



GUÍA DE ESTUDIO

FITOQUÍMICA



AUTORES:

PABLO GABRIEL PAZMIÑO PEÑAFIEL

VALERIA ESTEFANIA ASTUDILLO URQUIZO

GUÍA DE ESTUDIO:

FITOQUÍMICA

EDITORIAL:Instituto Superior Tecnológico
Riobamba – “Editorial ISTR”**INSTITUCIÓN:**Instituto Superior Tecnológico
Riobamba**CIUDAD, PAÍS:**

Riobamba - Ecuador

DISEÑADO Y DIAGRAMADO POR:

Ing. Diego Villacrés

REVISADO POR: Comité Científico
Académico y Propiedad intelectual
– EDITORIAL ISTR**COPYRIGHT:** © Todos los derechos
reservados**Serie N°3****ISBN:** 978-9907-806-11-3

Queda rigurosamente prohibida, sin la autorización escrita de los titulares del «Copyright», bajo las sanciones establecidas en la Ley de Propiedad Intelectual, la reproducción parcial o total de esta obra por cualquier medio o procedimiento, comprendidos en la reprografía y tratamiento informático.

AÑO 2026

CONTENIDO

PRÓLOGO.....	13	2.2.2 Parte de la planta recolectada	24
PRESENTACIÓN	14	2.2.3 Métodos de recolección	25
INTRODUCCIÓN	15	2.2.4 Manejo post-cosecha	25
UNIDAD 1	16	2.3 Consideraciones adicionales	25
GENERALIDADES.....	16	2.4 Fuentes de obtención de drogas vegetales	26
1.1 Definición de fitoquímica	16	2.4.1 Plantas silvestres.....	26
1.2 Historia	16	2.4.2 Recolección en áreas protegidas	26
1.3 Otras definiciones importantes	17	2.4.3 Bosques y selvas	26
AUTOEVALUACIÓN	19	2.4.4 Plantas de clima extremo	26
UNIDAD 2	22	2.5 Fuentes controladas o artificiales.....	27
PROCESAMIENTO DE DROGAS VEGETALES	22	2.5.1 Cultivos agrícolas controlados	27
2.1 Cultivo y recolección de las drogas vegetales.....	22	2.5.2 Cultivos en invernaderos	27
2.1.1 Selección de la especie.....	23	2.5.3 Cultivos hidropónicos	27
2.1.2 Preparación del terreno	23	2.5.4..... Micropropagación	27
2.1.3 Siembra y propagación	23	2.6 Fuentes biotecnológicas.....	28
2.1.4 Control de crecimiento y manejo agronómico	23	2.6.1 Cultivo de células y tejidos vegetales.....	28
2.1.5 Monitoreo del desarrollo	24		
2.2 Recolección de drogas vegetales.....	24		
2.2.1 Momento de la recolección	24		

2.6.2 Fermentación con microorganismos.....	28	2.11.1 Métodos de cultivo	33
2.7 Fuentes comerciales	28	2.11.2	Riego 33
2.7.1 Industria farmacéutica	29	2.11.3	Fertilización 33
2.7.2 Proveedores de fitofármacos y suplementos	29	2.11.4 Control de plagas y enfermedades	33
2.8 Comunidades locales y tradicionales.....	29	2.11.5 Manejo de malezas	34
2.8.1 Medicina tradicional	29	2.12 Factores biológicos.....	34
2.8.2 Intercambio de conocimientos locales.....	29	2.12.1 Variedad genética	34
2.9 Factores que influyen en el cultivo de drogas vegetales	29	2.12.2 Etapa de crecimiento	34
2.9.1 Factores ambientales	30	2.12.3 Interacciones simbióticas	34
2.10 Factores edáficos (del suelo) 31		2.13 Recolección de drogas vegetales.....	34
2.10.1 Tipo de suelo	31	2.13.1 Momento adecuado para la recolección	35
2.10.2 pH del suelo	32	2.14 Métodos de recolección 36	
2.10.3 Contenido de nutrientes	32	2.14.1 Recolección manual	36
2.10.4	Drenaje 32	2.14.2 Recolección mecánica	36
2.11 Factores agronómicos	33	2.15 Consideraciones para la recolección	37

2.15.1 Condiciones climáticas	37	2.21.3 Extractos líquidos o sólidos	42
2.15.2 Selección del material	37	2.22 Control de plagas y mohos	42
2.15.3 Conservación de la biodiversidad.....	37	2.23 Desecantes y control de humedad.....	43
2.16 Manejo post-cosecha.....	37	2.23.1 Desecantes en envases	43
2.16.1 Secado	38	2.24 Vacío o atmósferas modificadas	43
2.16.2..... Almacenamiento	38	2.25 Identificación de drogas vegetales.....	43
2.16.3..... Transporte	39	2.25.1 Identificación Botánica	44
2.17 Control de calidad	39	2.26 Identificación Química....	44
2.18 Conservación de plantas medicinales	39	2.26.1 Pruebas Reagentes	44
2.18.1 Secado	39	2.26.2 Cromatografía	45
2.19 Almacenamiento	40	2.26.3 Espectroscopia	45
2.19.1 Contenedores	40	2.27 3 Identificación Botánica en Campo.....	46
2.20 Congelación.....	41	2.28 Comparación con Referencias.....	46
2.21 Preparaciones y extractos	42	2.28.1 Herbarios	46
2.21.1 Tinturas	42	2.28.2 Guías Botánicas	46
2.21.2 Aceites esenciales	42		

2.29	Uso de Bases de Datos y Recursos Electrónicos	47
	AUTOEVALUACIÓN	48
	UNIDAD 3	51
	ANÁLISIS DE IDENTIDAD Y CONTROL DE CALIDAD DE LAS DROGAS VEGETALES	51
3.1	Análisis botánicos	51
3.1.1	Análisis Macroscópico	51
3.1.2	Análisis Microscópico	51
3.1.3	Análisis Químico	52
3.1.4	Análisis Fitoquímico	53
3.1.5	Análisis Ecológico y Taxonómico.....	53
3.1.6	Análisis de Calidad y Pureza	53
3.2	Características organolépticas.....	54
3.2.1	Características Visuales	54
3.2.2	Características Olfativas	55
3.2.3	Características Gustativas	55
3.2.4	Características Táctiles	55
3.2.5	Otras Características	56
3.3	Características morfológicas	56
3.4	Análisis microscópico	56
3.4.1	Preparación de Muestras	56
3.4.2	Observación Microscópica	57
3.4.3	Análisis de Partículas	57
3.4.4	Técnicas Avanzadas	58
3.4.5	Análisis de Contaminantes	58
3.5	Análisis fitoquímico	58
3.5.1	Extracción de Compuestos	59
3.5.2	Identificación de Compuestos	59
3.5.3	Pruebas Químicas Específicas	60
3.5.4	Cuantificación de Compuestos	61
3.5.5	Análisis de Perfil Fitoquímico	61
	AUTOEVALUACIÓN	62

UNIDAD 4	65	4.2.5.....Microscopía	71
ESTUDIO FITOQUÍMICO Y MÉTODOS		.....	
DE EXTRACCIÓN DE PRINCIPIOS		4.2.66. Ensayos Biológicos	71
ACTIVOS.....	65	.....	
4.1 Etapas de la investigación		4.3 Recolección.....	71
65		4.3.1Planificación y Preparación	71
4.1.1Selección de la Planta y		.....	
Preparación de la Muestra	65	4.3.2Recolección de la Muestra	72
4.1.2Extracción de Compuestos		.....	
.....	65	4.3.3Manejo y Transporte	72
4.1.3Filtración y Concentración		.....	
.....	66	4.3.4Preparación para Análisis	73
4.1.4Análisis de Compuestos		.....	
.....	66	4.3.5Documentación y Registro	73
4.1.5Caracterización de		.....	
Compuestos	67	AUTOEVALUACIÓN	75
4.1.6Evaluación Biológica		UNIDAD 5	78
.....	67	ISOPRENOIDES	78
4.1.7Documentación y Publicación		5.1 Generalidades	78
.....	68	5.2 Terpenoides.....	78
4.2 Fitoquímica.....	68	5.2.1Tipos de Terpenos	78
4.2.1Preparación de Muestras		.....	
.....	68	5.2.2Propiedades y Beneficios	79
4.2.2Pruebas Químicas Preliminares		.....	
.....	68	5.2.3Terpenos en la naturaleza	79
4.2.33. Cromatografía		.....	
.....	70	5.3 Monoterpenos.....	79
4.2.44 Espectroscopia			
.....	70		

5.3.1 Características de los Monoterpenos:.....	79	5.5.5 Diferencia entre Diterpenos y Otros Terpenos:	87
5.3.2 Ejemplos de Monoterpenos Comunes:	80	AUTOEVALUACIÓN	88
5.3.3 Propiedades y Beneficios de los Monoterpenos:.....	81	UNIDAD 6	91
5.3.4 Uso en la industria:	81	FENILPROPANOS.....	91
5.4 Sesquiterpenos.....	81	6.1 Generalidades	91
5.4.1 Características de los Sesquiterpenos:	82	6.2 Compuestos fenólicos simples y heterósidos	91
5.4.2 Ejemplos de Sesquiterpenos Comunes:	82	6.2.1 Clasificación de los Compuestos Fenólicos:	91
5.4.3 Propiedades y Beneficios de los Sesquiterpenos:	83	6.2.2 Funciones de los Compuestos Fenólicos en las Plantas:.....	92
5.4.4 Aplicaciones de los Sesquiterpenos:	83	6.2.3 Beneficios para la Salud de los Compuestos Fenólicos:	93
5.4.5 Diferencia entre Sesquiterpenos y Monoterpenos:	84	6.2.4 Fuentes Comunes de Compuestos Fenólicos en la Dieta:	94
5.5 Diterpenos	84	6.2.5 Aplicaciones Industriales:	94
5.5.1 Características de los Diterpenos:	85	6.2.6 Ejemplos de Compuestos Fenólicos:	94
5.5.2 Ejemplos de Diterpenos Comunes:	85	6.3 Cumarinas, lignanos	95
5.5.3 Propiedades y Beneficios de los Diterpenos:	86	6.3.1 Características de las Cumarinas:	95
5.5.4 Aplicaciones de los Diterpenos:	87	6.3.2 Fuentes Naturales de Cumarinas:	96
		6.3.3 Tipos Comunes de Cumarinas:	96

6.3.4Propiedades Biológicas de las Cumarinas:	97	6.5.3..... Antioxidante	105
6.3.5Usos de las Cumarinas:	97	6.5.4..... Antimicrobiana	106
6.3.6Precauciones y Toxicidad:	98	6.5.5..... Hepatoprotectora	106
6.3.7Diferencias entre Cumarinas y Otros Compuestos Fenólicos:	99	6.5.6..... Fotosensibilizante	107
6.4 Extracción.....	99	6.5.7..... Antiespasmódica	107
6.4.1Extracción por Maceración	99	6.5.8..... Neuroprotectora	107
6.4.2Extracción con Soxhlet	100	6.5.9..... Anticancerígena	108
6.4.3Extracción por Ultrasonido (Sonicación)	101	6.5.10Consideraciones Adicionales	108
6.4.4Extracción por Microondas	101	AUTOEVALUACIÓN	109
6.4.5Extracción con Fluidos Supercríticos (CO ₂ supercrítico)	102	UNIDAD 7	112
6.4.6Extracción Líquido-Líquido	103	FLAVONOIDES.....	112
6.4.7Elección del Método	104	7.1 Generalidades	112
6.5 Propiedades farmacológicas y empleos	104	7.2 Biosíntesis	112
6.5.1..... Anticoagulante	104	7.3 Distribución en la naturaleza	113
6.5.2..... Antiinflamatoria	105	7.3.1..... Frutas:	113
		7.3.2..... Verduras:	113
		7.3.3..... Legumbres:	113

7.3.4.....Té:	7.10.2.....Bayas:
..... 113	 115
7.3.5Hierbas y Especies:	7.10.3..... Manzanas:
..... 113	 116
7.4 Partes de la Planta 113	7.10.4.....Uvas:
7.4.1..... Flores:	 116
..... 113	7.10.5..... Kiwis:
7.4.2.....Hojas:	 116
..... 114	7.10.6.....Verduras
7.4.3.....Raíces:	 116
..... 114	7.10.7.....Legumbres
7.4.4Frutos y Semillas:	 116
..... 114	7.10.8..... Bebidas
7.5 Distribución Geográfica y	 116
Adaptación..... 114	7.10.9Hierbas y Especies
7.6 Función Ecológica en las	 117
Plantas 114	7.10.10Otros Alimentos
7.7 Efectos de Procesamiento y	 117
Almacenamiento..... 115	7.11 Consideraciones..... 117
7.8 Ejemplos de Distribución de	7.12 Ensayos y valoración 117
Flavonoides en Plantas Específicas	7.12.1Métodos de Extracción
115	 117
7.9 Importancia en la Dieta	7.12.2Métodos de Separación y
Humana..... 115	Identificación 118
7.10 Fuentes Vegetales	7.12.3Métodos de Cuantificación
Principales..... 115	 119
7.10.1.....Frutas	7.12.4Métodos Avanzados
..... 115	 120

7.12.5..... Consideraciones	120	7.14.1Manzanilla (Matricaria chamomilla)	123
7.13 Interés farmacológico ...	120	7.14.2Té Verde (Camellia sinensis)	123
7.13.1Propiedades Antioxidantes	120	7.14.3Hibisco (Hibiscus sabdariffa)	124
7.13.2Propiedades Antiinflamatorias	121	7.14.4Ginkgo Biloba (Ginkgo biloba)	124
7.13.3Efectos Cardiovasculares	121	7.14.5Menta (Mentha spp.)	124
7.13.4..... Propiedades Anticancerígenas	121	7.14.6Rosa Mosqueta (Rosa canina)	124
7.13.5Propiedades Antibacterianas y Antivirales.....	121	7.14.7Echinacea (Echinacea purpurea y Echinacea angustifolia)	124
7.13.6Efectos Neuroprotectores	122	7.14.8Cardo Mariano (Silybum marianum)	124
7.13.7Propiedades Antidiabéticas	122	7.14.9Grosellero Negro (Ribes nigrum).....	125
7.13.8Efectos Estrogénicos y Hormono-Moduladores	122	7.14.10Cúrcuma (Curcuma longa)	125
7.13.9Beneficios para la Salud Digestiva	122	7.14.11Sauce (Salix spp.)	125
7.13.10..... Propiedades Hepatoprotectoras.....	122	7.14.12Regaliz (Glycyrrhiza glabra)	125
7.13.11Investigación en Curso	123	7.14.13Consideraciones en el Uso de Plantas Medicinales	125
7.13.12Consideraciones de Seguridad	123	AUTOEVALUACIÓN	127
7.14 Drogas vegetales clásicas 123		UNIDAD 8	130

TANINOS.....	130	8.5.8Electroforesis Capilar (CE)	135
8.1 Generalidades	130		
8.2 Definición. Clasificación	130	8.6 Interés en fitoquímica....	136
8.2.1Taninos Hidrolizables:		AUTOEVALUACIÓN	138
.....	130	BIBLIOGRAFÍA	141
8.2.2Taninos Condensados			
(Proantocianidinas):	130		
8.3 Estructura química y			
distribución	130		
8.4 Métodos de extracción	131		
8.4.1Extracción con Solventes			
.....	131		
8.5 Identificación	132		
8.5.1Pruebas Químicas Cualitativas			
.....	132		
8.5.2Cromatografía en Capa Fina			
(TLC)	133		
8.5.3Espectrofotometría UV-Vis			
.....	133		
8.5.4Cromatografía Líquida de Alta			
Resolución (HPLC).....	133		
8.5.5Cromatografía de Gases (GC)			
.....	134		
8.5.6Cromatografía de Masas			
Espectrometría (LC-MS/MS)	134		
8.5.7Resonancia Magnética			
Nuclear (RMN).....	135		

PRÓLOGO

La presente guía de estudio de Fitoquímica ha sido elaborada con el propósito de apoyar el proceso formativo de los estudiantes del Instituto Superior Tecnológico Riobamba, en la carrera de Asistencia en Farmacia. Este material busca servir como una herramienta pedagógica que facilite la comprensión de los fundamentos, procesos y aplicaciones de los principios activos presentes en las plantas medicinales y en otros recursos naturales de interés farmacéutico.

La fitoquímica, como disciplina, permite al futuro profesional integrar conocimientos científicos sobre la composición química de los vegetales, su relación con la actividad biológica y sus potenciales aplicaciones terapéuticas. En este sentido, la guía no solo presenta contenidos teóricos, sino que también orienta hacia la reflexión crítica, la investigación y la aplicación práctica, fortaleciendo competencias necesarias para el ejercicio profesional responsable y ético en el ámbito farmacéutico.

Con este material, se pretende fomentar en los estudiantes el interés por la investigación y la valoración de la biodiversidad vegetal, reconociendo el papel esencial de las plantas en la salud y el bienestar humano. Asimismo, se busca motivar un aprendizaje autónomo y significativo que contribuya a la formación integral de profesionales capaces de responder a las necesidades de la sociedad con innovación y compromiso.

PRESENTACIÓN

La guía de estudio de Fitoquímica que ponemos a disposición de los estudiantes del Instituto Superior Tecnológico Riobamba ha sido diseñada como un recurso didáctico de apoyo al aprendizaje, orientado a consolidar los conocimientos adquiridos en clase y a fortalecer las competencias necesarias en el área farmacéutica.

Este material presenta de manera organizada los principales contenidos de la asignatura, incluyendo fundamentos teóricos, aplicaciones prácticas y orientaciones metodológicas que facilitan la comprensión de los compuestos bioactivos de origen vegetal y su importancia en la salud. Asimismo, incorpora actividades de estudio y reflexión que buscan estimular la investigación, el pensamiento crítico y el aprendizaje autónomo.

La guía está estructurada en módulos que permiten al estudiante avanzar de lo general a lo específico, articulando los conceptos básicos de la química de productos naturales con la práctica profesional en el campo de la farmacia. De esta manera, se busca que el alumno no solo adquiera conocimientos, sino que también desarrolle habilidades y actitudes que le permitan valorar la riqueza de la biodiversidad vegetal y su potencial terapéutico.

Confiamos en que esta guía será un apoyo efectivo para el proceso formativo, contribuyendo a la formación de profesionales competentes, éticos y comprometidos con el desarrollo de la salud y el bienestar de la comunidad.

INTRODUCCIÓN

La Fitoquímica constituye la rama de la química que se ocupa del estudio de los metabolitos secundarios presentes en las plantas, sus estructuras químicas, propiedades fisicoquímicas, biosíntesis y actividades biológicas. La caracterización de estos compuestos —como alcaloides, flavonoides, terpenoides, glucósidos y aceites esenciales— es fundamental para la comprensión de su potencial farmacológico, toxicológico y terapéutico.

El conocimiento fitoquímico permite al profesional de farmacia interpretar la relación estructura-actividad de los compuestos vegetales, así como seleccionar métodos de extracción, aislamiento, purificación e identificación adecuados, garantizando la preservación de su integridad química y biológica. Además, la fitoquímica proporciona la base científica para la formulación de productos farmacéuticos, nutracéuticos y cosmeceúticos, contribuyendo al desarrollo de alternativas terapéuticas seguras y eficaces.

La presente guía de estudio ha sido diseñada con el propósito de ofrecer a los estudiantes del Instituto Superior Tecnológico Riobamba un recurso sistemático y técnico que facilite la comprensión de los principios fundamentales de la fitoquímica, integrando teoría, metodología analítica y aplicaciones farmacológicas. Su estructura modular permite abordar los conceptos de manera progresiva, promoviendo el desarrollo de competencias críticas, analíticas y experimentales, esenciales para la práctica profesional en el ámbito farmacéutico.

Este material busca consolidar en los estudiantes una formación sólida en fitoquímica, fomentando la capacidad de análisis y la aplicación de los conocimientos adquiridos en la investigación, la innovación y la optimización de productos derivados de plantas medicinales, en concordancia con los estándares científicos y éticos de la profesión.

UNIDAD 1

GENERALIDADES

1.1 Definición de fitoquímica

La fitoquímica es la disciplina científica que tiene como objeto la obtención de los compuestos elaborados por las plantas a través de la extracción, aislamiento, purificación y elucidación de la estructura química. También le interesa la caracterización de la actividad biológica de diversas sustancias producidas por los vegetales que benefician o perjudican la salud humana, a las plantas, animales y microorganismos.

El término fitoquímico fito viene de φυτόν (phuton, planta). Se usa para las sustancias de las que están hechas las plantas y realizan diferentes funciones útiles para los hombres como alimento, aromas, saborizantes, colorantes, espesantes, insecticidas, herbicidas, hormonas, entre otros. El término fitoquímico se usa principalmente para hacer referencia a los compuestos bioactivos de las plantas; actualmente con frecuencia al estudiarlas químicamente se encuentran nuevas estructuras que son útiles en la producción de nuevos medicamentos (Susana et al., 2002).

1.2 Historia

Durante billones de años de evolución la naturaleza ha desarrollado una enorme diversidad de especies. Se estiman al menos 250,000 especies diferentes de plantas, más de 30 millones de especies de insectos, 1.5 millones de especies de hongos y números similares de algas. Todas estas especies coexisten en los ecosistemas e interaccionan entre sí en varias formas. Los compuestos químicos que producen estas interacciones juegan un papel importante en la defensa, simbiosis y polinización. Considerando el número de organismos y el número de interacciones posibles entre ellos, no es

sorprendente la enorme variedad de los metabolitos que se encuentran dentro de los organismos (Sampietro et al., 1997).

El hombre ha usado a las plantas para su alimentación, en su vestido, como materiales de construcción y para combatir enfermedades. En un punto de la historia científica comenzaron los estudios químicos de las plantas. Estos conducen a la clasificación de dos tipos de compuestos: los metabolitos primarios y los metabolitos secundarios.

1.3 Otras definiciones importantes

Metabolitos secundarios: Compuestos orgánicos producidos por las plantas que no son esenciales para su crecimiento, pero que juegan roles en la defensa, comunicación y adaptación al ambiente.

Alcaloides: Grupo de metabolitos secundarios de origen vegetal que contienen nitrógeno y suelen tener efectos biológicos importantes, como la morfina y la cafeína.

Flavonoides: Clase de metabolitos secundarios que actúan como antioxidantes, responsables de colores en flores y frutas, y tienen beneficios para la salud.

Terpenoides: Grandes compuestos derivados de terpenos, constituyentes de aceites esenciales de las plantas, con propiedades medicinales y aromáticas.

Fenoles: Compuestos que contienen uno o más grupos hidroxilo unidos a un anillo aromático, con propiedades antioxidantes y protectoras.

Saponinas: Compuestos glicósidos que se encuentran en las plantas, conocidos por sus propiedades espumantes y efectos sobre el colesterol.

Taninos: Metabolitos secundarios con propiedades astringentes que se encuentran en muchas plantas, usados en medicina tradicional y en la industria alimentaria.

Glucósidos: Compuestos que contienen un azúcar unido a otro compuesto, generalmente derivados de plantas, con aplicaciones farmacológicas.

Lignanós: Clase de fitoquímicos que actúan como antioxidantes y pueden tener propiedades anticancerígenas.

Isoprenoides: Familia de compuestos derivados del isopreno, involucrados en la síntesis de hormonas, pigmentos y otros metabolitos secundarios.

Quinonas: Compuestos que juegan un papel en la fotosíntesis y la respiración celular en plantas, y tienen aplicaciones medicinales.

Ácidos fenólicos: Subgrupo de los fenoles, con potentes propiedades antioxidantes y posibles efectos antiinflamatorios.

Cumarinas: Compuestos aromáticos con actividad anticoagulante, se encuentran en varias plantas y son usados en terapias médicas.

Fitoesteroles: Esteroles vegetales que estructuralmente se asemejan al colesterol y son útiles para reducir los niveles de colesterol en humanos.

Carotenoides: Pigmentos vegetales responsables de los colores rojo, amarillo y anaranjado en las plantas, con importantes funciones antioxidantes.

Antocianinas: Tipo de flavonoides que proporcionan coloraciones azul, morada y roja a las frutas y flores, y tienen propiedades antioxidantes.

Alil sulfuros: Compuestos de azufre que se encuentran en plantas como el ajo y la cebolla, conocidos por sus propiedades antimicrobianas y cardiovasculares.

Lectinas: Proteínas que se encuentran en muchas plantas, que pueden unirse a carbohidratos y desempeñar roles en la defensa de las plantas.

Aceites esenciales: Mezclas de compuestos volátiles, principalmente terpenoides, responsables de los aromas de las plantas y con múltiples aplicaciones en medicina, cosmética y aromaterapia.

AUTOEVALUACIÓN

1. **Compuestos orgánicos producidos por las plantas que no son esenciales para su crecimiento, pero que juegan roles en la defensa, comunicación y adaptación al ambiente.**
 - A. Flavonoides
 - B. Alcaloides
 - C. Metabolito secundario
 - D. Terpenos
2. **Grupo de metabolitos secundarios de origen vegetal que contienen nitrógeno y suelen tener efectos biológicos importantes, como la morfina y la cafeína.**
 - A. Flavonoides
 - B. Alcaloides
 - C. Metabolito secundario
 - D. Terpenos
3. **Clase de metabolitos secundarios que actúan como antioxidantes, responsables de colores en flores y frutas, y tienen beneficios para la salud.**
 - A. Flavonoides
 - B. Alcaloides
 - C. Metabolito secundario
 - D. Terpenos
4. **Grandes compuestos derivados de terpenos, constituyentes de aceites esenciales de las plantas, con propiedades medicinales y aromáticas.**
 - A. Flavonoides

- B. Alcaloides
 - C. Metabolito secundario
 - D. Terpenos
- 5. Compuestos que contienen uno o más grupos hidroxilo unidos a un anillo aromático, con propiedades antioxidantes y protectoras.**
- A. Terpenoides
 - B. Fenoles
 - C. Saponinas
 - D. Taninos
- 6. Compuestos glicósidos que se encuentran en las plantas, conocidos por sus propiedades espumantes y efectos sobre el colesterol.**
- A. Terpenoides
 - B. Fenoles
 - C. Saponinas
 - D. Taninos
- 7. Metabolitos secundarios con propiedades astringentes que se encuentran en muchas plantas, usados en medicina tradicional y en la industria alimentaria.**
- A. Terpenoides
 - B. Fenoles
 - C. Saponinas
 - D. Taninos
- 8. Compuestos que contienen un azúcar unido a otro compuesto, generalmente derivados de plantas, con aplicaciones farmacológicas.**
- A. Flavonoides

- B. Glucósidos
- C. Lignanos
- D. Isoprenoides

9. Clase de fitoquímicos que actúan como antioxidantes y pueden tener propiedades anticancerígenas.

- A. Flavonoides
- B. Glucósidos
- C. Lignanos
- D. Isoprenoides

10. Familia de compuestos derivados del isopreno, involucrados en la síntesis de hormonas, pigmentos y otros metabolitos secundarios.

- A. Flavonoides
- B. Glucósidos
- C. Lignanos
- D. Isoprenoides

UNIDAD 2

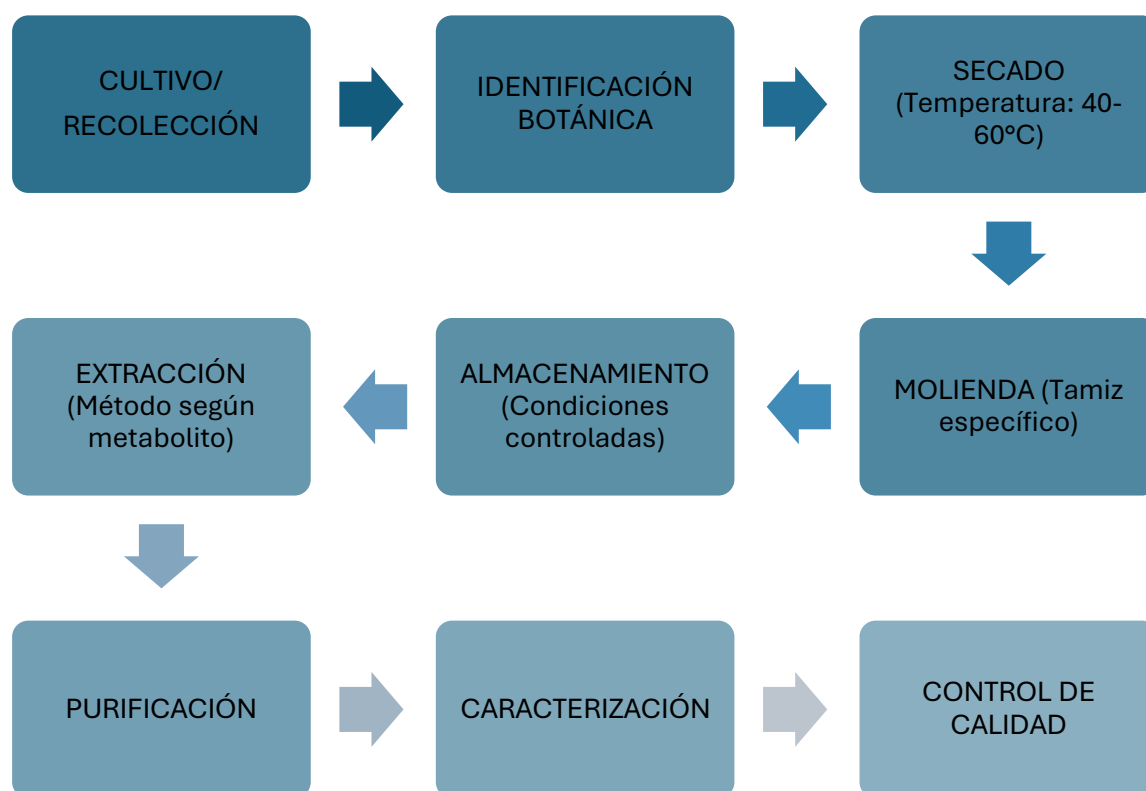
PROCESAMIENTO DE DROGAS VEGETALES

2.1 Cultivo y recolección de las drogas vegetales

El cultivo de plantas medicinales implica una serie de etapas controladas para garantizar la correcta producción de metabolitos secundarios, que son los compuestos responsables de sus propiedades medicinales (Dorta et al., 2014). Los pasos básicos incluyen:

Figura 1

Proceso completo de obtención de drogas vegetales.



Nota. Adaptado de "Plantas medicinales y aromáticas: estudio, cultivo y procesado", por F. Muñoz López de Bustamante, 2002, Mundi-Prensa, p. 145. Copyright 2002 por Ediciones Mundi-Prensa.

2.1.1 Selección de la especie

- **Identificación y selección de la planta medicinal adecuada:** Dependiendo de los principios activos que se deseen obtener, se selecciona la especie adecuada. A menudo, las plantas cultivadas deben ser identificadas botánicamente con precisión para evitar confusiones con especies similares (Lebaka et al., 2018).

2.1.2 Preparación del terreno

- **Tipo de suelo y condiciones de cultivo:** Cada planta tiene requisitos específicos de suelo (pH, fertilidad, drenaje) y condiciones ambientales (temperatura, luz, humedad) para asegurar el crecimiento adecuado.
- **Uso de fertilizantes y control de plagas:** Para optimizar la producción de metabolitos secundarios, se utilizan prácticas agronómicas como el uso de fertilizantes adecuados y control biológico de plagas (Liao et al., 2010).

2.1.3 Siembra y propagación

- **Métodos de siembra:** Dependiendo de la planta, puede sembrarse por semillas, esquejes, división de raíces u otros métodos de propagación vegetativa.
- **Espaciado y manejo:** Se deben respetar las distancias entre plantas para asegurar el correcto desarrollo y evitar la competencia por luz y nutrientes (Liao et al., 2010).

2.1.4 Control de crecimiento y manejo agronómico

- **Condiciones climáticas y de riego:** Algunas plantas requieren condiciones controladas en cuanto a riego y temperatura para optimizar la síntesis de compuestos activos.
- **Sombra y exposición solar:** Ciertas plantas medicinales requieren un balance específico entre la luz solar directa y la sombra para generar sus principios activos en concentraciones óptimas (Liao et al., 2010).

2.1.5 Monitoreo del desarrollo

- **Control del contenido de metabolitos secundarios:** Durante el cultivo, se puede monitorear la concentración de los metabolitos de interés a través de análisis de laboratorio. Esto puede guiar las decisiones sobre el momento de la recolección (Liao et al., 2010).

2.2 Recolección de drogas vegetales

La recolección de plantas medicinales es un proceso crítico, ya que el momento de la cosecha, las condiciones y los métodos empleados afectan significativamente la calidad del material vegetal y la concentración de los principios activos (Bonilla Bonilla & Jiménez Herrera, 2016).

2.2.1 Momento de la recolección

- **Fase de crecimiento óptima:** Las concentraciones de metabolitos secundarios varían durante el ciclo de vida de la planta. La recolección se realiza cuando los principios activos están en su máxima concentración, lo que puede ocurrir en una etapa específica de crecimiento (por ejemplo, durante la floración, fructificación o en un momento particular del día).
- **Condiciones climáticas:** Se deben evitar días lluviosos o muy húmedos para evitar la recolección de material vegetal húmedo, lo que puede favorecer el crecimiento de moho y otros contaminantes (Bonilla Bonilla & Jiménez Herrera, 2016).

2.2.2 Parte de la planta recolectada

Selección del órgano adecuado: Dependiendo de la planta y el metabolito secundario de interés, la recolección se centra en una parte específica de la planta:

- **Raíces:** Recolectadas después de la temporada de crecimiento o al final del ciclo vegetativo.
- **Hojas:** Cosechadas cuando están completamente desarrolladas.
- **Flores:** Recolectadas cuando están abiertas.

- **Semillas y frutos:** Cosechados cuando están completamente maduros.
- **Corteza:** Recolectada en períodos específicos para no dañar la planta.

2.2.3 Métodos de recolección

Manual o mecánico: En función de la planta y la extensión del cultivo, la recolección puede ser manual (especialmente en plantas delicadas o de alta calidad) o mediante maquinaria en cultivos a gran escala.

2.2.4 Manejo post-cosecha

- **Secado:** Es uno de los procesos más importantes, ya que una correcta deshidratación evita la degradación de los principios activos. El secado se debe realizar a temperaturas controladas y con buena circulación de aire.
- **Almacenamiento:** El material vegetal debe ser almacenado en condiciones que eviten la humedad, la luz directa y la oxidación. Los envases sellados, opacos y en lugares frescos son esenciales para mantener la calidad.
- **Procesamiento inicial:** Antes de ser utilizados, los materiales recolectados pueden someterse a un procesamiento preliminar, como la tritución, el tamizado o la extracción de principios activos.

2.3 Consideraciones adicionales

- **Certificación y estándares de calidad:** Los cultivos de drogas vegetales suelen estar sujetos a normativas que garantizan la ausencia de contaminantes y el correcto manejo agrícola (Domínguez-Fernández et al., 2012) (como la agricultura orgánica o el uso de prácticas sostenibles).
- **Cosecha sostenible:** En plantas silvestres, la recolección debe realizarse de manera sostenible para evitar la sobreexplotación y la extinción de especies valiosas.

2.4 Fuentes de obtención de drogas vegetales

Estas fuentes provienen de la recolección directa de plantas silvestres que crecen en su hábitat natural sin intervención humana en su cultivo (Gonzalez, 2021).

2.4.1 Plantas silvestres

- **Recolección en su hábitat natural:** Muchas drogas vegetales se obtienen a partir de plantas que crecen en estado silvestre en su entorno nativo, como bosques, selvas, praderas y montañas. Este es el caso de muchas especies con propiedades medicinales tradicionales.
- **Recolección sostenible:** Es importante que la recolección de plantas silvestres se realice de manera sostenible para no agotar los recursos naturales y proteger la biodiversidad (Gonzalez, 2021).

2.4.2 Recolección en áreas protegidas

- **Reservas y parques naturales:** En algunos casos, las drogas vegetales se obtienen de plantas protegidas dentro de áreas naturales, como reservas forestales y parques nacionales, donde su recolección está regulada para preservar el equilibrio ecológico.

2.4.3 Bosques y selvas

- **Amazonía y otras selvas tropicales:** Muchas drogas vegetales provienen de selvas tropicales, donde las plantas medicinales son una fuente clave para las comunidades locales y la investigación farmacológica.

2.4.4 Plantas de clima extremo

- **Desiertos y montañas:** Algunas plantas medicinales se desarrollan en ambientes extremos, como desiertos o zonas montañosas. Estas plantas a menudo producen metabolitos secundarios únicos debido a las condiciones difíciles en las que crecen.

2.5 Fuentes controladas o artificiales

Estas fuentes incluyen cultivos planificados de plantas medicinales y el uso de tecnologías avanzadas para garantizar la disponibilidad constante y de alta calidad de las drogas vegetales (Gonzalez, 2021).

2.5.1 Cultivos agrícolas controlados

- **Agricultura convencional:** Muchas plantas medicinales se cultivan a gran escala en plantaciones agrícolas. Los agricultores utilizan prácticas de cultivo controladas para maximizar la producción de principios activos.
- **Agricultura orgánica:** En algunos casos, las plantas medicinales se cultivan sin el uso de pesticidas o fertilizantes químicos, siguiendo los principios de la agricultura orgánica, para producir drogas vegetales libres de contaminantes.

2.5.2 Cultivos en invernaderos

- **Condiciones controladas:** Algunas plantas medicinales sensibles o raras se cultivan en invernaderos o viveros donde se controlan factores como la luz, la temperatura, la humedad y los nutrientes del suelo, lo que permite un crecimiento óptimo y la producción constante de principios activos.

2.5.3 Cultivos hidropónicos

- **Crecimiento en soluciones acuosas:** La hidroponía es un método de cultivo en el que las plantas medicinales se desarrollan en soluciones de nutrientes en lugar de en el suelo. Esto permite un control más preciso sobre la absorción de nutrientes y puede aumentar la calidad de los compuestos medicinales.

2.5.4 Micropropagación

- **Técnicas de cultivo in vitro:** La micropropagación es una técnica de laboratorio que permite cultivar plantas a partir de pequeñas secciones

de tejido vegetal (explantes). Esto se utiliza especialmente para especies raras o en peligro de extinción, o para obtener clones genéticamente idénticos con altos rendimientos de metabolitos secundarios.

2.6 Fuentes biotecnológicas

La biotecnología vegetal ha desarrollado nuevos métodos para obtener drogas vegetales sin necesidad de cultivar grandes cantidades de plantas (Luz, 2003).

2.6.1 Cultivo de células y tejidos vegetales

- **Células en suspensión:** Se pueden cultivar células vegetales en medios líquidos dentro de biorreactores, lo que permite la producción de metabolitos secundarios en condiciones controladas (Luz, 2003).
- **Ingeniería genética:** En algunos casos, se utilizan técnicas de modificación genética para mejorar la producción de compuestos medicinales específicos en plantas, sin alterar significativamente su estructura genética (Luz, 2003).

2.6.2 Fermentación con microorganismos

- **Simbiosis con bacterias o hongos:** Algunos microorganismos, como bacterias o hongos, pueden ser utilizados para producir metabolitos secundarios presentes en plantas medicinales. Esto se hace mediante procesos de fermentación, lo que permite una producción a gran escala sin necesidad de recolectar la planta.

2.7 Fuentes comerciales

Empresas dedicadas a la producción y comercialización de drogas vegetales suelen ofrecer materiales de origen vegetal que han sido obtenidos a través de procesos controlados para garantizar su calidad y seguridad (Madaleno & Montero, 2012).

2.7.1 Industria farmacéutica

- **Laboratorios:** La industria farmacéutica colabora con agricultores o emplea técnicas de cultivo controlado para obtener las materias primas necesarias para la producción de medicamentos basados en plantas.

2.7.2 Proveedores de fitofármacos y suplementos

- **Productores especializados:** Existen proveedores que se especializan en el cultivo y recolección de plantas medicinales para la producción de suplementos dietéticos y fitofármacos, siguiendo estándares de calidad y regulaciones internacionales.

2.8 Comunidades locales y tradicionales

2.8.1 Medicina tradicional

- **Pueblos indígenas y comunidades rurales:** En muchos lugares del mundo, las comunidades locales han utilizado plantas medicinales durante siglos. Estas comunidades suelen recolectar y usar plantas de su entorno natural para tratar enfermedades y mantener la salud. La recolección a menudo se realiza de manera tradicional, basada en el conocimiento ancestral (Janni, 2002).

2.8.2 Intercambio de conocimientos locales

- **Etnobotánica:** Muchas investigaciones sobre plantas medicinales se basan en el conocimiento etnobotánico, es decir, en la relación que las comunidades tienen con las plantas. Esto también se utiliza como fuente de nuevas drogas vegetales.

2.9 Factores que influyen en el cultivo de drogas vegetales

El cultivo de drogas vegetales, es decir, de plantas medicinales y aromáticas, está influenciado por diversos factores que afectan su crecimiento, desarrollo y, especialmente, la producción de los metabolitos secundarios responsables de sus propiedades terapéuticas. Estos factores se dividen en **factores ambientales, agronómicos y biológicos**, que deben controlarse

cuidadosamente para asegurar la calidad y cantidad de los principios activos (Muñoz López de Bustamante, 2002).

2.9.1 Factores ambientales

2.9.1.1 Clima

El clima tiene una influencia crucial en el cultivo de drogas vegetales, ya que cada planta tiene requisitos específicos para su óptimo crecimiento (Muñoz López de Bustamante, 2002).

- **Temperatura:** Las plantas medicinales tienen un rango de temperatura óptimo. Algunas especies crecen mejor en climas cálidos (como los tropicales), mientras que otras prefieren climas templados o fríos. La temperatura afecta tanto el crecimiento vegetativo como la producción de metabolitos secundarios.
- **Humedad:** La cantidad de humedad en el ambiente es fundamental. Algunas plantas requieren alta humedad, mientras que otras crecen mejor en condiciones secas. La humedad excesiva puede favorecer el desarrollo de enfermedades fúngicas.
- **Precipitaciones:** La cantidad y distribución de las lluvias son cruciales, ya que influye en el contenido de agua del suelo y la salud de la planta. Un exceso de agua puede causar encharcamiento y pudrición de las raíces, mientras que la sequía puede reducir la producción de principios activos.
- **Viento:** El viento puede afectar la estructura de las plantas y, en algunos casos, la producción de principios activos. En áreas de fuertes vientos, se pueden necesitar barreras naturales o artificiales para proteger los cultivos.

2.9.1.2 Luz solar

La luz solar es esencial para la fotosíntesis y el crecimiento de las plantas. La **intensidad de la luz**, la **duración del día** y la **exposición solar** influyen en la producción de metabolitos secundarios (Muñoz López de Bustamante, 2002):

- **Fotoperiodo:** Algunas plantas medicinales son fotoperiódicas, es decir, su desarrollo y floración dependen de la duración del día. Un fotoperiodo adecuado puede estimular la síntesis de principios activos.
- **Calidad de la luz:** La luz de ciertas longitudes de onda puede estimular la producción de metabolitos secundarios. Por ejemplo, en algunos cultivos de plantas aromáticas, la luz UV puede aumentar la síntesis de aceites esenciales.

2.9.1.3 Altitud

La altitud influye en factores como la temperatura, la intensidad de la luz y la presión atmosférica. A mayor altitud, las temperaturas tienden a ser más bajas y la radiación solar más intensa, lo que puede afectar el crecimiento de las plantas y la concentración de compuestos activos (Muñoz López de Bustamante, 2002).

2.10 Factores edáficos (del suelo)

2.10.1 Tipo de suelo

El tipo de suelo es determinante para el cultivo de plantas medicinales, ya que afecta la disponibilidad de nutrientes, la retención de agua y el drenaje (Muñoz López de Bustamante, 2002).

- **Textura del suelo:** Suelos arenosos, arcillosos o francos tienen diferentes capacidades para retener agua y nutrientes. Las plantas medicinales generalmente prefieren suelos bien drenados, como los suelos franco-arenosos.
- **Profundidad:** Las plantas con raíces profundas necesitan suelos que permitan un crecimiento adecuado de las raíces, mientras que otras especies, con raíces más superficiales, pueden adaptarse a suelos poco profundos.

2.10.2 pH del suelo

El pH del suelo (acidez o alcalinidad) es clave para la absorción de nutrientes por parte de las plantas. Muchas especies medicinales tienen preferencias de pH específicas (Muñoz López de Bustamante, 2002):

- **Suelos ácidos:** Algunas plantas como el ginseng crecen mejor en suelos ligeramente ácidos (pH 5.5 - 6.5).
- **Suelos alcalinos:** Otras plantas pueden requerir suelos con un pH más elevado, cercanos a 7 o más.

2.10.3 Contenido de nutrientes

La disponibilidad de nutrientes como nitrógeno, fósforo, potasio, calcio, y micronutrientes es esencial para el desarrollo de las plantas y la producción de principios activos (Muñoz López de Bustamante, 2002).

- **Fertilización:** Los niveles de nutrientes en el suelo se pueden mejorar con la adición de fertilizantes orgánicos o químicos. Sin embargo, un exceso de fertilización puede alterar la composición química de las plantas y reducir la producción de metabolitos secundarios.
- **Materia orgánica:** Un contenido adecuado de materia orgánica mejora la estructura del suelo y la disponibilidad de nutrientes, además de favorecer la retención de agua y la actividad microbiana beneficiosa.

2.10.4 Drenaje

El buen drenaje del suelo es esencial para evitar problemas como la pudrición de raíces y el encharcamiento, que pueden comprometer la salud de las plantas medicinales. Algunas plantas, como las que producen aceites esenciales, requieren suelos bien drenados para mantener su vigor y producción (Muñoz López de Bustamante, 2002).

2.11 Factores agronómicos

2.11.1 Métodos de cultivo

Los métodos y prácticas agronómicas son determinantes en la calidad del producto final (Méndez, 2017).

- **Sistemas de cultivo:** El tipo de sistema empleado (monocultivo, policultivo o cultivo en terrazas) influye en la calidad y cantidad de las drogas vegetales.
- **Prácticas de siembra:** La densidad de siembra y el espaciamiento entre plantas afectan la competencia por luz, agua y nutrientes.

2.11.2 Riego

La cantidad y la frecuencia de riego son factores clave. Un exceso de riego puede causar problemas de pudrición y reducir la concentración de metabolitos secundarios, mientras que un riego insuficiente puede inhibir el crecimiento de la planta (Méndez, 2017).

2.11.3 Fertilización

Una fertilización adecuada asegura que las plantas medicinales tengan los nutrientes necesarios para su desarrollo y producción de principios activos. El tipo de fertilizante, su cantidad y el momento de aplicación deben ser adecuados para cada planta.

2.11.4 Control de plagas y enfermedades

Las plagas y enfermedades pueden reducir la calidad y el rendimiento de las drogas vegetales. El uso de métodos de control integrado de plagas (IPM, por sus siglas en inglés), que incluyen el uso de controles biológicos, prácticas culturales y productos químicos específicos, es fundamental para minimizar el daño (Méndez, 2017).

2.11.5 Manejo de malezas

Las malezas compiten por agua, luz y nutrientes con las plantas medicinales. Un manejo adecuado de las malezas, que puede incluir el desmalezado manual, el uso de acolchados o la aplicación de herbicidas, es fundamental para garantizar la calidad del cultivo (Méndez, 2017).

2.12 Factores biológicos

2.12.1 Variedad genética

La selección de la variedad adecuada de la planta medicinal influye en su rendimiento y en la producción de principios activos. Las diferentes variedades de la misma especie pueden tener variaciones en la concentración de metabolitos secundarios, por lo que se seleccionan las que tienen mayores contenidos de los compuestos deseados (Méndez, 2017).

2.12.2 Etapa de crecimiento

El contenido de metabolitos secundarios varía a lo largo del ciclo de vida de la planta. Determinar el momento adecuado para la cosecha (floración, fructificación, etc.) es clave para obtener la máxima concentración de principios activos.

2.12.3 Interacciones simbióticas

Algunas plantas medicinales dependen de relaciones simbióticas con microorganismos del suelo, como micorrizas o bacterias fijadoras de nitrógeno, para mejorar la absorción de nutrientes y optimizar la producción de metabolitos (Méndez, 2017).

2.13 Recolección de drogas vegetales

La **recolección de drogas vegetales** es un proceso clave dentro de la producción de plantas medicinales, ya que el momento, las técnicas y el manejo post-cosecha determinan la calidad y eficacia de los principios activos que contienen. El término "drogas vegetales" se refiere a las partes de las plantas que se recolectan para obtener los metabolitos secundarios de

interés terapéutico o industrial, tales como alcaloides, flavonoides, aceites esenciales, entre otros (Méndez, 2017).

2.13.1 Momento adecuado para la recolección

Elegir el momento correcto es crucial para asegurar la máxima concentración de principios activos en la planta. Los factores a tener en cuenta incluyen:

2.13.1.1 Fase de crecimiento o desarrollo de la planta

Cada parte de la planta tiene un momento óptimo para ser recolectada, basado en la acumulación de metabolitos secundarios.

- **Raíces:** Generalmente se recolectan en otoño o invierno, cuando la planta ha terminado su ciclo de crecimiento y los nutrientes y metabolitos se almacenan en la raíz.
- **Hojas:** Se deben recolectar cuando están completamente desarrolladas, pero antes de que comiencen a secarse o deteriorarse. Generalmente, esto ocurre al principio o en la mitad del ciclo vegetativo de la planta.
- **Flores:** Las flores se recolectan cuando están completamente abiertas, pero antes de que se marchiten. En algunos casos, se recolectan en botones florales para preservar los principios activos.
- **Frutos y semillas:** Se recolectan cuando están completamente maduros. En muchas especies, los principios activos alcanzan su concentración máxima en el momento de la maduración.
- **Cortezas:** Se recolectan generalmente en primavera u otoño, ya que en estos períodos la savia de la planta se mueve activamente, lo que facilita el desprendimiento de la corteza sin dañar el árbol.

2.13.1.2 Momento del día

El contenido de principios activos puede variar a lo largo del día, por lo que el momento de recolección también depende del ciclo circadiano de la planta (Méndez, 2017).

- **Mañanas soleadas:** Muchas plantas medicinales deben recolectarse por la mañana, después de que el rocío se haya evaporado, para evitar la recolección de material húmedo que pueda favorecer el crecimiento de mohos.
- **Tarde:** Algunas plantas, especialmente las que contienen aceites esenciales, pueden tener concentraciones más altas de metabolitos en la tarde, cuando la luz solar ha estimulado su producción.

2.14 Métodos de recolección

Existen dos principales métodos de recolección de drogas vegetales, que dependen de la escala de producción y del tipo de planta (Méndez, 2017).

2.14.1 Recolección manual

Este método es el más utilizado para plantas delicadas o en pequeñas explotaciones, donde se necesita cuidado y precisión. La recolección manual tiene las siguientes características:

- **Corte cuidadoso:** Se utiliza para recolectar partes específicas de la planta sin dañarla. Por ejemplo, en plantas perennes se deben cortar las partes aéreas sin afectar las raíces, para que puedan regenerarse.
- **Selección de partes:** Se seleccionan solo las partes sanas de la planta, eliminando aquellas que están dañadas o enfermas.
- **Menos daño al entorno:** La recolección manual es más selectiva y, por lo tanto, menos invasiva para el medio ambiente, especialmente en la recolección silvestre.

2.14.2 Recolección mecánica

Este método se utiliza en cultivos a gran escala, donde se necesita eficiencia y rapidez. Las máquinas recolectoras se emplean en cultivos extensivos de plantas medicinales, como la menta o la manzanilla (Méndez, 2017).

- **Velocidad y volumen:** Permite recolectar grandes cantidades de material vegetal en poco tiempo, lo que es útil en cultivos industriales.

- **Menor selectividad:** Aunque es más eficiente, este método puede ser menos preciso que la recolección manual, lo que puede dar lugar a la recolección de partes no deseadas o dañadas.

2.15 Consideraciones para la recolección

2.15.1 Condiciones climáticas

Es crucial que la recolección se realice en condiciones climáticas adecuadas:

- **Evitar la humedad excesiva:** No se debe recolectar en días de lluvia o cuando las plantas estén mojadas, ya que la humedad puede propiciar el desarrollo de mohos y bacterias, lo que afecta la calidad del producto.
- **Climas secos y soleados:** La mejor época para recolectar es en días secos y soleados, ya que esto facilita el secado posterior del material vegetal.

2.15.2 Selección del material

Durante la recolección, se debe seleccionar cuidadosamente el material vegetal, eliminando partes dañadas, enfermas o de baja calidad, lo que asegura que solo se utilicen las partes más saludables y ricas en principios activos (Méndez, 2017).

2.15.3 Conservación de la biodiversidad

En la recolección de plantas silvestres, es esencial realizar prácticas sostenibles que no pongan en riesgo la supervivencia de la especie o del ecosistema. En muchas áreas, existen regulaciones para garantizar la conservación de especies vegetales (Méndez, 2017).

2.16 Manejo post-cosecha

El manejo post-cosecha es fundamental para conservar la calidad de las drogas vegetales, ya que los principios activos pueden degradarse rápidamente si no se manejan adecuadamente.

2.16.1 Secado

El secado es el paso más importante después de la recolección para conservar las drogas vegetales, ya que la mayoría de los principios activos se mantienen mejor en material seco. El objetivo es eliminar el agua para evitar el crecimiento de microorganismos.

- **Métodos de secado:** El secado puede realizarse al aire libre en lugares sombreados, en secadores solares o en cámaras de secado controladas. La temperatura ideal suele estar entre 30-40 °C para evitar la degradación de los principios activos sensibles al calor.
- **Evitar la luz solar directa:** En la mayoría de los casos, el secado se debe hacer a la sombra o en un ambiente controlado, ya que la luz solar directa puede descomponer algunos metabolitos secundarios.

Tabla 1 Métodos de secado de material vegetal

Método	Temperatura	Tiempo	Ventajas	Desventajas	Aplicación
Sombra	Ambiente	7 – 20 días	Preserva principios activos	Largo tiempo	Plantas sensibles al calor
Estufa	40 – 60 °C	6 – 24 h	Rápido, controlado	Consumo energético	Mayoría de plantas
Liofilización	-40°C / vacío	24 – 48 h	Máxima calidad	Alto costo	Investigación, productos premium

Nota. Elaboración propia basada en "Fundamentos de agrotecnología de cultivo de plantas medicinales iberoamericanas", por K. D. Janni, 2002, *Economic Botany*, 56(1), pp. 101-101.

2.16.2 Almacenamiento

Una vez seco, el material vegetal debe almacenarse adecuadamente para evitar la pérdida de calidad.

- **Envases adecuados:** Las drogas vegetales deben almacenarse en recipientes sellados, preferiblemente opacos, para protegerlas de la luz y la humedad.

- **Ambiente fresco y seco:** El material debe conservarse en un lugar fresco y seco para evitar la humedad, que puede provocar la proliferación de hongos y moho.

2.16.3 Transporte

El transporte del material vegetal desde el campo hasta el lugar de secado o procesamiento debe hacerse de manera rápida y en condiciones adecuadas, evitando que el material se deteriore durante el trayecto.

2.17 Control de calidad

La calidad de las drogas vegetales recolectadas se evalúa mediante varios controles (Rodríguez et al., 2007):

- **Análisis de principios activos:** Se pueden realizar análisis químicos para medir la concentración de metabolitos secundarios y asegurar que el material recolectado cumple con los estándares de calidad.
- **Inspección visual:** Se revisa el estado del material, asegurando que esté libre de contaminantes, tierra, insectos o partes dañadas.

2.18 Conservación de plantas medicinales

La **conservación de plantas medicinales** es un proceso fundamental para mantener la calidad y la eficacia de los principios activos que contienen. Este proceso involucra varios métodos que aseguran la preservación de las propiedades medicinales de las plantas, evitando su deterioro por factores como la humedad, la luz, el calor y los microorganismos (Rodríguez et al., 2007).

2.18.1 Secado

El secado es el método más utilizado para la conservación de plantas medicinales, ya que la mayoría de los metabolitos secundarios responsables de las propiedades medicinales se mantienen mejor en material vegetal seco.

El objetivo del secado es eliminar el contenido de agua de la planta para evitar el crecimiento de hongos y bacterias (Acosta de la Luz, 2005).

2.18.1.1 Métodos de secado

- **Secado al aire libre:** Se realiza en lugares sombreados y ventilados, donde las plantas se extienden en bandejas o se cuelgan en manojos. Es importante evitar la exposición directa a la luz solar, ya que algunos principios activos se descomponen bajo el sol. Este método es adecuado para climas cálidos y secos.
- **Secado en secadores solares:** Los secadores solares son estructuras que aprovechan la energía del sol para secar las plantas de manera eficiente sin exponerlas directamente a la radiación solar. Se utilizan ventiladores para asegurar una buena circulación de aire.
- **Secado artificial:** En condiciones controladas, se utilizan secadores eléctricos o de aire caliente para eliminar el agua de las plantas. La temperatura ideal para secar plantas medicinales oscila entre los 30 y 40 °C, ya que temperaturas más altas pueden descomponer los principios activos sensibles al calor.

2.18.1.2 b. Criterios de buen secado

- Las plantas deben secarse hasta que las hojas se rompan fácilmente al tacto y las raíces estén quebradizas.
- Se debe evitar que el material se vuelva demasiado frágil, ya que podría perder calidad.

2.19 Almacenamiento

El almacenamiento adecuado de las plantas medicinales secas es crucial para evitar la pérdida de sus principios activos y la contaminación por humedad o microorganismos (Acosta de la Luz, 2005).

2.19.1 Contenedores

- **Envases opacos:** Es preferible utilizar recipientes opacos o de vidrio ámbar, ya que la luz puede degradar los metabolitos secundarios.

- **Bolsas herméticas:** Las bolsas de papel o tela permiten una buena ventilación, mientras que las bolsas herméticas o de plástico sellado pueden ser adecuadas si las plantas se almacenan en un lugar seco y fresco.

2.19.1.1 Condiciones de almacenamiento

- **Lugar fresco y seco:** Las plantas secas deben almacenarse en un lugar donde la temperatura se mantenga baja (idealmente por debajo de 25 °C) y lejos de la humedad.
- **Evitar la luz y el calor:** El almacenamiento debe hacerse en lugares oscuros y alejados de fuentes de calor, como la cocina o ventanas soleadas.

2.19.1.2 Duración

- La duración de la conservación depende de la planta y de cómo se almacene, pero en general, las plantas medicinales secas pueden conservarse durante **6 meses a 1 año**, dependiendo de la estabilidad de sus principios activos.

2.20 Congelación

Algunas plantas medicinales, especialmente aquellas con aceites esenciales, pueden conservarse mediante congelación. Este método ayuda a preservar tanto el contenido de agua como los principios activos en su estado más fresco. Es útil para hojas y flores que pierden sus propiedades cuando se secan (Acosta de la Luz, 2005).

2.20.1.1 Método

- **Congelación rápida:** Las plantas se deben congelar lo más rápido posible para evitar la formación de cristales de hielo grandes, que pueden dañar las estructuras celulares.
- **Almacenamiento en bolsas:** Las plantas se colocan en bolsas de plástico selladas para evitar que absorban olores de otros alimentos en el congelador.

2.20.1.2 Duración

Las plantas congeladas pueden conservarse durante varios meses, hasta un año, sin perder sus propiedades medicinales.

2.21 Preparaciones y extractos

Otra manera de conservar las plantas medicinales es mediante su procesamiento en forma de extractos o preparados, que prolongan la vida útil de los principios activos (Mercedes et al., 2022).

2.21.1 Tinturas

Las tinturas son extractos alcohólicos que permiten conservar las propiedades de las plantas durante largos periodos. Se preparan sumergiendo la planta en alcohol (generalmente etanol) durante varias semanas. El alcohol actúa como conservante, previniendo el crecimiento de microorganismos.

2.21.2 Aceites esenciales

Algunas plantas aromáticas se conservan mejor mediante la extracción de sus aceites esenciales, que pueden almacenarse en frascos de vidrio oscuro y en lugares frescos. Estos aceites son altamente concentrados y pueden durar años si se almacenan correctamente.

2.21.3 Extractos líquidos o sólidos

Los extractos líquidos (en alcohol o agua) o sólidos (como polvos) permiten conservar los principios activos durante largos periodos de tiempo. Estos extractos suelen ser más estables y fáciles de almacenar que las plantas frescas o secas.

2.22 Control de plagas y mohos

La presencia de insectos o la aparición de moho puede arruinar la conservación de las plantas medicinales. Para prevenir esto, se pueden tomar las siguientes medidas (Mercedes et al., 2022):

- **Evitar la humedad:** Mantener las plantas secas y en un ambiente fresco es crucial para prevenir la aparición de mohos.
- **Uso de repelentes naturales:** Se pueden colocar bolsitas de lavanda, cedro o laurel cerca de las plantas almacenadas para repeler insectos.
- **Inspección periódica:** Revisar las plantas secas regularmente para detectar cualquier signo de infestación o humedad es fundamental para garantizar su calidad.

2.23 Desecantes y control de humedad

El uso de desecantes como gel de sílice o carbón activado puede ser útil para mantener bajos los niveles de humedad en el almacenamiento de las plantas medicinales, especialmente en zonas de clima húmedo (Fonnegra-Gómez & Villa-Londoño, 2011).

2.23.1 Desecantes en envases

Colocar pequeños paquetes de desecantes dentro de los envases ayuda a absorber la humedad residual y evitar que las plantas se humedezcan.

2.24 Vacío o atmósferas modificadas

Para plantas que se van a almacenar durante periodos prolongados, se puede emplear el envasado al vacío o en atmósferas modificadas para prolongar su vida útil y mantener la frescura de los principios activos. Este tipo de envasado minimiza la exposición al oxígeno, lo que reduce la oxidación y la degradación de los compuestos bioactivos (Fonnegra-Gómez & Villa-Londoño, 2011).

2.25 Identificación de drogas vegetales

La identificación de drogas vegetales es crucial en la botánica, la farmacognosia y la medicina herbal, ya que asegura que las plantas utilizadas para fines medicinales o industriales son las correctas y no están adulteradas (Fonnegra-Gómez & Villa-Londoño, 2011).

2.25.1 Identificación Botánica

2.25.1.1 Identificación Macroscópica

- **Características morfológicas:** Examina las características externas de la planta, como la forma, tamaño, color y textura de las partes utilizadas (hojas, raíces, flores, etc.). Esto incluye observar la forma general de la planta y sus partes específicas.
- **Características de la superficie:** Observa detalles como el tipo de vellosidad (pelos), la presencia de glándulas, el color y la consistencia de la superficie. Por ejemplo, las hojas de menta tienen una textura rugosa y un color verde intenso.
- **Olor:** Muchas drogas vegetales tienen olores característicos que pueden ayudar en su identificación. Por ejemplo, el eucalipto tiene un olor fuerte y mentolado.
- **Sabor:** El sabor puede ser una característica distintiva, aunque debe usarse con precaución y preferiblemente en un entorno controlado (Acosta De La Luz, 2001).

2.25.1.2 b. Identificación Microscópica

- **Análisis de secciones:** Examina las secciones transversales de las partes de la planta bajo un microscopio para observar estructuras celulares características, como los tejidos vasculares, el parénquima, y la epidermis.
- **Características celulares:** Identifica estructuras celulares específicas como estomas, tricomas (pelos glandulares), y xilema. Por ejemplo, el aloe vera tiene células en gel características que se pueden identificar microscópicamente.

2.26 Identificación Química

2.26.1 Pruebas Reagentes

- **Pruebas colorimétricas:** Usa reactivos específicos que producen colores distintivos cuando reaccionan con ciertos compuestos químicos

presentes en la planta. Estas pruebas pueden ayudar a identificar compuestos activos y confirmar la identidad de la droga vegetal (Acosta De La Luz, 2001).

- **Reacciones específicas:** Realiza pruebas específicas para detectar metabolitos secundarios como alcaloides, flavonoides, taninos, etc. Por ejemplo, la prueba de Dragendorff para alcaloides o la prueba de Shinoda para flavonoides.

2.26.2 Cromatografía

- **Cromatografía en capa fina (TLC):** Se utiliza para separar y visualizar los compuestos químicos en una muestra. Puede ayudar a comparar el perfil de compuestos de la droga vegetal con un estándar conocido (Acosta De La Luz, 2001).
- **Cromatografía líquida de alta resolución (HPLC):** Proporciona un análisis más detallado de los componentes químicos y puede cuantificar los principios activos presentes en la droga vegetal (Cádiz-Gurrea et al., 2014).
- **Cromatografía de gases (GC):** Es útil para analizar compuestos volátiles, como los aceites esenciales, y para identificar sus perfiles químicos (Ganguly et al., 2001).

2.26.3 Espectroscopia

- **Espectroscopia de masas (MS):** Permite identificar la composición molecular de los compuestos presentes en la droga vegetal.
- **Espectroscopia de resonancia magnética nuclear (RMN):** Ayuda a determinar la estructura de los compuestos químicos presentes en la planta (Shaheen et al., 2006).
- **Espectroscopia UV-Vis:** Utilizada para identificar y cuantificar compuestos basados en su absorción de luz ultravioleta o visible (Shaheen et al., 2006).

2.27 Identificación Botánica en Campo

2.27.1 Observación del Hábitat

- **Ubicación geográfica:** La ubicación y el tipo de ambiente donde crece la planta pueden ayudar a su identificación. Muchas plantas medicinales tienen regiones geográficas específicas donde se encuentran (Javier Vázquez & Dacosta, 2007).
- **Condiciones de crecimiento:** Observa las condiciones del suelo, la altitud, y el clima, ya que estas condiciones pueden afectar la morfología de la planta y ayudar en su identificación.

2.27.2 Recolección y Documentación

- **Documentar el aspecto:** Toma fotos detalladas de la planta en su hábitat natural, incluyendo fotos de las partes aéreas y subterráneas.
- **Recolectar muestras:** Recolecta muestras representativas y anota información sobre la ubicación, el estado de crecimiento, y cualquier otra observación relevante.

2.28 Comparación con Referencias

2.28.1 Herbarios

- **Consultar colecciones:** Comparar la muestra con ejemplares conservados en herbarios, que son colecciones de plantas secas y etiquetadas. Los herbarios suelen tener información detallada sobre la identificación de especies (Méndez, 2017).

2.28.2 Guías Botánicas

- **Utilizar manuales y guías:** Consulta guías botánicas y textos especializados que proporcionen descripciones detalladas y características de las plantas medicinales (Méndez, 2017).

2.29 Uso de Bases de Datos y Recursos Electrónicos

- **Bases de datos:** Utiliza bases de datos en línea y recursos electrónicos que proporcionen información sobre las drogas vegetales y sus características.
- **Aplicaciones móviles:** Existen aplicaciones móviles especializadas que pueden ayudar a identificar plantas a partir de imágenes y descripciones.

AUTOEVALUACIÓN

1. ¿Cuál de las siguientes plantas es conocida por sus propiedades calmantes y se usa comúnmente para tratar la ansiedad?

- a) Albahaca
- b) Manzanilla
- c) Orégano
- d) Romero

2. ¿Qué planta medicinal es famosa por sus propiedades cicatrizantes y se usa para tratar quemaduras?

- a) Albahaca
- b) Manzanilla
- c) Orégano
- d) Romero

3. ¿Cuál de estas plantas se utiliza tradicionalmente para mejorar la digestión?

- a) Menta
- b) Ruda
- c) Tomillo
- d) Cilantro

4. ¿Qué planta se ha utilizado históricamente para aliviar los síntomas del resfriado y la gripe?

- a) Equinácea
- b) Perejil
- c) Ajo
- d) Valeriana

5. ¿Cuál es la planta que tiene propiedades antiinflamatorias y se usa frecuentemente en la cocina india?

- a) Cúrcuma
- b) Cilantro
- c) Salvia
- d) Albahaca

6. ¿Qué planta es conocida por ayudar a regular los niveles de azúcar en sangre en personas con diabetes?

- a) Romero
- b) Diente de león
- c) Ginseng
- d) Salvia

7. ¿Cuál de las siguientes plantas se usa tradicionalmente para aliviar el insomnio?

- a) Lavanda
- b) Ajo
- c) Ginkgo biloba
- d) Orégano

8. ¿Qué planta medicinal es utilizada para mejorar la memoria y la concentración?

- a) Ginseng
- b) Ginkgo biloba
- c) Hinojo
- d) Romero

9. ¿Qué planta es conocida por sus propiedades digestivas y se usa para aliviar el malestar estomacal?

- a) Menta
- b) Tomillo
- c) Manzanilla
- d) Salvia

10.¿Cuál de estas plantas se usa comúnmente para tratar infecciones urinarias?

- a) Arándano
- b) Ajo
- c) Eucalipto
- d) Jengibre

UNIDAD 3

ANÁLISIS DE IDENTIDAD Y CONTROL DE CALIDAD DE LAS DROGAS VEGETALES

3.1 Análisis botánicos

Los **análisis botánicos** son técnicas utilizadas para identificar, caracterizar y estudiar las plantas y sus partes, especialmente en el contexto de la botánica, la farmacognosia y la farmacología. Estos análisis permiten determinar la identidad de las plantas, evaluar su calidad y asegurar que cumplen con los estándares necesarios para su uso en productos medicinales, cosméticos o alimenticios (Canales M, Hernández T, Caballero J, Romo A, 2006).

3.1.1 Análisis Macroscópico

3.1.1.1 Descripción Morfológica

Identificación visual: Observa y describe las características visibles de la planta, como la forma y tamaño de las hojas, flores, frutos, y tallos.

Color y textura: Examina el color y la textura de las partes de la planta, que pueden proporcionar pistas sobre su identidad y estado de conservación.

3.1.1.2 Observación de Estructuras

Forma de las hojas y flores: Incluye la forma, disposición y bordes de las hojas y el tipo y disposición de las flores.

Características especiales: Identifica características distintivas como espinas, glándulas o pelos en la superficie.

3.1.2 Análisis Microscópico

3.1.2.1 Preparación de Muestras

Sección transversal: Prepara secciones transversales de las partes de la planta para examinar su estructura interna.

Tinción: Utiliza tintes para resaltar estructuras celulares específicas, como tejidos vasculares o células glandulares.

3.1.2.2 Observación Microscópica

Tejidos: Identifica tejidos como el parénquima, colénquima, y esclerénquima.

Estructuras celulares: Examina células individuales, estomas, tricomas y otras estructuras específicas.

3.1.3 Análisis Químico

3.1.3.1 Pruebas de Reagentes

Pruebas colorimétricas: Usa reactivos para identificar compuestos específicos mediante cambios de color.

Pruebas específicas: Realiza pruebas para detectar metabolitos secundarios como alcaloides, flavonoides, y taninos.

3.1.3.2 Cromatografía

Cromatografía en capa fina (TLC): Separa y visualiza compuestos en una muestra. Es útil para comparar perfiles químicos.

Cromatografía líquida de alta resolución (HPLC): Proporciona una separación detallada y cuantificación de compuestos.

Cromatografía de gases (GC): Analiza compuestos volátiles, como aceites esenciales.

3.1.3.3 Espectroscopia

Espectroscopia de masas (MS): Identifica la composición molecular de los compuestos presentes en una muestra.

Espectroscopia de resonancia magnética nuclear (RMN): Determina la estructura de los compuestos químicos.

Espectroscopia UV-Vis: Identifica y cuantifica compuestos basados en su absorción de luz ultravioleta y visible.

3.1.4 Análisis Fitoquímico

3.1.4.1 Extracción de Compuestos

Métodos de extracción: Usa solventes para extraer principios activos de las plantas, como la maceración, infusión, o extracción con solventes orgánicos.

3.1.4.2 Determinación de Compuestos Activos

Perfil fitoquímico: Determina la presencia y concentración de compuestos bioactivos, como alcaloides, flavonoides, saponinas, y taninos.

3.1.5 Análisis Ecológico y Taxonómico

3.1.5.1 Clasificación y Nomenclatura

Identificación taxonómica: Usa claves taxonómicas y literatura botánica para clasificar y nombrar la planta según el sistema taxonómico.

3.1.5.2 Estudio del Hábitat

Condiciones de crecimiento: Examina el ambiente en el que la planta crece, incluyendo el tipo de suelo, clima, y otras condiciones ecológicas.

3.1.6 Análisis de Calidad y Pureza

3.1.6.1 Evaluación de Impurezas

Contaminantes: Verifica la presencia de contaminantes, como pesticidas, metales pesados, o microorganismos.

Evaluación de adulteraciones: Detecta la posible adulteración de la planta con otras especies o materiales.

3.1.6.2 Estabilidad y Conservación

Estudio de estabilidad: Evalúa cómo cambian los principios activos con el tiempo y bajo diferentes condiciones de almacenamiento.

Pruebas de conservación: Determina la efectividad de los métodos de conservación en mantener la calidad de la droga vegetal.

3.2 Características organolépticas

Las **características organolépticas** de las plantas medicinales son las propiedades que se perciben a través de los sentidos, como el gusto, el olfato, la vista y el tacto. Estas características son importantes para la identificación y evaluación de la calidad de las drogas vegetales (Manzanares, 2006).

3.2.1 Características Visuales

3.2.1.1 Color

Tonos y matices: El color de las partes de la planta, como hojas, flores, raíces y frutos, puede proporcionar información sobre su estado de madurez y su calidad. Por ejemplo, hojas verdes pueden indicar frescura, mientras que hojas marrones pueden sugerir deterioro.

Uniformidad: La uniformidad en el color es importante; cambios en el color pueden señalar problemas como la oxidación o la presencia de moho.

3.2.1.2 Forma y Tamaño

Estructura: Observa la forma y el tamaño de las partes de la planta. Esto incluye la forma de las hojas, la disposición de las flores y el tamaño de los frutos o semillas.

Integridad: Evalúa si las partes de la planta están completas o si están fragmentadas o deterioradas.

3.2.1.3 Textura

Superficie: La textura de la superficie de la planta puede variar desde lisa hasta rugosa o áspera. Las texturas pueden indicar la presencia de glándulas o estructuras especiales.

Consistencia: La consistencia de la planta puede ser firme, quebradiza, o flexible, dependiendo de su estado de hidratación y su proceso de conservación.

3.2.2 Características Olfativas

3.2.2.1 Olor

Aroma: El olor de una planta medicinal puede ser un indicador clave de su identidad y calidad. Por ejemplo, el eucalipto tiene un olor distintivo y mentolado.

Intensidad: La intensidad del olor puede variar; un olor fuerte o debilitado puede dar pistas sobre la frescura y la concentración de aceites esenciales.

3.2.3 Características Gustativas

3.2.3.1 Sabor

Gusto: El sabor puede ser dulce, amargo, picante, astringente, entre otros. Cada planta medicinal tiene un perfil de sabor único que puede ayudar a su identificación.

Sensación en la boca: Algunas plantas pueden dejar una sensación particular en la boca, como un sabor refrescante o una sensación de ardor.

3.2.4 Características Táctiles

3.2.4.1 Textura al Tacto

Sensación: La textura al tacto puede ser importante para la identificación. Por ejemplo, algunas hojas pueden sentirse ásperas debido a la presencia de tricomas o glándulas.

Humedad: La sensación de humedad o sequedad al tacto puede indicar el estado de conservación de la planta.

3.2.4.2 Elasticidad

Flexibilidad: Algunas partes de la planta, como las hojas o tallos, pueden ser flexibles o quebradizas, lo que puede proporcionar información sobre su contenido de agua y su frescura.

3.2.5 Otras Características

3.2.5.1 Aspecto del Polvo o Fragmentos

Color y textura del polvo: Si la planta ha sido triturada o molida, observa el color y la textura del polvo para evaluar su calidad.

Uniformidad del polvo: La uniformidad del tamaño de las partículas puede indicar un buen proceso de trituración y una planta de calidad.

3.2.5.2 Presencia de Partículas Extrañas

Contaminantes: La presencia de partículas extrañas como tierra, restos de otras plantas o insectos puede afectar la calidad de la droga vegetal.

3.3 Características morfológicas

Las **características morfológicas** de las plantas medicinales son las propiedades físicas y estructurales que ayudan a identificar y clasificar las plantas. Estas características incluyen aspectos visibles como la forma, tamaño y disposición de las partes de la planta (Manzanares, 2006).

3.4 Análisis microscópico

El **análisis microscópico** de las plantas medicinales es fundamental para identificar, clasificar y asegurar la calidad de las drogas vegetales. Este tipo de análisis permite observar las estructuras celulares y tejidos internos que no son visibles a simple vista.

3.4.1 Preparación de Muestras

3.4.1.1 Sección Transversal

Corte y Montaje: Se preparan secciones transversales finas de las partes de la planta (hojas, tallos, raíces) y se montan en un portaobjetos con un medio de montaje (como agua o resinas) para observarlas bajo el microscopio.

3.4.1.2 Tinción

Uso de Tintes: Se aplican tintes específicos para resaltar diferentes estructuras celulares y tejidos. Por ejemplo, el azul de metileno para identificar tejidos vivos o la safranina para lignina.

3.4.2 Observación Microscópica

3.4.2.1 Tejidos

Epidermis: Observa la capa externa de células que protege la planta. Se pueden identificar estructuras como estomas (poros para intercambio de gases) y tricomas (pelos glandulares o no glandulares).

Parénquima: Examina el tejido fundamental de la planta que almacena nutrientes y realiza la fotosíntesis. El parénquima puede ser collenchima (con células vivas y más resistentes) o esclerénquima (con células muertas y lignificadas).

Xilema y Floema: Observa los tejidos de conducción de agua y nutrientes. El xilema está formado por células lignificadas como los traqueídeos y vasos, mientras que el floema transporta nutrientes y está compuesto por células como los tubos cribosos y células acompañantes.

3.4.2.2 Estructuras Especializadas

Glándulas Secretoras: Identifica glándulas que producen aceites esenciales, resinas o mucílagos. Estas pueden encontrarse en hojas, flores o frutos.

Tricomas: Observa los pelos glandulares o no glandulares en la superficie de las hojas y tallos. Los tricomas glandulares pueden contener aceites esenciales o resinas.

3.4.3 Análisis de Partículas

3.4.3.1 Células de Reserva

Tipos de Células: Examina células que almacenan almidón, aceites, proteínas o cristales. Los cristales de oxalato de calcio, como los rafidios y drusas, son comunes en algunas plantas medicinales.

3.4.3.2 Fibra y Esclerénquima

Fibra: Observa las fibras de colénquima y esclerénquima, que proporcionan soporte estructural. Estas pueden ser identificadas por su forma y disposición.

3.4.4 Técnicas Avanzadas

3.4.4.1 Microscopía Electrónica

Microscopía Electrónica de Barrido (SEM): Proporciona imágenes de alta resolución de la superficie de la planta, permitiendo observar estructuras como tricomas y glándulas con gran detalle.

Microscopía Electrónica de Transmisión (TEM): Permite examinar las estructuras internas de las células a nivel subcelular, revelando detalles sobre organelos y componentes celulares.

3.4.4.2 Microscopía de Fluorescencia

Uso de Marcadores Fluorescentes: Permite la visualización de componentes específicos dentro de las células al aplicar colorantes fluorescentes que se unen a ciertos compuestos.

3.4.4.3 Microscopía Confocal

Imágenes en 3D: Ofrece imágenes de alta resolución y permite obtener secciones ópticas de muestras, facilitando el análisis de estructuras internas y la localización precisa de compuestos.

3.4.5 Análisis de Contaminantes

Detección de Impurezas: Examina la presencia de contaminantes como tierra, fragmentos de otras plantas o restos de insectos en la muestra.

3.5 Análisis fitoquímico

El **análisis fitoquímico** de las plantas medicinales se enfoca en identificar y cuantificar los compuestos químicos presentes en ellas. Estos análisis son fundamentales para comprender las propiedades medicinales de las plantas,

evaluar su calidad y asegurar que contienen los principios activos esperados (Asif et al., 2016).

3.5.1 Extracción de Compuestos

3.5.1.1 Métodos de Extracción

Maceración: Se sumerge la planta triturada en un solvente (como agua, etanol, metanol) y se deja reposar durante un período de tiempo para extraer los compuestos solubles.

Infusión y Decocción: Para plantas que se usan en forma de té, se utiliza agua caliente para extraer compuestos solubles. La infusión se hace con agua hirviendo, mientras que la decocción implica hervir la planta durante más tiempo.

Soxhlet: Un método continuo de extracción utilizando un aparato específico que permite la extracción de compuestos utilizando solventes orgánicos.

Extracción con Solventes: Se utilizan solventes específicos para extraer compuestos según su solubilidad, como hexano para aceites esenciales, etanol para principios activos polares, etc.

3.5.2 Identificación de Compuestos

3.5.2.1 Cromatografía

Cromatografía en Capa Fina (TLC): Separa los compuestos en una muestra sobre una placa delgada. Permite la identificación cualitativa y la comparación de perfiles de compuestos.

Cromatografía Líquida de Alta Resolución (HPLC): Separa y cuantifica compuestos en una mezcla líquida utilizando una columna y un detector. Es útil para compuestos polares y permite la identificación precisa de principios activos.

Cromatografía de Gases (GC): Se utiliza para analizar compuestos volátiles y aceites esenciales. Los compuestos se separan en función de su volatilidad y

se detectan mediante espectrometría de masas o detección de ionización de llama (Dorta et al., 2014).

3.5.2.2 Espectroscopia

Espectroscopia de Masas (MS): Determina la composición molecular y estructura de los compuestos presentes en una muestra. Se usa para identificar compuestos individuales y sus estructuras.

Espectroscopia de Resonancia Magnética Nuclear (RMN): Ofrece información detallada sobre la estructura química de los compuestos, permitiendo una identificación precisa.

Espectroscopia UV-Vis: Utilizada para identificar y cuantificar compuestos basados en su absorción de luz ultravioleta y visible. Es útil para compuestos como flavonoides y alcaloides.

3.5.2.3 Espectroscopia Infrarroja (IR)

Espectroscopia IR: Proporciona información sobre los grupos funcionales presentes en los compuestos mediante la medición de las absorciones en el rango infrarrojo del espectro electromagnético.

3.5.3 Pruebas Químicas Específicas

Pruebas de Alcaloides: Pruebas como la de Dragendorff para identificar alcaloides en la muestra. Los alcaloides suelen presentar reacciones colorimétricas características.

Pruebas de Flavonoides: La prueba de Shinoda o la prueba de aluminio se utilizan para identificar flavonoides, que pueden mostrar cambios de color al reaccionar con ciertos reactivos.

Pruebas de Taninos: La prueba de hierro cloruro se usa para detectar taninos, que pueden producir colores específicos al reaccionar con el reactivo.

Pruebas de Saponinas: Las saponinas pueden ser detectadas mediante la formación de espuma en una solución acuosa o la reacción con soluciones específicas.

Pruebas de Terpenos: Los terpenos pueden ser identificados mediante pruebas específicas o utilizando cromatografía.

3.5.4 Cuantificación de Compuestos

Cuantificación de Principios Activos: Se mide la concentración de compuestos activos en los extractos utilizando técnicas como HPLC o espectroscopia. Esto es esencial para asegurar la potencia y eficacia de los productos basados en plantas.

Estudios de Contenido de Aceites Esenciales: Mediante métodos como la destilación por arrastre con vapor y GC, se cuantifican los aceites esenciales y sus componentes.

3.5.5 Análisis de Perfil Fitoquímico

Perfil General: Determina la presencia de grupos de compuestos fitoquímicos importantes como flavonoides, saponinas, alcaloides, terpenos, etc.

Comparación con Estándares: Comparar el perfil fitoquímico de la planta con estándares conocidos para asegurar su autenticidad y calidad (Azüero et al., 2016).

AUTOEVALUACIÓN

1. ¿Cuál de las siguientes estructuras en las plantas es responsable de la fotosíntesis?

- a) Raíz
- b) Tallo
- c) Hoja
- d) Flor

2. ¿Qué parte de la planta se encarga principalmente de absorber agua y nutrientes del suelo?

- a) Tallo
- b) Hoja
- c) Raíz
- d) Flor

3. ¿Cómo se llama el órgano que conecta las hojas con la raíz y proporciona soporte estructural a la planta?

- a) Raíz
- b) Tallo
- c) Flor
- d) Fruto

4. ¿Cuál es la función principal de las estomas en las hojas?

- a) Absorber agua
- b) Conducir nutrientes
- c) Facilitar el intercambio gaseoso
- d) Proteger contra plagas

5. ¿Qué tipo de hoja está adaptada para reducir la pérdida de agua en plantas que viven en climas secos?

- a) Hoja lobulada
- b) Hoja acicular
- c) Hoja ancha
- d) Hoja compuesta

6. ¿Qué estructura en la planta es responsable de la producción de semillas?

- a) Hoja
- b) Flor
- c) Raíz
- d) Tallo

7. ¿Cómo se llama la parte del tallo que se encuentra justo debajo de la hoja y es responsable de su sujeción?

- a) Nódulo
- b) Internodio
- c) Pecíolo
- d) Ramas

8. ¿Cuál es la diferencia principal entre una raíz primaria y una raíz secundaria?

- a) La raíz primaria crece hacia abajo, mientras que la secundaria crece hacia los lados
- b) La raíz secundaria es más gruesa que la primaria
- c) La raíz primaria es más corta que la secundaria
- d) La raíz primaria es ramificada, mientras que la secundaria no lo es

9. ¿Qué parte de la planta se desarrolla a partir de la flor y contiene las semillas?

- a) Tallo
- b) Fruto

- c) Raíz
- d) Hoja

10. ¿Cómo se denomina la estructura que protege la semilla en una planta?

- a) Endospermo
- b) Cotiledón
- c) Tegumento
- d) Embrión

UNIDAD 4

ESTUDIO FITOQUÍMICO Y MÉTODOS DE EXTRACCIÓN DE PRINCIPIOS ACTIVOS

4.1 Etapas de la investigación

El **estudio fitoquímico** de plantas medicinales implica una serie de etapas sistemáticas para identificar, caracterizar y cuantificar los compuestos químicos presentes en las plantas (Rivas, 2016).

4.1.1 Selección de la Planta y Preparación de la Muestra

4.1.1.1 Selección de la Planta

Elección de la Especie: Se selecciona la planta en función de su uso medicinal tradicional, propiedades conocidas o interés en ciertos compuestos.

Recolección: Se recolecta la planta en el momento óptimo de su ciclo de vida para asegurar la calidad y cantidad de los compuestos activos.

4.1.1.2 Preparación de la Muestra

Limpieza y Secado: La planta se limpia de impurezas y se seca para evitar la degradación de compuestos.

Trituración: Se tritura la planta para facilitar la extracción de compuestos.

4.1.2 Extracción de Compuestos

4.1.2.1 Selección del Solvente

Solventes Apropriados: Se eligen solventes adecuados (agua, etanol, metanol, hexano, etc.) basados en la solubilidad de los compuestos de interés.

4.1.2.2 Métodos de Extracción

Maceración, Infusión, Decocción: Se aplican métodos tradicionales para obtener extractos.

Extracción Soxhlet, Ultrasonido, Prensado: Se utilizan técnicas avanzadas para mejorar la eficiencia de extracción.

4.1.3 Filtración y Concentración

4.1.3.1 Filtración

Eliminación de Residuos: Se filtran los extractos para eliminar sólidos no solubles.

4.1.3.2 Concentración

Evaporación del Solvente: Se utilizan métodos como la evaporación rotatoria para concentrar el extracto y eliminar el solvente.

4.1.4 Análisis de Compuestos

4.1.4.1 Pruebas Preliminares

Pruebas de Reagentes: Se realizan pruebas colorimétricas para detectar grupos de compuestos como alcaloides, flavonoides, y taninos.

4.1.4.2 Cromatografía

Cromatografía en Capa Fina (TLC): Se usa para obtener un perfil preliminar de los compuestos.

Cromatografía Líquida de Alta Resolución (HPLC): Separa y cuantifica compuestos específicos.

Cromatografía de Gases (GC): Se utiliza para compuestos volátiles.

4.1.4.3 Espectroscopia

Espectroscopia de Masas (MS): Identifica la composición molecular y estructura de los compuestos.

Espectroscopia UV-Vis: Determina la presencia y concentración de compuestos basados en su absorción de luz.

Espectroscopia de Resonancia Magnética Nuclear (RMN): Proporciona detalles sobre la estructura química de los compuestos.

4.1.4.4 Análisis Complementarios

Microscopía: Para observar estructuras celulares y tejidos que pueden contener compuestos activos.

Espectroscopia Infrarroja (IR): Identifica grupos funcionales en los compuestos.

4.1.5 Caracterización de Compuestos

4.1.5.1 Identificación de Compuestos

Comparación con Estándares: Se comparan los datos obtenidos con estándares conocidos para identificar los compuestos presentes.

Determinación de Estructura: Se utilizan técnicas como RMN y MS para determinar la estructura química de los compuestos.

4.1.5.2 Cuantificación

Medición de Concentraciones: Se cuantifica la concentración de los compuestos activos en los extractos utilizando métodos como HPLC y GC.

4.1.6 Evaluación Biológica

4.1.6.1 Pruebas de Actividad Biológica

Ensayos de Efectividad: Se realizan pruebas para evaluar la actividad biológica de los compuestos, como la actividad antioxidante, antimicrobiana o antiinflamatoria.

Evaluación de Toxicidad: Se estudia la toxicidad de los compuestos para asegurar su seguridad para el uso.

4.1.6.2 Estudios Farmacológicos

Ensayos Clínicos: Si los resultados son prometedores, se pueden realizar ensayos clínicos para evaluar la eficacia y seguridad en humanos.

4.1.7 Documentación y Publicación

4.1.7.1 Registro de Datos

Documentación Detallada: Se registran todos los datos experimentales, resultados y observaciones.

4.1.7.2 Publicación y Difusión

Publicación de Resultados: Los hallazgos se publican en revistas científicas o informes técnicos para compartir con la comunidad científica y médica.

4.2 Fitoquímica

La **determinación cualitativa de metabolitos secundarios** en laboratorio implica identificar la presencia de diferentes tipos de compuestos químicos en una muestra de planta, sin cuantificar su concentración. Estos metabolitos secundarios incluyen flavonoides, alcaloides, taninos, saponinas, terpenos, entre otros, y son cruciales para la actividad biológica de las plantas (Hernández et al., 2015).

4.2.1 Preparación de Muestras

4.2.1.1 Extracción

Métodos: Utilizar métodos de extracción como maceración, infusión, decocción, o extracción con solventes para obtener los extractos de la planta que contienen los metabolitos secundarios.

Filtración y Concentración: Filtrar los extractos para eliminar sólidos no solubles y concentrar la muestra si es necesario (Hernández et al., 2015).

4.2.2 Pruebas Químicas Preliminares

4.2.2.1 Pruebas de Alcaloides

Reacción de Dragendorff: Se añade reactivo de Dragendorff (yoduro de bismuto) a la muestra. La aparición de un color anaranjado indica la presencia de alcaloides.

Prueba de Mayer: La adición de reactivo de Mayer (yoduro de mercurio) produce un color amarillo cremoso si hay alcaloides (Hernández et al., 2015).

4.2.2.2 Pruebas de Flavonoides

Prueba de Shinoda: Añadir ácido clorhídrico y zinc a la muestra. La aparición de un color rosado o rojo indica la presencia de flavonoides.

Prueba de Aluminio: La adición de una solución de cloruro de aluminio produce un color amarillo si hay flavonoides presentes.

4.2.2.3 Pruebas de Taninos

Prueba de Hierro Cloruro: Añadir una solución de hierro cloruro a la muestra. La formación de un color verde o negro indica la presencia de taninos.

Prueba de Gelatina: La formación de un precipitado al añadir una solución de gelatina también puede indicar taninos (Hernández et al., 2015).

4.2.2.4 Pruebas de Saponinas

Prueba de Espuma: Agitar la muestra con agua y observar la formación de espuma persistente, que indica la presencia de saponinas.

Prueba de Foam: Añadir solución de cloruro de sodio y observar la formación de espuma para confirmar saponinas.

4.2.2.5 Pruebas de Terpenos

Prueba de Salkowski: Añadir ácido clorhídrico y cloroformo a la muestra. La aparición de un color rojo en la capa de cloroformo indica la presencia de terpenos.

Prueba de Liebermann-Burchard: La aparición de un color verde o azul al añadir ácido acético y anhídrido acético indica terpenos (Hernández et al., 2015).

4.2.3 3. Cromatografía

4.2.3.1 Cromatografía en Capa Fina (TLC)

Preparación: Aplicar extractos sobre una placa de TLC y desarrollar en un sistema de solventes adecuado.

Detección: Usar reactivos de visualización específicos o luces UV para observar manchas correspondientes a diferentes metabolitos secundarios.

4.2.3.2 Cromatografía Líquida de Alta Resolución (HPLC)

Preparación: Separar los compuestos en una columna y observar los picos en un detector UV.

Identificación: Comparar los tiempos de retención con estándares conocidos para identificar metabolitos secundarios.

4.2.4 4 Espectroscopia

4.2.4.1 Espectroscopia de Masas (MS)

Preparación: Ionizar los compuestos y medir su masa para determinar la composición molecular.

Identificación: Comparar los espectros obtenidos con bases de datos de metabolitos secundarios para la identificación (Hernández et al., 2015).

4.2.4.2 Espectroscopia UV-Vis

Preparación: Medir la absorbancia de la muestra en el rango UV-Visible.

Identificación: Los patrones de absorción específicos pueden indicar la presencia de ciertos metabolitos.

4.2.4.3 Espectroscopia Infrarroja (IR)

Preparación: Medir las absorciones en el rango infrarrojo para identificar grupos funcionales presentes en los metabolitos secundarios.

Identificación: Los espectros IR ayudan a identificar grupos funcionales específicos como hidroxilos, carbonilos, etc.

4.2.5 Microscopía

4.2.5.1 Microscopía de Fluorescencia

Preparación: Aplicar marcadores fluorescentes para resaltar metabolitos específicos en secciones de la planta.

Identificación: Observar la fluorescencia bajo el microscopio para detectar metabolitos secundarios (Hernández et al., 2015).

4.2.6 6. Ensayos Biológicos

4.2.6.1 Ensayos de Actividad

Pruebas de Actividad: Evaluar la actividad biológica de los extractos para confirmar la presencia de metabolitos secundarios con propiedades específicas.

4.3 Recolección

La **recolección de muestras para análisis de laboratorio** de plantas medicinales es una etapa crucial que afecta la calidad y validez de los resultados obtenidos en los estudios fitoquímicos y farmacológicos (Fitoquímica et al., 2008).

4.3.1 Planificación y Preparación

4.3.1.1 Selección de la Planta

Identificación: Asegúrate de que la planta sea correctamente identificada, preferiblemente con la ayuda de un botánico o experto en plantas.

Propósito del Análisis: Define el objetivo del análisis (e.g., identificación de principios activos, evaluación de calidad, investigación de propiedades medicinales) (Fitoquímica et al., 2008).

4.3.1.2 Época de Recolección

Ciclo de Vida: Recolecta la planta en el momento óptimo de su ciclo de vida para maximizar la cantidad y calidad de los compuestos activos. Esto puede

variar dependiendo de la parte de la planta que se analiza (hojas, flores, raíces, etc.).

Condiciones Ambientales: Evita recolectar durante condiciones climáticas extremas (como lluvias intensas o sequías) que pueden afectar la composición química (Fitoquímica et al., 2008).

4.3.2 Recolección de la Muestra

4.3.2.1 Herramientas y Equipos

Herramientas Limpias: Usa tijeras de podar, cuchillos, o herramientas limpias y afiladas para evitar contaminación.

Recipientes Adecuados: Utiliza bolsas de papel, bolsas de malla o contenedores de vidrio limpios y secos para recolectar las muestras. Evita materiales plásticos que pueden causar condensación y afectar la muestra.

4.3.2.2 Técnicas de Recolección

Partes de la Planta: Recolecta las partes específicas de la planta que son de interés para el estudio (hojas, flores, frutos, semillas, raíces). Si el estudio requiere la planta completa, asegúrate de recolectar todas las partes en proporciones adecuadas.

Condiciones de Recolección: Recolecta las muestras durante las horas frescas del día (temprano en la mañana o al final de la tarde) para evitar la evaporación de compuestos volátiles (Fitoquímica et al., 2008).

4.3.3 Manejo y Transporte

4.3.3.1 Manejo Cuidadoso

Evita Daños: Maneja las muestras con cuidado para evitar daños mecánicos que podrían afectar la calidad de los compuestos.

Evita Contaminación: Asegúrate de que las herramientas y recipientes estén limpios y libres de contaminantes.

4.3.3.2 Transporte

Condiciones Adecuadas: Transporta las muestras en condiciones que preserven su calidad. Si es necesario, utiliza refrigeración o condiciones controladas para mantener la integridad de los compuestos volátiles.

Etiquetado: Etiqueta cada muestra con información relevante como el nombre de la planta, la parte recolectada, la fecha y el lugar de recolección (Fitoquímica et al., 2008).

4.3.4 Preparación para Análisis

4.3.4.1 Secado

Método: Si el análisis requiere muestras secas, seca las muestras en un lugar sombreado y ventilado o utiliza un secador de aire forzado. Evita la exposición directa al sol para prevenir la degradación de compuestos.

Tiempo: Asegúrate de que el secado sea uniforme y completo para evitar la formación de moho o descomposición.

4.3.4.2 Trituración

Molienda: Tritura las muestras secas para aumentar la superficie de contacto y facilitar la extracción de compuestos.

4.3.4.3 Almacenamiento

Condiciones de Almacenamiento: Almacena las muestras secas en recipientes herméticos, en un lugar fresco y oscuro para preservar la calidad de los compuestos hasta el momento del análisis.

4.3.5 Documentación y Registro

4.3.5.1 Registro de Datos

Información Completa: Documenta toda la información relevante sobre las muestras recolectadas, incluyendo detalles sobre la planta, condiciones de recolección, y métodos de preparación.

Registro en Campo: Mantén un registro en el campo o en el lugar de recolección para asegurar que toda la información importante sea capturada y no se pierda (Fitoquímica et al., 2008).

AUTOEVALUACIÓN

1. ¿Cuál de los siguientes métodos de extracción utiliza un disolvente para separar los principios activos de las plantas?

- a) Destilación
- b) Maceración
- c) Percolación
- d) Extracción con fluidos supercríticos

2. ¿Qué método de extracción se basa en la utilización de calor para separar los aceites esenciales de las plantas?

- a) Infusión
- b) Destilación al vapor
- c) Prensado en frío
- d) Percolación

3. ¿Cuál es el principal objetivo de la extracción con fluidos supercríticos?

- a) Obtener aceites esenciales
- b) Aislar compuestos volátiles
- c) Extraer principios activos con alta pureza
- d) Separar los pigmentos de las plantas

4. ¿En qué método de extracción se utilizan solventes orgánicos para disolver y extraer los principios activos?

- a) Destilación
- b) Infusión
- c) Percolación
- d) Extracción con solventes

5. ¿Qué técnica de extracción es adecuada para obtener aceites esenciales a partir de la cáscara de frutas como el limón?

- a) Destilación al vapor
- b) Prensado en frío
- c) Maceración
- d) Infusión

6. ¿Cuál de los siguientes métodos de extracción es el más adecuado para extraer compuestos solubles en agua?

- a) Destilación
- b) Maceración
- c) Percolación
- d) Prensado en frío

7. ¿Qué método de extracción implica la disolución del material vegetal en un solvente, seguido de la eliminación del solvente para obtener el extracto concentrado?

- a) Percolación
- b) Extracción con solventes
- c) Destilación al vapor
- d) Infusión

8. ¿Qué técnica utiliza un disolvente para pasar a través de una columna cargada con material vegetal, extrayendo compuestos específicos?

- a) Destilación
- b) Percolación
- c) Prensado en frío
- d) Maceración

9. ¿Cuál de los siguientes métodos de extracción se utiliza para obtener extractos de plantas secas y no requiere calor?

- a) Maceración
- b) Destilación al vapor
- c) Prensado en frío
- d) Infusión

10. ¿Qué método de extracción se basa en la separación de principios activos mediante el uso de presión y temperatura extremas?

- a) Destilación al vapor
- b) Extracción con fluidos supercríticos
- c) Percolación
- d) Maceración

UNIDAD 5

ISOPRENOIDES

5.1 Generalidades

Los **isoprenoides**, también conocidos como terpenoides, son una vasta y diversa clase de compuestos químicos que se encuentran en muchas plantas y organismos. Se derivan de unidades de isopreno (un hidrocarburo de cinco carbonos) y tienen una estructura química basada en la repetición de estas unidades. Los isoprenoides son responsables de una variedad de funciones biológicas y tienen una amplia gama de aplicaciones en la industria farmacéutica, alimentaria y cosmética (M Rosa A. Freire-González, 2015).

5.2 Terpenoides

Los **terpenos** son compuestos orgánicos que se encuentran en muchas plantas, especialmente en los cítricos, las coníferas y el cannabis. Son los responsables de los aromas, sabores y algunas propiedades biológicas de estas plantas. Los terpenos desempeñan un papel crucial tanto en la naturaleza como en la interacción con el cuerpo humano (Guirado, 2008).

5.2.1 Tipos de Terpenos

Algunos de los terpenos más comunes incluyen:

- **Mirceno:** Aroma terroso y afrutado, similar al mango. Se encuentra en el lúpulo, el tomillo y el cannabis. Se le asocia con propiedades relajantes.
- **Limoneno:** Aroma cítrico. Presente en cáscaras de cítricos, se cree que tiene efectos energizantes y puede ayudar con la ansiedad.
- **Pineno:** Aroma a pino. Se encuentra en las agujas de pino y otras plantas. Puede mejorar el enfoque y la memoria.
- **Linalool:** Aroma floral, similar a la lavanda. Se usa en aromaterapia para reducir el estrés y mejorar el sueño.
- **Cariofileno:** Aroma especiado y terroso, presente en el clavo y la pimienta negra. Se ha estudiado por su potencial como antiinflamatorio.

5.2.2 Propiedades y Beneficios

Aromaterapia: Los terpenos juegan un papel importante en la aromaterapia debido a sus propiedades calmantes, energizantes o relajantes.

Potenciales terapéuticos: Se están investigando por sus posibles efectos antiinflamatorios, analgésicos, ansiolíticos y antioxidantes.

Entourage effect: En el contexto del cannabis, los terpenos pueden influir en los efectos de los cannabinoides como el THC y el CBD, modificando la experiencia global de su consumo (Guirado, 2008).

5.2.3 Terpenos en la naturaleza

Las plantas producen terpenos como una forma de protección, para repeler a los depredadores o atraer a polinizadores (Guirado, 2008).

5.3 Monoterpenos

Los **monoterpenos** son un subgrupo de los terpenos, caracterizados por estar formados por dos unidades de isopreno, lo que les da una estructura molecular relativamente pequeña ($C_{10}H_{16}$). Son los terpenos más simples y abundantes en la naturaleza. Debido a su estructura química, los monoterpenos son altamente volátiles, lo que los hace responsables de muchos aromas y sabores en plantas, frutas y especias (Espinosa-garcía, 2012).

5.3.1 Características de los Monoterpenos:

- 1) **Estructura química:** Tienen una estructura básica de 10 átomos de carbono.
- 2) **Volatilidad:** Son compuestos aromáticos que se evaporan fácilmente a temperatura ambiente, lo que les permite ser detectados rápidamente por el olfato.
- 3) **Presencia en la naturaleza:** Se encuentran principalmente en aceites esenciales de plantas como cítricos, coníferas, menta, lavanda y eucalipto.

5.3.2 Ejemplos de Monoterpenos Comunes:

5.3.2.1 Limoneno:

- Se encuentra en las cáscaras de cítricos como naranjas y limones.
- Tiene un aroma cítrico característico y efectos energizantes y antiestrés.
- Se ha estudiado por su potencial en tratamientos para la ansiedad y sus propiedades antiinflamatorias.

5.3.2.2 Mirceno:

- Común en el lúpulo, mango y cannabis.
- Aroma terroso y afrutado.
- Se le asocian efectos relajantes y sedantes, por lo que se usa en productos que promueven el descanso.

5.3.2.3 Pineno:

- Presente en las agujas de pino, romero y albahaca.
- Tiene un aroma fresco, similar al pino.
- Se ha investigado por sus posibles beneficios en la memoria y la concentración, además de sus propiedades broncodilatadoras.

5.3.2.4 Geraniol:

- Se encuentra en rosas, citronela y otros aceites esenciales florales.
- Tiene un aroma floral y dulce.
- Se utiliza en perfumería y también se le atribuyen propiedades antioxidantes y antimicrobianas.

5.3.2.5 Terpeneol:

- Tiene un aroma floral y a lilas, y está presente en aceites de pino y cannabis.
- Puede tener efectos sedantes y relajantes, además de propiedades antioxidantes y antibacterianas.

5.3.3 Propiedades y Beneficios de los Monoterpenos:

Aromaterapia: Se usan en productos de aromaterapia y cosmética debido a su capacidad para influir en el estado de ánimo (Espinosa-garcía, 2012).

Efectos terapéuticos: Muchos monoterpenos tienen propiedades antiinflamatorias, antimicrobianas, antioxidantes y ansiolíticas.

Aplicaciones en medicina: Los monoterpenos están siendo estudiados por su potencial en el tratamiento de diversas enfermedades, como el cáncer, infecciones microbianas, inflamaciones y trastornos del sistema nervioso central (Espinosa-garcía, 2012).

Atractores de polinizadores: Los aromas que desprenden ayudan a atraer insectos polinizadores, jugando un papel esencial en los ecosistemas.

5.3.4 Uso en la industria:

- **Alimentos y bebidas:** Se usan para dar sabor y aroma a una variedad de productos alimenticios y bebidas.
- **Cosméticos y perfumes:** Debido a sus propiedades aromáticas, se utilizan en productos como fragancias, jabones y lociones.
- **Farmacéuticos:** Se investiga su potencial uso en tratamientos terapéuticos debido a sus propiedades medicinales.

Los monoterpenos, al ser tan versátiles y comunes en la naturaleza, tienen muchas aplicaciones prácticas y también ofrecen varios beneficios para la salud.

5.4 Sesquiterpenos

Los sesquiterpenos son otro subgrupo de los terpenos, pero a diferencia de los monoterpenos, están formados por tres unidades de isopreno, lo que les da una estructura molecular más grande y compleja ($C_{15}H_{24}$). Esta diferencia en la estructura química les confiere características distintas, como una menor volatilidad en comparación con los monoterpenos, y propiedades biológicas interesantes (Espinosa-garcía, 2012).

5.4.1 Características de los Sesquiterpenos:

- **Estructura química:** Los sesquiterpenos contienen 15 átomos de carbono y son más pesados y menos volátiles que los monoterpenos.
- **Menos volátiles:** Aunque todavía son aromáticos, se evaporan más lentamente debido a su tamaño molecular más grande.
- **Función protectora:** En la naturaleza, los sesquiterpenos a menudo actúan como defensores de las plantas contra herbívoros y patógenos, o ayudan a atraer polinizadores (Espinosa-garcía, 2012).

5.4.2 Ejemplos de Sesquiterpenos Comunes:

5.4.2.1 Cariofileno:

- Se encuentra en el clavo, la pimienta negra y el cannabis.
- Tiene un aroma especiado, terroso y picante.
- Es único entre los terpenos porque también interactúa con el sistema endocannabinoide en el cuerpo, lo que le otorga propiedades antiinflamatorias y analgésicas.

5.4.2.2 Humuleno:

- Común en el lúpulo, albahaca y jengibre.
- Tiene un aroma amaderado y terroso.
- Se ha investigado por sus propiedades antiinflamatorias y por su capacidad para ayudar a controlar el apetito.

5.4.2.3 Farneseno:

- Presente en la cáscara de manzana, jengibre y flores como el jazmín.
- Tiene un aroma floral, afrutado y levemente verde.
- Se le atribuyen propiedades antimicrobianas y antioxidantes.

5.4.2.4 Bisabolol:

- Encontrado en la manzanilla y la flor de candeia.
- Tiene un aroma dulce y floral.

- Se utiliza comúnmente en productos de cuidado de la piel debido a sus propiedades calmantes, antiinflamatorias y cicatrizantes.

5.4.2.5 Cedreno:

- Presente en el aceite esencial del cedro.
- Tiene un aroma amaderado y seco.
- Utilizado principalmente en perfumería, también se le estudia por sus posibles efectos antimicrobianos.

5.4.3 Propiedades y Beneficios de los Sesquiterpenos:

Anti-inflamatorios: Muchos sesquiterpenos, como el cariofileno y el humuleno, tienen propiedades antiinflamatorias, por lo que son de interés en el tratamiento de diversas afecciones relacionadas con la inflamación.

Antimicrobianos y antioxidantes: Algunos sesquiterpenos muestran actividad antimicrobiana y antioxidante, lo que podría ayudar en la protección contra infecciones y el daño oxidativo en las células.

Analgésicos y calmantes: Los sesquiterpenos como el bisabolol tienen propiedades calmantes y son útiles para tratar irritaciones de la piel y dolores leves.

Aplicaciones medicinales: Se están estudiando por su potencial en el tratamiento de cáncer, infecciones virales y enfermedades neurodegenerativas debido a su capacidad para modular diversos procesos biológicos (Espinosa-garcía, 2012).

5.4.4 Aplicaciones de los Sesquiterpenos:

Industria cosmética: Se usan en productos de cuidado de la piel y fragancias por sus propiedades calmantes y su aroma persistente.

Aromaterapia: Los sesquiterpenos se utilizan en aceites esenciales por sus efectos relajantes y terapéuticos.

Industria alimentaria: Al igual que los monoterpenos, algunos sesquiterpenos se usan como aditivos alimentarios para mejorar el sabor y aroma de los productos (Espinosa-garcía, 2012).

Industria farmacéutica: Se estudian como componentes activos en medicamentos naturales y compuestos terapéuticos.

5.4.5 Diferencia entre Sesquiterpenos y Monoterpenos:

Volatilidad: Los sesquiterpenos son menos volátiles que los monoterpenos debido a su mayor tamaño molecular.

Aroma: Los sesquiterpenos suelen tener aromas más profundos, amaderados y duraderos, en comparación con los monoterpenos, que son más frescos y cítricos.

Aplicaciones biológicas: Los sesquiterpenos tienden a tener propiedades biológicas más complejas, como antiinflamatorias, mientras que los monoterpenos se usan más en aromaterapia y para mejorar el estado de ánimo.

Los sesquiterpenos, debido a su compleja estructura y propiedades biológicas, juegan un papel importante en diversas industrias y en la investigación de nuevos tratamientos terapéuticos (Espinosa-garcía, 2012).

5.5 Diterpenos

Los **diterpenos** son un grupo de compuestos orgánicos que pertenecen a la familia de los terpenos y están formados por cuatro unidades de isopreno, lo que les da una estructura química con 20 átomos de carbono ($C_{20}H_{32}$). Esta estructura más compleja en comparación con los monoterpenos y sesquiterpenos les otorga una gran diversidad de funciones biológicas y aplicaciones en distintos campos, como la medicina y la biotecnología (Rios & Aguilar-Guadarrama, 2006).

5.5.1 Características de los Diterpenos:

Estructura química: Formados por cuatro unidades de isopreno, lo que resulta en una cadena con 20 átomos de carbono.

Diversidad estructural: Pueden formar una gran variedad de estructuras, incluidas moléculas lineales, cíclicas y bicíclicas, lo que les permite tener múltiples funciones.

Presencia en la naturaleza: Se encuentran en resinas, plantas, algas, hongos y organismos marinos. Son responsables de la producción de algunas sustancias resiníferas y otros compuestos bioactivos (Rios & Aguilar-Guadarrama, 2006).

5.5.2 Ejemplos de Diterpenos Comunes:

5.5.2.1 Taxol (Paclitaxel):

- Extraído de la corteza del tejo del Pacífico (*Taxus brevifolia*).
- Se utiliza como un fármaco anticancerígeno, especialmente eficaz en el tratamiento de cánceres de mama, ovario y pulmón.
- Actúa inhibiendo la división celular al estabilizar los microtúbulos, lo que detiene el crecimiento de las células cancerosas.

5.5.2.2 Forskolina:

- Derivada de la planta *Coleus forskohlii*.
- Se utiliza en medicina tradicional y como suplemento dietético por sus propiedades para estimular la producción de AMPc (adenosín monofosfato cíclico), una molécula que regula varios procesos celulares.
- Se investiga para tratar el glaucoma, enfermedades cardiovasculares y el asma.

5.5.2.3 Fitol:

- Componente clave de la clorofila en las plantas.
- Es un precursor de la vitamina E y la vitamina K.

- También se utiliza en perfumería por sus propiedades aromáticas y en la industria alimentaria.

5.5.2.4 Gibberelinas:

- Son un tipo de hormonas vegetales derivadas de diterpenos.
- Regulan el crecimiento y desarrollo de las plantas, promoviendo la elongación del tallo, la germinación de las semillas y la floración.
- Se utilizan en la agricultura para mejorar el rendimiento de los cultivos.

5.5.2.5 Steviosido:

- Extraído de la planta *Stevia rebaudiana*.
- Es un edulcorante natural que se utiliza como alternativa al azúcar, ya que no contiene calorías y es significativamente más dulce.
- Se considera seguro para personas con diabetes y aquellos que buscan reducir el consumo de azúcar.

5.5.3 Propiedades y Beneficios de los Diterpenos:

Propiedades medicinales: Muchos diterpenos tienen importantes aplicaciones terapéuticas, como anticancerígenos, antiinflamatorios, antibacterianos y antivirales.

Hormonas vegetales: Algunos diterpenos, como las gibberelinas, juegan un papel crucial en el crecimiento y desarrollo de las plantas.

Edulcorantes naturales: El *steviosido*, un diterpeno presente en la stevia, es una alternativa saludable al azúcar.

Neuroprotección y antioxidantes: Algunos diterpenos han mostrado propiedades antioxidantes y pueden proteger las células del daño oxidativo, lo que podría tener implicaciones en el tratamiento de enfermedades neurodegenerativas (Rios & Aguilar-Guadarrama, 2006).

5.5.4 Aplicaciones de los Diterpenos:

- **Industria farmacéutica:** Muchos diterpenos, como el taxol, se utilizan como fármacos en la quimioterapia y en el tratamiento de diversas enfermedades.
- **Aromaterapia y cosmética:** Algunos diterpenos se utilizan en productos de perfumería y cosméticos por sus propiedades aromáticas y beneficios antioxidantes.
- **Agricultura:** Las gibberelinas, como hormonas vegetales, se usan para mejorar el rendimiento y el crecimiento de los cultivos.
- **Suplementos dietéticos:** Compuestos como la forskolina se comercializan como suplementos que pueden ayudar en el control del peso y el fortalecimiento cardiovascular (Rios & Aguilar-Guadarrama, 2006).

5.5.5 Diferencia entre Diterpenos y Otros Terpenos:

- **Tamaño:** Los diterpenos son más grandes y complejos que los monoterpenos (10 carbonos) y los sesquiterpenos (15 carbonos), lo que les permite realizar funciones más diversas y especializadas.
- **Volatilidad:** Los diterpenos son menos volátiles que los monoterpenos y sesquiterpenos, por lo que tienden a ser menos aromáticos y más estables.
- **Función biológica:** Mientras que los monoterpenos y sesquiterpenos tienen funciones más relacionadas con los aromas y la defensa de las plantas, los diterpenos desempeñan roles más cruciales en el metabolismo y el crecimiento de las plantas, además de tener aplicaciones medicinales más directas (Rios & Aguilar-Guadarrama, 2006).

AUTOEVALUACIÓN

1. ¿Qué son los compuestos terpenicos?

- A) Proteínas
- B) Carbohidratos
- C) Hidrocarburos derivados de isopreno
- D) Ácidos nucleicos

2. ¿Cuál de las siguientes opciones describe mejor la estructura básica de los terpenos?

- A) Cadenas de átomos de carbono dispuestos en anillos
- B) Estructuras lineales de hidrógeno y oxígeno
- C) Estructuras ramificadas de átomos de carbono en unidades de isopreno
- D) Cadenas de átomos de nitrógeno y carbono

3. ¿Cuál es la unidad básica de los terpenos?

- A) Glucosa
- B) Ácido graso
- C) Isopreno
- D) Fenol

4. ¿Qué tipo de terpeno está compuesto por 5 unidades de isopreno?

- A) Monoterpeno
- B) Sesquiterpeno
- C) Diterpeno
- D) Triterpeno

5. ¿Cuál de los siguientes terpenos es un componente común en los aceites esenciales de menta?

- A) Limoneno
- B) Mentol
- C) Carvacrol
- D) Linalol

6. ¿Cuál es la función principal de los terpenos en las plantas?

- A) Actuar como pigmentos
- B) Servir como reservas de energía
- C) Defenderse de herbívoros y patógenos
- D) Facilitar la fotosíntesis

7. ¿Qué tipo de terpeno se encuentra en las resinas de pino?

- A) Limoneno
- B) Alfa-pineno
- C) Geraniol
- D) Beta-cariofileno

8. ¿Cuál de los siguientes terpenos tiene propiedades antimicrobianas y se encuentra en el aceite de clavo?

- A) Eugenol
- B) Mirceno
- C) Farneseno
- D) Terpinoleno

9. ¿Qué terpeno es conocido por su aroma cítrico y se usa comúnmente en productos de limpieza?

- A) Limoneno
- B) Citronela
- C) Pineno
- D) Linalol

10. ¿En qué tipo de productos se pueden encontrar frecuentemente terpenos?

- A) Medicamentos
- B) Cosméticos
- C) Aromatizantes
- D) Todos los anteriores

UNIDAD 6

FENILPROPANOS

6.1 Generalidades

Los **fenilpropanos** son compuestos orgánicos que pertenecen a la clase de los **metabolitos secundarios** de las plantas, caracterizados por tener una estructura química formada por un grupo **benceno** unido a una cadena de tres carbonos, lo que se conoce como una unidad de **propano**. Estos compuestos juegan un papel importante en la protección de las plantas y en la interacción con su entorno, además de tener aplicaciones medicinales, aromáticas y alimentarias (Andrade et al., 2015).

6.2 Compuestos fenólicos simples y heterósidos

Los **compuestos fenólicos** son una amplia clase de sustancias químicas que se encuentran principalmente en las plantas y se caracterizan por contener al menos un grupo **hidroxilo (-OH)** unido directamente a un anillo **aromático** (benceno). Son metabolitos secundarios que juegan un papel esencial en la defensa de las plantas contra factores estresantes como plagas, infecciones y radiación ultravioleta, y también están involucrados en el crecimiento y desarrollo de las plantas (Andrade et al., 2015).

Estos compuestos se destacan por sus beneficios antioxidantes, antiinflamatorios y otros efectos beneficiosos para la salud, lo que los convierte en componentes importantes en la dieta humana y en la medicina (Andrade et al., 2015).

6.2.1 Clasificación de los Compuestos Fenólicos:

6.2.1.1 Ácidos fenólicos:

Son compuestos simples que contienen un grupo carboxílico (-COOH) en su estructura, además del grupo hidroxilo.

Ejemplos: Ácido cafeico, ácido ferúlico, ácido gálico.

6.2.1.2 Flavonoides:

La clase más abundante de compuestos fenólicos. Tienen una estructura más compleja y se subdividen en varias categorías como flavonoles, flavonas, isoflavonas, flavanonas, antocianinas, entre otros.

Ejemplos: Quercetina, catequina, antocianinas (responsables del color rojo, azul y púrpura de frutas y flores) (Andrade et al., 2015).

6.2.1.3 Estilbenos:

Compuestos fenólicos que incluyen un esqueleto básico de dos anillos bencénicos unidos por una cadena de dos carbonos.

Ejemplos: Resveratrol, encontrado en las uvas y el vino tinto, conocido por sus propiedades antioxidantes y cardioprotectoras.

6.2.1.4 Lignanos:

Compuestos fenólicos que se encuentran principalmente en las semillas, como las de lino, y tienen propiedades antioxidantes y anticancerígenas.

Ejemplo: Secoisolariciresinol diglucósido (SDG), que se encuentra en las semillas de lino y es un precursor de los lignanos que actúan como fitoestrógenos.

6.2.1.5 Taninos:

Son compuestos fenólicos grandes y complejos que se encuentran en el té, el vino tinto, y muchas frutas y plantas. Son conocidos por su capacidad de precipitar proteínas y por su sabor astringente.

Ejemplos: Taninos condensados y taninos hidrolizables (Andrade et al., 2015).

6.2.2 Funciones de los Compuestos Fenólicos en las Plantas:

Defensa: Actúan como defensores naturales contra insectos, bacterias, hongos y virus. También protegen a las plantas de los daños causados por los rayos UV.

Atracción de polinizadores: Algunos compuestos fenólicos, como los flavonoides (especialmente las antocianinas), son responsables de los colores brillantes en flores y frutos, atrayendo polinizadores y ayudando en la dispersión de semillas.

Regulación del crecimiento: Juegan un papel en la regulación del crecimiento de las plantas y en la respuesta a factores de estrés (Andrade et al., 2015).

6.2.3 Beneficios para la Salud de los Compuestos Fenólicos:

Propiedades antioxidantes: Los compuestos fenólicos son potentes antioxidantes que neutralizan los radicales libres, protegiendo así las células del daño oxidativo, lo que es crucial en la prevención de enfermedades crónicas como el cáncer y enfermedades cardiovasculares.

Efecto antiinflamatorio: Algunos compuestos fenólicos pueden inhibir las vías inflamatorias en el cuerpo, lo que puede ayudar a prevenir y tratar afecciones inflamatorias crónicas, como la artritis y enfermedades del corazón.

Prevención de enfermedades cardiovasculares: Los polifenoles como el resveratrol (estilbeno) y la quercetina (flavonoide) ayudan a mejorar la salud cardiovascular, reduciendo la presión arterial, mejorando el perfil lipídico y disminuyendo el riesgo de enfermedades del corazón.

Propiedades anticancerígenas: Algunos compuestos fenólicos tienen la capacidad de inhibir la proliferación celular y la angiogénesis, lo que puede detener el crecimiento y la propagación de células cancerosas.

Control de glucosa y diabetes: Los fenoles como los flavonoides pueden ayudar a regular los niveles de azúcar en la sangre, mejorando la sensibilidad a la insulina y reduciendo el riesgo de diabetes tipo 2 (Andrade et al., 2015).

6.2.4 Fuentes Comunes de Compuestos Fenólicos en la Dieta:

Frutas y verduras: Las frutas como las manzanas, las uvas, los arándanos y las cerezas son ricas en flavonoides y ácidos fenólicos. Las verduras como las cebollas, el brócoli y los tomates también son buenas fuentes.

Té y café: El té verde y negro son ricos en catequinas y otros flavonoides, mientras que el café contiene ácidos fenólicos como el ácido cafeico.

Vino tinto y uvas: El resveratrol es un estilbeno destacado en las uvas, especialmente en las uvas negras, y se encuentra en el vino tinto.

Chocolate oscuro: Contiene altas cantidades de flavonoides, en especial las catequinas, que son beneficiosas para la salud cardiovascular.

Semillas y frutos secos: Las semillas de lino y los frutos secos como las almendras y nueces son fuentes ricas en lignanos y otros compuestos fenólicos (Muñoz, A., Patiño, J., Cardenas, C., Reyes, J. Martínez, J., Stashenko, 2007).

6.2.5 Aplicaciones Industriales:

Cosmética: Se utilizan en productos para el cuidado de la piel debido a sus propiedades antioxidantes y antiinflamatorias, protegiendo la piel del envejecimiento y de los daños provocados por la radiación UV.

Conservación de alimentos: Algunos compuestos fenólicos tienen propiedades antimicrobianas y antioxidantes que los hacen útiles como conservantes naturales en alimentos.

Industria farmacéutica: Se emplean en la formulación de medicamentos y suplementos por sus efectos protectores contra diversas enfermedades crónicas y degenerativas.

6.2.6 Ejemplos de Compuestos Fenólicos:

Quercetina: Un flavonoide que se encuentra en manzanas, cebollas y té, conocido por sus propiedades antioxidantes y antiinflamatorias.

Ácido gálico: Un ácido fenólico presente en el té y las bayas, que tiene propiedades antioxidantes y astringentes.

Catequinas: Flavonoides presentes en el té verde, que ofrecen protección cardiovascular y propiedades anticancerígenas.

Los compuestos fenólicos, al ser tan diversos y abundantes en las plantas, no solo cumplen funciones vitales en la naturaleza, sino que también ofrecen numerosos beneficios para la salud humana. Son componentes clave en una dieta rica en frutas y verduras, y su estudio sigue revelando nuevas aplicaciones terapéuticas (Muñoz, A., Patiño, J., Cardenas, C., Reyes, J. Martínez, J., Stashenko, 2007).

6.3 Cumarinas, lignanos

Las **cumarinas** son un tipo de compuestos fenólicos naturales que se encuentran en diversas plantas. Se caracterizan por tener una estructura química basada en el **anillo bencénico fusionado con un anillo de lactona** (un anillo cerrado que contiene oxígeno). Las cumarinas tienen una amplia gama de propiedades biológicas y se encuentran en plantas como el trébol, el apio, la canela y algunas hierbas aromáticas (García-Argáez et al., 2003).

6.3.1 Características de las Cumarinas:

Estructura química: La estructura básica de las cumarinas es un anillo de benceno fusionado con un anillo de pirona (lactona), formando lo que se conoce como un sistema de **2H-cromen-2-ona**.

Origen natural: Las cumarinas se producen en varias especies de plantas como parte de su defensa natural contra herbívoros, infecciones microbianas y la radiación ultravioleta.

Color y aroma: Muchas cumarinas tienen aromas dulces y herbales, similares a la vainilla o la canela, y algunas veces son responsables de la fragancia de ciertas plantas (García-Argáez et al., 2003).

6.3.2 Fuentes Naturales de Cumarinas:

Plantas del género *Melilotus* (trébol dulce): De donde deriva su nombre. El trébol dulce contiene altas cantidades de cumarina.

Corteza de canela: La canela contiene cumarinas en pequeñas cantidades.

Apio y perejil: Contienen cumarinas en sus hojas y semillas.

Habas tonka: Son conocidas por su alto contenido de cumarina, y a menudo se utilizan en perfumería y como saborizante, aunque su consumo está regulado en algunos países por posibles efectos tóxicos (García-Argáez et al., 2003).

6.3.3 Tipos Comunes de Cumarinas:

Cumarina (2H-1-benzopirán-2-ona): Es la cumarina básica, presente en muchas plantas aromáticas. Tiene un aroma dulce y cálido, similar a la vainilla, y es ampliamente utilizada en la industria de perfumes.

Esculetina: Es una cumarina hidroxilada que tiene propiedades antioxidantes, antiinflamatorias y antimicrobianas. Se encuentra en plantas como el *Aesculus hippocastanum* (castaño de Indias).

Warfarina: Es un derivado sintético de la cumarina que se utiliza como anticoagulante para prevenir la formación de coágulos de sangre. Es un ejemplo de cómo las cumarinas han inspirado el desarrollo de medicamentos terapéuticos.

Umbeliferona: Otra cumarina natural con propiedades antioxidantes y antiespasmódicas, se encuentra en plantas de la familia Apiaceae, como el apio.

Psoralenos: Son un grupo especial de cumarinas que se utilizan en tratamientos médicos como la **fototerapia** para enfermedades de la piel como la psoriasis y el vitiligo. Son fotosensibilizantes, lo que significa que aumentan la sensibilidad de la piel a la luz ultravioleta (García-Argáez et al., 2003).

6.3.4 Propiedades Biológicas de las Cumarinas:

Anticoagulantes: Algunas cumarinas, como la **warfarina**, son potentes anticoagulantes que previenen la formación de coágulos sanguíneos. Por esta razón, se usan en medicina para tratar y prevenir enfermedades como la trombosis (Coumarin, 2007).

Antiinflamatorias: Las cumarinas tienen propiedades antiinflamatorias que ayudan a reducir la inflamación en el cuerpo, lo que las hace útiles en el tratamiento de afecciones como la artritis.

Antimicrobianas: Muchas cumarinas exhiben actividad antimicrobiana, lo que significa que pueden inhibir el crecimiento de bacterias, hongos y virus. Esto las convierte en potenciales agentes terapéuticos para infecciones.

Propiedades antioxidantes: Las cumarinas pueden actuar como antioxidantes, neutralizando los radicales libres y protegiendo a las células del daño oxidativo, lo que es importante para la prevención de enfermedades crónicas como el cáncer y las enfermedades cardiovasculares.

Hepatoprotectoras: Algunas cumarinas han mostrado efectos protectores sobre el hígado, ayudando a prevenir el daño hepático causado por toxinas y otros agentes dañinos.

Fotosensibilización: Algunas cumarinas, como los **psoralenos**, aumentan la sensibilidad de la piel a la luz solar. Esto puede ser útil en tratamientos como la fototerapia, pero también puede aumentar el riesgo de quemaduras solares o reacciones adversas si no se manejan adecuadamente (Coumarin, 2007).

6.3.5 Usos de las Cumarinas:

Industria farmacéutica: La cumarina y sus derivados se utilizan para desarrollar medicamentos con propiedades anticoagulantes. La **warfarina** es un ejemplo clave, utilizado para prevenir trombosis y embolias.

Tratamientos médicos: Los psoralenos se emplean en la **PUVA terapia** (Psoralenos y luz ultravioleta A), un tratamiento para la psoriasis, vitiligo y otras afecciones dermatológicas.

Perfumería: Las cumarinas se utilizan ampliamente en perfumes y fragancias por su aroma dulce y suave. Son un componente común en las fragancias orientales y amaderadas.

Saborizantes: Aunque en algunos países la cumarina está prohibida como aditivo alimentario debido a sus posibles efectos hepatotóxicos, se usa en otros como saborizante natural, especialmente en productos que requieren un aroma parecido a la vainilla o la canela.

Herbolaria: En la medicina tradicional, las plantas que contienen cumarinas se utilizan para tratar infecciones, problemas digestivos y otras afecciones. Por ejemplo, el trébol dulce se ha usado como un remedio anticoagulante en la medicina popular.

6.3.6 Precauciones y Toxicidad:

A pesar de sus muchos beneficios, algunas cumarinas pueden ser tóxicas en dosis elevadas. El consumo excesivo de cumarina natural, especialmente en alimentos como el trébol dulce o las habas tonka, puede provocar daño hepático en humanos. Debido a esto, la cumarina está regulada en muchos países para su uso en alimentos (Coumarin, 2007).

- a) **Toxicidad hepática:** La cumarina en altas dosis ha mostrado ser hepatotóxica, lo que significa que puede causar daño al hígado si se consume en exceso.
- b) **Fotosensibilidad:** Los psoralenos pueden causar sensibilidad extrema a la luz solar, lo que puede resultar en quemaduras solares graves si no se toman las precauciones adecuadas.

6.3.7 Diferencias entre Cumarinas y Otros Compuestos Fenólicos:

Estructura química: Las cumarinas tienen una estructura de lactona (anillo cerrado que contiene oxígeno) que las distingue de otros fenoles simples o flavonoides.

Acción biológica: A diferencia de muchos compuestos fenólicos que son principalmente antioxidantes o antiinflamatorios, las cumarinas tienen un papel bien establecido como anticoagulantes y foto sensibilizantes.

6.4 Extracción

La extracción de cumarinas de fuentes naturales, como plantas o hierbas, es un proceso clave en la investigación y el aprovechamiento de sus propiedades biológicas y aplicaciones industriales. Existen varios métodos para extraer cumarinas, que varían en función de la planta de origen, la pureza deseada y los recursos disponibles (Coumarin, 2007).

6.4.1 Extracción por Maceración

La maceración es uno de los métodos más simples y tradicionales para extraer cumarinas de plantas.

Proceso:

- a) Se coloca el material vegetal seco y molido (por ejemplo, hojas o corteza) en un solvente adecuado, como **etanol**, **metanol**, o una mezcla de agua y alcohol.
- b) El solvente penetra en el material vegetal y disuelve las cumarinas.
- c) El material vegetal se deja reposar en el solvente por un período de tiempo, que puede variar de unas pocas horas a varios días, dependiendo de la planta y el solvente utilizado.
- d) Después, se filtra la mezcla para separar el material vegetal del extracto.
- e) Finalmente, el solvente se evapora mediante técnicas de evaporación (como rotavapor), dejando el extracto rico en cumarinas.

Ventajas:

- a) Proceso simple y económico.
- b) No requiere equipos avanzados.

Desventajas:

- a) Lento y puede no ser eficiente para la extracción de grandes cantidades.
- b) La pureza de las cumarinas puede verse afectada debido a la coextracción de otros compuestos.

6.4.2 Extracción con Soxhlet

La extracción con Soxhlet es un método continuo que utiliza disolventes para extraer compuestos de plantas de manera más eficiente que la maceración (Coumarin, 2007).

Proceso:

- a) El material vegetal seco se coloca en un cartucho de extracción.
- b) Se elige un solvente adecuado (como etanol, metanol, cloroformo o acetona).
- c) El solvente se calienta, se evapora y luego se condensa, pasando por el material vegetal y extrayendo las cumarinas.
- d) El disolvente vuelve a su punto de partida en el aparato Soxhlet, lo que permite la recirculación continua del solvente a través del material vegetal.
- e) Una vez que el disolvente ha extraído suficientemente las cumarinas, se evapora, dejando el extracto.

Ventajas:

- a) Eficiente para extraer grandes cantidades de cumarinas.
- b) Proceso continuo que ahorra tiempo.

Desventajas:

- a) El equipo es más costoso que en la maceración simple.

- b) El uso prolongado de solventes puede ser perjudicial para el medio ambiente si no se manejan adecuadamente.

6.4.3 Extracción por Ultrasonido (Sonicación)

La sonicación es un método moderno que utiliza ondas ultrasónicas para facilitar la extracción de compuestos bioactivos como las cumarinas (Coumarin, 2007).

Proceso:

- a) El material vegetal seco y finamente molido se suspende en un solvente (como etanol, metanol, o acetona).
- b) Se aplica energía ultrasónica a la mezcla, lo que genera cavitación (burbujas) en el solvente.
- c) Las burbujas implosionan, creando fuerzas mecánicas que rompen las células vegetales y liberan las cumarinas en el solvente.
- d) Después de la extracción, la mezcla se filtra y se evapora el solvente para obtener el extracto.

Ventajas:

- a) Método rápido y eficiente.
- b) Mejor extracción en comparación con la maceración y el Soxhlet.
- c) Menor uso de solvente y energía.

Desventajas:

- a) El equipo puede ser costoso.
- b) La eficiencia depende de los parámetros del ultrasonido (frecuencia, potencia, tiempo).

6.4.4 Extracción por Microondas

La extracción asistida por microondas es otro método moderno que utiliza radiación de microondas para mejorar la extracción de cumarinas.

Proceso:

- a) El material vegetal seco se coloca en un solvente dentro de un recipiente adecuado.
- b) Las microondas calientan selectivamente las moléculas polares del solvente y del material vegetal.
- c) Este calentamiento rápido y localizado provoca una mayor disolución de las cumarinas en el solvente.
- d) Después del tratamiento con microondas, la mezcla se filtra y se evapora el solvente para obtener el extracto.

Ventajas:

- a) Muy rápido y eficiente.
- b) Menor consumo de solvente.
- c) Puede mejorar el rendimiento y la pureza del extracto.

Desventajas:

- a) Requiere equipo especializado.
- b) El control de la temperatura es crucial para evitar la degradación de las cumarinas.

6.4.5 Extracción con Fluidos Supercríticos (CO₂ supercrítico)

Este método utiliza dióxido de carbono en su estado supercrítico (es decir, bajo alta presión y temperatura) como solvente para extraer cumarinas.

Proceso:

- a) El CO₂ se lleva a condiciones de temperatura y presión donde actúa como un fluido supercrítico.
- b) En este estado, el CO₂ tiene propiedades tanto de líquido como de gas, lo que le permite disolver compuestos bioactivos como las cumarinas.
- c) El CO₂ supercrítico se pasa a través del material vegetal, extrayendo las cumarinas.
- d) Luego, se reduce la presión, y el CO₂ se convierte nuevamente en gas, dejando el extracto sin solventes residuales.

Ventajas:

- a) Método muy selectivo y eficiente.
- b) El CO_2 es un solvente no tóxico y respetuoso con el medio ambiente.
- c) No deja residuos de solventes en el producto final.

Desventajas:

- a) Requiere equipos costosos y condiciones específicas (alta presión y temperatura).
- b) No es adecuado para laboratorios pequeños o extracción a pequeña escala.

6.4.6 Extracción Líquido-Líquido

La extracción líquido-líquido se utiliza comúnmente para purificar las cumarinas después de una extracción inicial.

Proceso:

- a) El extracto inicial se disuelve en un solvente no polar o ligeramente polar.
- b) Se añade un segundo solvente inmiscible (por ejemplo, agua y cloroformo o hexano), lo que permite separar los compuestos según su polaridad.
- c) Las cumarinas, que suelen ser más solubles en solventes orgánicos no polares, se separan en la fase orgánica.
- d) Se evapora el solvente de la fase orgánica para obtener cumarinas más puras.

Ventajas:

- a) Buena para la purificación.
- b) Proceso relativamente sencillo y económico.

Desventajas:

- a) Puede requerir varios pasos para alcanzar una alta pureza.
- b) Puede implicar el uso de solventes tóxicos.

6.4.7 Elección del Método

La elección del método de extracción depende de varios factores:

- **Naturaleza de la planta:** Algunas plantas pueden necesitar un tratamiento específico para romper sus paredes celulares y liberar mejor las cumarinas.
- **Solvente:** La polaridad del solvente influye en la eficiencia de extracción de las cumarinas. Solventes como el etanol, metanol o acetona son comúnmente utilizados.
- **Cantidad de cumarinas:** Para grandes producciones industriales, los métodos de Soxhlet, ultrasonido o CO₂ supercrítico suelen ser más adecuados. Para pequeñas cantidades en laboratorio, la maceración puede ser suficiente.
- **Pureza deseada:** Si se busca obtener cumarinas altamente puras, puede ser necesario combinar varios métodos, como extracción líquido-líquido seguida de técnicas cromatográficas.

6.5 Propiedades farmacológicas y empleos

Las cumarinas, además de su uso en perfumería y saborizantes, poseen diversas propiedades farmacológicas que las hacen valiosas en la medicina y en el tratamiento de varias enfermedades. Aquí se detallan las principales propiedades farmacológicas de las cumarinas:

6.5.1 Anticoagulante

Warfarina es uno de los derivados de cumarina más conocidos, utilizado ampliamente como anticoagulante para prevenir y tratar trombosis y embolias. La warfarina actúa inhibiendo la vitamina K epóxido reductasa, una enzima clave en la síntesis de factores de coagulación dependientes de vitamina K (como los factores II, VII, IX y X), lo que reduce la formación de coágulos.

Efectos:

- Prevención de trombosis venosa profunda.
- Prevención de embolias pulmonares.
- Tratamiento de fibrilación auricular y otras condiciones que predisponen a la formación de coágulos.

Precauciones:

- Requiere monitoreo regular del INR (International Normalized Ratio) para ajustar la dosis y evitar hemorragias.
- Interacciones con otros medicamentos y alimentos ricos en vitamina K pueden afectar su eficacia.

6.5.2 Antiinflamatoria

Algunas cumarinas han mostrado propiedades antiinflamatorias, lo que puede ser útil en el tratamiento de afecciones inflamatorias crónicas.

Efectos:

- Reducción de la inflamación en enfermedades como la artritis.
- Disminución de marcadores inflamatorios en estudios preclínicos.

Ejemplos:

- Esculetina: Tiene efectos antiinflamatorios y puede reducir la inflamación al inhibir la producción de mediadores inflamatorios.

6.5.3 Antioxidante

Las cumarinas tienen propiedades antioxidantes, lo que significa que pueden neutralizar los radicales libres y proteger las células del daño oxidativo.

Efectos:

- Protección contra el daño celular y la oxidación del ADN.
- Potencial en la prevención de enfermedades crónicas como el cáncer y enfermedades cardiovasculares.

Ejemplos:

- **Umbeliferona:** Exhibe propiedades antioxidantes y puede proteger las células contra el estrés oxidativo.

6.5.4 Antimicrobiana

Algunas cumarinas tienen actividad antimicrobiana, lo que puede ayudar en el tratamiento de infecciones bacterianas, fúngicas y virales.

Efectos:

- Inhibición del crecimiento de bacterias, hongos y virus.
- Uso potencial en el desarrollo de nuevos agentes antimicrobianos.

Ejemplos:

- **Cumarina:** Ha mostrado actividad antimicrobiana contra diversas cepas bacterianas y fúngicas en estudios de laboratorio.

6.5.5 Hepatoprotectora

Ciertas cumarinas tienen efectos protectores sobre el hígado y pueden ser útiles en el tratamiento de enfermedades hepáticas.

Efectos:

- Protección contra el daño hepático inducido por toxinas.
- Potencial en el tratamiento de enfermedades hepáticas crónicas y agudas.

Ejemplos:

- **Cumarina y esculetina:** Se han estudiado por sus efectos protectores en el hígado en modelos animales.

6.5.6 Fotosensibilizante

Los **psoralenos** son un tipo de cumarina que se utilizan en la terapia fotodinámica para tratar enfermedades de la piel como la psoriasis y el vitiligo.

Efectos:

- Aumento de la sensibilidad de la piel a la luz ultravioleta.
- Tratamiento eficaz para la psoriasis y otras afecciones dermatológicas.

Precauciones:

- Riesgo de reacciones adversas a la luz solar y la posibilidad de quemaduras solares.
- Necesidad de manejo cuidadoso durante el tratamiento para evitar efectos secundarios.

6.5.7 Antiespasmódica

Algunas cumarinas tienen efectos antiespasmódicos, que pueden ser útiles para aliviar espasmos musculares y dolores abdominales.

Efectos:

- Reducción de la contracción muscular involuntaria.
- Alivio de los síntomas asociados con espasmos gastrointestinales y otros tipos de espasmos.

Ejemplos:

- **Umbeliferona:** Ha mostrado efectos antiespasmódicos en estudios preclínicos.

6.5.8 Neuroprotectora

Algunas investigaciones sugieren que las cumarinas pueden tener efectos neuroprotectores, ayudando a proteger el cerebro y el sistema nervioso de daños.

Efectos:

- Protección contra el daño neuronal y la neurodegeneración.
- Potencial en el tratamiento de enfermedades neurodegenerativas como el Alzheimer.

Ejemplos:

- **Esculetina:** Ha mostrado efectos neuroprotectores en modelos animales.

6.5.9 Anticancerígena

Algunas cumarinas han mostrado actividad anticancerígena en estudios preclínicos, inhibiendo el crecimiento de células cancerosas y la formación de tumores.

Efectos:

- Inhibición de la proliferación celular y la angiogénesis.
- Potencial en el desarrollo de nuevas terapias contra el cáncer.

Ejemplos:

- **Cumarina:** Ha mostrado efectos anticancerígenos en modelos celulares y animales.

6.5.10 Consideraciones Adicionales

- Interacciones Medicamentosas: Las cumarinas pueden interactuar con otros medicamentos, especialmente los anticoagulantes, lo que requiere monitoreo cuidadoso.
- Toxicidad: Algunas cumarinas pueden ser tóxicas en altas dosis, por lo que es importante ajustar las dosis y usar estos compuestos bajo supervisión médica.

AUTOEVALUACIÓN

1. ¿Qué es un fenilpropano?

- A) Un tipo de hidrocarburo aromático
- B) Un compuesto con una estructura de tres anillos bencénicos
- C) Un compuesto con un grupo fenilo unido a una cadena de tres carbonos
- D) Un tipo de aldehído aromático

2. ¿Cuál es la estructura básica del fenilpropano?

- A) Un anillo bencénico unido a un grupo metilo
- B) Un anillo bencénico unido a una cadena de dos carbonos
- C) Un anillo bencénico unido a una cadena de tres carbonos
- D) Un anillo bencénico unido a una cadena de cuatro carbonos

3. ¿Qué compuesto fenilpropano se encuentra en el aceite de clavo y es conocido por sus propiedades antimicrobianas?

- A) Eugenol
- B) Linalol
- C) Mentol
- D) Carvacrol

4. ¿Cuál de los siguientes es un ejemplo de un fenilpropano utilizado en la industria de los perfumes?

- A) Vanilina
- B) Ácido benzoico
- C) Tolueno
- D) Xileno

5. ¿Qué fenilpropano es un componente importante en la canela y es conocido por su aroma especiado?

- A) Cumarina
- B) Canelaaldehído
- C) Vanilina
- D) Eugenol

6. ¿Qué función biológica cumple el fenilpropano en las plantas?

- A) Atraer polinizadores
- B) Actuar como una hormona
- C) Servir como metabolito secundario para defensa
- D) Facilitar la fotosíntesis

7. ¿Cuál de los siguientes fenilpropanos es utilizado en la síntesis de medicamentos como el paracetamol?

- A) Acido salicílico
- B) Vanilina
- C) Cumarina
- D) Eugenol

8. ¿Qué compuesto fenilpropano se utiliza como aditivo en alimentos y fragancias por su aroma a vainilla?

- A) Vanilina
- B) Canelaaldehído
- C) Eugenol
- D) Anetol

9. ¿Qué fenilpropano se encuentra en el anís y tiene propiedades antiespasmódicas?

- A) Anetol
- B) Vanilina
- C) Eugenol
- D) Cumarina

10. ¿Cuál de los siguientes fenilpropanos se asocia comúnmente con la inflamación de la piel y la dermatitis de contacto?

- A) Canelaaldehído
- B) Vanilina
- C) Linalol
- D) Mentol

UNIDAD 7

FLAVONOIDES

7.1 Generalidades

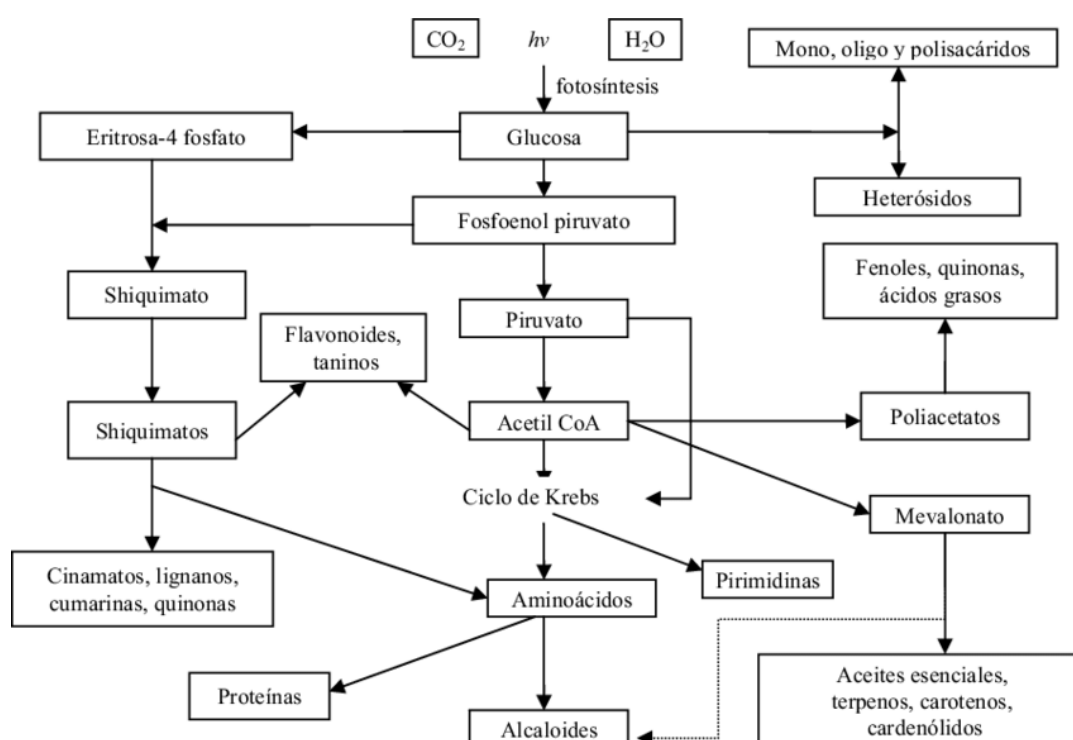
Los flavonoides son una gran clase de compuestos fenólicos que se encuentran en una amplia variedad de plantas y alimentos, como frutas, verduras, té y vino. Son conocidos por sus propiedades antioxidantes, antiinflamatorias y otras actividades biológicas beneficiosas para la salud.

7.2 Biosíntesis

En la imagen a continuación se detalla la biosíntesis de los flavonoides en las células vegetales, a partir de la fotosíntesis.

Figura 2

Estructura química de la quercetina



Nota. Adaptado de "Flavonoides y sus acciones antioxidantes", por C. I. Escamilla Jiménez et al., 2009, Revista de la Facultad de Medicina UNAM, 52(2), p. 74. Copyright 2009 por Universidad Nacional Autónoma de México.

7.3 Distribución en la naturaleza

7.3.1 Frutas:

- **Manzanas:** Contienen flavonoides como quercetina y catequinas.
- **Cítricos:** Naranjas, limones y pomelos contienen flavonoides como hesperidina y naringina.
- **Berries:** Fresas, arándanos, moras y frambuesas son ricos en antocianinas, como la cianidina y la pelargonidina.
- **Uvas:** Contienen resveratrol y flavonoides como quercetina y kaempferol.

7.3.2 Verduras:

- **Brócoli:** Contiene flavonoides como quercetina y kaempferol.
- **Cebollas:** Ricas en quercetina, especialmente en la variedad roja.
- **Pimientos:** Contienen flavonoides como quercetina.

7.3.3 Legumbres:

- **Soya:** Contiene isoflavonas como genisteína y daidzeína.

7.3.4 Té:

- **Té verde:** Rico en catequinas, como epicatequina y epicatequina galato (EGCG).
- **Té negro:** Contiene flavonoides como teaflavinas y tearrubiginas.

7.3.5 Hierbas y Especies:

- **Rosa mosqueta:** Contiene antocianinas.
- **Cúrcuma:** Contiene curcumina, que aunque no es un flavonoide típico, tiene estructuras relacionadas.

7.4 Partes de la Planta

7.4.1 Flores:

Las flores a menudo contienen altos niveles de antocianinas, responsables de los colores brillantes que atraen a los polinizadores. Ejemplos incluyen las flores

de hibisco (contienen hibiscina) y las flores de manzanilla (contienen apigenina).

7.4.2 Hojas:

Las hojas de muchas plantas contienen flavonoides como la quercetina y la kaempferol. Ejemplos incluyen el té verde y la menta.

7.4.3 Raíces:

Algunas raíces, como las de la remolacha, contienen flavonoides en menor concentración, pero pueden ser ricas en otros compuestos fenólicos.

7.4.4 Frutos y Semillas:

Los frutos como las manzanas, los cítricos y las berries contienen altos niveles de flavonoides. Las semillas de soya son una fuente rica de isoflavonas.

7.5 Distribución Geográfica y Adaptación

- **Ambientes Templados:** Las frutas y verduras de regiones templadas, como manzanas y cebollas, contienen flavonoides como quercetina y kaempferol.
- **Climas Cálidos y Tropicales:** Las frutas tropicales, como las guayabas y las naranjas, contienen flavonoides como hesperidina y naringina.
- **Regiones Árticas:** Las plantas adaptadas a climas fríos pueden tener flavonoides como antocianinas para protegerse de la radiación UV y el estrés oxidativo.

7.6 Función Ecológica en las Plantas

- **Protección contra UV:** Los flavonoides actúan como filtros solares naturales, protegiendo las plantas de la radiación UV dañina.
- **Defensa contra Herbívoros y Patógenos:** Los flavonoides tienen propiedades antimicrobianas y antifúngicas, ayudando a las plantas a defenderse contra herbívoros y enfermedades.
- **Atractivo para Polinizadores:** Los flavonoides en las flores atraen a los polinizadores mediante sus colores vibrantes y su aroma.

7.7 Efectos de Procesamiento y Almacenamiento

- **Procesamiento Alimentario:** El procesamiento de alimentos puede afectar la concentración y la biodisponibilidad de flavonoides. Por ejemplo, la cocción puede reducir el contenido de flavonoides en algunos vegetales.
- **Almacenamiento:** La exposición a la luz, al aire y al calor puede degradar los flavonoides, reduciendo su contenido en alimentos almacenados.

7.8 Ejemplos de Distribución de Flavonoides en Plantas Específicas

- **Manzanas:** Contienen quercetina, catequinas y flavonoides en la piel.
- **Té Verde:** Rico en catequinas como EGCG, con propiedades antioxidantes y beneficios para la salud.
- **Cebollas:** Contienen quercetina, especialmente en variedades rojas y amarillas.

7.9 Importancia en la Dieta Humana

Los flavonoides tienen beneficios potenciales para la salud humana debido a sus propiedades antioxidantes, antiinflamatorias y otros efectos beneficiosos. Consumir una dieta rica en flavonoides puede contribuir a la prevención de enfermedades crónicas y mejorar el bienestar general.

7.10 Fuentes Vegetales Principales

7.10.1 Frutas

Cítricos:

- **Naranjas:** Ricas en flavonoides como **hesperidina** y **naringina**.
- **Limones:** Contienen flavonoides como **hesperidina**.
- **Pomelos:** Contienen **naringina** y **hesperidina**.

7.10.2 Bayas:

- **Fresas:** Contienen **quercetina** y **kaempferol**.

- **Arándanos:** Ricos en **antocianinas** como **cianidina** y **delphinidina**.
- **Moras:** Contienen **antocianinas** y **quercetina**.
- **Frambuesas:** Contienen **quercetina** y **kaempferol**.

7.10.3 Manzanas:

Ricas en quercetina y catequinas.

7.10.4 Uvas:

Contienen resveratrol (aunque no es un flavonoide típico) y flavonoides como quercetina y kaempferol.

7.10.5 Kiwis:

Contienen flavonoides como **quercetina** y **kaempferol**.

7.10.6 Verduras

- **Brócoli:** Contiene **quercetina** y **kaempferol**.
- **Cebollas:** Especialmente las variedades rojas y amarillas son ricas en **quercetina**.
- **Pimientos:** Contienen flavonoides como **quercetina** y **kaempferol**.
- **Espinacas:** Contiene flavonoides como **quercetina** y **kaempferol**.
- **Col rizada:** Contiene flavonoides como **kaempferol** y **quercetina**.

7.10.7 Legumbres

- **Soya:** Contiene **isoflavonas** como **genisteína** y **daidzeína**.
- **Frijoles:** Contienen flavonoides como **quercetina** y **kaempferol**.

7.10.8 Bebidas

- **Té Verde:** Rico en **catequinas**, como **epicatequina** y **epicatequina galato (EGCG)**.
- **Té Negro:** Contiene flavonoides como **teaflavinas** y **tearrubiginas**.
- **Vino Tinto:** Contiene flavonoides como **resveratrol** y **quercetina**, aunque resveratrol no es un flavonoide típico, está relacionado estructuralmente.

7.10.9 Hierbas y Especies

- **Cúrcuma:** Contiene **curcumina**, que aunque no es un flavonoide típico, tiene estructuras relacionadas.
- **Manzanilla:** Contiene **apigenina** y **quercetina**.
- **Menta:** Contiene flavonoides como **mentona** y **luteolina**.
- **Rosa Mosqueta:** Contiene **antocianinas** y otros flavonoides.

7.10.10 Otros Alimentos

- **Chocolate Oscuro:** Contiene **catequinas** y flavonoides como **epicatequina**.
- **Nuez de Brasil:** Contiene flavonoides como **quercetina** y **kaempferol**.

7.11 Consideraciones

- **Concentración de Flavonoides:** La concentración de flavonoides puede variar según la variedad, la madurez y las condiciones de cultivo de los alimentos.
- **Procesamiento:** El procesamiento de alimentos puede afectar el contenido de flavonoides. Por ejemplo, el cocinado puede reducir su concentración.

7.12 Ensayos y valoración

7.12.1 Métodos de Extracción

Extracción Líquido-Líquido:

- **Descripción:** Se utiliza un solvente para extraer flavonoides de la muestra sólida. Los solventes comunes incluyen metanol, etanol y acetona.
- **Aplicación:** Ideal para muestras vegetales secas o trituradas.

Extracción con Solventes Súpercríticos:

- **Descripción:** Utiliza dióxido de carbono en estado supercrítico para extraer flavonoides de la muestra.

- **Aplicación:** Se emplea en investigación avanzada debido a su alta eficiencia y pureza.

Extracción con Ultrasonido:

- **Descripción:** Utiliza ultrasonido para mejorar la extracción de flavonoides mediante la aplicación de ondas acústicas.
- **Aplicación:** Acelera el proceso de extracción y puede ser más eficiente en comparación con métodos tradicionales.

7.12.2 Métodos de Separación y Identificación

Cromatografía en Capa Fina (TLC):

- **Descripción:** Técnica que separa los flavonoides en una placa de adsorbente. Los compuestos se visualizan bajo luz UV o se tiñen con reactivos específicos.
- **Aplicación:** Método cualitativo y rápido para la identificación preliminar de flavonoides.

Cromatografía Líquida de Alta Resolución (HPLC):

- **Descripción:** Utiliza una columna para separar los flavonoides en función de sus interacciones con una fase estacionaria y una fase móvil. Se emplean detectores como UV-Vis para cuantificación.
- **Aplicación:** Método cuantitativo preciso y ampliamente utilizado en análisis de flavonoides.

Cromatografía de Gases (GC):

- **Descripción:** Se usa para la separación de flavonoides volátiles o derivados. Los flavonoides se ionizan y se detectan mediante espectrometría de masas.
- **Aplicación:** Menos común para flavonoides no volátiles, pero útil para ciertos tipos de flavonoides.

Espectroscopía de Resonancia Magnética Nuclear (RMN):

- **Descripción:** Permite la identificación estructural de flavonoides mediante el análisis de sus estructuras atómicas.
- **Aplicación:** Proporciona información detallada sobre la estructura de flavonoides, útil para la identificación precisa.

Espectrometría de Masas (MS):

- **Descripción:** Analiza la masa de los flavonoides y sus fragmentos para identificar y cuantificar compuestos específicos.
- **Aplicación:** A menudo combinada con HPLC para una identificación y cuantificación más detalladas (HPLC-MS).

7.12.3 Métodos de Cuantificación

Espectrofotometría UV-Vis:

- **Descripción:** Mide la absorbancia de flavonoides en función de la longitud de onda. Los flavonoides suelen tener picos característicos en el rango UV-Vis.
- **Aplicación:** Método simple y común para cuantificar flavonoides. Se utilizan longitudes de onda específicas para diferentes flavonoides (e.g., 360 nm para quercetina).

Ensayo Colorimétrico:

- **Descripción:** Utiliza reactivos específicos para inducir un cambio de color en la presencia de flavonoides. La intensidad del color se mide con un espectrofotómetro.
- **Aplicación:** Ejemplos incluyen el ensayo de aluminio clorhidato para flavonoides totales.

Ensayo de Aluminio-Clorhidato:

- **Descripción:** Un método colorimétrico basado en la formación de complejos entre flavonoides y cloruro de aluminio, que da lugar a un cambio de color medible.

- **Aplicación:** Se utiliza para la determinación de flavonoides totales en una muestra.

7.12.4 Métodos Avanzados

Cromatografía Líquida de Ultra Alta Resolución (UHPLC):

- **Descripción:** Variante de HPLC que utiliza columnas de partículas más pequeñas para una separación más rápida y eficiente.
- **Aplicación:** Permite un análisis más rápido y sensible de flavonoides.

Cromatografía Líquida de Alta Resolución Acoplada a Espectrometría de Masas (HPLC-MS):

- **Descripción:** Combina la separación de HPLC con la identificación de masas de MS para un análisis detallado de flavonoides.
- **Aplicación:** Proporciona una identificación y cuantificación muy precisa.

7.12.5 Consideraciones

- **Preparación de Muestras:** La correcta preparación de muestras es crucial para obtener resultados precisos. Esto puede incluir la molienda, la deshidratación, y la homogenización de muestras vegetales.
- **Condiciones de Análisis:** Las condiciones específicas del análisis (p. ej., longitud de onda en espectrofotometría) deben ser optimizadas para cada tipo de flavonoide.

7.13 Interés farmacológico

7.13.1 Propiedades Antioxidantes

- **Mecanismo:** Los flavonoides actúan como antioxidantes al neutralizar los radicales libres y reducir el estrés oxidativo.
- **Beneficios:** Ayudan a proteger las células del daño oxidativo, que está asociado con el envejecimiento y diversas enfermedades crónicas, como el cáncer y enfermedades cardiovasculares.

7.13.2 Propiedades Antiinflamatorias

- **Mecanismo:** Inhiben la producción de citoquinas proinflamatorias y la actividad de enzimas como la ciclooxigenasa-2 (COX-2) y lipoxigenasa.
- **Beneficios:** Reducen la inflamación en enfermedades crónicas como artritis, enfermedades cardiovasculares y enfermedades neurodegenerativas.

7.13.3 Efectos Cardiovasculares

- **Mecanismo:** Mejoran la salud cardiovascular al promover la dilatación de los vasos sanguíneos, reducir la presión arterial, y disminuir la agregación plaquetaria.
- **Beneficios:** Reducen el riesgo de enfermedades cardíacas, hipertensión y accidentes cerebrovasculares. Ejemplos incluyen los flavonoides en el té verde y el cacao.

7.13.4 Propiedades Anticancerígenas

- **Mecanismo:** Inhiben el crecimiento de células cancerosas, inducen la apoptosis (muerte celular programada) y bloquean la proliferación celular.
- **Beneficios:** Potencial para prevenir y tratar varios tipos de cáncer, como el cáncer de mama, próstata y colon. Flavonoides como la quercetina y la genisteína han mostrado efectos prometedores en estudios preclínicos y clínicos.

7.13.5 Propiedades Antibacterianas y Antivirales

- **Mecanismo:** Actúan contra bacterias y virus mediante la alteración de la membrana celular y la inhibición de la replicación viral.
- **Beneficios:** Utilizados en el desarrollo de agentes antimicrobianos y antivirales. Ejemplos incluyen flavonoides en el propóleo y en plantas como el ajo.

7.13.6 Efectos Neuroprotectores

- **Mecanismo:** Protegen las neuronas del daño oxidativo y la inflamación, y mejoran la función cognitiva.
- **Beneficios:** Pueden ayudar en la prevención y tratamiento de enfermedades neurodegenerativas como el Alzheimer y el Parkinson. Flavonoides como la catequina del té verde y la quercetina tienen efectos neuroprotectores.

7.13.7 Propiedades Antidiabéticas

- **Mecanismo:** Mejoran la sensibilidad a la insulina, regulan el metabolismo de la glucosa y disminuyen la glicemia.
- **Beneficios:** Ayudan en el manejo y prevención de la diabetes tipo 2. Flavonoides como la quercetina y la naringina han mostrado efectos positivos en estudios clínicos.

7.13.8 Efectos Estrogénicos y Hormono-Moduladores

- **Mecanismo:** Tienen efectos estrogénicos débiles que pueden influir en el equilibrio hormonal.
- **Beneficios:** Utilizados en el manejo de síntomas menopáusicos y en la prevención de osteoporosis. Las isoflavonas de la soya, como la genisteína, son ejemplos de flavonoides con propiedades estrogénicas.

7.13.9 Beneficios para la Salud Digestiva

- **Mecanismo:** Mejoran la salud gastrointestinal al promover el crecimiento de bacterias beneficiosas y reducir la inflamación en el tracto digestivo.
- **Beneficios:** Pueden ayudar en la prevención y tratamiento de enfermedades gastrointestinal como la colitis y el síndrome del gastrointestinal irritable.

7.13.10 Propiedades Hepatoprotectoras

- **Mecanismo:** Protegen el hígado del daño oxidativo y la inflamación, y mejoran la función hepática.

- **Beneficios:** Ayudan en la prevención y tratamiento de enfermedades hepáticas, como la hepatitis y la cirrosis. Flavonoides como la silimarina (de la planta de cardo mariano) tienen efectos hepatoprotectores.

7.13.11 Investigación en Curso

- **Desarrollo de Fármacos:** La investigación continúa para desarrollar nuevos medicamentos y suplementos basados en flavonoides.
- **Evidencia Clínica:** Aunque hay mucha evidencia preclínica sobre los beneficios de los flavonoides, se necesitan más estudios clínicos para confirmar su eficacia y seguridad en diversas aplicaciones terapéuticas.

7.13.12 Consideraciones de Seguridad

- **Interacciones Medicamentosas:** Los flavonoides pueden interactuar con ciertos medicamentos, por lo que es importante consultar a un profesional de salud antes de comenzar a tomar suplementos.
- **Dosis:** La dosis adecuada y la forma de administración de flavonoides pueden variar, y su eficacia puede depender de la biodisponibilidad y metabolismo individuales.

7.14 Drogas vegetales clásicas

7.14.1 Manzanilla (*Matricaria chamomilla*)

- **Flavonoides Principales:** Apigenina, quercetina.
- **Propiedades:** Antiinflamatoria, antioxidante, sedante, y digestiva. Utilizada para tratar problemas digestivos, ansiedad y problemas de sueño.

7.14.2 Té Verde (*Camellia sinensis*)

- **Flavonoides Principales:** Catequinas (epicatequina, epicatequina galato, epigallocatequina, epigallocatequina galato).
- **Propiedades:** Antioxidante, antiinflamatoria, y potencial anticancerígeno. Se usa para mejorar la salud cardiovascular y metabólica.

7.14.3 Hibisco (*Hibiscus sabdariffa*)

- **Flavonoides Principales:** Antocianinas (delfinidina, cianidina), quercetina.
- **Propiedades:** Antioxidante, antihipertensiva, y diurética. Utilizado para reducir la presión arterial y promover la salud cardiovascular.

7.14.4 Ginkgo Biloba (*Ginkgo biloba*)

- **Flavonoides Principales:** Quercetina, kaempferol.
- **Propiedades:** Antioxidante, neuroprotectora, y mejora la circulación sanguínea. Utilizado para mejorar la memoria y tratar problemas cognitivos.

7.14.5 Menta (*Mentha spp.*)

- **Flavonoides Principales:** Luteolina, apigenina.
- **Propiedades:** Digestiva, antiinflamatoria, y analgésica. Utilizada para aliviar dolores estomacales, náuseas y dolores de cabeza.

7.14.6 Rosa Mosqueta (*Rosa canina*)

- **Flavonoides Principales:** Antocianinas, quercetina.
- **Propiedades:** Antioxidante, antiinflamatoria y cicatrizante. Utilizada para la salud de la piel y en el tratamiento de heridas.

7.14.7 Echinacea (*Echinacea purpurea* y *Echinacea angustifolia*)

- **Flavonoides Principales:** Cinarina, quercetina.
- **Propiedades:** Inmunoestimulante, antioxidante. Utilizada para fortalecer el sistema inmunológico y prevenir resfriados.

7.14.8 Cardo Mariano (*Silybum marianum*)

- **Flavonoides Principales:** Silimarina (una mezcla de silibina, silicristina, y silicidicina).

- **Propiedades:** Hepatoprotectora, antioxidante. Utilizada para apoyar la función hepática y tratar enfermedades del hígado.

7.14.9 Grosellero Negro (*Ribes nigrum*)

- **Flavonoides Principales:** Quercetina, kaempferol.
- **Propiedades:** Antiinflamatoria, antioxidante, y diurética. Utilizado para tratar problemas respiratorios y artritis.

7.14.10 Cúrcuma (*Curcuma longa*)

- **Flavonoides Principales:** Curcumina (aunque es más conocida como un polifenol que como un flavonoide, tiene estructuras relacionadas).
- **Propiedades:** Antiinflamatoria, antioxidante. Utilizada para tratar inflamaciones y dolor, y para mejorar la salud digestiva.

7.14.11 Sauce (*Salix spp.*)

- **Flavonoides Principales:** Quercetina, kaempferol.
- **Propiedades:** Analgésica, antiinflamatoria. Utilizado para aliviar el dolor y la inflamación.

7.14.12 Regaliz (*Glycyrrhiza glabra*)

- **Flavonoides Principales:** Liquiritina, glabridina.
- **Propiedades:** Antiinflamatoria, antioxidante. Utilizado para tratar problemas gastrointestinales y respiratorios.

7.14.13 Consideraciones en el Uso de Plantas Medicinales

- **Calidad y Seguridad:** La calidad de las plantas medicinales puede variar, y es importante usar productos de fuentes confiables y verificar su pureza.
- **Interacciones:** Algunos flavonoides pueden interactuar con medicamentos o condiciones de salud, por lo que es importante consultar a un profesional de salud antes de comenzar cualquier tratamiento nuevo.

- **Evidencia Científica:** Aunque muchas plantas medicinales han sido utilizadas tradicionalmente, la investigación científica sobre sus efectos puede variar en profundidad y calidad.

AUTOEVALUACIÓN

1. ¿Qué son los flavonoides?

- A) Un tipo de ácido graso
- B) Compuestos fenólicos con estructura de anillo benzoílico
- C) Un tipo de proteína
- D) Carbohidratos complejos

2. ¿Cuál es la estructura básica de los flavonoides?

- A) Un núcleo de tres anillos bencénicos unidos por átomos de oxígeno
- B) Un núcleo de dos anillos bencénicos unidos por una cadena de carbonos
- C) Un anillo bencénico unido a un grupo carbonilo
- D) Un anillo heterocíclico con nitrógeno

3. ¿Cuál de los siguientes flavonoides es conocido por su color amarillo y se encuentra en el azafrán?

- A) Quercetina
- B) Rutina
- C) Curcumina
- D) Kaempferol

4. ¿Qué flavonoide es conocido por sus propiedades antioxidantes y se encuentra en el té verde?

- A) Epigallocatequina galato (EGCG)
- B) Catequina
- C) Hesperidina
- D) Naringina

5. **¿Cuál de los siguientes flavonoides se encuentra en las uvas rojas y el vino tinto y tiene efectos antioxidantes?**
- A) Resveratrol
 - B) Luteolina
 - C) Apigenina
 - D) Quercetina
6. **¿Qué flavonoide es común en los cítricos y se ha estudiado por sus posibles beneficios para la salud cardiovascular?**
- A) Hesperidina
 - B) Naringina
 - C) Rutin
 - D) Kaempferol
7. **¿Qué flavonoide se encuentra en el perejil y es conocido por sus propiedades antiinflamatorias?**
- A) Apigenina
 - B) Quercetina
 - C) Luteolina
 - D) Rutina
8. **¿Cuál de los siguientes flavonoides es conocido por su color rojo en las frutas como las fresas y las cerezas?**
- A) Antocianina
 - B) Flavanona
 - C) Flavonol
 - D) Isoflavona

9. ¿Qué grupo de flavonoides es especialmente conocido por sus efectos beneficiosos en la salud ósea y se encuentra en la soja?

- A) Isoflavonas
- B) Flavonoles
- C) Flavonas
- D) Flavanoles

10. ¿Qué flavonoide se encuentra en la cebolla y el brócoli y es conocido por sus propiedades antioxidantes?

- A) Quercetina
- B) Hesperidina
- C) Epicatequina
- D) Catequina

UNIDAD 8

TANINOS

8.1 Generalidades

Los taninos son compuestos fenólicos naturales presentes en diversas plantas. Estos compuestos se caracterizan por su capacidad para precipitar proteínas y tienen un sabor astringente, lo que les confiere propiedades antioxidantes y antimicrobianas. Se encuentran en muchas frutas, cortezas, hojas y raíces de plantas, y son ampliamente conocidos por su uso en la industria del curtido de cueros y la producción de vino.

8.2 Definición. Clasificación

8.2.1 Taninos Hidrolizables:

- Formados por moléculas de ácido gálico o elágico unidas a azúcares como la glucosa.
- Pueden hidrolizarse fácilmente por acción enzimática o en medios ácidos.
- Ejemplos: Ácido tánico y elagitaninos.

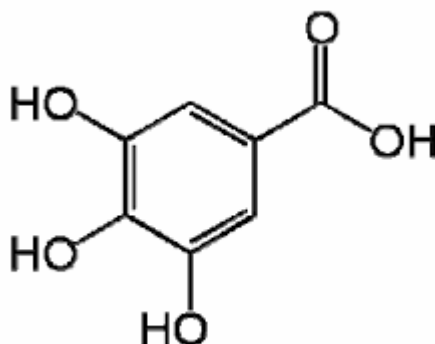
8.2.2 Taninos Condensados (Proantocianidinas):

- Formados por la polimerización de flavonoides, en particular catequinas y epicatequinas.
- Son más resistentes a la hidrólisis y se encuentran en alimentos como el cacao, las uvas y el té.
- Ejemplos: Proantocianidinas y catequinas.

8.3 Estructura química y distribución

La fórmula $C_{14}H_{14}O_{11}$, considerada en algunos libros como la del tanino común, es solo aproximada, ya que son polímeros complejos.

En la imagen a continuación se muestra la estructura básica de los taninos.



8.4 Métodos de extracción

8.4.1 Extracción con Solventes

Este es el método más común para extraer taninos. La elección del solvente depende del tipo de tanino que se desee extraer (hidrolizable o condensado).

- **Procedimiento:**

1. El material vegetal se seca y se muele para aumentar la superficie de contacto.
2. El polvo vegetal se somete a extracción con solventes como agua, etanol, metanol, acetona o una mezcla de agua y solventes orgánicos.
3. La solución obtenida se filtra y el solvente se evapora, dejando atrás los taninos.

- **Solventes Utilizados:**

- ✓ **Agua:** Ideal para la extracción de taninos solubles en agua.
- ✓ **Etanol o metanol:** Utilizados para taninos menos polares.
- ✓ **Acetona:** Muy eficaz para taninos condensados.

- **Ventajas:**

- ✓ Relativamente sencillo y económico.
- ✓ Buena eficiencia de extracción.

- **Desventajas:**

- ✓ Algunos solventes pueden extraer otros compuestos no deseados.

- ✓ Los solventes orgánicos requieren eliminación posterior para obtener un extracto puro.

8.5 Identificación

8.5.1 Pruebas Químicas Cualitativas

Estas pruebas simples permiten detectar la presencia de taninos de manera preliminar mediante reacciones químicas específicas.

a. Prueba de Gelatina

- **Procedimiento:** Se añade una solución de gelatina al extracto vegetal.
- **Reacción:** Los taninos precipitan al formar complejos insolubles con la gelatina.
- **Interpretación:** La aparición de un precipitado indica la presencia de taninos.

b. Prueba de Cloruro Férrico (FeCl_3)

- **Procedimiento:** Se agrega una solución de cloruro férrico (FeCl_3) al extracto.
- **Reacción:**
- **Taninos Hidrolizables:** Producen un color azul o azul verdoso.
- **Taninos Condensados:** Producen un color verde oscuro.
- **Interpretación:** El cambio de color indica la presencia y tipo de taninos.

c. Prueba de la Prueba de Stiasny

- **Procedimiento:** Se trata el extracto vegetal con formaldehído y ácido clorhídrico.
- **Reacción:** Los taninos condensados precipitan, mientras que los taninos hidrolizables permanecen en solución.
- **Interpretación:** La separación de fases permite distinguir entre taninos hidrolizables y condensados.

8.5.2 Cromatografía en Capa Fina (TLC)

La **cromatografía en capa fina (TLC)** es una técnica común para identificar y separar taninos en extractos vegetales.

- **Procedimiento:**

1. Se aplica una pequeña cantidad del extracto en una placa de TLC (normalmente sílice gel).
2. La placa se coloca en una cámara con solventes adecuados (por ejemplo, etanol-agua o acetona).
3. Los taninos migran en la placa a diferentes velocidades dependiendo de su afinidad por el solvente y el absorbente.
4. Los taninos se visualizan usando reactivos específicos, como el cloruro férrico (FeCl_3), que produce manchas de colores característicos.

- **Interpretación:** Las manchas de diferentes colores y posiciones indican la presencia de diferentes taninos (condensados o hidrolizables).

8.5.3 Espectrofotometría UV-Vis

La espectrofotometría ultravioleta-visible (UV-Vis) es una técnica usada para la cuantificación de taninos y para estudiar su estructura a nivel básico.

- **Procedimiento:**

1. Se diluye el extracto vegetal y se somete a análisis en un espectrofotómetro.
2. Los taninos absorben luz a longitudes de onda específicas.
3. Se mide la absorbancia a 280 nm (taninos hidrolizables) y 550-580 nm (taninos condensados).

- **Interpretación:** Los picos de absorbancia específicos indican la presencia y concentración de taninos en el extracto.

8.5.4 Cromatografía Líquida de Alta Resolución (HPLC)

La cromatografía líquida de alta resolución (**HPLC**) es uno de los métodos más precisos para la identificación y cuantificación de taninos.

- **Procedimiento:**

1. El extracto vegetal se inyecta en un sistema HPLC.
2. Los taninos se separan en función de su polaridad y tamaño molecular mientras pasan a través de una columna cromatográfica.
3. Los detectores UV-Vis o de masas se utilizan para identificar y cuantificar los taninos presentes.

- **Ventajas:**

- ✓ Permite la identificación precisa de diferentes tipos de taninos, incluyendo proantocianidinas, taninos gálicos y elágicos.
- ✓ Es una técnica cuantitativa que proporciona información detallada sobre la estructura de los compuestos.

8.5.5 Cromatografía de Gases (GC)

La **cromatografía de gases (GC)** es otra técnica avanzada, especialmente útil para identificar taninos hidrolizables después de la derivatización (transformación en compuestos volátiles).

- **Procedimiento:**

1. El extracto de taninos se somete a una derivatización para convertirlos en formas volátiles.
2. Luego, la muestra se analiza mediante GC.
3. Un detector, como el detector de masas (MS), identifica los componentes volátiles derivados de los taninos.

- **Ventajas:**

- ✓ Ideal para analizar los taninos hidrolizables que pueden ser fragmentados en compuestos más simples.

8.5.6 Cromatografía de Masas Espectrometría (LC-MS/MS)

El **acoplamiento de la cromatografía líquida con la espectrometría de masas (LC-MS/MS)** es un método avanzado que permite la identificación precisa y la caracterización de los taninos.

- **Procedimiento:**

1. El extracto vegetal se separa mediante HPLC.

2. Los taninos separados se ionizan y se analizan por espectrometría de masas, permitiendo obtener su estructura molecular.
3. Los patrones de fragmentación se comparan con bases de datos para identificar cada compuesto.

- **Ventajas:**

- Permite la identificación estructural de los taninos y la determinación precisa de su peso molecular.
- Técnica muy sensible y precisa.

8.5.7 Resonancia Magnética Nuclear (RMN)

La **resonancia magnética nuclear (RMN)** se utiliza para el análisis estructural avanzado de los taninos.

- **Procedimiento:**

1. Se prepara el extracto de taninos y se disuelve en un solvente adecuado (como deuteróxido de agua).
2. Se expone a un campo magnético y se analiza la interacción de los núcleos de los átomos con ondas de radio.
3. Se obtienen espectros que permiten identificar la estructura química precisa de los taninos.

- **Ventajas:**

- ✓ Técnica no destructiva.
- ✓ Proporciona información estructural detallada, como la disposición de los anillos fenólicos y los enlaces entre unidades de taninos.

8.5.8 Electroforesis Capilar (CE)

La **electroforesis capilar** es otra técnica moderna para la separación e identificación de taninos.

- **Procedimiento:**

1. Los taninos se separan en función de su carga y tamaño dentro de un capilar bajo un campo eléctrico.

2. Un detector UV-Vis o de fluorescencia se utiliza para identificar los compuestos separados.

- **Ventajas:**

- ✓ Rápida separación y alta resolución.
- ✓ Requiere pequeñas cantidades de muestra.

8.6 Interés en fitoquímica

- **Astringencia:**

Los taninos se unen a las proteínas de la saliva, lo que causa una sensación de sequedad o aspereza en la boca. Esta propiedad es característica de bebidas como el té y el vino tinto.

- **Propiedades Antioxidantes:**

Actúan como antioxidantes, lo que les permite neutralizar radicales libres y prevenir el daño celular.

- **Propiedades Antimicrobianas:**

Tienen actividad contra bacterias, hongos y otros patógenos. Los taninos pueden inhibir el crecimiento de microorganismos patógenos al desnaturalizar sus proteínas o dañar las membranas celulares.

- **Propiedades Anti-inflamatorias:**

Algunos taninos pueden reducir la inflamación al inhibir la producción de compuestos proinflamatorios.

- **Propiedades Anticancerígenas:**

Varios estudios han mostrado que los taninos, especialmente las proantocianidinas, pueden inhibir la proliferación de células cancerosas y tener efectos protectores contra el cáncer.

- **Propiedades Antiparasitarias:**

Se utilizan en la medicina veterinaria y tradicional para el control de parásitos en animales debido a su capacidad para interferir en el metabolismo de estos organismos.

AUTOEVALUACIÓN

1. ¿Qué son los taninos?

- A) Proteínas vegetales
- B) Polisacáridos
- C) Compuestos fenólicos
- D) Ácidos grasos

2. ¿Cuál es la principal característica estructural de los taninos?

- A) Estructura de anillos aromáticos
- B) Estructura de polímeros con unidades de azúcar
- C) Estructura compleja con varios grupos hidroxilo y anillos bencénicos
- D) Estructura con cadenas de átomos de nitrógeno

3. ¿Qué tipo de tanino se encuentra en el té negro y tiene propiedades astringentes?

- A) Tanino hidrolizable
- B) Tanino condensado
- C) Tanino flavonoide
- D) Tanino catequínico

4. ¿Cuál de los siguientes alimentos es una fuente rica en taninos?

- A) Manzanas
- B) Uvas
- C) Té
- D) Plátanos

5. ¿Qué función biológica tienen los taninos en las plantas?



- A) Servir como nutrientes
 - B) Actuar como pigmentos
 - C) Proteger contra herbívoros y patógenos
 - D) Facilitar la fotosíntesis
6. **¿Qué tipo de tanino se encuentra comúnmente en el vino tinto y puede influir en su sabor y color?**
- A) Tanino hidrolizable
 - B) Tanino condensado
 - C) Tanino catequínico
 - D) Tanino flavonoide
7. **¿Qué efecto tiene la presencia de taninos en el proceso de fabricación del cuero?**
- A) Aumenta la flexibilidad del cuero
 - B) Mejora la durabilidad del cuero
 - C) Actúa como un agente de curtido
 - D) Reduce el tiempo de secado
8. **¿Cuál de los siguientes es un efecto conocido de los taninos en la salud humana?**
- A) Mejorar la digestión
 - B) Reducir la absorción de minerales
 - C) Aumentar el metabolismo
 - D) Mejorar la salud cardiovascular
9. **¿Qué tanino se encuentra en la cáscara de la granada y se ha estudiado por sus posibles propiedades antioxidantes?**

- A) Tanino hidrolizable
- B) Tanino condensado
- C) Tanino catequínico
- D) Tanino flavonoide

10. ¿Qué efecto pueden tener los taninos sobre el sabor de los alimentos y bebidas?

- A) Aumentar la dulzura
- B) Mejorar la textura
- C) Proporcionar un sabor astringente
- D) Reducir el amargor

BIBLIOGRAFÍA

- Acosta de la Luz, L. (2005). Cultivo de plantas medicinales, su producción agroecológica. *Revista Cubana de Plantas Medicinales*, 10(3-4), 0-0. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1028-47962005000300001
- Acosta De La Luz, L. (2001). Producción de plantas medicinales a pequeña escala: Una necesidad de la comunidad. *Revista Cubana de Plantas Medicinales*, 6(2), 63-66.
- Andrade, S., Sanchez, D., Rivera, B., Rodriguez, L., Sanchez, L., Camacho, A., Noguera, B., & Nevárez, G. (2015). RELACIÓN CUANTITATIVA DE LA ESTRUCTURA-ACTIVIDAD (QSAR) DE FENILPROPANOS Y TERPENOS CON ACTIVIDAD LARVICIDA CONTRA *Culex quinquefasciatus*. XVI Congreso Nacional de Biotecnología y Bioingeniería, 28. <https://smbb.mx/congresos/smbb/guadalajara15/PDF/XVI/trabajos/VIII/VIIIC-02.pdf>
- Asif, A., Farooq, U., Akram, K., Hayat, Z., Shafi, A., Sarfraz, F., Sidhu, M. A. I., Rehman, H. U., & Aftab, S. (2016). Therapeutic potentials of bioactive compounds from mango fruit wastes. *Trends in Food Science and Technology*, 53, 102-112. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2016.05.004>
- Atanasov, A. G., Zotchev, S. B., Dirsch, V. M., & Supuran, C. T. (2021). Natural products in drug discovery: Advances and opportunities. *Nature Reviews Drug Discovery*, 20(3), 200-216. <https://doi.org/10.1038/s41573-020-00114-z>
- Azuero, A., Jaramillo, C., San-Martin, D., & A'rmas, H. (2016). Análisis del efecto antimicrobiano de doce plantas medicinales de uso ancestral en Ecuador. *Revista Ciencia UNEMI*, 9(20), 1-8. <https://ojs.unemi.edu.ec/index.php/cienciaunemi/article/view/342>
- Bonilla Bonilla, M. J., & Jiménez Herrera, L. G. (2016). Potencial industrial del Aloe vera. *Revista Cubana de Farmacia*, 50(1), 139-150.

- Cádiz-Gurrea, M. L., Lozano-Sanchez, J., Contreras-Gómez, M., Legeai-Mallet, L., Fernández-Arroyo, S., & Segura-Carretero, A. (2014). Isolation, comprehensive characterization and antioxidant activities of Theobroma cacao extract. *Journal of Functional Foods*, 10, 485–498. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2014.07.016>
- Canales M, Hernández T, Caballero J, Romo A, D. A. & L. R. (2006). Análisis Cuantitativo Del Conocimiento Tradicional De Las Plantas Medicinales En San Rafael, Coxcatlán. *Acta Botanica Mexicana*, 43, 21–43.
- Chemat, F., Vian, M. A., Ravi, H. K., Khadhraoui, B., Hilali, S., Perino, S., & Tixier, A. S. (2019). Review of alternative solvents for green extraction of food and natural products: Panorama, principles, applications and prospects. *Molecules*, 24(16), 3007. <https://doi.org/10.3390/molecules24163007>
- Coumarin, B. Y. (2007). Efectos farmacologicos sobre el SNC de amansaguapos.pdf. 51–58. <http://www.scielo.org.co/pdf/vitae/v14n2/v14n2a07.pdf>
- Domínguez-Fernández, R., Arzate-Vázquez, I., Chanona-Pérez, J., Welte-Chanes, J., Alvarado-González, J., Garibay-Febles, V., & Gutiérrez-López, G. (2012). El gel de aloe vera: Estructura, composición química, procesamiento, actividad biológica e importancia en la industria farmacéutica y alimentaria. *Revista Mexicana de Ingeniería Química*, 11(1), 23–43.
- Dorta, E., González, M., Lobo, M. G., Sánchez-Moreno, C., & de Ancos, B. (2014). Screening of phenolic compounds in by-product extracts from mangoes (*Mangifera indica* L.) by HPLC-ESI-QTOF-MS and multivariate analysis for use as a food ingredient. *Food Research International*, 57, 51–60. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2014.01.012>
- Escamilla Jiménez, C. I., Cuevas Martínez, E. Y., & Fonseca, J. G. (2009). Flavonoides y sus acciones antioxidantes. *Revista de la Facultad de Medicina UNAM*, 52(2), 73-75. <http://www.medigraphic.com>

- Espinosa-garcía, Y. F. J. (2012). Efectos de la Domesticación de Plantas en la Diversidad Fitoquímica. In C. Rojas (Ed.), *Temas Selectos en Ecología Química de Insectos* (Cuarta edi, pp. 253–267). El Colegio de la Frontera Sur.
- Fitoquímica, F. Y., P, G. A. V., U, N. J., & J, E. G. (2008). Universidad de antioquia facultad de química farmacéutica departamento de farmacia. 1–96.
- Fonnegra-Gómez, R., & Villa-Londoño, J. (2011). Plantas Medicinales Usadas En Algunas Veredas De Municipios Del Altiplano Del Oriente Antioqueño, Colombia Medicinal Plants Used in Some Townships of Municipalities in the High Plains of Eastern Antioquia, Colombia. *Actualidades Biológicas*, 33(95), 219–250.
- Franco, D., Pereira, T., Vitorio, F., Nadur, N., Lacerda, R., & Kümmerle, A. (2020). a Importância Das Cumarinas Para a Química Medicinal E O Desenvolvimento De Compostos Bioativos Nos Últimos Anos. *Química Nova*, 44(2), 180–197. <https://doi.org/10.21577/0100-4042.20170654>
- Fresneda, Y. G., Sánchez, M. P., Álvarez, R. S., & Santana, J. L. (2001). Taninos de diferentes especies vegetales en la prevención del fotoenvejecimiento. *Revista Cubana de Investigaciones Biomedicas*, 20(1), 16–20.
- Ganguly, S., Mummaneni, P., Steinbach, P. J., Klein, D. C., & Coon, S. L. (2001). Characterization of the *Saccharomyces cerevisiae* Homolog of the Melatonin Rhythm Enzyme Arylalkylamine N-Acetyltransferase (EC 2.3.1.87). *Journal of Biological Chemistry*, 276(50), 47239–47247. <https://doi.org/10.1074/jbc.M107222200>
- García-Argáez, A. N., González-Lugo, N. M., Márquez, C., & Martínez-Vázquez, M. (2003). Cumarinas presentes en especies del género *Casimiroa*. *Revista de La Sociedad Química de México*, 47(2), 151–154.
- Gonzalez, G. (2021). Aprovechamiento de las propiedades nutricionales y tecnológicas de la fibra dietética de residuos agroindustriales del

- Ecuador en la industria alimentaria Trabajo [Universidad Central del Ecuador]. <https://emea.mitsubishielectric.com/ar/products-solutions/factory-automation/index.html>
- Gracia Nava Manuel Alejandro, N. (2018). Quantification of Total Phenols and Flavonoids in Natural Extracts. Extracts. [Universidad Autónoma de Querétaro].
file:///C:/Users/sheil/Downloads/Cuantificacion_de_fenoles_y_flavonoides.pdf
- Guirado, A. (2008). Fitoquímica del género *Vaccinium* (Ericaceae). *Revista Cubana de Plantas Medicinales*, 13, 1–11.
- Hernández, T., García-Bores, A. M., Serrano, R., Ávila, G., Dávila, P., Cervantes, H., Peñalosa, I., Flores-Ortiz, C. M., & Lira, R. (2015). Fitoquímica Y Actividades Biológicas De Plantas De Importancia En La Medicina Tradicional Del Valle De Tehuacán-Cuicatlán. *Tip*, 18(2), 116–121. <https://doi.org/10.1016/j.recqb.2015.09.003>
- Isaza Martínez, J. H. (2007). Taninos o polifenoles vegetales. *Scientia Et Technica*, 13(33), 13–18.
- Janni, K. D. (2002). Fundamentos de Agrotecnología de Cultivo de Plantas Medicinales Iberoamericanas. *Economic Botany*, 56(1), 101–101. [https://doi.org/10.1663/0013-0001\(2002\)056\[0101:fdadcd\]2.0.co;2](https://doi.org/10.1663/0013-0001(2002)056[0101:fdadcd]2.0.co;2)
- Javier Vázquez, H., & Dacosta, O. (2007). Fermentación alcohólica: Una opción para la producción de energía renovable a partir de desechos agrícolas. *Ingeniería, Investigación y Tecnología*, 8(4), 249–259. <https://doi.org/10.22201/fi.25940732e.2007.08n4.020>
- Kay, C. D. (2010). The future of flavonoid research. *British Journal of Nutrition*, 104(SUPPL.3), 91–95. <https://doi.org/10.1017/S000711451000396X>
- Lebaka, V. R., Wee, Y. J., Narala, V. R., & Joshi, V. K. (2018). Development of New Probiotic Foods-A Case Study on Probiotic Juices. In *Therapeutic, Probiotic, and Unconventional Foods*. Elsevier Inc.

<https://doi.org/10.1016/B978-0-12-814625-5.00004-2>

Liao, Q., Shi, D. H., Zheng, W., Xu, X. J., & Yu, Y. H. (2010). Antiproliferation of cardamonin is involved in mTOR on aortic smooth muscle cells in high fructose-induced insulin resistance rats. *European Journal of Pharmacology*, 641(2-3), 179-186. <https://doi.org/10.1016/j.ejphar.2010.05.024>

López-Carreras, Noemi Miguel, Marta Aleixandre, A. (2012). Propiedades beneficiosas de los terpenos iridoides sobre la salud. *Sociedad Española de Dietética y Ciencias de La Alimentación*, 32, 91.

Luz, L. A. de la. (2003). Principios agroclimáticos básicos para la producción de plantas medicinales. *Revista Cubana de Plantas Medicinales*, 46, 230.

M Rosa A. Freire-González, Ms. M. V.-V. (2015). Caracterización Fitoquímica De La Curcuma. *Revista Cubana Química*, 27(1), 9-18.

Madaleno, I., & Montero, M. (2012). En La Ciudad De Río Cuarto , Provincia De Córdoba. *Cuadernos Geográficos*, 50, 63-85]. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=17125407003>

Manzanares, P. A. (2006). Los aportes de las mujeres rurales al conocimiento de plantas medicinales en México. Análisis de género. *Agricultura, Sociedad y Desarrollo*, 3(2). <https://www.redalyc.org/pdf/3605/360533076003.pdf>

Marchev, A. S., Yordanova, Z. P., & Georgiev, M. I. (2020). Green biotechnology for sustainable production of bioactive compounds from medicinal plants. *Plant Cell, Tissue and Organ Culture*, 141(1), 1-19. <https://doi.org/10.1007/s11240-020-01794-z>

Martínez, S. ., González, J. ., Culebras, M. ., & Tuñón, J. (2002). Los flavonoides: propiedades y acciones antioxidantes Correspondencia. *Nutrición Hospitalaria*, 17(6), 271-278.

Méndez, R. (2017). Cultivos orgánicos: Su control biológico en plantas

- medicinales y aromáticas (A. Delgado (ed.); Tercera ed). ECOE.
- Mercedes, M., Román, A., Marisel, D., & Valenzuela, R. (2022). En La Producción De Plantas Medicinales Impact of Organic Agriculture. 16, 41–47.
- Muñoz, A., Patiño, J., Cardenas, C., Reyes, J. Martínez, J., Stashenko, E. (2007). Composición Química De Extractos Obtenidos Por Destilación-Extracción Simultánea Con Solvente De Hojas E Inflorescencias De. 33(33), 197–199.
- Muñoz López de Bustamante, F. (2002). Plantas medicinales y aromáticas: estudio, cultivo y procesado (Mundi-Prensa (ed.); I). Artes Gráficas Cuesta.
- Olivas-Aguirre, F. J., Wall-Medrano, A., González-Aguilar, G. A., López-Díaz, J. A., Álvarez-Parrilla, E., De La Rosa, L. A., & Ramos-Jimenez, A. (2015). Taninos hidrolizables; bioquímica, aspectos nutricionales y analíticos y efectos en la salud. *Nutricion Hospitalaria*, 31(1), 55–66. <https://doi.org/10.3305/nh.2015.31.1.7699>
- Rios, M. Y., & Aguilar-Guadarrama, A. B. (2006). Indolic alkaloids, terpenes, sterols and flavonoids from the leaves of *Hamelia patens* Jacquin (Rubiaceae). *Revista Cubana de Plantas Medicinales*, 11(1), 1–5.
- Rivas, V. (2016). Extracción De Alcaloides a Partir De La Corteza Y Hojas De La Guanábana". <https://repositorio.unac.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12952/403/T.660.2.R68c.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Rodriguez, H., Acosta, L., Hechevarría, I., Milanès, M., & Rodriguez, C. (2007). Estudio comparativo entre el monocultivo y la asociación de cultivo en varias plantas medicinales. Centro de Investigaciones y Desarrollo de Medicamentos, 1–7.
- Sampietro, A. R., Isla, M. I., Quiroga, E. N., & Vattuone, M. A. (1997). Importancia del Estudio Fitoquímico en la Formación del Profesional Farmacéutico. *Acta Farmaceutica Bonaerense*, 16(4), 245–249.

- Shaheen, F., Sadia, Z., & Muhammad, A. (2006). Temperature and solvent dependent NMR studies on mangiferin and complete NMR spectral assignments of its acyl and methyl derivatives. *Journal of Medicinal and Pharmaceutical Chemistry*, 2(1), 1941–1944. <https://doi.org/10.1002/mrc>
- Susana, F., Guillermina, S., & M, T. L. M. (2002). Fitoquímica. Una entrada a la investigación. *Journal of the Mexican Chemical Society*, 46, 396.
- Trueba, G. P. (2003). Los flavonoides: Antioxidantes o prooxidantes. *Revista Cubana de Investigaciones Biomedicas*, 22(1), 48–57.
- Vázquez-Flores, A. A., Alvarez-Parrilla, E., López-Díaz, J. A., Wall-Medrano, A., & De la Rosa, A. L. (2012). Hydrolyzable and condensed tannins: chemistry, advantages and disadvantages of their intake. *Tecnociencia Chihuahua*, 6(2), 84–93.
- Wolfender, J. L., Litaudon, M., Touboul, D., & Queiroz, E. F. (2023). Innovative approaches for the omics-based study of plant metabolites: A comprehensive review. *Natural Product Reports*, 40(2), 437–456. <https://doi.org/10.1039/D2NP00014H>

ISBN: 978-9907-806-11-3

