vidrio marca Pirex
- Varillas de agitación
- Probeta de 10mL, 50mL, 250mL, 500mL, y de 500 mL
- Buretas graduadas de 20 mL.
- Kitasato de 500 mL
- Termómetro de mercurio 0⁰C - 100⁰C

OTROS MATERIALES

- Machete
- Bolsas plásticas
- Costales
- Masking tape
- Marcadores gruesos
- Martillo
- Papel aluminio
- Papel mayordomo
- Colador
- Papel filtro
- Pinza larga

- Pinza corta
- Perillas de succión
- Mangueras de hule

3.2 Preparación de las muestras

Se identificaron plantaciones establecidas con las especies de interés, en la base de datos del Programa de Incentivos Forestales del Instituto Nacional de Bosques (INAB); se seleccionaron aquellos proyectos que tuviesen una superficie arriba de las 10 Ha, en plantaciones con edades entre 4 y 6 años; se seleccionaron ejemplares comprendidos entre los 8 y 12 cm de dap. Los ejemplares escogidos por especie fueron nueve.

Para la obtención de Palo Blanco el raleo fue llevado a cabo en el departamento de Escuintla, fincas del ingenio Pantaleón. El Ciprés se obtuvo en el departamento de Chimaltenango en la finca Chichoy. La Melina se obtuvo en el departamento de Izabal y la Teca se obtuvo en el departamento de Suchitepéquez en el municipio de Patulul.

Cada árbol a muestrear estaba distanciado un mínimo de 30 m y no presentaron características especiales que le hicieron diferente del resto de la población. Previo al corte del árbol, se marcó el dap (1.30 m de suelo), luego se derribó, dejando un tocón de 6 a 10 cm de altura.

En el derramado del árbol derribado, se localizó y marcó el diámetro mínimo de utilización de 6 cm con corteza; la distancia medida entre el dap y el diámetro mínimo de utilización, al ser dividida por dos, permitió demarcar el punto medio del fuste, a partir del cual se marcará 65 cm, a ambos lados, con lo que se extrajo una sección de 1.30m, sobre la cual se hicieron todos los

estudios; de igual manera se procedió en el dap. En el diámetro mínimo de utilización, se midió partiendo de la marca, hacia la base del fuste.

Cada sección obtenida, se trasladó con corteza, sellando previamente los extremos con pintura de aluminio, para evitar la desecación de la misma. Aquellas secciones con muñones de inserción de ramas, también se sellaron.

Las fueron trasladadas, a los laboratorios de la Universidad de San Carlos de Guatemala, en el Campus Central, donde se estudiaron, y en este caso se les extrajo la corteza para su estudio.

Las trozas de las tres diferentes alturas de cada árbol se almacenaron en el laboratorio de la sección Forestal de la Facultad de Agronomía, donde posteriormente se descortezaron manualmente con machete y hacha. Después se almacenaron en bolsas plásticas con orificios debidamente etiquetados, luego fueron trasladados al secador eléctrico de flujo transversal, ubicado en la planta piloto de la Facultad de Ingeniería.

3.3 Metodología experimental

Localización

Laboratorio de la Sección Forestal, Facultad de Agronomía. Laboratorio de Química Industrial y Planta piloto, ubicados en el Centro de investigaciones de Ingeniería. Laboratorio del Área de Química de la Escuela de Ingeniería Química, de la Facultad de Ingeniería. Ubicadas todas las dependencias en la Universidad de San Carlos de Guatemala.

3.3.1 Tratamiento previo de la corteza.

- 1.- Descortezar las trozas de 1m de largo con machete o hacha.
- 2.- Almacenar en bolsas plásticas con orificios y debidamente etiquetadas con código por especie, por árbol y por posición en el árbol. Para su posterior traslado al Secador de flujo transversal ubicado en la Planta Piloto de la Facultad de Ingeniería.

Código a utilizar para almacenamiento de muestras. ejemplo: 133 es un código de tres dígitos que indica: el número de la unidad la posición de la corteza en el tallo (basal, media o apical); el número de la decena indica el número de árbol por cada raleo que fueron nueve para cada especie. Y la centena indica la especie en el siguiente orden: 1 Palo Blanco, 2 Ciprés, 3 Melina y 4 Teca.

- 3.- Pesar la cantidad de corteza por bolsa.
- 4.- Etiquetar las bandejas del secador según las muestras a colocar y posteriormente pesarlas con la materia prima.
- 5.- Secar a una temperatura entre 70 °C y 80 °C.
- 6.- Pesar diariamente las bandejas hasta llegar a peso constante, para proceder a la molienda de la corteza.
- 7.- Al estar lista la corteza seca, se almacena en nuevas bolsas identificadas y selladas totalmente.
- 8.- Se procede a la molienda en el Molino de Martillos ubicado en la Planta Piloto, con la respectiva protección del analista.
- 9.- Al obtener la corteza molida, se procede a almacenar en bolsas plásticas debidamente identificadas y selladas en su totalidad.

- 10.- Determinar el contenido de humedad de la corteza molida, verificando que se encuentre en un rango de 3% - 6 %.
- 11.- Clasificar la corteza molida para utilizar las fracciones que se retengan por un tamiz No. 40. (0.42mm)
- 12.- Almacenar la corteza tamizada en bolsas herméticamente selladas para su posterior tratamiento.

3.3.2 Análisis Cuantitativo

3.3.2.1 Determinación gravimétrica del extracto tánico en la corteza

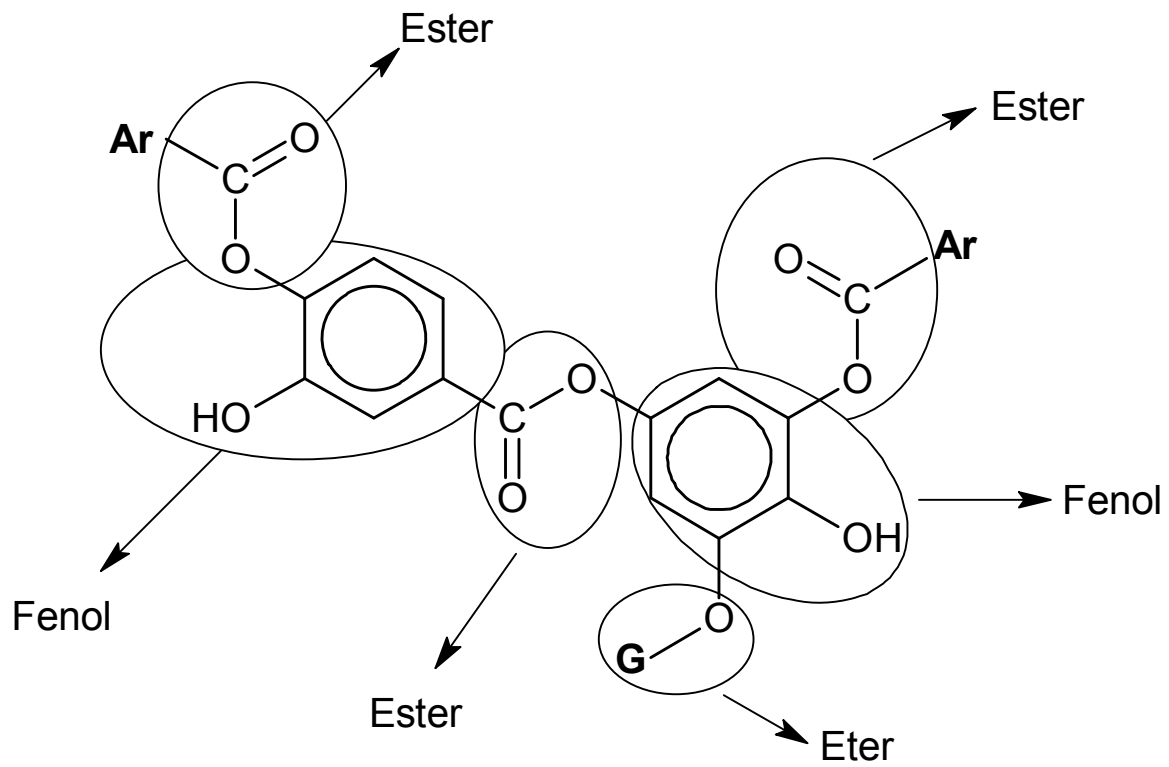
1. Preparar una solución acuosa al 4% en peso de sulfito de sodio (Na_2SO_3).
2. Tomar 4 g de corteza seca y tamizada, colocarlos en un beacker de 600 mL.
3. Agregar un volumen adecuado de la solución de sulfito, hasta cumplir una relación 1:20 . En caso de ser necesario, agregar mas solución hasta homogenizar.
4. Calentar la mezcla durante 45 minutos con agitación a 70°C , sin pasarse de dicha temperatura. NO SOBREPASAR 70°C .
5. Filtrar la muestra con una manta. Llevar el material soluble a un beacker de 600 mL y evaporar en un secador eléctrico, y se pesa hasta lograr peso constante.

El porcentaje de rendimiento de extracto tánico se calcula así:

$$\% \text{ Extracto tánico} = [(\text{Peso del extracto tánico}) / (\text{Peso original de la muestra})] * 100$$

Figura 40

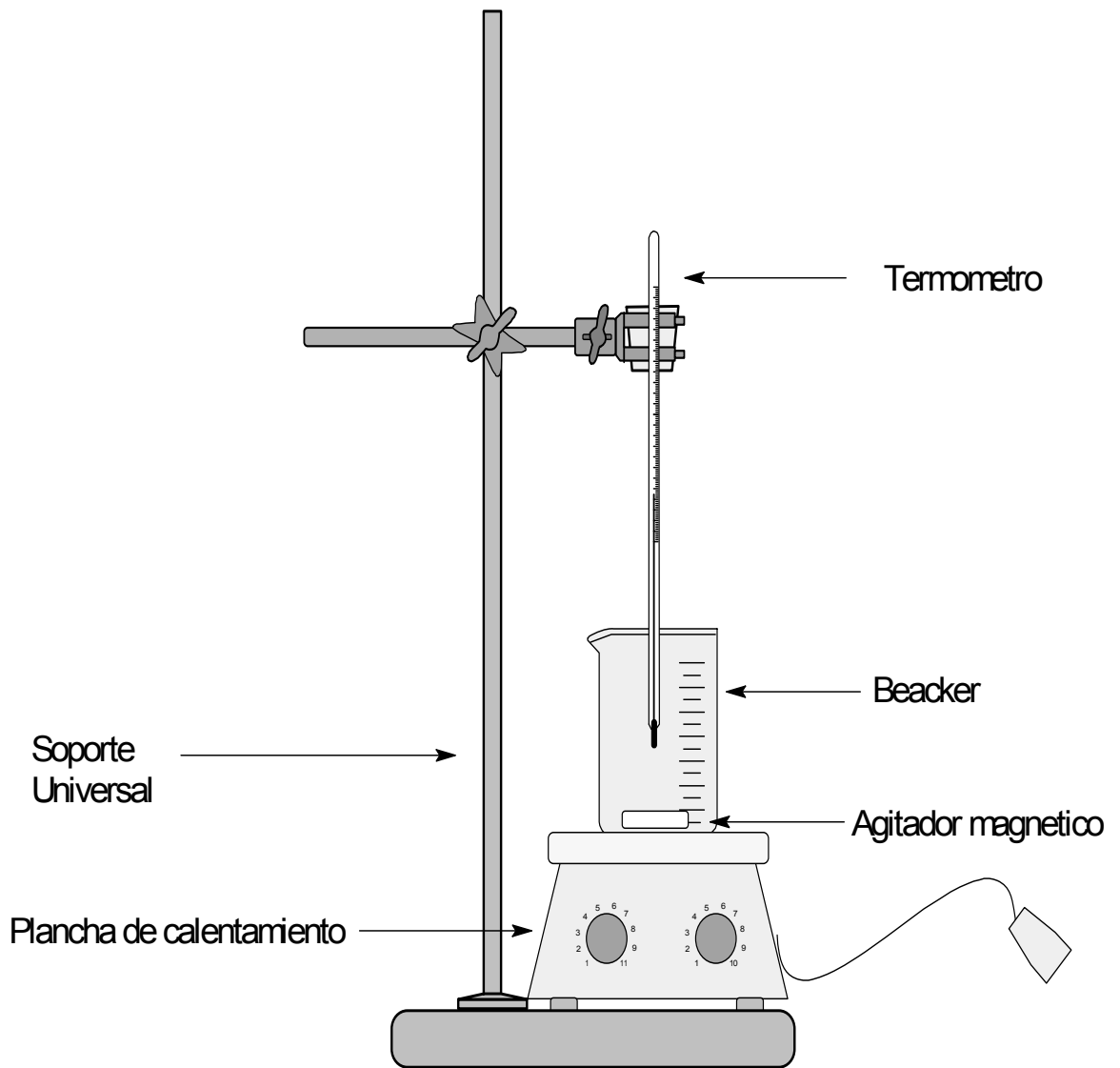
Posible estructura de Tanino



Fuente: Programa Chems sketch versión 10, año 2006.

Figura 41

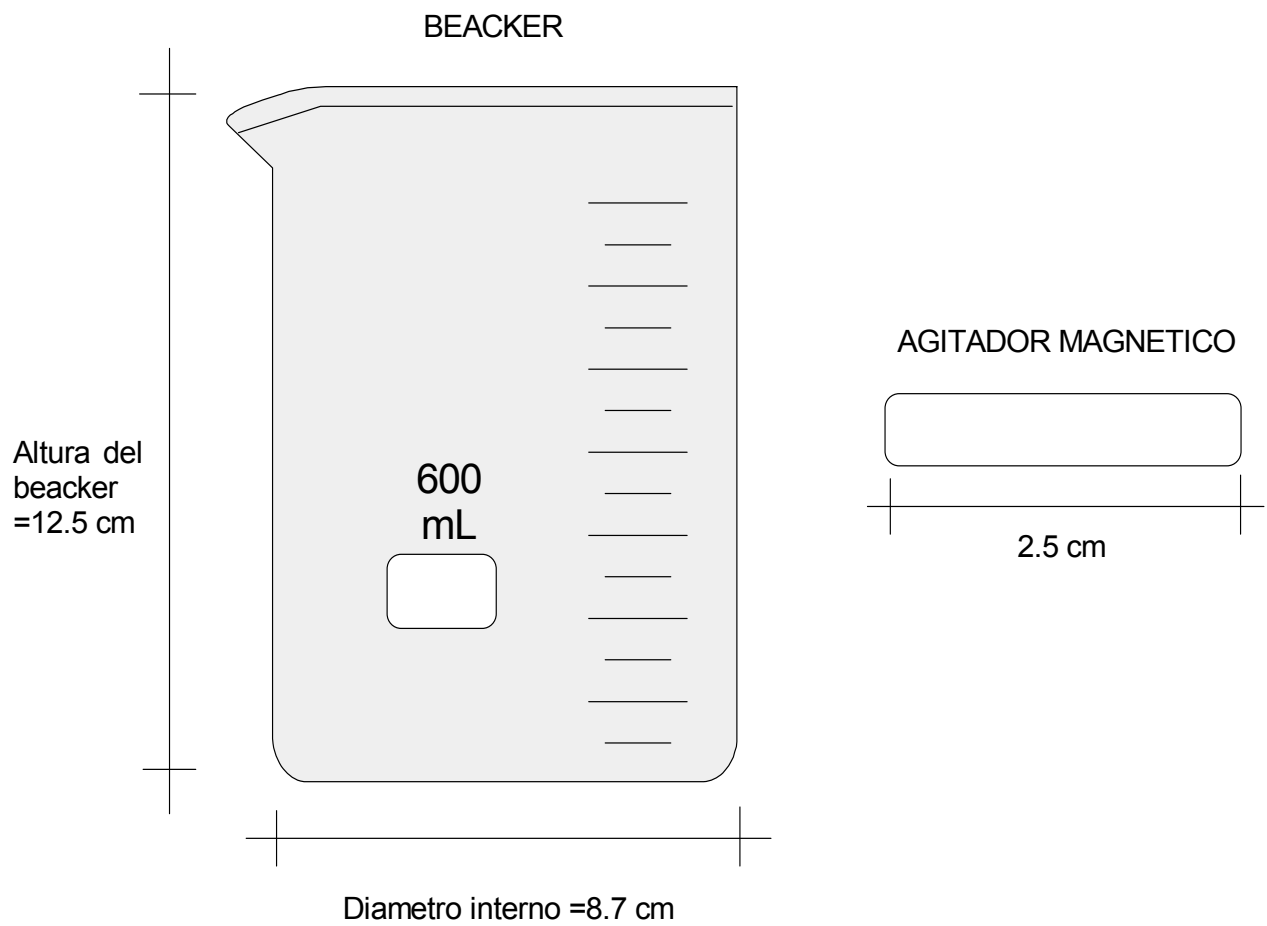
Equipo utilizado para la Lixiviación



Fuente: Programa Chems sketch versión 10 año 2006.

Figura 42

Unidad de Lixiviación



Fuente: Programa Chems sketch versión 10 año 2006.

3.3.2.2 Determinación Volumétrica del Porcentaje de Taninos

1. Tomar 1 g del extracto obtenido (extracto tánico) y colocarlo en un earlenmeyer de 250 mL, agregar 100 mL de agua destilada y agitar hasta disolver.
2. Colocar la muestra en una plancha de calentamiento y llevar a ebullición por 4 horas a reflujo. Agregar agua para mantener el volumen. Luego entibiar la muestra.
3. Tomar 12.5 mL de la solución líquida y adicionar 10 mL de indicador Índigo de carmín, luego adicionar 375 mL de agua destilada.
4. Titular con Permanganato de potasio 0.1N hasta observar un color amarillo.
5. Preparar un blanco con agua, adicionando todos los reactivos en las mismas condiciones y titular sin la muestra.
6. El porcentaje de taninos en madera se obtiene por:

$$\% \text{Taninos en el extracto} = \left[\frac{(0.1N (mLo - mLb) * (Pfg / (\#e^- / 1eq)) * (1eq / 1000meq))}{4} \right] * 100$$

Donde:

mLo = mililitros utilizados de permanganato de potasio

mLb= mililitros del blanco obtenidos

Pfg= Peso fórmula en gramos del tanino.

#e⁻ = Número de electrones intercambiados (2e⁻)

Tenemos que el punto de equivalencia los miliequivalentes de KMnO_4 son iguales a los miliequivalentes de taninos, por lo tanto:

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

$$0.1\text{N (mLo -mLb)} = \frac{4.2\text{mg tanino}}{1000} * \frac{\# e^-}{\text{Pfg}} * \frac{1000\text{meq}}{1\text{eq}} * \frac{12.5 \text{ mL}}{100\text{mL}}$$

$$\text{Pfg} = \frac{4.2\text{g tanino (}2e^-) (12.5\text{mL)}}{0.1\text{N (mLo - mLb)} * 100 \text{ ml}} \text{ (ec. 2)}$$

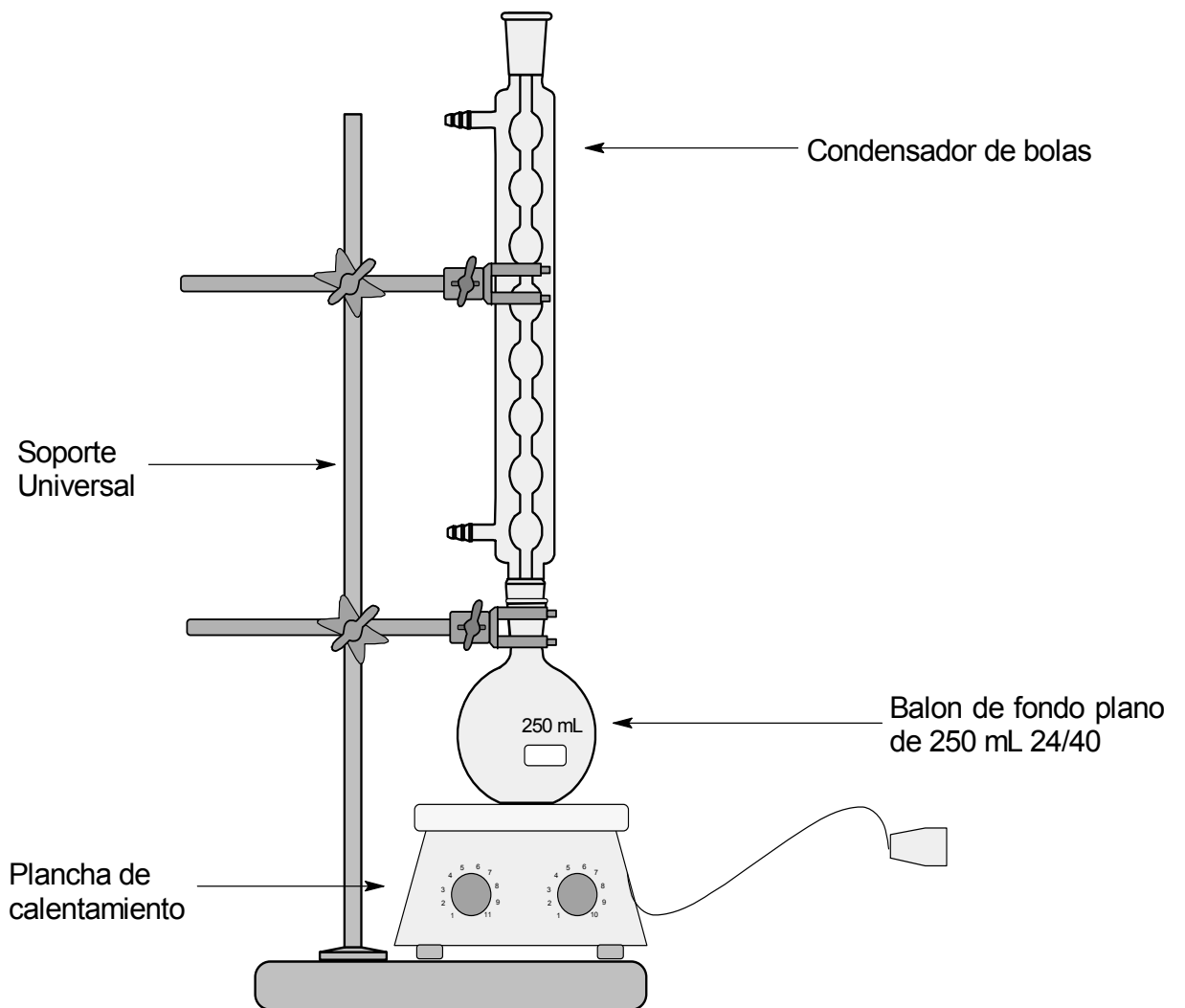
Nota: La ecuación 2 se obtuvo en base a los 4g de muestra iniciales y a la siguiente relación 4.2mg de tanino = 1mL *0.1N Permanganato de potasio.

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.

Figura 43

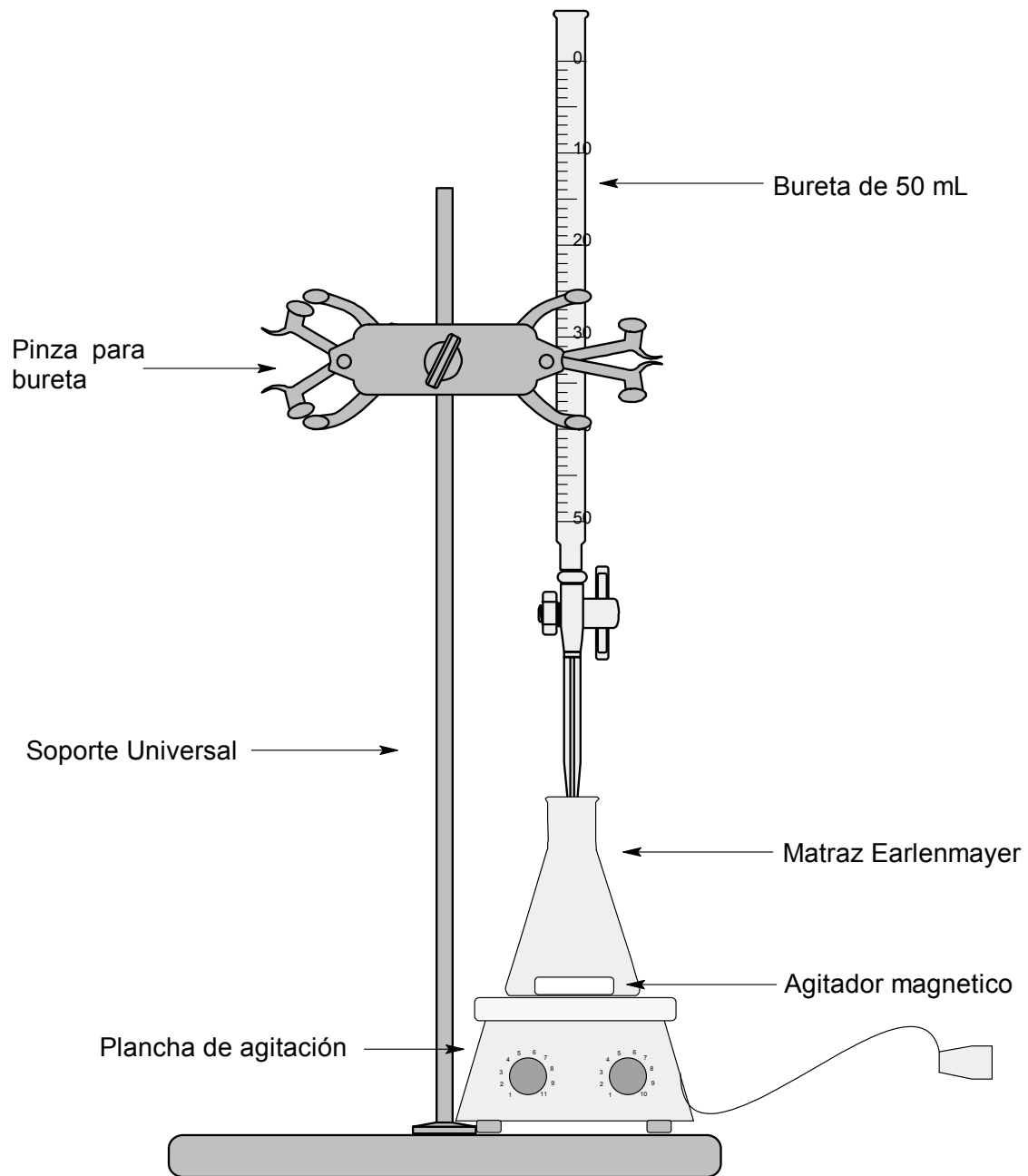
Equipo de ebullición a reflujo



Fuente: Programa Chems sketch versión 10 año 2006.

Figura 44

Equipo para titulación volumétrica



Fuente: Programa Chems sketch versión 10 año 2006.

3.4 Diseño experimental

Se realizó un experimento bifactorial con un arreglo combinatorio 3 X 4 con 9 repeticiones mediante un diseño completamente al azar.

El modelo estadístico para el análisis de los resultados fue:

$$Y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \beta_j + (\alpha\beta)_{ij} + \varepsilon_{ijk}$$

Donde:

Y_{ijk} = Porcentaje de extracto tánico en la k-ésima repetición de la j-ésima especie y la posición i-ésima posición de la corteza en el árbol.

μ = Promedio general de extracto tánico.

α_i = El efecto de la i-ésima posición de la corteza en el árbol.

β_j = El efecto de la j-ésima especie forestal evaluada

$(\alpha\beta)_{ij}$ = La interacción entre la posición de la corteza y la especie evaluada.

ε_{ijk} = Error experimental

Variables de respuesta

La variable de respuesta por medir en el desarrollo del siguiente procedimiento serán las siguientes:

- El porcentaje de extracto tánico.
- El porcentaje de taninos en el extracto tánico.

Diseño de Tratamientos

Se determinó el porcentaje de extracto tánico en la corteza de cuatro especies forestales de árboles jóvenes: Teca (*Tectona grandis L.f.*) Melina (*Gmelina arborea Roxb*) Ciprés (*Cupressus lusitánica Mill*) Y Palo Blanco (*Cybistax donnel-smithii Seibert*); considerando el efecto de la posición de la corteza a utilizar, en el árbol: basal, media y apical.

Obteniendo de esta forma:

$$3\text{posición en la corteza} \times 4\text{especies} = 12 \text{tratamientos}$$

Para cada tratamiento se realizaron 9 repeticiones para la determinación del porcentaje de extracto tánico en la corteza y la determinación de taninos en el extracto tánico de la corteza; como variables respuesta . Las corridas que se realizaron fueron 27 para cada especie a estudiar.

4. RESULTADOS

Tabla V Porcentaje de rendimiento de la corteza de palo blanco posterior al proceso de maceración dinámica y porcentaje de taninos en el extracto tánico, determinado por el método de Tara en vaina.

Árbol	Muestra	código	% Rendimiento	% Taninos en extracto tánico
1	Basal	111	67	0.758
	Media	112	62	0.784
	Apical	113	62	1.014
2	Basal	121	72	0.753
	Media	122	84	0.674
	Apical	123	76	0.961
3	Basal	131	89	0.660
	Media	132	62	1.081
	Apical	133	63	1.068
4	Basal	141	78	0.567
	Media	142	76	0.757
	Apical	143	72	0.748
5	Basal	151	70	0.583
	Media	152	68	1.028
	Apical	153	76	0.930
6	Basal	161	83	0.744
	Media	162	86	0.624
	Apical	163	72	0.928
7	Basal	171	76	0.630
	Media	172	85	0.611
	Apical	173	80	0.651
8	Basal	181	86	0.572
	Media	182	68	0.951
	Apical	183	65	0.987
9	Basal	191	82	0.723
	Media	192	62	1.111
	Apical	193	78	0.724
Promedio			74	0.801
Desviación Estándar			9	0.175
Desviación Media			7	0.152

Fuente: Tablas XXV y XXXVI sección de datos calculados.

Tabla VI Porcentaje de rendimiento de la corteza de Ciprés posterior al proceso de maceración dinámica y porcentaje de taninos en el extracto tánico, determinado por el método de Tara en vaina.

Árbol	Muestra	código	% Rendimiento	% Taninos en extracto tánico
1	Basal	211	70	0.528
	Media	212	77	0.631
	Apical	213	81	0.538
2	Basal	221	69	0.592
	Media	222	71	0.758
	Apical	223	67	0.728
3	Basal	231	74	0.573
	Media	232	87	0.560
	Apical	233	88	0.565
4	Basal	241	85	0.554
	Media	242	85	0.480
	Apical	243	98	0.482
5	Basal	251	89	0.384
	Media	252	94	0.352
	Apical	253	81	0.538
6	Basal	261	91	0.425
	Media	262	89	0.485
	Apical	263	79	0.553
7	Basal	271	97	0.483
	Media	272	77	0.543
	Apical	273	96	0.454
8	Basal	281	96	0.439
	Media	282	95	0.468
	Apical	283	93	0.508
9	Basal	291	88	0.434
	Media	292	94	0.411
	Apical	293	84	0.493
Promedio			85	0.522
Desviación Estándar			10	0.109
Desviación Media			8	0.075

Fuente: Tablas XXXVIII y XXXIX sección de datos calculados.

Tabla VII Porcentaje de rendimiento de la corteza de Melina posterior al proceso de maceración dinámica y porcentaje de taninos en el extracto tánico, determinado por el método de Tara en vaina.

Árbol	Muestra	código	% Rendimiento	% Taninos en extracto tánico
1	Basal	311	84	0.372
	Media	312	74	0.493
	Apical	313	71	0.573
2	Basal	321	84	0.351
	Media	322	78	0.358
	Apical	323	81	0.428
3	Basal	331	68	0.521
	Media	332	73	0.424
	Apical	333	70	0.465
4	Basal	341	81	0.351
	Media	342	95	0.418
	Apical	343	79	0.416
5	Basal	351	73	0.411
	Media	352	97	0.374
	Apical	353	78	0.452
6	Basal	361	88	0.402
	Media	362	79	0.399
	Apical	363	71	0.408
7	Basal	371	71	0.451
	Media	372	72	0.490
	Apical	373	79	0.427
8	Basal	381	86	0.397
	Media	382	84	0.385
	Apical	383	87	0.368
9	Basal	391	76	0.442
	Media	392	81	0.538
	Apical	393	75	0.542
Promedio			79	0.432
Desviación Estándar			7	0.061
Desviación Media			6	0.048

Fuente: Tablas XLI y XLII sección de datos calculados.

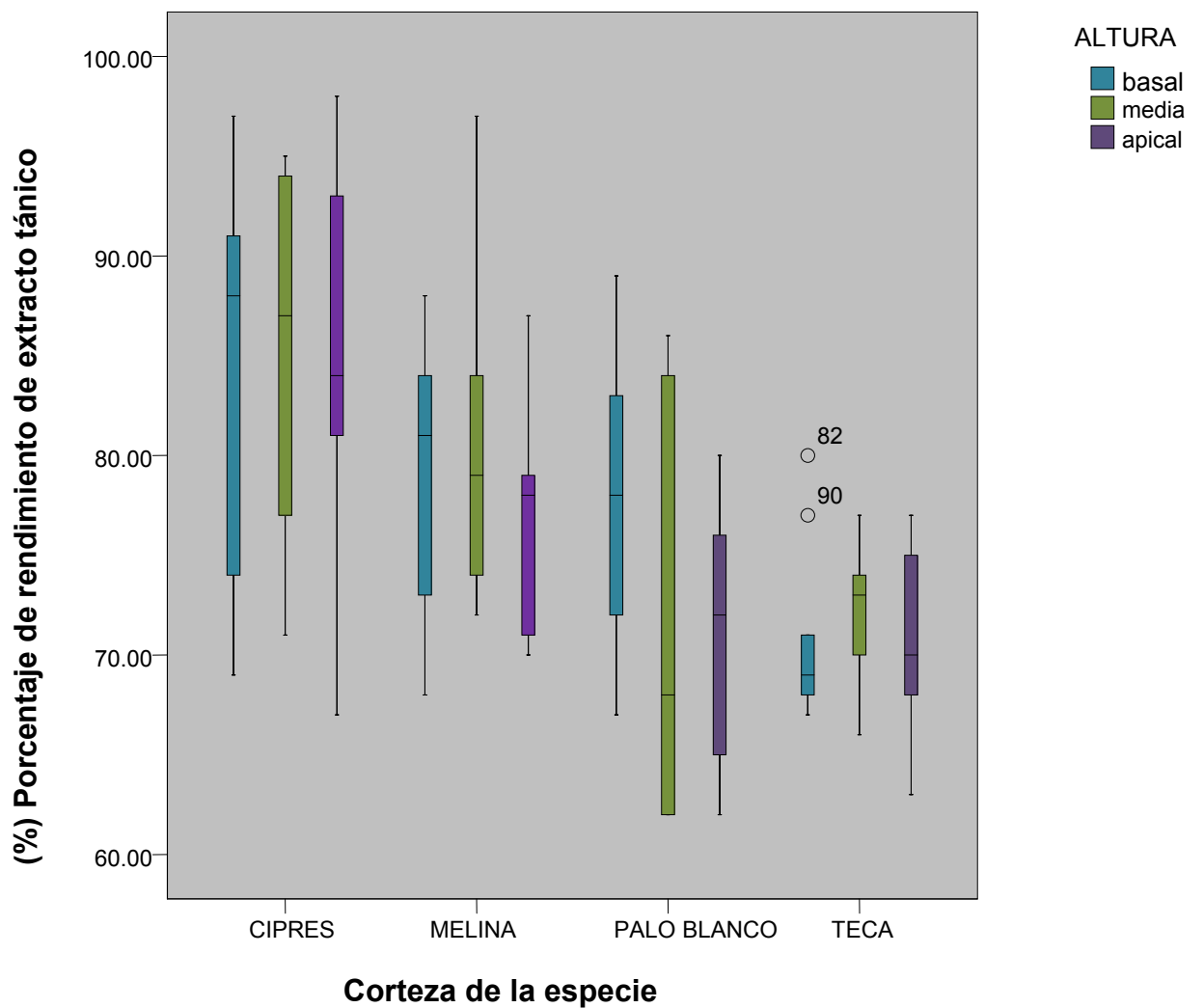
Tabla VIII **Porcentaje de rendimiento de la corteza de Teca posterior al proceso de maceración dinámica y porcentaje de taninos en el extracto tánico, determinado por el método de Tara en vaina.**

Árbol	Muestra	código	% Rendimiento	% Taninos en Ext. Tánico
1	Basal	411	80	0.391
	Media	412	74	0.518
	Apical	413	70	0.719
2	Basal	421	68	0.598
	Media	422	77	0.509
	Apical	423	66	0.628
3	Basal	431	69	0.523
	Media	432	69	0.557
	Apical	433	69	0.540
4	Basal	441	71	0.630
	Media	442	71	0.508
	Apical	443	76	0.558
5	Basal	451	69	0.542
	Media	452	76	0.457
	Apical	453	77	0.538
6	Basal	461	68	0.478
	Media	462	73	0.447
	Apical	463	68	0.544
7	Basal	471	67	0.636
	Media	472	66	0.654
	Apical	473	75	0.594
8	Basal	481	70	0.432
	Media	482	73	0.492
	Apical	483	63	0.660
9	Basal	491	77	0.436
	Media	492	70	0.604
	Apical	493	72	0.653
Promedio			71	0.553
Desviación Estándar			5	0.083
Desviación Media			4	0.069

Fuente: Tablas XLIV y XLV sección de datos calculados.

ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Figura 45 Distribución de los resultados experimentales del porcentaje de extracto tánico, en función de la corteza lixiviada de árboles jóvenes de cuatro especies forestales.



Fuente: Análisis Estadístico.

Tabla IX Análisis de varianza para el porcentaje de rendimiento en el extracto tánico.

Fuente de Variación	Suma de Cuadrados	Grados de Libertad	Media Cuadrática	F	Significancia
Especie	2951.741	3	983.914	16.525	0.00
Altura	91.63	2	45.815	0.769	0.466
Especie *					
Altura	247.481	6	41.247	0.693	0.656
Error	5715.778	96	59.539		
Total	655204	108			

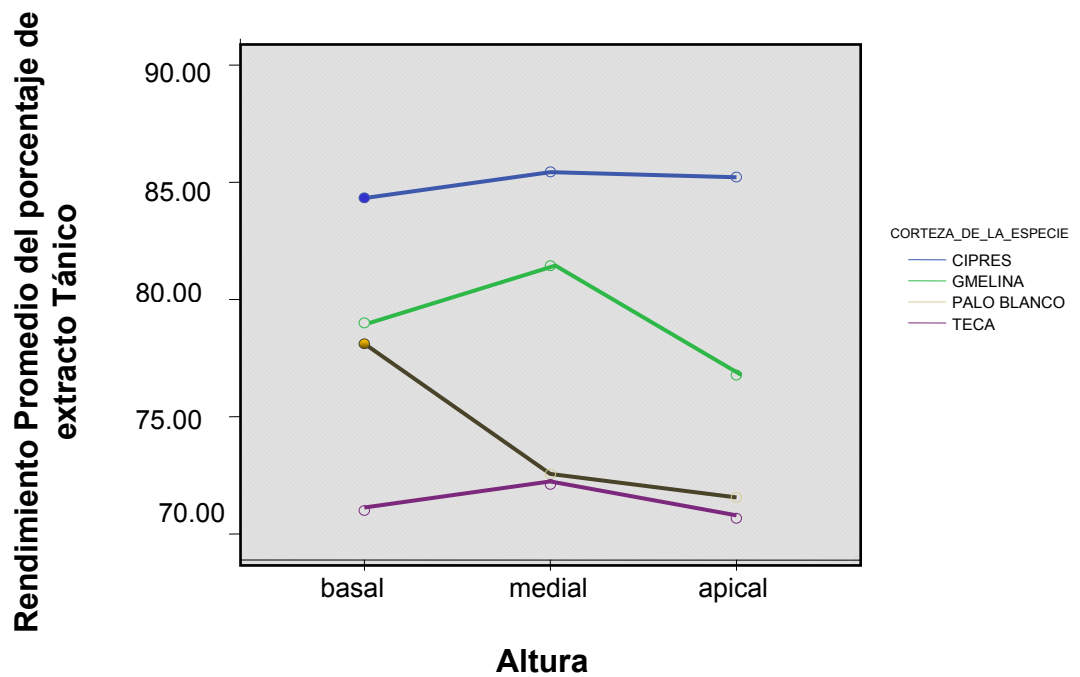
Fuente: Análisis Estadístico bifactorial.

Tabla X Comparación de Tukey para las medias del porcentaje de rendimiento de extracto tánico.

Especie	N	Grupo		
	1	2	3	1
Teca	27	71.2593		
Palo Blanco	27	74.0741	74.0741	
Melina	27		79.0741	
Ciprés	27			85.00
Significancia				1.00

Fuente: Análisis Estadístico prueba de Tukey.

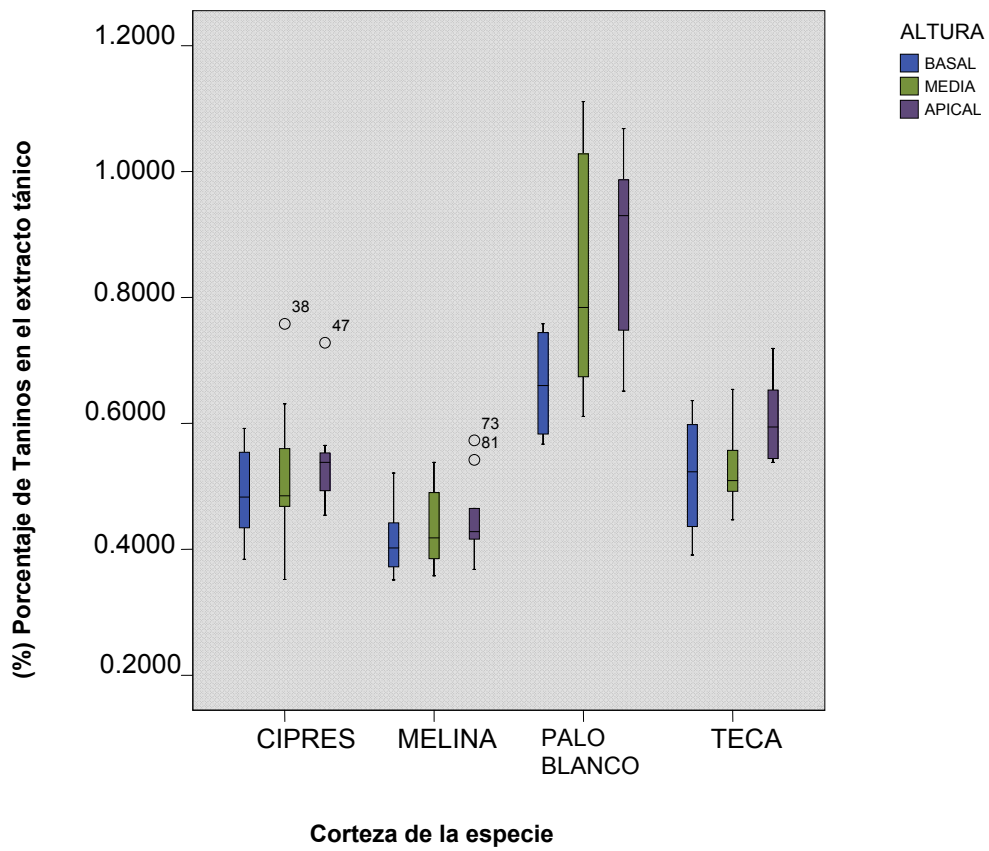
Figura 46 Medias del porcentaje de rendimiento de extracto tánico de acuerdo a la especie en función de la posición de la posición en el fuste (tallo).



Fuente: *Análisis Estadístico.*

Figura 47

Distribución de los resultados experimentales del porcentaje de taninos en el extracto tánico, en función de la corteza lixiviada de árboles jóvenes de cuatro especies forestales.



Fuente: Análisis Estadístico.

Tabla XI Análisis de varianza para el porcentaje de taninos en el extracto tánico.

Fuente de Variación	Suma de Cuadrados	Grados de Libertad	Media Cuadrática	F	Significancia
Especie	2.039	3	0.680	67.136	0.000
Altura	0.184	2	0.092	9.092	0.000
Especie *					
Altura	0.130	6	0.022	2.145	0.055
Error	0.972	96	0.010		
Total	39.013	108			

Fuente: Análisis Estadístico bifactorial.

Tabla XII Comparación de Tukey para las medias del porcentaje de taninos en el extracto tánico.

Especie	N	Grupo		
	1	2	3	1
Teca	27	0.431704		
Palo Blanco	27		0.517000	
Melina	27		0.549852	
Ciprés	27			0.80
Significancia		1.000	0.629	1.000

Fuente: Análisis Estadístico prueba de Tukey.

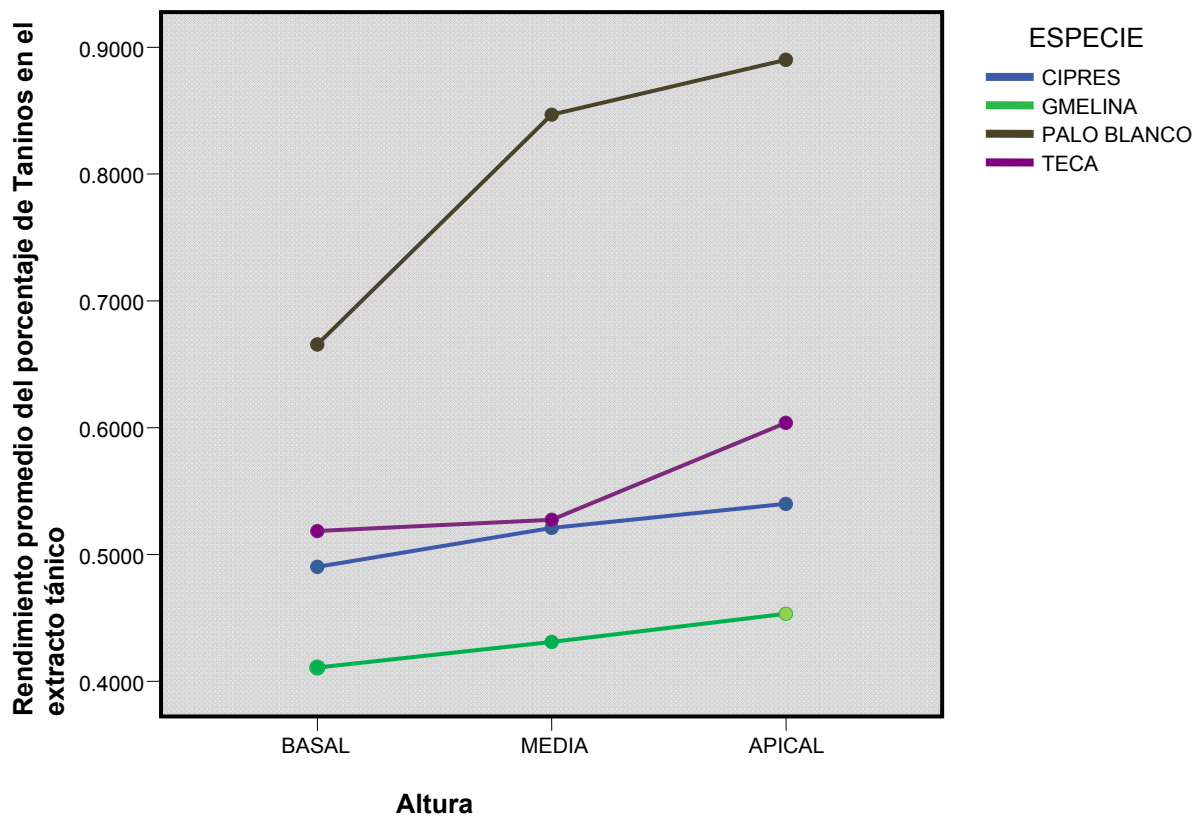
Tabla XIII Comparación de Tukey según la posición de la corteza en el fuste (tallo).

ALTURA	N		
	1	2	1
Basal	36	0.521278	
Media	36		0.581500
Apical	36		0.62175
Significancia		1.000	0.212

Fuente: Análisis Estadístico prueba de Tukey.

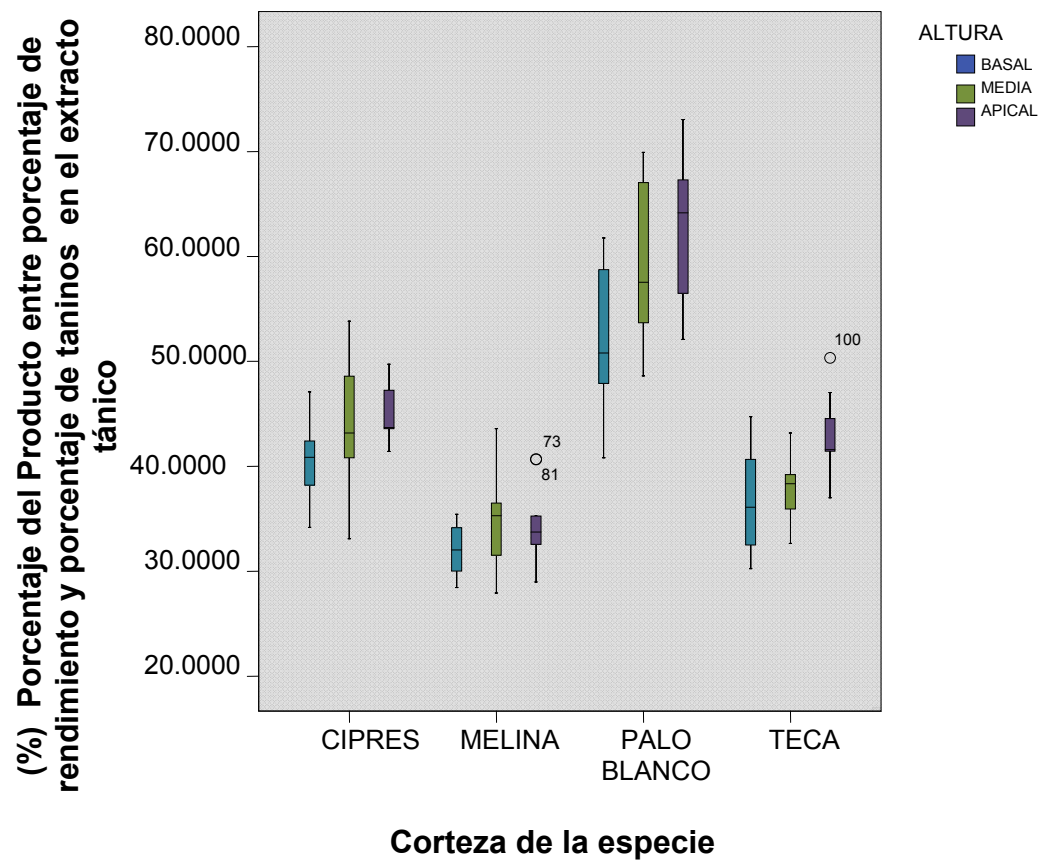
Figura 48

Medias del porcentaje de taninos en el extracto tánico de acuerdo a la especie en función a la posición de la corteza en el fuste (tallo).



Fuente: Análisis Estadístico.

Figura 49 Distribución de los resultados experimentales del producto entre el porcentaje de rendimiento y el porcentaje de taninos en el extracto tánico, en función de la corteza lixiviada de árboles jóvenes de cuatro especies forestales.



Fuente: Análisis Estadístico.

Tabla XIV Análisis de varianza para el producto del rendimiento de extracto tánico, por el porcentaje de taninos en el extracto tánico.

Fuente de Variación	Suma de Cuadrados	Grados de Libertad	Media Cuadrática	F	Significancia
Especie	8919.003	3	2973.001	106.363	0.000
Altura	668.115	2	334.057	11.951	0.000
Especie *					
Altura	242.419	6	40.403	1.445	0.205
Error	2683.336	96	27.951		
Total	217940.92	108			

Fuente: Análisis Estadístico bifactorial.

Tabla XV Comparación de Tukey según la posición de la corteza en el fuste (tallo).

ESPECIE	N 1	GRUPO			
		2	3	4	1
Melina	27	33.895481			
Teca	27		38.994296		
Ciprés	27			43.30504	
Palo Blanco	27				58258000
Significancia		1.000	1.000	1.000	1.000

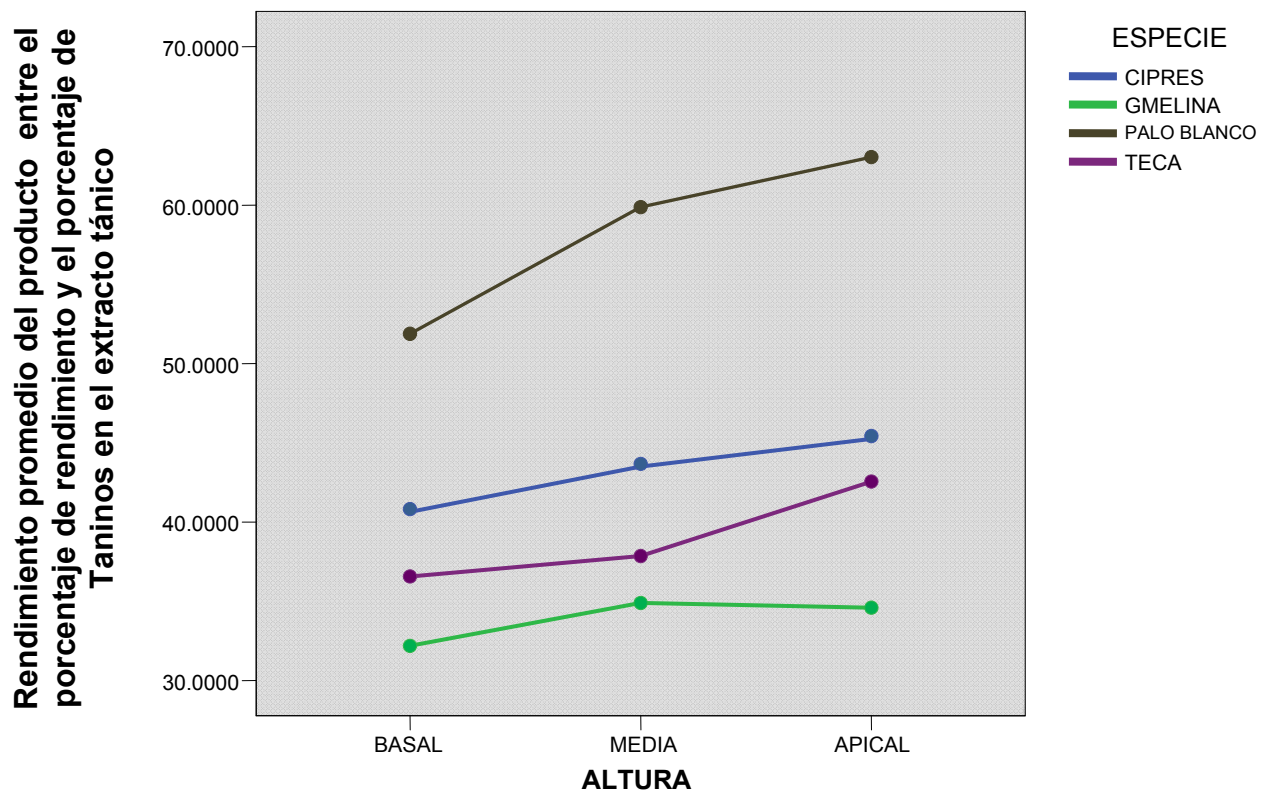
Fuente: Análisis Estadístico prueba de Tukey.

Tabla XVI Comparación de Tukey según la posición de la corteza en el fuste (tallo).

ALTURA	N		
	1	2	1
Basal	36	40.362167	
Media	36		44.075778
Apical	36		46.401667
Significancia		1.000	0.154

Fuente: Análisis Estadístico prueba de Tukey.

Figura 50 Medias del producto entre el porcentaje de rendimiento y el porcentaje de taninos en el extracto tánico, de acuerdo a la especie en función de la posición en el fuste (tallo).



Fuente: Análisis Estadístico.

5.- DISCUSIÓN DE RESULTADOS

En el siguiente trabajo de graduación se llevó a cabo una separación Sólido-Líquido con la finalidad de obtener extracto tánico y determinar el porcentaje de taninos en ese extracto tánico de árboles jóvenes de cuatro especies forestales que fueron Teca (*Tectona grandis L.f.*), Melina (*Gmelina arborea Roxb.*), Ciprés (*Cupressus lusitánica Mill*) Y Palo Blanco (*Cydistax donnel-smithii Seibert*).

Para llevar a cabo la obtención de la materia prima se participó en cuatro raleos que se hicieron en bosques ubicados en diferentes departamentos de Guatemala. El Palo Blanco se obtuvo en el departamento de Escuintla, en las fincas del Ingenio Pantaleón. El Ciprés se obtuvo en el departamento de Chimaltenango en la finca Chichoy. La Melina se obtuvo en el departamento de Izabal, en finca particular y la Teca se obtuvo en el departamento de Suchitepéquez, en el municipio de Patulul, en finca La Esperanza. De cada una de las especies se obtuvieron nueve árboles jóvenes, que fueron derribados y hechas las mediciones iniciales; longitud del fuste, dap, longitud y posición de secciones. Las trozas obtenidas fueron de 1m con corteza, y se trasladaron con los extremos sellados para reducir su deshidratación.

Posteriormente se descortezaron las trozas y la corteza se trasladó al secador eléctrico de flujo transversal donde se secó la corteza con la finalidad que tuviera una humedad entre el 3% y el 6%. Luego se molió esta corteza en un molino de martillos, para proceder a tamizar y utilizar la materia prima que quedó sobre el tamiz No.40 y proceder a la maceración dinámica.

Previo a la maceración dinámica o lixiviación se realizaron análisis preliminares para determinar las variables de proceso. La primera variable a determinar fue la calibración de la plancha de calentamiento para lo cual se utilizó una lámpara estroboscópica. Se realizó la corrida y calibración y se obtuvo el modelo matemático que se puede visualizar en la figura 45. Donde se determinó que en 800 rpm se debe realizar la lixiviación.

Luego se determinó el pH de las soluciones a temperatura ambiente como se indica en la Tabla XVIII y XXII. Donde se determinó el pH de la corteza disueltas en agua las cuales marcaron en un rango de pH ácido entre 5.11 y 5.29. Se llevó a cabo la determinación del pH de soluciones acuosas de sulfito de sodio al 2% con pH de 8.9 y al 4% con un pH de 9.28, en donde ambas soluciones tuvieron un pH alcalino. Posteriormente se determinó que con la solución al 4% se obtiene un mejor descenso promedio del pH como se visualiza en las figuras 46 y 47 a estas diferentes concentraciones.

El siguiente análisis realizado fue el tiempo de extracción, para la metodología propuesta se propone un tiempo de extracción de cuarenta y cinco minutos y para ello se muestran las figuras 47 a la 51. En la figura 47 se puede visualizar en qué tiempo se mantiene constante el pH para cada una de las cortezas de las especies forestales. En la figura 48 a la 49 se puede visualizar una curva para cada una de las cortezas en donde se puede determinar y justificar que a los cuarenta y cinco minutos se hace una extracción óptima pues el pH se mantiene constante al pasar este tiempo. Cada una de las curvas siguen la misma tendencia, y se puede representar cada modelo matemática con una ecuación cúbica y una correlación mayor a 0.90.

Las últimas variables de proceso a determinar a justificar fueron la temperatura, la densidad del soluto y del solvente antes y después de la lixiviación. En la metodología se propone que la temperatura no sobrepase los 70°C, pues así se evita que el extracto tánico tienda a evaporarse por un aumento de temperatura y se pierda rendimiento después del tiempo estipulado para la lixiviación. La tendencia de la temperatura se puede visualizar en la figura 53 en donde se determinó que la tendencia promedio para las cuatro especies es que en el proceso de lixiviación al llegar a una temperatura entre los 40°C y los 50°C llega a un pH constante.

La densidad de los sólidos previo a la maceración dinámica se realizó con el matraz de Lechatelier y los resultados obtenidos fueron los que se muestran en la tabla XXVIII y las densidades de las soluciones previo a la lixiviación se pueden observar en la tabla XXIX. Las densidades después del proceso se les determinó a los extractos tánicos con un picnómetro con capacidad de 50 mL como se muestra en la tabla XXX; se les determinó la densidad a la corteza agotada según la tabla XXXIII. Por lo que al comparar dichos resultados se determinó que la densidad de las cortezas desciende pues la materia soluble que se necesita en este caso el extracto tánico se solubilizó en el agua, quedando la corteza después de la filtración con un aspecto poroso.

Al determinar cada una de las variables de proceso se procedió a realizar ciento ocho corridas en total; en donde se realizaron veintisiete por especie forestal evaluada, donde se analizaron los rendimientos de extracto tánico como se visualiza en las tablas V a la VIII, según la sección de resultados y a la vez determinar el porcentaje de taninos en cada uno de estos extractos como se determinó en las tablas ya mencionadas.

Para determinar qué especie forestal posee mayor rendimiento se realizó un análisis estadístico utilizando un diseño experimental bifactorial. Como primeros resultados del análisis se obtiene la distribución de los resultados experimentales del porcentaje de taninos en el extracto tánico en función de la corteza lixiviada de árboles jóvenes de cuatro especies forestales. Según el Análisis de varianza para el porcentaje de rendimiento de extracto tánico, hay diferencias significativas entre las especies forestales evaluadas, no así en la posición (altura) en la que se corta la corteza para obtener el extracto tánico; al no haber diferencia significativa entre las alturas, se puede utilizar la totalidad de la corteza del árbol con similares resultados. Tampoco se encontró interacción entre los dos factores. Para poder determinar cuál o cuáles especies tienen el mayor porcentaje de rendimiento se realizó la comparación de las medias mediante el criterio de Tukey. En esta prueba según la tabla XII se observa que es el Ciprés la especie que mayor porcentaje de rendimiento en el extracto tánico posee, la teca produjo el menor rendimiento y el palo blanco y la melina son las que tienen un porcentaje de rendimiento intermedio.

El mismo análisis se procedió a realizar para determinar el comportamiento entre especies en la determinación del porcentaje de taninos en cada extracto tánico. Para ello se muestra en la figura 41 la distribución de los resultados experimentales del porcentaje de taninos en el extracto tánico en función de la corteza lixiviada de árboles jóvenes de cuatro especies forestales, donde también se puede visualizar en la tabla .XI el análisis de varianza para las especies y se puede concluir que el contenido o porcentaje de taninos varía significativamente ($P \leq 0.000$) tanto entre especies como entre la posición en la que se obtiene la corteza. No hay interacción significativa.

Para poder determinar cuál o cuáles especies tenían el mejor porcentaje de taninos en el extracto tánico se realizó una comparación de las medias mediante el criterio de Tukey. Y según la tabla XII se puede determinar que el palo blanco es la especie que mayor porcentaje de taninos posee en el extracto tánico; el ciprés y la teca poseen un valor intermedio y la melina es la especie que menor porcentaje de taninos se obtiene.

El criterio de Tukey también se aplicó para determinar el incremento de taninos en función de posición de la corteza en el árbol y según la tabla XIII se muestra que a medida que se incrementa la posición en que se obtiene la corteza, se incrementa el contenido de taninos.

Para determinar la interacción entre el porcentaje de rendimiento de taninos y el porcentaje de taninos en el extracto tánico, se realizó la multiplicación entre ambos factores, pues si la variable de porcentaje de taninos es contenido en el extracto al multiplicarla por el rendimiento del extracto tánico da otro rendimiento del porcentaje de taninos. Así en una sola variable consideramos las dos, porque la especie que da más rendimiento no es la que da más porcentaje de taninos para este análisis.

Entonces se puede visualizar en la figura 43 la distribución de los resultados experimentales del producto entre el porcentaje de rendimiento y el porcentaje de taninos en el extracto tánico en función de la corteza lixiviada de árboles jóvenes de cuatro especies forestales. Y en la tabla XIV d se puede observar el análisis de varianza.

Por lo que se vuelve a aplicar el criterio de Tukey según la tabla XV y se puede determinar que es el palo blanco es que posee un mayor porcentaje de taninos al interaccionar los dos valores mencionados anteriormente. Pues se utiliza la misma cantidad de corteza para lixiviar y se obtiene un mayor porcentaje de Taninos que en las demás especies conforme aumenta la posición el árbol.

Por lo que la especie forestal presenta mayor porcentaje de taninos fue el Palo Blanco, la siguiente especie fue el Ciprés, la tercera fue la Teca y al que produce menos fue la Melina.

Según la tabla XVI aplicado el criterio de Tukey se determinó que en las posiciones medias y apical específicamente se obtiene un mayor porcentaje de taninos en extracto tánico.

CONCLUSIONES

1. Fue efectivo el manejo de los diversos parámetros fijos y de variación controlada en el estudio de maceración dinámica realizado.
2. El análisis estadístico permitió establecer que no existe diferencia significativa en la obtención de extractos tánicos entre las cuatro especies estudiadas así como en función de las alturas referidas.
3. Se determinó el porcentaje de taninos en cada extracto tánico siendo la especie que presentó mayor cantidad la obtenida de la corteza de Palo Blanco.
4. La mayor variación acidificante (ΔpH) en el curso de la maceración dinámica realizada en las cuatro especies estudiadas fue la obtenida de la corteza de Ciprés.
5. En base al análisis estadístico realizado se establece que en el contenido porcentual de taninos sí existe diferencia significativa entre las especies estudiadas siendo el mayor el correspondiente al Palo Blanco, pero no existe diferencia significativa en función de las alturas seccionadas.

RECOMENDACIONES

1. Previo a realizar cualquier método de separación en especial Sólido-Líquido determinar cada una de las variables de proceso mediante análisis preliminares, basado en el diseño de un diagrama causa - efecto.
2. Determinar qué tipo de unidad de lixiviación se utilizará para posteriores separaciones Sólido –Líquido, siendo un factor determinante la geometría del recipiente.
3. Realizar curvas de eficiencia para mayores concentraciones de solución acuosa de sulfito de sodio como al 6%, 8% y 10% para el proceso de maceración dinámica en la obtención de extracto tánico.
4. Realizar análisis preliminares para determinar en qué proporción se vierte la solución acuosa de sulfito de sodio previo a la maceración dinámica pues hay un proceso de absorción del solvente en la corteza del cual se puede incrementar la viscosidad del sólido y dificultar la agitación.
5. Continuar con estudios de las propiedades de las especies forestales, en especial de los productos que hasta el momento no son reutilizados como la corteza de árboles que se utilizan como abono o leña.
6. Divulgar los presentes estudios como posible opción económica para Personas que realizan raleos de árboles jóvenes o en aserraderos de árboles adultos para aprovechamiento de los componentes de los subproductos como las cortezas.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Kirk, R **Enciclopedia de Tecnología Química.** Edición en Español. Unión Tipográfica Editorial Hispanoamericana , México 1961. 144 – 162pp.
2. Bluncher. H. **Enciclopedia de Química Industrial.** Versión española de la 18ava. Edición Alemana. Corregida por A. Ernest y Dr. L. Neumann. Editorial Tecnos. S. A. Valverde 3°. Madrid. España. 1958. 1210pp – 1214pp.
3. Alvarez Guadamuz, Constantino. **Estudio sobre algunos Materiales Curtientes de Guatemala.** Tesis Ingeniería Química. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería. 1968. 7 pp – 42pp.
4. Pérez Irungaray, Gerónimo Estuardo. Evaluación de la Propagación Vegetativa de Teca (*Tectona grandis* L.) Chíchiquel (*Aspidosperma megalocarpon* Muell – Arg) Palo Blanco (*Cybistax donnell – smithii* (Rose) Seibert) y Matilisguate (*Tabebuia rosea* Bertd. D.C.). Tesis Ingeniero Agrónomo. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Agronomía, Instituto de Investigaciones Agronómicas. 1999.

5. Aguilar, José María. **Catálogo Ilustrado de los Árboles de Guatemala.** Primera parte. Editorial Universitaria. Colección “Mario Dary Rivera” Universidad de San Carlos de Guatemala. Guatemala C. A. 1982.
6. Esquivel, Javier Garcia. Análisis de la exportación de madera aserrada Rústica de tres especies de importacia Económica en Guatemala, Situación actual y perspectiva. Tesis Ingeniero Agrónomo. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Agronomía, Instituto de Investigaciones agronómicas. 1995.
7. Alfaro Argueta, Mario Rene. Evaluación inicial del efecto de tres intensidades de Raleo y tres de poda en el crecimiento de una plantación de: *Pinus Caribea Morelet var. Hondurensis*. Tesis Ingeniero Agrónomo . Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala. Facultad de Agronomía.
8. Programa de preinversión para el manejo de RRNN en zonas de retorno. **Proyecto de desarrollo Forestal y Agroforestal de las Fincas propiedad de la Comunidad Nueva Generación Maya, Barillas. Huehuetenango. Volumen II. Anexos.** MAGA, IICA, PAFG, Proyecto FAO-GCP/GUA/007/NET, ACNUR, CECI. Guatemala, Septiembre, 1997. 52pp- 54pp.

9. Olman Murillo. Juvenal Valerio. **Melina *Gmelina arborea* Roxb., Especie de Árbol de Uso Múltiple en América Central.** Serie Técnica Informe Técnico No. 181. Publicación por el Proyecto Cultivo de Árboles de Uso Múltiple (MADELENA). CATIE. Programa de Producción y Desarrollo Agropecuario Sostenido. Area de Producción Forestal y Agroforestal. Turrialba, Costa Rica. 1991.
10. Chaves Eladio. William Fonseca. **Ciprés, *Cupressus lusitánica* Mill. Especie de Árbol de uso Múltiple en América Central.** Serie Técnica Informe Técnico No. 168. Publicación por el Proyecto Cultivo de Árboles de Uso Múltiple (MADELENA). CATIE. Programa de Producción y Desarrollo Agropecuario Sostenido. Area de Producción Forestal y Agroforestal. Turrialba, Costa Rica. 1991.
11. Gómez Orozco, Edson Daniel. Comparación del Porcentaje de extracto tánico de la corteza y de la madera de encino (*Quercus tristic Liebm*) proveniente de un bosque natural. Tesis Ing. Química. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 2003.
12. 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. Tesis Ing. Química. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería. 2000.

13. Equité de León, Madelleine 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. Tesis Ing. Química. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería. 2004.
14. Treybal, Robert E. **Operaciones de Transferencia de Masa.** Segunda Edición. Traducido por Amelia García Rodríguez. Editorial McGraw-Hill/Interamericana. México. 1988. pp 792 – 841-.
15. Saravia, José Mario. Telma Cano Morales. **Proyecto FODECYT 105-2006. Evaluación del Potencial Curtiente de los Taninos obtenidos de la corteza de cinco especies forestales nativas de la reserva de la Biósfera Maya.”** Guatemala 2006.

REFERENCIAS ELECTRÓNICAS

- 1.- Curonet: <http://www.cueronet.com>. (abril 2008)
2. Wikipedia: <http://es.wikipedia.org/wiki/taninos>. (abril 2008)
3. Composición Química de la madera http://www.monografias.com/trabajos15/composicion_madera/. (abril 2008)
4. Papelnet:
www.papelnet.cl/madera/propiedadesmadera/taninos.htm
(mayo 2008)

<http://www.ecoportel.net/content/view/full/39302>. (mayo 2008)
5. Extractos Vegetales:
<http://www.extractosvegetales.com.htm>. (mayo 2008)
6. Herb Research Foundation: www.herbs.org. (mayo 2008)
- 7.- AGEXPORT: www.export.com.gt (mayo 2008)
- 8.- MAGA: www.maga.como.gt (mayo 2008)
- 9.- Alimentos con color natural:
<http://www.consumaseguridad.com/web.php>. (junio 2008)
- 10.- Fitoterapia: www.fitoterapia.net (junio 2008)

BIBLIOGRAFÍA

1. Molinari, Hector. **Química General y Aplicada a la Industria Química Orgánica II Compuestos Cíclicos**. Segunda Edición Española. Versión por el Dr. José Estalella. España. sa. 272 – 281pp.
2. Secondini, Olindo. **Curtiduría y Curtientes en Guatemala**. Instituto de Fomento de la Producción. Sección Forestal. Guatemala. C.A. 1950.
3. Stevens, WD. Carmen Ulloa Ulloa. Amy Pool. Olga Martha Montiel. **Flora de Nicaragua**. Editorial Missouri Botanical Garden Press. Impreso en U.S.A. Tomo I 2pp. Tomo III 2551pp. Tomo III 2523pp.
4. Pandey D. C. Brown y otros. **La Teca**. Revista Unasyuva. Vol.51. 201 Revista internacional de silvicultura e industrias forestales. FAO. (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación). 2000.
5. Instituto Nacional de Bosques – INAB - . “Ficha Técnica de Especies: Teca “Tectona Grandis”. **Revista del INAB**. (Guatemala) (4). 1999.

6. Barrance, A. J, Beer. Y otros. **Árboles de Centroamérica, un Manual para Extensionistas.** Derechos de autor OFI/ CATIE (Centro agrnómicoTropical de Investigación y Enseñanza). Costa Rica. 2003.
7. Perry,R.H. y D.W Green (eds.). **Manual del Ingeniero Químico.** 7ma. Edición Nueva York: Mc Graw-Hill, 2001. Tomo III pp.15-47 pp.18-1 a pp 18-58 y 18-165, pp 19-1 y pp 19-79.

APÉNDICE

APÉNDICE A

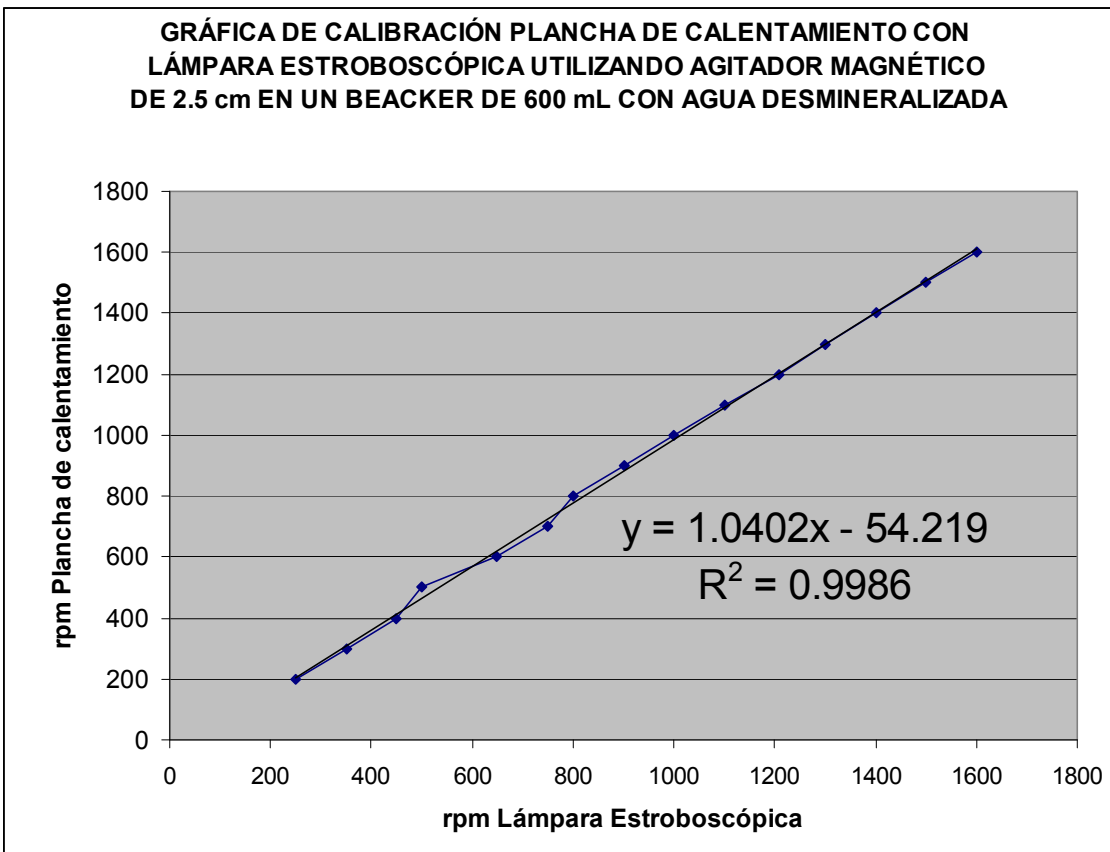
Análisis preliminares

Tabla XVII Datos obtenidos de la calibración de plancha la de calentamiento utilizando una lámpara estroboscópica con un agitador magnético de 2.5 cm³ en un beacker de 600 mL con agua desmineralizada.

Lámpara estroboscópica	Plancha de calentamiento
RPM	RPM
250	200
350	300
450	400
500	500
650	600
750	700
800	800
900	900
1000	1000
1100	1100
1210	1200
1300	1300
1400	1400
1500	1500
1600	1600

Fuente: Rangos de lámpara Estroboscópica , Marca AMETEK Mansfield & Green Division, corriente AC 110V; rango de flash por minuto 2 a 60 (X 100) (200rpm-6000rpm); y Rangos de la Plancha de calentamiento; Plancha de calentamiento con agitación, marca Corning, modelo PC-620, 120V/100V, frecuencia 60Hz, Potencia 1113w, rango 0 – 480°C, 0 – 1100 rpm.

Figura 51 Gráfica que representa la relación entre las revoluciones por minuto de la lámpara estroboscópica y las revoluciones de la plancha de calentamiento.



Fuente: Tabla XVII de apéndice A.

Tabla XVIII **pH de soluciones a temperatura ambiente.**

SOLUCIÓN	pH	T(°C)
Agua desmineralizada	6.9	23
Solución acuosa de sulfito de sodio al 2%	8.9	23
Agua desmineralizada + Corteza de Palo Blanco	5.29	23
Agua desmineralizada + Corteza de Ciprés	5.19	23
Agua desmineralizada + Corteza de Melina	5.12	23
Agua desmineralizada + Corteza de Teca	5.11	23
Solución acuosa de sulfito de sodio al 2%+ Corteza de Palo Blanco	7.98	23
Solución acuosa de sulfito de sodio al 2%+ Corteza de Ciprés	7.85	23
Solución acuosa de sulfito de sodio al 2%+ Corteza de Melina	8.01	23
Solución acuosa de sulfito de sodio al 2%+ Corteza de Teca	7.87	23

Fuente: *Lectura del Potenciómetro H1221 HI223 (pH/mV/°C) Bench Meters with calibration check. HANNA instruments Manufacturer since 1978. Hecho en Portugal.*

Tabla XIX Cambio de pH de las cortezas sumergidas en agua con respecto al agua desmineralizada.

SOLUCIÓN	pH	Δ pH
Agua desmineralizada	6.9	
Agua desmineralizada + Corteza de Palo Blanco	5.29	1.61
Agua desmineralizada + Corteza de Ciprés	5.19	1.71
Agua desmineralizada + Corteza de Gmelina	5.12	1.78
Agua desmineralizada + Corteza de Teca	5.11	1.79

Fuente: *Lectura del Potenciómetro H1221 HI223 (pH/mV/°C) Bench Meters with calibration check. HANNA instruments Manufacturer since 1978. Hecho en Portugal.*

Tabla XX Cambio de pH de las cortezas sumergidas en solución acuosa de sulfito de sodio en función de la solución acuosa de sulfito de sodio al 2%

SOLUCIÓN	pH	Δ pH
Solución acuosa de sulfito de sodio al 2%	8.9	
Solución acuosa de sulfito de sodio al 2%+ Corteza de Palo Blanco	7.98	0.92
Solución acuosa de sulfito de sodio al 2%+ Corteza de Ciprés	7.85	1.05
Solución acuosa de sulfito de sodio al 2%+ Corteza de Gmelina	8.01	0.89
Solución acuosa de sulfito de sodio al 2%+ Corteza de Teca	7.87	1.03

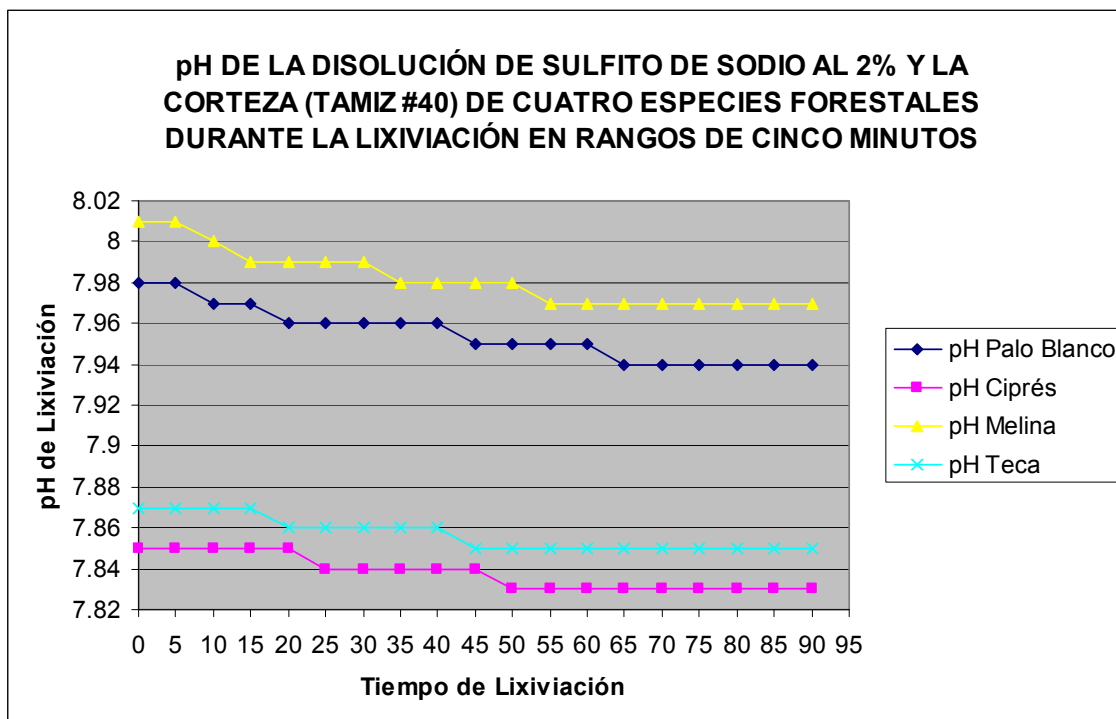
Fuente: *Lectura del Potenciómetro H1221 HI223 (pH/mV/°C) Bench Meters with calibration check. HANNA instruments Manufacturer since 1978. Hecho en Portugal.*

Tabla XXI pH y aumento de temperatura de lixiviados en rangos de cinco minutos con solución acuosa de sulfito del sodio al 2%.

Tiempo (min)	pH Palo Blanco	pH Ciprés	pH Melina	pH Teca	T (°C)
0	7.98	7.85	8.01	7.87	23.7
5	7.98	7.85	8.01	7.87	45.1
10	7.97	7.85	8	7.87	46.4
15	7.97	7.85	7.99	7.87	45.7
20	7.96	7.85	7.99	7.86	46.3
25	7.96	7.84	7.99	7.86	47.1
30	7.96	7.84	7.99	7.86	47.7
35	7.96	7.84	7.98	7.86	50.2
40	7.96	7.84	7.98	7.86	52.3
45	7.95	7.84	7.98	7.85	55.6
50	7.95	7.83	7.98	7.85	56.3
55	7.95	7.83	7.97	7.85	57.1
60	7.95	7.83	7.97	7.85	57.6
65	7.94	7.83	7.97	7.85	58.2
70	7.94	7.83	7.97	7.85	58.5
75	7.94	7.83	7.97	7.85	58.6
80	7.94	7.83	7.97	7.85	58.9
85	7.94	7.83	7.97	7.85	60.3
90	7.94	7.83	7.97	7.85	60.3

Fuente: *Tiempo tomado con Cronómetro digital; pH y Temperatura en grados Celsius obtenidos de la lectura del Potenciómetro H1221 HI223 (pH/mV/°C) Bench Meters with calibration check. HANNA instruments Manufacturer since 1978. Hecho en Portugal.*

Figura 52 Gráfica que representa el pH de la disolución de sulfito de sodio al 2% y la corteza (tamiz No. 40) de cuatro especies forestales durante la lixiviación en rangos de cinco minutos.



Fuente: Tabla XXI de apéndice A.

Tabla XXII pH de soluciones a temperatura ambiente.

SOLUCIÓN	pH	T(°C)
Agua desmineralizada	6.9	23
Solución acuosa de sulfito de sodio al 4%	9.28	23
Agua desmineralizada + 4g de Corteza de Palo Blanco	5.29	23
Agua desmineralizada + 4g de Corteza de Ciprés	5.19	23
Agua desmineralizada + 4g de Corteza de Melina	5.12	23
Agua desmineralizada + 4g de Corteza de Teca	5.11	23
Solución acuosa de sulfito de sodio al 4%+ 4g de Corteza de Palo Blanco	8.11	23
Solución acuosa de sulfito de sodio al 4%+ 4g de Corteza de Ciprés	8.09	23
Solución acuosa de sulfito de sodio al 4%+ 4g deCorteza de Melina	8.12	23
Solución acuosa de sulfito de sodio al 4%+ 4g deCorteza de Teca	8.1	23

Fuente: Lectura del Potenciómetro H1221 HI223 (pH/mV/°C) Bench Meters with calibration check. HANNA instruments Manufacturer since 1978. Hecho en Portugal.

Tabla XXIII Cambio de pH de las cortezas sumergidas en agua con respecto al agua desmineralizada.

SOLUCIÓN	pH	ΔpH
Agua desmineralizada	6.9	
Agua desmineralizada + Corteza de Palo Blanco	5.29	1.61
Agua desmineralizada + Corteza de Ciprés	5.19	1.71
Agua desmineralizada + Corteza de Gmelina	5.12	1.78
Agua desmineralizada + Corteza de Teca	5.11	1.79

Fuente: Tabla XXII de apéndice A.

Tabla XXIV Cambio de pH de las cortezas sumergidas en solución acuosa de sulfito de sodio en función de la solución acuosa de sulfito de sodio al 4%.

SOLUCIÓN	pH	ΔpH
Solución acuosa de sulfito de sodio al 4%	9.28	
Solución acuosa de sulfito de sodio al 4%+ Corteza de Palo Blanco	8.11	1.17
Solución acuosa de sulfito de sodio al 4%+ Corteza de Ciprés	8.09	1.19
Solución acuosa de sulfito de sodio al 4%+ Corteza de Gmelina	8.12	1.16
Solución acuosa de sulfito de sodio al 4%+ Corteza de Teca	8.1	1.18

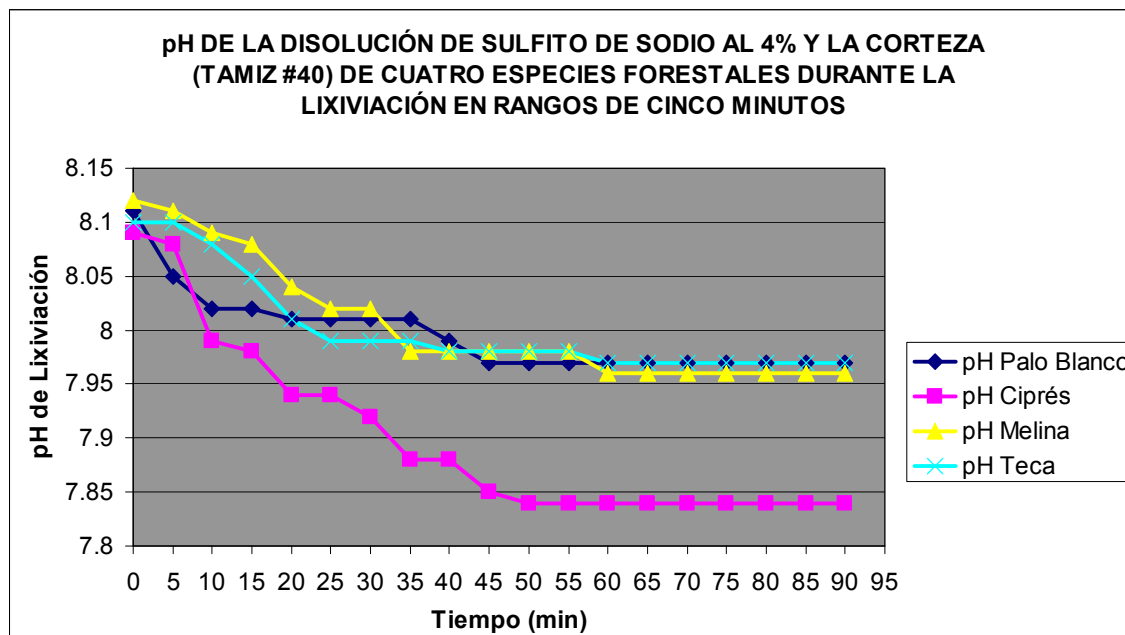
Fuente: Tabla XXII de apéndice A.

Tabla XXV **pH y aumento de temperatura de lixiviados en rangos de cinco minutos con solución acuosa de sulfito del sodio al 4%.**

Tiempo (min)	pH Palo Blanco	pH Ciprés	pH Melina	pH Teca	T (°C)
0	8.11	8.09	8.12	8.1	23.7
5	8.05	8.08	8.11	8.1	45.1
10	8.02	7.99	8.09	8.08	46.4
15	8.02	7.98	8.08	8.05	45.7
20	8.01	7.94	8.04	8.01	46.3
25	8.01	7.94	8.02	7.99	47.1
30	8.01	7.92	8.02	7.99	47.7
35	8.01	7.88	7.98	7.99	50.2
40	7.99	7.88	7.98	7.98	52.3
45	7.97	7.85	7.98	7.98	55.6
50	7.97	7.84	7.98	7.98	56.3
55	7.97	7.84	7.98	7.98	57.1
60	7.97	7.84	7.96	7.97	57.6
65	7.97	7.84	7.96	7.97	58.2
70	7.97	7.84	7.96	7.97	58.5
75	7.97	7.84	7.96	7.97	58.6
80	7.97	7.84	7.96	7.97	58.9
85	7.97	7.84	7.96	7.97	60.3
90	7.97	7.84	7.96	7.97	60.3

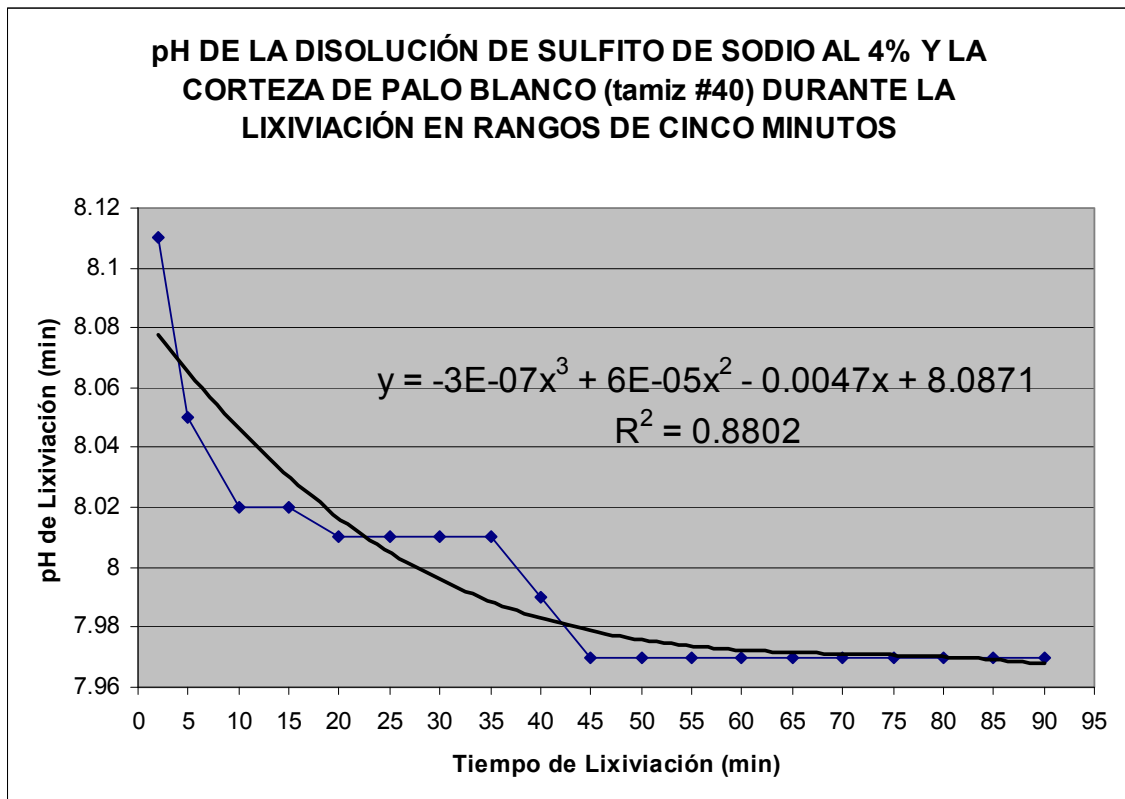
Fuente: *Tiempo tomado con Cronómetro digital; pH y Temperatura en grados Celsius obtenidos de la lectura del Potenciómetro H1221 HI223 (pH/mV/°C) Bench Meters with calibration check. HANNA instruments Manufacturer since 1978. Hecho en Portugal.*

Figura 53 Gráfica que representa la relación entre el pH de la disolución de sulfito de sodio al 4% y la corteza (tamiz No. 40) de cuatro especies forestales durante la lixiviación en rangos de cinco minutos.



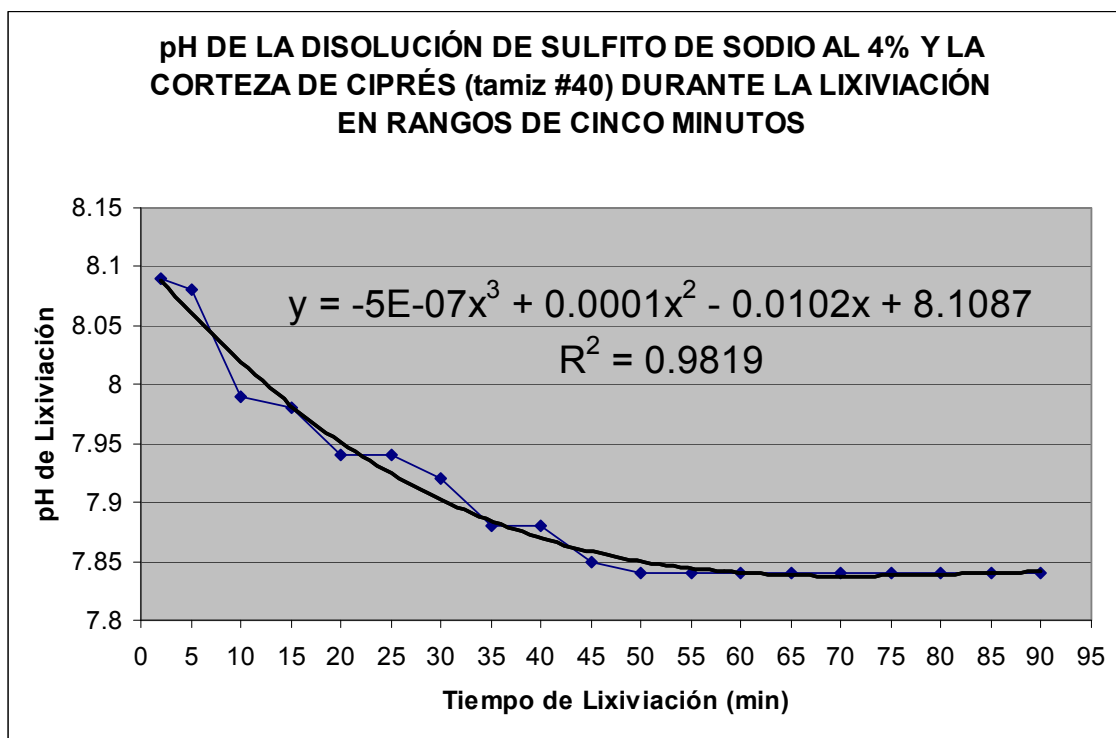
Fuente: Tabla XXV de apéndice A.

Figura 54 Gráfica que representa la relación entre el pH de la disolución de sulfito de sodio al 4% y la corteza de Palo Blanco (tamiz No. 40) durante la lixiviación, monitoreado en rangos de cinco minutos.



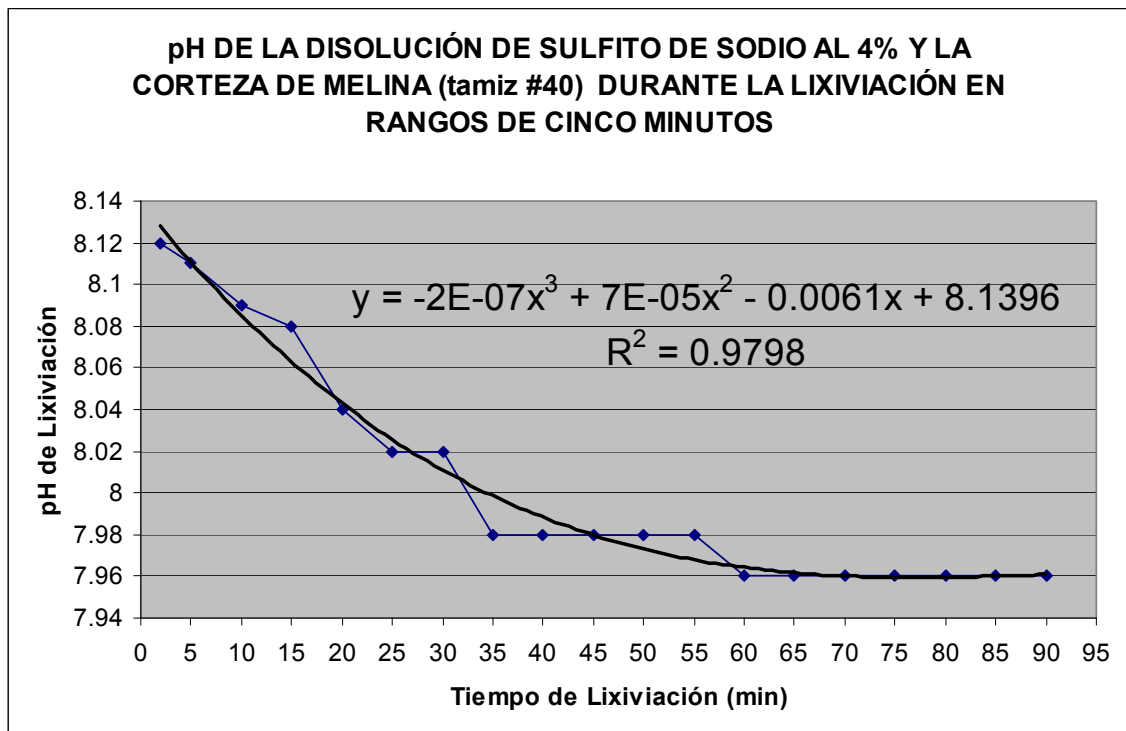
Fuente: Tabla XXV de apéndice A.

Figura 55 Gráfica que representa la relación entre el pH de la disolución de sulfito de sodio al 4% y la corteza de Ciprés (tamiz No. 40), durante la lixiviación, monitoreado en rangos de cinco minutos.



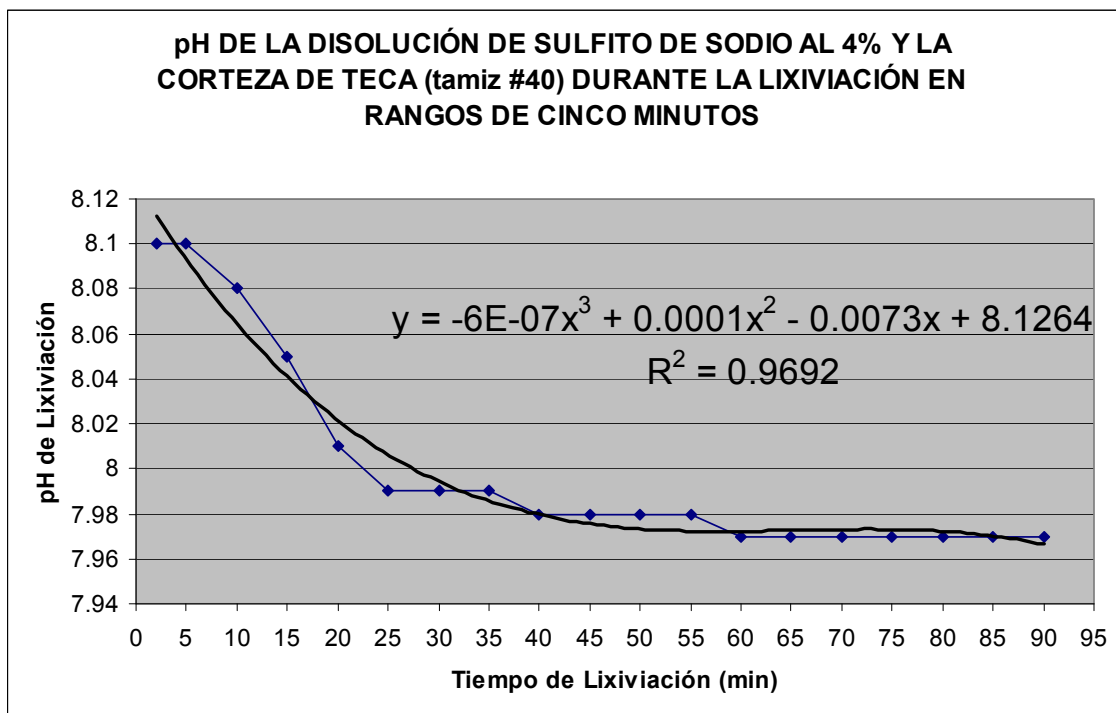
Fuente: Tabla XXV de apéndice A.

Figura 56 Gráfica que representa la relación entre el pH de la disolución de sulfito de sodio al 4% y la corteza de Melina (tamiz No. 40) durante la lixiviación, monitoreado en rangos de cinco minutos.



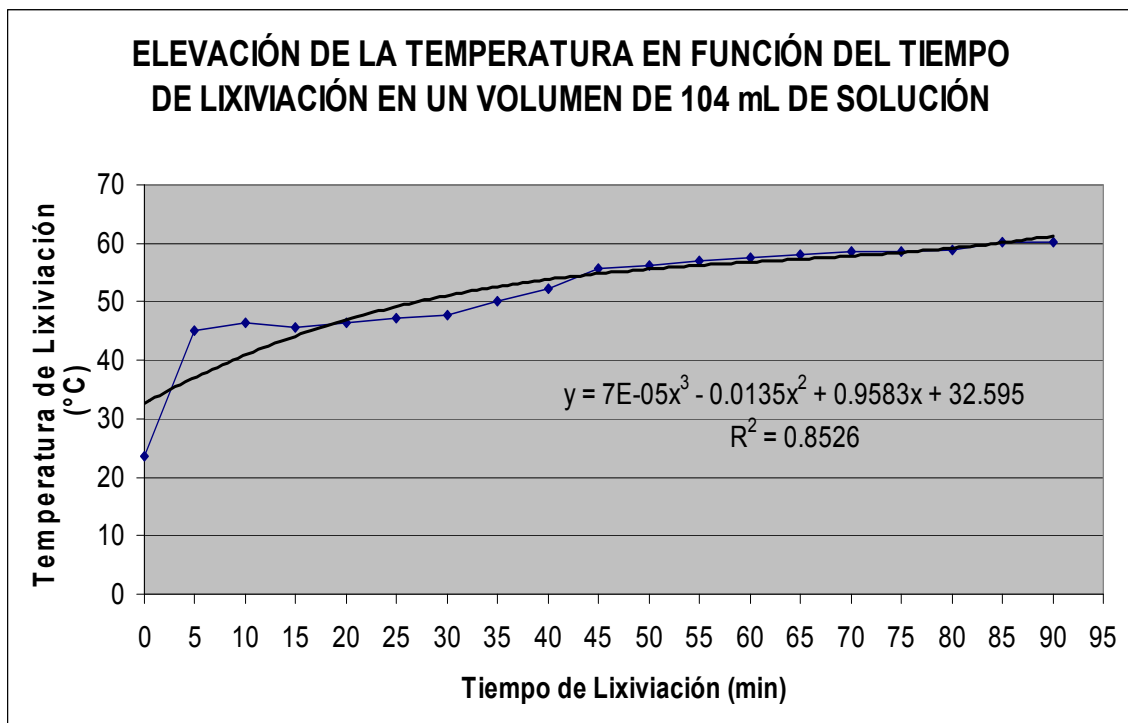
Fuente: Tabla XXV de apéndice A.

Figura 57 Gráfica que representa la relación entre el pH de la disolución de sulfito de sodio al 4% y la corteza de Teca (tamiz No. 40) durante la lixiviación, monitoreado en rangos de cinco minutos.



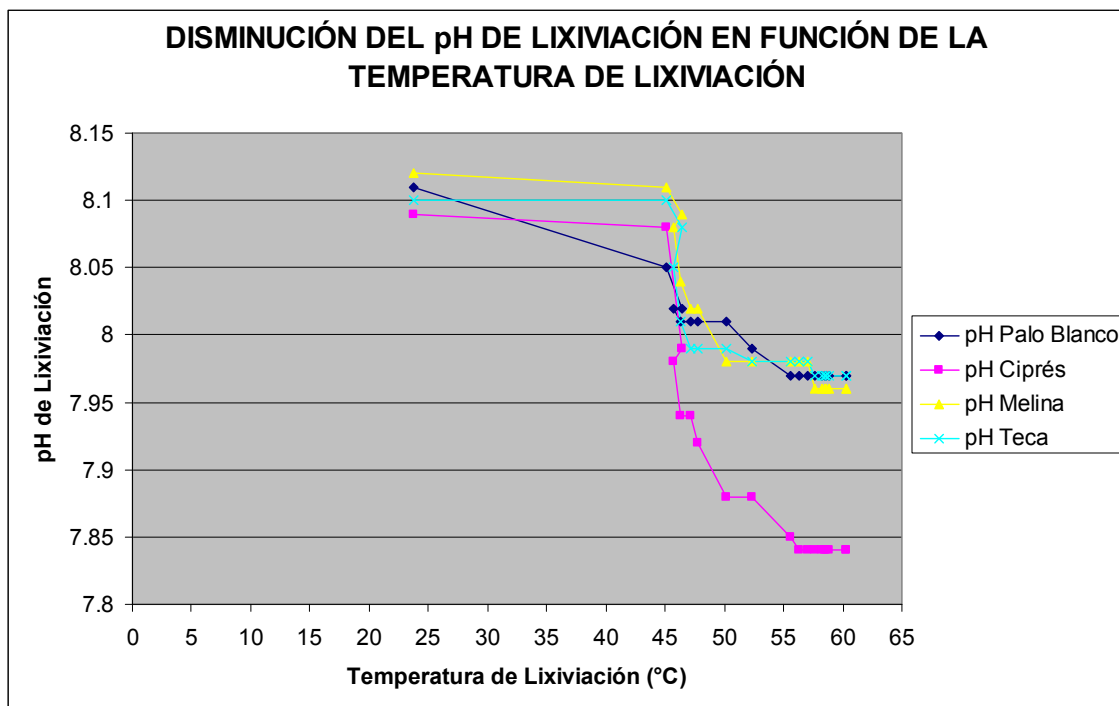
Fuente: Tabla XXV de apéndice A.

Figura 58 Gráfica que representa la relación entre la elevación de la temperatura en y el tiempo de lixiviación en un volumen de 104 mL de solución.



Fuente: Tabla XXV de apéndice A.

Figura 59 Gráfica que representa la relación entre la disminución del pH de lixiviación en función de la temperatura de lixiviación por especie forestal estudiada.



Fuente: Tabla XXV de apéndice A.

APÉNDICE B

Densidades de soluto y solvente

Tabla XXVI Densidades de cortezas de las cuatro especies forestales (tamiz 40) obtenidas con el matraz de lechatelier utilizando como solvente acetona.

CORRIDA 1

Especie Forestal	(g) de corteza	(mL)o solvente	(mL)f solvente	(mL) solvente	densidad (g/mL)
Palo Blanco	30	1	21.5	20.5	1.463
Ciprés	30	1	20	19	1.579
Melina	30	1	20.2	19.2	1.563
Teca	30	1	20.1	19.1	1.571

CORRIDA 2

Especie Forestal	(g) de corteza	(mL)o solvente	(mL)f solvente	(mL) solvente	densidad (g/mL)
Palo Blanco	30	1	21.7	20.7	1.449
Ciprés	30	1	20.2	19.2	1.563
Melina	30	1	20.4	19.4	1.546
Teca	30	1	20.3	19.3	1.554

CORRIDA 3

Especie Forestal	(g) de corteza	(mL)o solvente	(mL)f solvente	(mL) solvente	densidad (g/mL)
Palo Blanco	30	1	21.6	20.6	1.456
Ciprés	30	1	20.1	19.1	1.571
Melina	30	1	20.3	19.3	1.554
Teca	30	1	20.1	19.1	1.571

Fuente: Datos del peso de la cantidad de corteza (g) de Balanza analítica Adventurer OHAUS con capacidad máxima de 150 g y exactitud de 3 decimales. Y el volumen de Acetona se tomó la lectura del desplazamiento que se realizó el Matraz de Lechatelier (ml).

Tabla XXVII Densidad por corrida de la corteza de cada especie forestal.

ESPECIE	CORRIDA 1	CORRIDA 2	CORRIDA3	DENSIDAD
FORESTAL	densidad (g/mL)	densidad (g/mL)	Densidad (g/mL)	PROMEDIO (g/mL) $\pm \sigma$
Palo Blanco	1.463	1.449	1.456	1.456 \pm 0.0081
Ciprés	1.579	1.563	1.571	1.571 \pm 0.0092
Melina	1.563	1.546	1.554	1.554 \pm 0.0098
Teca	1.571	1.554	1.571	1.565 \pm 0.0133

Fuente: Datos obtenidos aplicar la ecuación para el cálculo de promedio y la ecuación de la desviación estándar.

Tabla XXVIII Densidad promedio de la corteza de cada especie forestal previo al proceso de maceración dinámica.

ESPECIE	DENSIDAD
FORESTAL	PROMEDIO (g/mL) $\pm \sigma$
Palo Blanco	1.456 \pm 0.0081
Ciprés	1.571 \pm 0.0092
Melina	1.554 \pm 0.0098
Teca	1.565 \pm 0.0133

Fuente: Datos obtenidos aplicar la ecuación para el cálculo de promedio y la ecuación de la desviación estándar.

Tabla XXIX Densidad promedio del agua y de las soluciones de sulfito de sodio al 2% y al 4% utilizando picnómetro con capacidad de 50ml y tara de 43.804g.

SOLUCIÓN	CORRIDA 1 densidad (g/mL)	CORRIDA 2 densidad (g/mL)	CORRIDA 3 densidad (g/mL)	densidad promedio (g/mL)
Agua Desminarilazada	0.9697	0.9597	0.9681	0.9658 \pm 0.0054
Sulfito de sodio al 2%	1.001	1.002	1.001	1.0013 \pm 0.0006
Sulfito de sodio al 4%	1.008	1.007	1.008	1.0077 \pm 0.0006

Fuente: *Picnómetro con capacidad de 50mL y tara de 43.804g y Balanza analítica Adventurer OHAUS con capacidad máxima de 150 g y exactitud de 3 decimales.*

Tabla XXX Densidad promedio de los extractos tánicos después de la lixiviación utilizando picnómetro con capacidad de 50ml y tara de 43.804g.

EXTRACTO TÁNICO LÍQUIDO	CORRIDA 1 densidad (g/mL)	CORRIDA 2 densidad (g/mL)	CORRIDA 3 densidad (g/mL)	densidad promedio (g/mL)
corteza de Palo blanco	1.041	1.042	1.043	1.0420 \pm 0.001
corteza de Ciprés	1.038	1.038	1.037	1.0377 \pm 0.001
corteza de Melina	1.036	1.037	1.038	1.0370 \pm 0.001
corteza de Teca	1.033	1.034	1.034	1.0337 \pm 0.001

Fuente: *Picnómetro con capacidad de 50mL y tara de 43.804g y Balanza analítica Adventurer OHAUS con capacidad máxima de 150 g y exactitud de 3 decimales.*

Tabla XXXI Densidades de cortezas de las cuatro especies forestales (tamiz 40) obtenidas con el matraz de Lechatelier utilizando como solvente acetona después de la lixiviación.

CORRIDA 1

Especie Forestal	(g) de corteza	(mL)o solvente	(mL)f solvente	(mL) solvente	densidad (g/mL)
Palo Blanco	30	0.2	21.5	21.3	1.408
Ciprés	30	0.2	20	19.8	1.515
Gmelina	30	0.2	20.2	20	1.500
Teca	30	0.2	20.1	19.9	1.508

CORRIDA 2

Especie Forestal	(g) de corteza	(mL)o solvente	(mL)f solvente	(mL) solvente	densidad (g/mL)
Palo Blanco	30	0.2	21.7	21.5	1.395
Ciprés	30	0.2	20.2	20	1.500
Gmelina	30	0.2	20.4	20.2	1.485
Teca	30	0.2	20.3	20.1	1.493

CORRIDA 3

Especie Forestal	(g) de corteza	(mL)o solvente	(mL)f solvente	(mL) solvente	densidad (g/mL)
Palo Blanco	30	0.2	21.6	21.4	1.402
Ciprés	30	0.2	20.1	19.9	1.508
Gmelina	30	0.2	20.3	20.1	1.493
Teca	30	0.2	20.1	19.9	1.508

Fuente: Datos del peso de la cantidad de corteza (g) de Balanza analítica Adventurer OHAUS con capacidad máxima de 150 g y exactitud de 3 decimales. Y el volumen de Acetona se tomó la lectura del desplazamiento que se realizó del Matraz de Lechatelier (mL).

Tabla XXXII Densidad por corrida de la corteza de cada especie forestal después de la lixiviación.

ESPECIE	CORRIDA 1	CORRIDA 2	CORRIDA 3	DENSIDAD
FORESTAL	densidad (g/ml)	densidad (g/ml)	densidad (g/ml)	PROMEDIO (g/ml) y σ
Palo Blanco	1.408	1.395	1.402	1.402 \pm 0.0053
Ciprés	1.515	1.500	1.508	1.508 \pm 0.0062
Gmelina	1.500	1.485	1.493	1.493 \pm 0.0061
Teca	1.508	1.493	1.508	1.503 \pm 0.0071

Fuente: Datos obtenidos aplicar la ecuación para el cálculo de promedio y la ecuación de la desviación estándar.

Tabla XXXIII Densidad promedio de la corteza de cada especie forestal después de la lixiviación.

ESPECIE	DENSIDAD
FORESTAL	PROMEDIO (g/ml) y σ
Palo Blanco	1.402 + 0.0053
Ciprés	1.508 + 0.0062
Gmelina	1.493 + 0.0061
Teca	1.503 + 0.0071

Fuente: Datos obtenidos aplicar la ecuación para el cálculo de promedio y la ecuación de la desviación estándar.

APÉNDICE C

Muestra de cálculo

Cálculo del Porcentaje (%) Rendimiento de la obtención del Extracto Tánico posterior a la separación Sólido-Líquido.

$$\% \text{Rendimiento} = \left[\frac{\text{gramos obtenidos de Extracto Tánico seco}}{4 \text{ gramos de corteza de cada especie}} \right] * 100 \quad (\text{ec.21})$$

$$\% \text{ Rendimiento} = (2.47 \text{ g} / 4 \text{ g}) * 100 = 62 \%$$

$$\% \text{ Rendimiento} = 62 \%$$

Cálculo del Porcentaje (%) de Taninos en la Corteza de cada especie forestal

$$\begin{array}{l} (\%) \text{ Taninos en la} \\ \text{Corteza} \end{array} = \left(\frac{((\text{mL}) \text{KMnO}_4 - (\text{mL}) \text{blanco}) * 4.2}{4000} \right) * 100 \quad (\text{ec.22})$$

Donde:

mL KMnO₄ = mililitros de Permanganato de potasio gastados en la titulación

mL blanco = mililitros de Permanganato de potasio gastados en la titulación del blanco.

4000 = son los 4000 miligramos de corteza que se lixiviaron.

$$\begin{array}{l} (\%) \text{ Taninos en la} \\ \text{Corteza} \end{array} = \frac{((14 \text{ mL} - 4.28 \text{ mL}) * 4.2)}{4000} * 100 = 1.02\%$$

$$\begin{array}{l} (\%) \text{ Taninos en la} \\ \text{Corteza} \end{array} = 1.02\%$$

Corteza

Cálculo del Porcentaje (%) de Taninos en el Extracto Tánico.

$$\begin{aligned} \text{(\% Taninos en El Extracto Tánico)} &= \left[\frac{((\text{mL KMnO}_4 - \text{mL blanco}) * 4.2)}{(\text{g Ext. Tánico} * 1000)} \right] * 100 / 2 \\ & \hspace{15em} \text{(ec.23)} \end{aligned}$$

mL KMnO₄ = mililitros de Permanganato de potasio gastados en la titulación
mL blanco = mililitros de Permanganato de potasio gastados en la titulación del blanco.
1000 = son los 1000 miligramos de Extracto Tánico restituido

$$\begin{aligned} \text{(\% Taninos en El Extracto Tánico)} &= \frac{((14\text{mL}) - (4.28 \text{ mL})) * 4.2}{(2.692\text{g} * 1000)} * 100 / 2 \end{aligned}$$

(%) Taninos en El Extracto Tánico = 0.758 %

APÉNDICE D

Datos calculados

Tabla XXXIV **Porcentaje de humedad de la corteza de Palo Blanco, previo a la maceración dinámica.**

Árbol	Muestra	código	%Humedad
1	Basal	111	4.12
	Media	112	3.73
	Apical	113	5.68
2	Basal	121	3.25
	Media	122	3.51
	Apical	123	2.59
3	Basal	131	4.24
	Media	132	5.27
	Apical	133	4.97
4	Basal	141	2.45
	Media	142	2.59
	Apical	143	2.56
5	Basal	151	2.46
	Media	152	3.09
	Apical	153	2.57
6	Basal	161	2.13
	Media	162	3.21
	Apical	163	2.46
7	Basal	171	2.78
	Media	172	3.62
	Apical	173	2.93
8	Basal	181	4.92
	Media	182	2.88
	Apical	183	2.9
9	Basal	191	3.04
	Media	192	2.5
	Apical	193	3.1
Promedio			3.32
Desviación Estándar			0.96
Desviación Media			0.76

Fuente: Balanza de Humedad del Centro de Investigaciones de Ingeniería.

Tabla XXXV Cálculo del porcentaje de rendimiento del extracto tánico obtenido de 4 gramos de corteza seca y tamizada de la corteza de Palo Blanco, posterior al proceso de maceración dinámica.

Árbol	Muestra	código	Extracto tánico seco (g)	% Rendimiento
1	Basal	111	2.692	67
	Media	112	2.47	62
	Apical	113	2.49	62
2	Basal	121	2.88	72
	Media	122	3.34	84
	Apical	123	3.02	76
3	Basal	131	3.57	89
	Media	132	2.47	62
	Apical	133	2.5	63
4	Basal	141	3.12	78
	Media	142	3.03	76
	Apical	143	2.87	72
5	Basal	151	2.78	70
	Media	152	2.7	68
	Apical	153	3.03	76
6	Basal	161	3.31	83
	Media	162	3.44	86
	Apical	163	2.88	72
7	Basal	171	3.04	76
	Media	172	3.41	85
	Apical	173	3.2	80
8	Basal	181	3.42	86
	Media	182	2.72	68
	Apical	183	2.6	65
9	Basal	191	3.26	82
	Media	192	2.46	62
	Apical	193	3.11	78
Promedio			2.956	74
Desviación Estándar			0.3420	8.55
Desviación Media			0.2901	7.25

Fuente: Aplicación de la ecuación 21 de la muestra de cálculo.

Tabla XXXVI Determinación del porcentaje de taninos en la corteza y en el extracto tánico del Palo Blanco, por el método de Tara en vaina.

Árbol	Muestra	código	Volumen KMnO (mL)	% Taninos en la corteza	Extracto tánico seco (g)	% Taninos en Ext. Tánico	
1	Basal	111	14	1.02	2.692	0.758	
	Media	112	13.5	0.97	2.47	0.784	
	Apical	113	16.3	1.26	2.49	1.014	
2	Basal	121	14.6	1.08	2.88	0.753	
	Media	122	15	1.13	3.34	0.674	
	Apical	123	18.1	1.45	3.02	0.961	
3	Basal	131	15.5	1.18	3.57	0.660	
	Media	132	17	1.34	2.47	1.081	
	Apical	133	17	1.34	2.5	1.068	
4	Basal	141	12.7	0.88	3.12	0.567	
	Media	142	15.2	1.15	3.03	0.757	
	Apical	143	14.5	1.07	2.87	0.748	
5	Basal	151	12	0.81	2.78	0.583	
	Media	152	17.5	1.39	2.7	1.028	
	Apical	153	17.7	1.41	3.03	0.930	
6	Basal	161	16	1.23	3.31	0.744	
	Media	162	14.5	1.07	3.44	0.624	
	Apical	163	17	1.34	2.88	0.928	
7	Basal	171	13.4	0.96	3.04	0.630	
	Media	172	14.2	1.04	3.41	0.611	
	Apical	173	14.2	1.04	3.2	0.651	
8	Basal	181	13.6	0.98	3.42	0.572	
	Media	182	16.6	1.29	2.72	0.951	
	Apical	183	16.5	1.28	2.6	0.987	
9	Basal	191	15.5	1.18	3.26	0.723	
	Media	192	17.3	1.37	2.46	1.111	
	Apical	193	15	1.13	3.11	0.724	
			Promedio	15.35	1.16	2.956	0.80
			Desviación Estándar	1.632	0.171	0.3420	0.175
			Desviación Media	1.368	0.144	0.2901	0.152

Fuente: Aplicación de las ecuaciones 22 y 23 de la muestra de cálculo.

Tabla XXXVII Porcentaje de humedad de la corteza de Ciprés, previo a la maceración dinámica.

Árbol	Muestra	código	%Humedad
1	Basal	211	4.16
	Media	212	5.18
	Apical	213	5.46
2	Basal	221	4.08
	Media	222	5.05
	Apical	223	5.05
3	Basal	231	4.56
	Media	232	4.73
	Apical	233	3.89
4	Basal	241	4.61
	Media	242	4.98
	Apical	243	4.66
5	Basal	251	4.2
	Media	252	4.48
	Apical	253	5.4
6	Basal	261	4.96
	Media	262	4.29
	Apical	263	3.67
7	Basal	271	4.84
	Media	272	4.27
	Apical	273	4.91
8	Basal	281	4.54
	Media	282	4.88
	Apical	283	4.86
9	Basal	291	4.31
	Media	292	4.43
	Apical	293	4.83
Promedio			4.64
Desviación Estándar			0.44
Desviación Media			0.358

Fuente: Balanza de Humedad del Centro de Investigaciones de Ingeniería.

Tabla XXXVIII Cálculo del porcentaje de rendimiento del extracto tánico obtenido de 4 gramos de corteza seca y tamizada de la corteza de Ciprés, posterior al proceso de maceración dinámica.

Árbol	Muestra	código	Peso Obtenido de Extracto (g)	% Rendimiento
1	Basal	211	2.81	70
	Media	212	3.07	77
	Apical	213	3.25	81
2	Basal	221	2.74	69
	Media	222	2.83	71
	Apical	223	2.69	67
3	Basal	231	2.96	74
	Media	232	3.46	87
	Apical	233	3.5	88
4	Basal	241	3.38	85
	Media	242	3.38	85
	Apical	243	3.91	98
5	Basal	251	3.57	89
	Media	252	3.77	94
	Apical	253	3.25	81
6	Basal	261	3.65	91
	Media	262	3.56	89
	Apical	263	3.16	79
7	Basal	271	3.88	97
	Media	272	3.08	77
	Apical	273	3.85	96
8	Basal	281	3.84	96
	Media	282	3.78	95
	Apical	283	3.73	93
9	Basal	291	3.52	88
	Media	292	3.77	94
	Apical	293	3.34	84
Promedio			3.397	84.94
Desviación Estándar			0.3764	9.41
Desviación Media			0.313	7.826

Fuente: Aplicación de la ecuación 21 de la muestra de cálculo.

Tabla XXXIX Determinación del porcentaje de taninos en la corteza y en el extracto tánico del Ciprés, por el método de Tara en vaina.

Árbol	Muestra	código	Volumen KMnO ₄ (mL)	% Taninos en la corteza	Peso Obtenido de Extracto (g)	% Taninos en Ext. Tánico
1	Basal	211	11.34	0.74	2.81	0.528
	Media	212	13.5	0.97	3.07	0.631
	Apical	213	12.6	0.87	3.25	0.538
2	Basal	221	12	0.81	2.74	0.592
	Media	222	14.5	1.07	2.83	0.758
	Apical	223	13.6	0.98	2.69	0.728
3	Basal	231	12.35	0.85	2.96	0.573
	Media	232	13.5	0.97	3.46	0.560
	Apical	233	13.7	0.99	3.5	0.565
4	Basal	241	13.2	0.94	3.38	0.554
	Media	242	12	0.81	3.38	0.480
	Apical	243	13.25	0.94	3.91	0.482
5	Basal	251	10.8	0.68	3.57	0.384
	Media	252	10.6	0.66	3.77	0.352
	Apical	253	12.6	0.87	3.25	0.538
6	Basal	261	11.67	0.78	3.65	0.425
	Media	262	12.5	0.86	3.56	0.485
	Apical	263	12.6	0.87	3.16	0.553
7	Basal	271	13.2	0.94	3.88	0.483
	Media	272	12.25	0.84	3.08	0.543
	Apical	273	12.6	0.87	3.85	0.454
8	Basal	281	12.3	0.84	3.84	0.439
	Media	282	12.7	0.88	3.78	0.468
	Apical	283	13.3	0.95	3.73	0.508
9	Basal	291	11.56	0.76	3.52	0.434
	Media	292	11.65	0.77	3.77	0.411
	Apical	293	12.12	0.82	3.34	0.493
Promedio			12.52	0.87	3.38	0.52
Desviación Estándar			0.916	0.10	0.4109	0.0925
Desviación Media			0.711	0.075	0.3303	0.0696

Fuente: Aplicación de las ecuaciones 22 y 23 de la muestra de cálculo.

Tabla XL Porcentaje de humedad de la corteza de Melina, previo a la maceración dinámica.

Árbol	Muestra	código	%Humedad
1	Basal	311	3.14
	Media	312	3.37
	Apical	313	3.06
2	Basal	321	2.99
	Media	322	3.18
	Apical	323	2.81
3	Basal	331	2.43
	Media	332	2.64
	Apical	333	2.34
4	Basal	341	2.91
	Media	342	3.31
	Apical	343	2.76
5	Basal	351	3.14
	Media	352	3.58
	Apical	353	3.3
6	Basal	361	3.1
	Media	362	2.67
	Apical	363	3.05
7	Basal	371	3.1
	Media	372	3.44
	Apical	373	3.01
8	Basal	381	2.57
	Media	382	2.86
	Apical	383	3.07
9	Basal	391	2.88
	Media	392	3
	Apical	393	2.86
Promedio			2.984
Desviación Estándar			0.2967
Desviación Media			0.229

Fuente: Balanza de Humedad del Centro de Investigaciones de Ingeniería.

Tabla XLI Cálculo del porcentaje de rendimiento del extracto tánico obtenido de 4 gramos de corteza seca y tamizada de la corteza de Melina, posterior al proceso de maceración dinámica.

Árbol	Muestra	código	Peso Obtenido de Extracto (g)	% Rendimiento
1	Basal	311	3.34	84
	Media	312	2.95	74
	Apical	313	2.83	71
2	Basal	321	3.36	84
	Media	322	3.12	78
	Apical	323	3.25	81
3	Basal	331	2.71	68
	Media	332	2.93	73
	Apical	333	2.81	70
4	Basal	341	3.24	81
	Media	342	3.78	95
	Apical	343	3.14	79
5	Basal	351	2.92	73
	Media	352	3.89	97
	Apical	353	3.12	78
6	Basal	361	3.51	88
	Media	362	3.17	79
	Apical	363	2.84	71
7	Basal	371	2.85	71
	Media	372	2.88	72
	Apical	373	3.16	79
8	Basal	381	3.45	86
	Media	382	3.34	84
	Apical	383	3.49	87
9	Basal	391	3.05	76
	Media	392	3.25	81
	Apical	393	2.99	75
Promedio			3.162	79
Desviación Estándar			0.2955	7.39
Desviación Media			0.2317	5.792

Fuente: Aplicación de la ecuación 21 de la muestra de cálculo.

Tabla XLII Determinación del porcentaje de taninos en la corteza y en el extracto tánico de la Melina, por el método de Tara en vaina.

Árbol	Muestra	código	Volumen KMnO ₄ (mL)	% Taninos en la corteza	Peso Obtenido de Extracto (g)	% Taninos en Ext. Tánico
1	Basal	311	10.2	0.62	3.34	0.372
	Media	312	11.2	0.73	2.95	0.493
	Apical	313	12	0.81	2.83	0.573
2	Basal	321	9.9	0.59	3.36	0.351
	Media	322	9.6	0.56	3.12	0.358
	Apical	323	10.9	0.70	3.25	0.428
3	Basal	331	11	0.71	2.71	0.521
	Media	332	10.2	0.62	2.93	0.424
	Apical	333	10.5	0.65	2.81	0.465
4	Basal	341	9.7	0.57	3.24	0.351
	Media	342	11.8	0.79	3.78	0.418
	Apical	343	10.5	0.65	3.14	0.416
5	Basal	351	10	0.60	2.92	0.411
	Media	352	11.2	0.73	3.89	0.374
	Apical	353	11	0.71	3.12	0.452
6	Basal	361	11	0.71	3.51	0.402
	Media	362	10.3	0.63	3.17	0.399
	Apical	363	9.8	0.58	2.84	0.408
7	Basal	371	10.4	0.64	2.85	0.451
	Media	372	11	0.71	2.88	0.490
	Apical	373	10.7	0.67	3.16	0.427
8	Basal	381	10.8	0.68	3.45	0.397
	Media	382	10.4	0.64	3.34	0.385
	Apical	383	10.4	0.64	3.49	0.368
9	Basal	391	10.7	0.67	3.05	0.442
	Media	392	12.6	0.87	3.25	0.538
	Apical	393	12	0.81	2.99	0.542
Promedio			10.73	0.68	3.16	0.43
Desviación Estándar			0.7401	0.08	0.2955	0.0609
Desviación Media			0.5704	0.06	0.2317	0.0481

Fuente: Aplicación de ecuaciones 22 y 23 de la muestra de cálculo.

Tabla XLIII Porcentaje de humedad de la corteza de Teca, previo a la maceración dinámica.

Árbol	Muestra	código	%Humedad
1	Basal	411	3.11
	Media	412	3.32
	Apical	413	3.43
2	Basal	421	3.09
	Media	422	3.01
	Apical	423	3.66
3	Basal	431	3.58
	Media	432	3.5
	Apical	433	3.43
4	Basal	441	3.33
	Media	442	3.58
	Apical	443	3.21
5	Basal	451	3.95
	Media	452	3.51
	Apical	453	3.19
6	Basal	461	3.72
	Media	462	3.51
	Apical	463	3.64
7	Basal	471	4.18
	Media	472	4.61
	Apical	473	3.06
8	Basal	481	3.5
	Media	482	3.31
	Apical	483	3.86
9	Basal	491	4.38
	Media	492	3.5
	Apical	493	3.66
Promedio			3.549
Desviación Estándar			0.3877
Desviación Media			0.2799

Fuente: Balanza de Humedad del Centro de Investigaciones de Ingeniería.

Tabla XLIV Cálculo del porcentaje de rendimiento del extracto tánico obtenido de 4 gramos de corteza seca y tamizada de la corteza de Teca, posterior al proceso de maceración dinámica.

Árbol	Muestra	código	Peso Obtenido de Extracto (g)	% Rendimiento
1	Basal	411	3.18	80
	Media	412	2.97	74
	Apical	413	2.81	70
2	Basal	421	2.71	68
	Media	422	3.06	77
	Apical	423	2.65	66
3	Basal	431	2.74	69
	Media	432	2.76	69
	Apical	433	2.77	69
4	Basal	441	2.84	71
	Media	442	2.82	71
	Apical	443	3.02	76
5	Basal	451	2.76	69
	Media	452	3.04	76
	Apical	453	3.09	77
6	Basal	461	2.73	68
	Media	462	2.92	73
	Apical	463	2.71	68
7	Basal	471	2.68	67
	Media	472	2.64	66
	Apical	473	3.01	75
8	Basal	481	2.78	70
	Media	482	2.91	73
	Apical	483	2.52	63
9	Basal	491	3.09	77
	Media	492	2.79	70
	Apical	493	2.87	72
Promedio			2.847	71
Desviación Estándar			0.1645	4.111
Desviación Media			0.1365	3.412

Fuente: Aplicación de Ecuación 21 de la muestra de cálculo.

Tabla XLV Determinación del porcentaje de taninos en la corteza y en el extracto tánico de la Teca, por el método de Tara en vaina.

Árbol	Muestra	código	Volumen KMnO ₄ (mL)	% Taninos en la corteza	Peso Obtenido de Extracto (g)	% Taninos en Ext. Tánico
1	Basal	411	10.2	0.62	3.18	0.391
	Media	412	11.6	0.77	2.97	0.518
	Apical	413	13.9	1.01	2.81	0.719
2	Basal	421	12	0.81	2.71	0.598
	Media	422	11.7	0.78	3.06	0.509
	Apical	423	12.2	0.83	2.65	0.628
3	Basal	431	11.1	0.72	2.74	0.523
	Media	432	11.6	0.77	2.76	0.557
	Apical	433	11.4	0.75	2.77	0.540
4	Basal	441	12.8	0.89	2.84	0.630
	Media	442	11.1	0.72	2.82	0.508
	Apical	443	12.3	0.84	3.02	0.558
5	Basal	451	11.4	0.75	2.76	0.542
	Media	452	10.9	0.70	3.04	0.457
	Apical	453	12.2	0.83	3.09	0.538
6	Basal	461	10.5	0.65	2.73	0.478
	Media	462	10.5	0.65	2.92	0.447
	Apical	463	11.3	0.74	2.71	0.544
7	Basal	471	12.4	0.85	2.68	0.636
	Media	472	12.5	0.86	2.64	0.654
	Apical	473	12.8	0.89	3.01	0.594
8	Basal	481	10	0.60	2.78	0.432
	Media	482	11.1	0.72	2.91	0.492
	Apical	483	12.2	0.83	2.52	0.660
9	Basal	491	10.7	0.67	3.09	0.436
	Media	492	12.3	0.84	2.79	0.604
	Apical	493	13.2	0.94	2.87	0.653
Promedio			11.70	0.78	2.83	0.550
Desviación Estándar			0.947	0.10	0.19	0.082
Desviación Media			0.770	0.0809	0.1478	0.0661

Fuente: Aplicación de las ecuaciones 22 y 23 de la muestra de cálculo.

APÉNDICE E

Figura 60 Primera fila izquierda: corteza de Palo Blanco. Derecha: corteza de Ciprés. Segunda fila izquierda: corteza de Melina. Derecha: corteza de Teca.



Fuente: Cámara SONY Cyber-shot DSC-W55 7.2 Mega pixeles 2.5"LCD monitor, función macro 2cm. Propiedad de Adela Marroquín.

Figura 61 Primera fila izquierda: horno o secador eléctrico de flujo transversal . Derecha: molino de martillos trifásico. Segunda fila izquierda: máquina tamizadora de ocho tamices en serie. Derecha: corteza tamizada retenida sobre el tamiz No. 40.



Fuente: Cámara SONY Cyber-shot DSC-W55 7.2 Mega pixeles 2.5"LCD monitor, función macro 2cm. Propiedad de Adela Marroquín.

Figura 62 Primera fila izquierda: corteza molida y tamizada de Palo Blanco . Derecha: corteza molida y tamizada Ciprés. Segunda fila izquierda: corteza molida y tamizada de Melina. Derecha: corteza molida y tamizada de Teca.



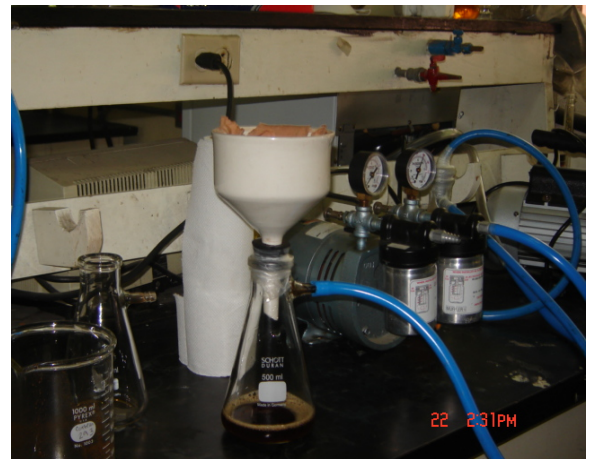
Fuente: Cámara SONY Cyber-shot DSC-W55 7.2 Mega pixeles 2.5"LCD monitor, función macro 2cm. Propiedad de Adela Marroquín.

Figura 63 Primera fila izquierda: medidor de humedad . Derecha: preparación de corteza molida y tamizada para segunda etapa de secado. Segunda fila centro: matraz de Lechatelier previo a la determinación de la densidad de las cortezas de las cuatro especies forestales.



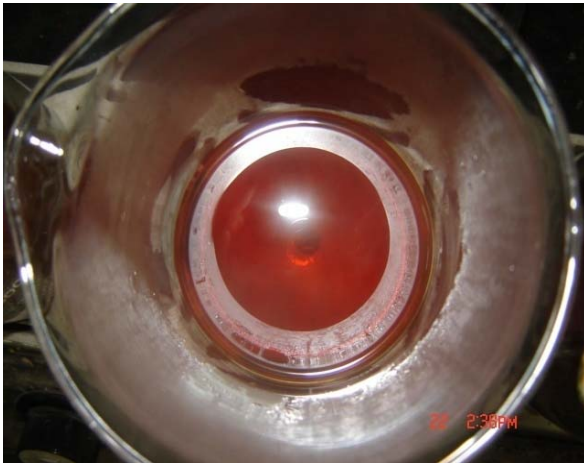
Fuente: Cámara SONY Cyber-shot DSC-W55 7.2 Mega pixeles 2.5"LCD monitor, función macro 2cm. Propiedad de Adela Marroquín.

Figura 64 Primera fila izquierda: lámpara estroboscópica . Derecha: planchas de calentamiento durante el proceso de maceración dinámica segunda fila izquierda: unidad de Lixiviación en el proceso. Derecha: filtración para obtener el extracto tánico fluido libre de corteza agotada.



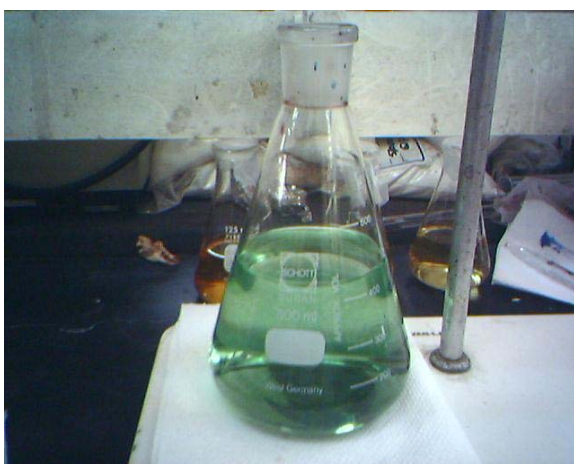
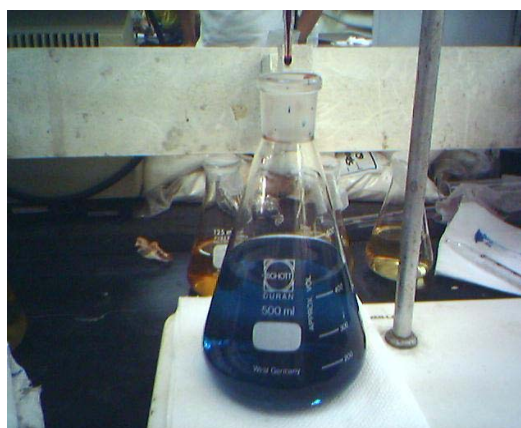
Fuente: Cámara SONY Cyber-shot DSC-W55 7.2 Mega pixeles 2.5"LCD monitor, función macro 2cm. Propiedad de Adela Marroquín.

Figura 65 Primera fila izquierda: extracto tánico fluido recién filtrado
Derecha: medición de la densidad del extracto tánico con picnómetro. Segunda fila izquierda: extracto tánico seco en polvo. Derecha: extracto tánico almacenado en botes ámbar etiquetados.



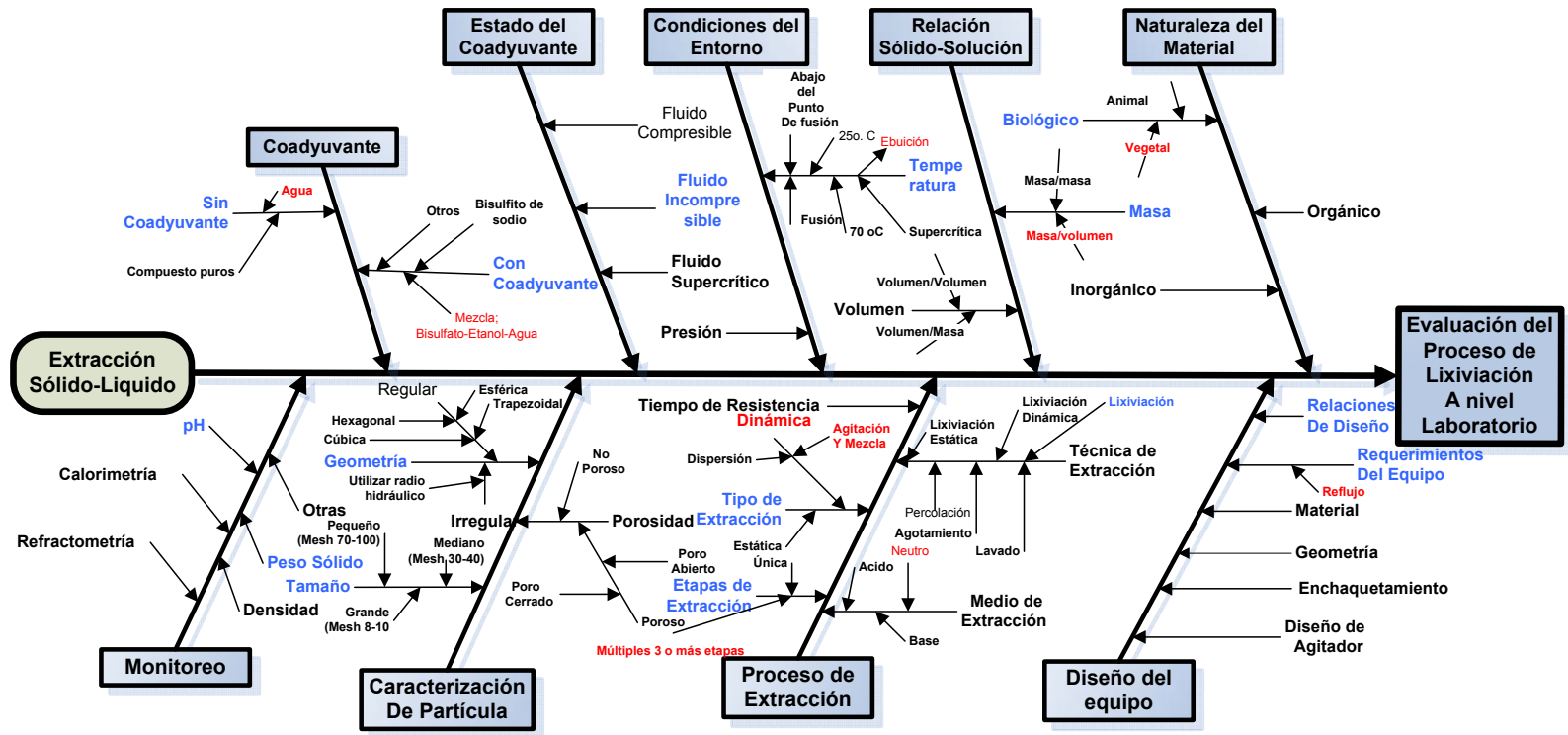
Fuente: Cámara SONY Cyber-shot DSC-W55 7.2 Mega pixeles 2.5"LCD monitor, función macro 2cm. Propiedad de Adela Marroquín.

Figura 66 Primera fila izquierda: extracto tánico restituido a ebullición con reflujo. Derecha: extracto tánico con índigo de carmín previo a la titulación con permanganato de potasio. Segunda fila izquierda: primer viraje en el proceso de titulación. Derecha: último viraje del indicador índigo de carmín a color amarillo que indica presencia de taninos en el extracto tánico.



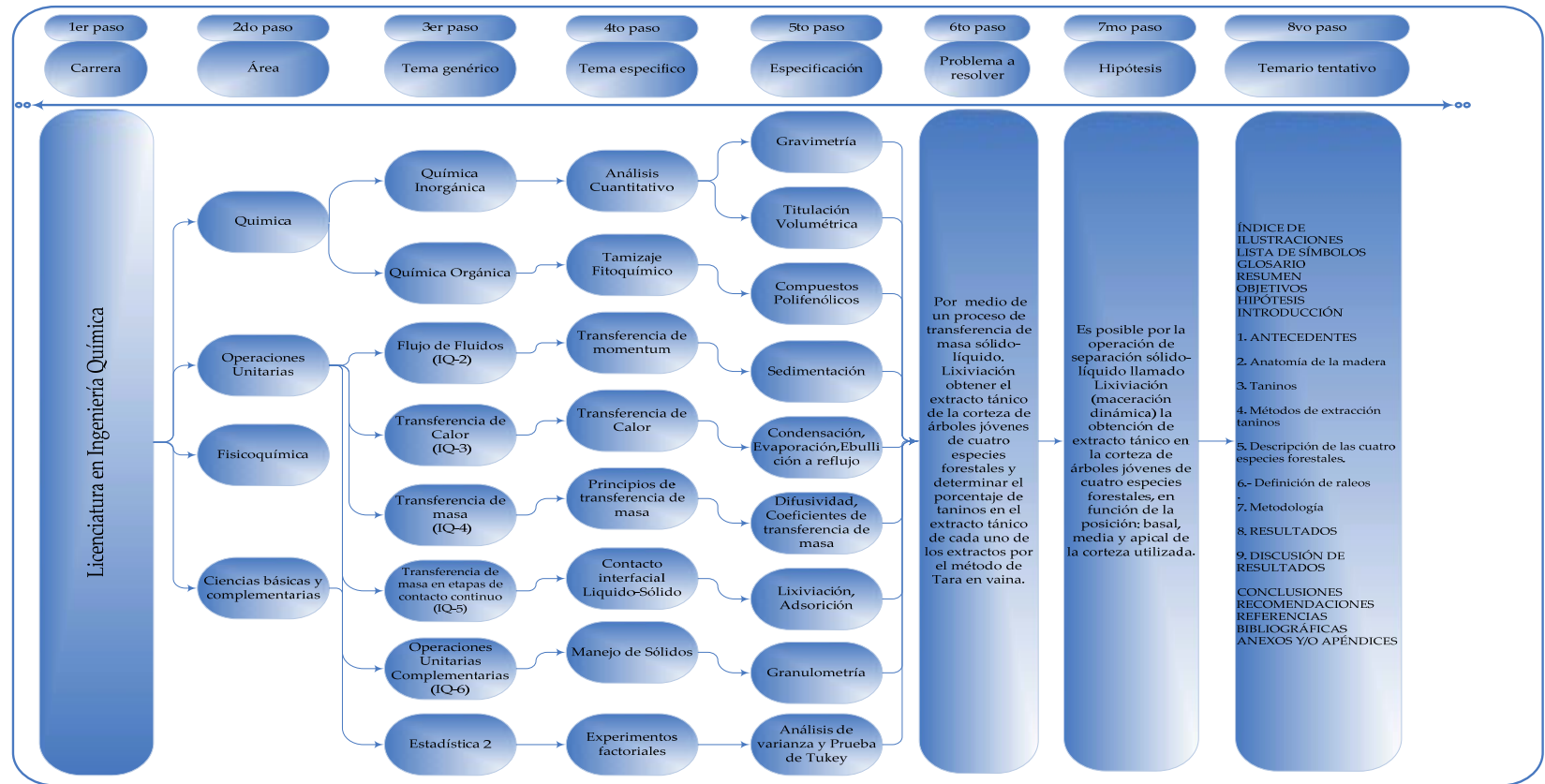
Fuente: Cámara SONY Cyber-shot DSC-W55 7.2 Mega pixeles 2.5"LCD monitor, función macro 2cm. Propiedad de Adela Marroquín.

Figura 67 Diagrama de causa y efecto para determinar las variables en el proceso de Lixiviación



Fuente: Metodología experimental.

Figura 63 Diagrama de procedimiento para la elaboración del Trabajo de Graduación de Obtención del Extracto Tánico por Maceración Dinámica de la corteza de árboles jóvenes de cuatro especies Forestales.



Fuente: Metodología experimental.

