



Química de productos naturales

Linda Flores Fiallos

Adriana Isabel Rodríguez Basantes

Adriana Monserrath Monge Moreno

Química de productos naturales

Linda Flores Fiallos

Adriana Isabel Rodríguez Basantes

Adriana Monserrath Monge Moreno

Este libro ha sido debidamente examinado y valorado en la modalidad doble par ciego con fin de garantizar la calidad científica del mismo.

© Publicaciones Editorial Grupo Compás
Guayaquil - Ecuador
compasacademico@icloud.com
<https://repositorio.grupocompas.com>



Flores, L., Rodríguez, A., Monge, A. (2023) Química de productos naturales. Editorial Grupo Compás

© Linda Flores Fiallos
Adriana Isabel Rodríguez Basantes
Adriana Monserrath Monge Moreno

ISBN: 978-9942-33-730-6

El copyright estimula la creatividad, defiende la diversidad en el ámbito de las ideas y el conocimiento, promueve la libre expresión y favorece una cultura viva. Quedan rigurosamente prohibidas, bajo las sanciones en las leyes, la producción o almacenamiento total o parcial de la presente publicación, incluyendo el diseño de la portada, así como la transmisión de la misma por cualquiera de sus medios, tanto si es electrónico, como químico, mecánico, óptico, de grabación o bien de fotocopia, sin la autorización de los titulares del copyright.

Indice

CAPÍTULO 1.....	7
PRODUCTOS NATURALES	7
INTRODUCCIÓN.....	7
¿QUÉ SON LOS PRODUCTOS NATURALES	10
DEFINICIÓN DE METABOLITOS.....	13
TIPOS DE METABOLITOS SECUNDARIOS	14
1.Taninos	14
2. Lignanós	14
3. Terpenos.....	15
4. Polifenoles	16
5. Alcaloides	17
PLANTAS EN LAS QUE SE ENCUENTRAN LOS METABOLITOS SECUNDARIOS.....	18
6.Taninos.....	18
Roble (<i>Quercus</i> spp).....	18
Granada (<i>Punica granatum</i>)	19
Castaño (<i>Catanea</i> spp)	20
Mangle (<i>Rhizophora</i> spp)	21
Frambuesa (<i>Rubus</i> spp).....	22
7. Lignanós	23
Semillas de chia (<i>Salvia Hispanica</i>)	23
Semillas de girasol (<i>Helianthus annuus</i>)	24
Lino (<i>Linum usitatissimum</i>).....	25
8. Terpenos.....	25
Lavanda (<i>Lavandura</i> spp)	25
Pino (<i>Pinus</i> spp)	26
9. Polifenoles	27
Té verde	27
Berries	28
10. Alcaloides.....	29
Belladona (<i>Atropa belladona</i>).....	29
Estramonio (<i>Datura stramonium</i>)	30
Amapola del opio (<i>Papaver somniferum</i> alkaloids)	31

Tabaco (Nicotina tabacum).....	32
Hongo de mosca (Amanita muscaria)	32
PROPIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS	33
11. Taninos.....	33
12. Lignanós	34
13. Polifenoles.....	35
14. Alcaloides.....	36
CLASIFICACIÓN DE LOS ALCALOIDES	37
15. Alcaloides verdaderos.....	38
16. Protoalcaloides	39
17. Pseudoalcaloides.....	39
18. Alcaloides imperfectos	39
ACTIVIDAD BIOLÓGICA Y	
FARMACOLÓGICA.....	40
19. Actividad biológica de los alcaloides de	
protoberberina	42
Contra agentes patógenos.....	43
En sistemas orgánicos específicos	43
20. Actividad de la manzamina A	44
21. Alcaloides de la piridina sesquiterpénica.....	45
USOS MEDICINALES.....	45
22. Taninos.....	45
Elagitaninos.....	46
Galotaninos.	46
Taninos condensados.....	47
23. Flavonoides.	48
Flavonas.	48
Flavononas.	48
Flavonoles.	49
Isoflavonas.	50
24. Lignanós.....	51
25. Terpenos.....	51
Monoterpenos.	52
Diterpenos.....	52
Triterpenos.....	53
26. Alcaloides.	54
BILIOGRAFÍA.....	56

CAPÍTULO 2	71
CONSTITUYENTES QUÍMICOS DE LOS	
PRODUCTOS NATURALES	71
NATURALEZA QUÍMICA DE LOS	
COMPONENTES.....	71
ACTIVIDAD DE LOS COMPONENTES DE	
LAS DROGAS	73
DROGAS VEGETALES Y SUS	
COMPONENTES.....	73
CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LOS	
FITOCOMPLEJOS.	74
ASPECTOS PARTICULARES SOBRE	
TOXICIDAD DE LOS PRINCIPALES RUPOS	
DE PLANTAS MEDICINALES	74
RUTAS BIOSINTÉTICAS.....	77
ESQUEMA DEL METABOLISMO	
PRIMARIO Y SECUNDARIO	98
Bibliografía.....	99
CAPÍTULO 3	105
MÉTODOS DE OBTENCIÓN DE	
PRINCIPIOS ACTIVOS.....	105
Métodos extractivos a partir de la droga	108
Extracción con disolvente	115
Métodos hemisintéticos o semisintéticos	127
Métodos biotecnológicos.....	128
Bibliografía	130
CAPÍTULO 4	134
TERPENOS	134
ISOPRENO E ISOPRENIODES.....	136
CLASIFICACIÓN.....	137
Hemiterpenos.....	139
<i>Monoterpenos</i>	140
<i>Sesquiterpenos</i>	150
RUTA BIOSINTÉTICA DE LOS TERPENOS	162
TÉCNICAS DE CARACTERIZACIÓN.....	166
HPLC	167
CLAR	169

CCF	170
EC	173
RMN	174
ACTIVIDADES DE LOS TERPENOS	177
IMPORTANCIA FARMACEÚTICA	182
PROPIEDADES FARMACOLÓGICAS DE LOS TERPENOS	184
ACTIVIDAD DE LOS TERPENOS EN EL CANNABIS	186
APLICACIONES DE LOS TERPENOS	188
BIBLIOGRAFÍA	190
CAPÍTULO 5	205
ALCALOIDES	205
1.Rutas metabólicas.....	206
2.Presencia de alcaloides en las plantas y hongos	209
Reino vegetal	209
3.Propiedades FISICOQUÍMICAS.....	221
4.Clasificación	223
5.ENFOQUES PARA SELECCIONAR EL MATERIAL DE PARTIDA PARA EL ESTUDIO DE ALCALOIDES.....	226
6.MÉTODOS DE EXTRACCIÓN	229
Extracción de alcaloides en medio ácido	231
Extracción de alcaloides en medio básico	232
7.Actividad biológica y farmacológica	233
Actividad biológica de los alcaloides de protoberberina	235
6.1.1. Contra agentes patógenos.....	236
6.1.2. En sistemas orgánicos específicos.....	236
6.1. Actividad de la manzamina A.....	237
6.2. Alcaloides de la piridina sesquiterpénica	237
8.Biosíntesis	238
Biosíntesis de alcaloides tropánicos	242
Biosíntesis de escopolamina	243

Biosíntesis de cocaína	244
Pruebas de identificación.....	245
Método volumétrico	246
Método cromatográfico.....	246
Cromatografía T.LC.....	246
Cromatografía de gases (GC) con detección de ionización de llama (GC-FID)	247
Método químico	247
Prueba de Mayer	248
Prueba de Drangendorff	248
Prueba de Wagner	249
Reacción con <i>H2SO4</i> diluido	249
9.Técnicas de caracterización	249
Espectroscopía Ultravioleta (UV)	250
Espectroscopía de Infrarrojo (IR).....	251
Actividad óptica.....	252
Espectroscopía de RMN de protón (¹ H-RMN)	253
Espectro de Masas (EM)	255
Investigaciones recientes	257
Actividad neuropsiquiátrica.....	257
Poder analgésico mediante especificación	258
Actividad nematostática.....	259
Conclusiones	259
Bibliografía.....	261
CAPÍTULO 6	271
TANINOS	271
BIOSÍNTESIS.....	277
METODOS MAS UTILIZADOS POR LA EXTRACCIÓN DE TANINOS	280
TECNICAS DE CARACTERIZACION DE TANINOS	281
Caracterización, mediante espectrometría de masas de alta resolución MALDI/FT-ICR, de taninos hidrolizables de la tara (<i>Caesalpinia</i> <i>spinosa</i>)	283

Extracción y caracterización de los taninos condensados del duramen de la madera de la parota	285
EXTRACCIÓN DE TANINOS A ESCALA DE LABORATORIO APARTIR DE SEMILLAS DE UVA DEL VALLE CENTRAL DE TARIJA.....	289
MÉTODOS DE CARACTERIZACIÓN	290
EXTRACCIÓN DE TANINOS DE LA CORTEZA DE PINUS SPP TRATADA TÉRMICAMENTE – APLICACIÓN COMO ADHESIVO.....	293
APLICACIONES DE LOS TANINOS	297
TANINOS EN LA COSMETOLOGÍA.....	298
TANINOS EN LA ALIMENTACIÓN ANIMAL.....	299
APLICACIÓN FARMACEUTICA DE LOS TANINOS	300
TAXONOMÍA Y FUENTES NATURALES DE TANINOS	304
CONCLUSIÓN.....	306
BIBLIOGRAFÍA	308

CAPÍTULO 1

PRODUCTOS NATURALES

INTRODUCCIÓN

La exploración y comprensión de los productos naturales y sus efectos en la farmacología han sido una parte integral del desarrollo de la medicina a lo largo de la historia. Desde tiempos ancestrales, las civilizaciones han recurrido a las fuentes naturales en busca de remedios para diversas dolencias. Esta búsqueda ha llevado a la identificación y estudio de metabolitos secundarios presentes en plantas, animales y microorganismos, los cuales han demostrado poseer una amplia gama de actividades farmacológicas. En esta extensa y diversa área de la farmacognosia, se han descubierto compuestos con propiedades terapéuticas y aplicaciones que han revolucionado la forma en que comprendemos y tratamos las enfermedades.

Los metabolitos secundarios son compuestos químicos producidos por organismos en cantidades mucho más pequeñas que los metabolitos primarios, que son esenciales para el crecimiento y desarrollo del organismo. Los metabolitos secundarios, por otro lado, parecen estar involucrados en funciones relacionadas con la defensa, la reproducción y la interacción con su entorno. Estos compuestos, a menudo, no son esenciales para la supervivencia inmediata del organismo, pero han demostrado ser de gran importancia para los seres humanos en términos de aplicaciones farmacológicas y médicas.

Dentro de los productos naturales, los metabolitos secundarios juegan un papel fundamental. Estos compuestos pueden ser aislados de una variedad de fuentes, como plantas, hongos,

algas, animales y microorganismos. Su diversidad química es asombrosa, lo que ha permitido a los científicos clasificarlos en diferentes grupos, como alcaloides, flavonoides, terpenoides, esteroides, entre otros. Cada grupo posee su propio conjunto de propiedades y actividades biológicas específicas. Los alcaloides, por ejemplo, son conocidos por sus efectos analgésicos, anestésicos y estimulantes, mientras que los flavonoides exhiben propiedades antioxidantes y antiinflamatorias.

La actividad farmacológica de estos metabolitos secundarios ha sido un área de investigación en constante evolución. A medida que la ciencia avanza y la tecnología se perfecciona, los científicos han logrado identificar compuestos específicos en productos naturales que demuestran efectos beneficiosos en la salud humana. Estos efectos pueden variar desde propiedades antimicrobianas y antivirales hasta propiedades anticancerígenas y antiinflamatorias. La farmacología moderna se ha beneficiado enormemente de la contribución de estos productos naturales, ya que han servido como inspiración para el diseño y desarrollo de nuevos fármacos.

Un ejemplo icónico de la influencia de los productos naturales en la farmacología es la aspirina, derivada del extracto de la corteza del sauce. A lo largo de la historia, la corteza del sauce se ha utilizado en diversas culturas como remedio para el alivio del dolor y la fiebre. Con el tiempo, se aisló el compuesto activo, el ácido salicílico, que luego se modificó para crear la aspirina, un analgésico y antiinflamatorio ampliamente utilizado en la actualidad.

Además de su impacto en la medicina convencional, los productos naturales también han influido en la medicina tradicional y complementaria. Muchas culturas han confiado

en la sabiduría ancestral para utilizar plantas y otros recursos naturales en la prevención y tratamiento de enfermedades. Esta práctica se ha transmitido de generación en generación, y en algunos casos, ha llevado a descubrimientos científicos que validan la efectividad de estos enfoques.

La biodiversidad de nuestro planeta es una fuente inagotable de productos naturales con potencial farmacológico. Los ecosistemas terrestres y acuáticos albergan una gran variedad de organismos que sintetizan compuestos únicos para su supervivencia en entornos específicos. La búsqueda de nuevos productos naturales y su estudio ha llevado a expediciones en todo el mundo, desde los bosques tropicales hasta las profundidades marinas. Estos esfuerzos han permitido descubrir moléculas con propiedades prometedoras en la lucha contra enfermedades como el cáncer, las enfermedades infecciosas y las enfermedades neurodegenerativas.

En conclusión, los productos naturales y sus metabolitos secundarios han desempeñado y siguen desempeñando un papel crucial en la farmacología y la medicina. La riqueza de la naturaleza en términos de compuestos químicos únicos y actividades biológicas ofrece un vasto campo de exploración y descubrimiento. A medida que avanzamos en la comprensión de estos compuestos y sus aplicaciones terapéuticas, es probable que continuemos beneficiándonos de su potencial para mejorar la salud humana. Ya sea a través de la medicina convencional, la medicina tradicional o la medicina complementaria, los productos naturales siguen siendo una fuente valiosa de conocimiento y tratamiento médico.

¿QUÉ SON LOS PRODUCTOS NATURALES?

Los productos naturales tienen su origen en diversas fuentes biológicas, incluyendo plantas, animales, hongos, bacterias y otros microorganismos. Los diferentes orígenes de los productos naturales de cada una de estas fuentes pueden producir una amplia gama de compuestos químicos con propiedades medicinales y biológicas únicas.

- **Plantas:** Las plantas son una de las fuentes más ricas y diversas de productos naturales. Muchos compuestos bioactivos se encuentran en las raíces, hojas, flores, frutos y corteza de diversas plantas. Estos compuestos pueden incluir alcaloides, flavonoides, terpenoides y muchos otros. Ejemplos famosos incluyen la quinina de la corteza de la quina, la digitalina de las hojas de digitalis y la artemisinina de la planta *Artemisia annua*.
- **Animales:** Algunos animales también producen compuestos bioactivos que han sido de interés en la investigación farmacognóstica. Por ejemplo, las glándulas venenosas de algunas serpientes producen venenos que contienen proteínas y péptidos con propiedades medicinales potenciales. También se han estudiado los venenos de conos marinos y las secreciones de ranas venenosas.
- **Hongos:** Los hongos son una fuente importante de productos naturales, y algunos de ellos han sido utilizados en la medicina tradicional durante siglos. Ejemplos notables incluyen los antibióticos como la penicilina y la ciclosporina, que se obtienen de hongos *Penicillium* y *Tolypocladium*, respectivamente.
- **Bacterias y microorganismos:** Diversos microorganismos, como bacterias y actinomicetos, son

productores de compuestos bioactivos. Estos organismos a menudo producen antibióticos y otras sustancias que pueden tener aplicaciones farmacéuticas. Por ejemplo, la estreptomicina y la eritromicina son antibióticos producidos por bacterias del género *Streptomyces*.

- **Marinos:** Los ecosistemas marinos también son ricos en productos naturales. Organismos como esponjas, corales y algas marinas pueden producir compuestos bioactivos con potencial terapéutico. Por ejemplo, el fármaco antiviral zidovudina (AZT) se deriva de unas algas marinas rojas.
- **Insectos y otros invertebrados:** Algunos insectos y otros invertebrados también producen compuestos químicos únicos que pueden tener propiedades medicinales. Por ejemplo, las hormigas de fuego producen compuestos con propiedades antimicrobianas, y los escarabajos coccinélidos producen alcaloides defensivos.

Los productos naturales en el contexto de la farmacognosia son compuestos químicos obtenidos directamente de fuentes naturales, como plantas, animales y microorganismos. La farmacognosia es una rama de la farmacia que se centra en el estudio de estos productos naturales y sus propiedades medicinales, así como en su aplicación en la industria farmacéutica (Skaltsa, s. f.)

Los productos naturales pueden contener una variedad de compuestos químicos, como alcaloides, flavonoides, terpenoides, fenoles y otros, que pueden tener efectos beneficiosos para la salud humana. Estos compuestos a menudo han sido utilizados durante siglos en diversas culturas para tratar enfermedades y mantener la salud.

La investigación en farmacognosia implica el aislamiento, la identificación y la caracterización de los componentes químicos presentes en los productos naturales, así como la evaluación de sus actividades biológicas y farmacológicas. Esto puede incluir pruebas para determinar su eficacia en el tratamiento de enfermedades, su toxicidad, su modo de acción y otras propiedades relevantes.

La farmacognosia también está relacionada con la búsqueda de nuevos medicamentos a partir de productos naturales, ya que estos compuestos pueden servir como fuente de inspiración para el desarrollo de fármacos sintéticos o semisintéticos. A lo largo de la historia, numerosos medicamentos importantes han sido derivados de productos naturales, como la quinina de la corteza de la quina para tratar la malaria, la morfina del opio para el alivio del dolor y la digoxina de las hojas de la planta digital para tratar problemas cardíacos.

Los productos naturales han sido una fuente importante de medicamentos a lo largo de la historia de la humanidad. Muchos de los medicamentos que usamos en la actualidad tienen sus raíces en compuestos químicos extraídos de plantas, hongos, bacterias y otros organismos. Estos compuestos naturales suelen tener una amplia diversidad estructural y pueden exhibir una variedad de actividades biológicas, como antimicrobianas, antiinflamatorias, anticancerígenas y analgésicas, entre otras (Orhan, 2014)

Algunos ejemplos notables de productos naturales que han tenido un impacto significativo en la medicina incluyen:

- **Aspirina (ácido acetilsalicílico):** Originalmente derivada de la corteza del sauce blanco, la aspirina es un analgésico y antiinflamatorio ampliamente utilizado (Barbosafilho et al., 2000)
- **Artemisinina:** Extraída de la planta *Artemisia annua*, la artemisinina ha sido un componente clave en el tratamiento de la malaria resistente a medicamentos (Newman & Cragg, 2007).
- **Paclitaxel:** Aislado de la corteza del tejo del Pacífico, el paclitaxel se utiliza en el tratamiento del cáncer, especialmente en el cáncer de mama y de ovario (Harvey et al., 2015).
- **Penicilina:** Descubierta por Alexander Fleming a partir del hongo *Penicillium*, esta familia de antibióticos ha revolucionado el tratamiento de las infecciones bacterianas (Xie et al., 2015).
- **Morfina:** Extraída del opio, la morfina es un analgésico potente y se ha utilizado durante mucho tiempo en el manejo del dolor severo (Koehn & Carter, 2005)

DEFINICIÓN DE METABOLITOS

Los metabolitos secundarios son sustancias químicas producidas por organismos, como plantas, microorganismos y algunos animales, que no son esenciales para su crecimiento, desarrollo o reproducción. Diferente a los metabolitos primarios, quienes son necesarios para que se lleven a cabo funciones vitales como el metabolismo energético y la biosíntesis de biomoléculas básicas, los metabolitos secundarios suelen desempeñar roles centrados en la adaptación, defensa y comunicación del organismo con su entorno.

TIPOS DE METABOLITOS SECUNDARIOS

Existen distintos tipos de metabolitos secundarios, en los cuales incluyen:

1. Taninos

Son compuestos orgánicos complejos conformados por alrededor de 12 a 16 grupos fenólicos, dicha característica les brinda la capacidad de interaccionaron con otras moléculas de interés biológico, por ejemplo, a las proteínas y precipitarlas, lo que puede resultar en una sensación de astringencia en la boca. Se encuentran en varias plantas y desempeñan una variedad de funciones biológicas. En su gran mayoría, se dividen en taninos hidrolizables y taninos condensados (Hassanpour et al., 2011).

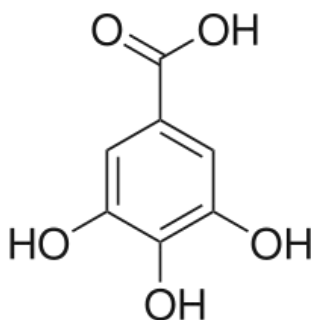


Figura 1. Estructura de un Tanino (Flores, 2017).

2. Lignanós

Son metabolitos secundarios que pertenecen al grupo de los polifenoles. La composición química se conforma de dos unidades de fenilpropanoides conectadas mediante un átomo de carbono. La unidad de fenilpropanoide en cuestión es idéntica a aquella que desempeña el papel de monómero en la formación de la lignina, estableciendo así una estrecha vinculación entre el lignano y la lignina. Los lignanos actúan

como fitoestrógenos, y se destacan por presentar una estructura que guarda similitud con la de los estrógenos.

Pueden hallarse en plantas, son esenciales para el crecimiento y desarrollo básico de las mismas, sin embargo, también desempeñan roles importantes en la defensa contra patógenos que atentan en contra de la planta, en la interacción con su entorno y en otras funciones específicas.

Son conocidos por su estructura química compleja y se forman a través de la unión de unidades de fenilpropanoides en una disposición particular. Estas unidades se pueden combinar de varias formas para crear una amplia variedad de lignanos diferentes (Inostroza-Saldías, 2018).

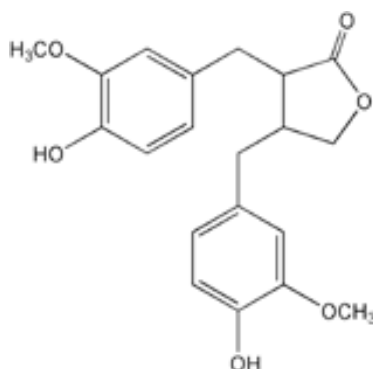


Figura 2. Lignanos: enterolignanos y actividad estrogénica (Inostroza-Saldías, 2018)

3. Terpenos

Compuestos orgánicos aromáticos que se encuentran en una amplia variedad de plantas, incluyendo plantas con flores, árboles y algunos insectos. Son responsables de los aromas y sabores característicos de muchas plantas y se utilizan en diversas aplicaciones industriales, como perfumería, alimentos y medicamentos.

Los terpenos están constituidos por la unión de dos o más unidades de un hidrocarburo llamado isopreno (2 - metil - 1,3 - butadieno). Razón por la que pueden constituir estructuras lineales, cíclicas o bien una combinación de las dos (Martínez-Guerra, s. f.).

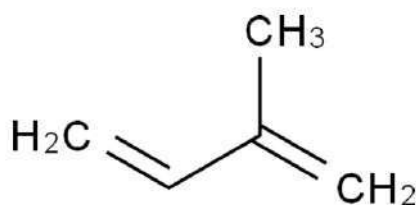


Figura 3. *Isopreno* (Los Terpenos: ¿Qué son y cuáles son sus utilidades?, 2022)

4. Polifenoles

Metabolitos secundarios que se encuentran en una amplia gama de plantas que desempeñan una serie de funciones en las mismas, esto quiere decir que participa en la defensa contra patógenos, regulación del crecimiento y desarrollo, y comunicación con otros organismos. Además, los polifenoles también han sido objeto de investigación debido a sus posibles beneficios para la salud humana.

Se caracterizan por su estructura química, que incluye múltiples grupos fenólicos. Esta estructura les confiere propiedades antioxidantes y otros efectos bioactivos que pueden ser beneficiosos para la salud. Se han identificado miles de polifenoles diferentes en alimentos vegetales, y se clasifican en varias categorías según su estructura y función (Quiñones et al., 2012).

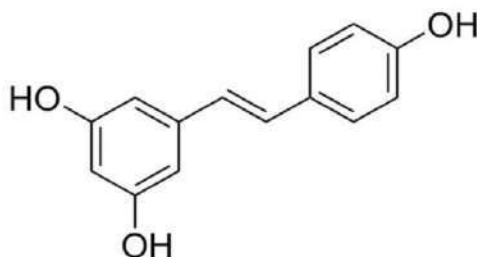


Figura 4. Resveratrol («Vino y salud (6)», s. f.)

5. Alcaloides

Los alcaloides son compuestos orgánicos nitrogenados, tóxicos que son sintetizados de forma natural por las plantas como mecanismo de defensa ante depredadores herbívoros. El término fue introducido por W. Meisner a inicios del siglo XIX para designar a sustancias que actúan como bases.

Tienen una estructura compleja, en donde el átomo de nitrógeno que poseen forma parte de un sistema heterocíclico, además presentan actividad farmacológica reveladora. De acuerdo con diversos autores, los alcaloides son encontrados únicamente en el reino vegetal en estado de sales y son sintetizados a partir de aminoácidos.

Las características antes mencionadas corresponden a los alcaloides “verdaderos”. Análogamente se distinguen otros dos términos: protoalcaloides y pseudoalcaloides. Estos últimos gozan de presentar todas las características de un alcaloide “verdadero”, sin embargo, estos no son sintetizados de aminoácidos. En la mayoría de los casos se trata de isoprenoides (alcaloides terpénicos) por ejemplo: alcaloides monoterpénicos, sesquiterpénicos y diterpénicos aunque también se conocen sustancias nitrogenadas heterocíclicas provenientes del metabolismo del acetato.

Por su parte, los protoalcaloides son aminas de carácter simple cuyo nitrógeno no se encuentra dentro del heterociclo, de igual manera tienen una reacción básica y se sintetizan in vitro a partir de aminoácidos. Los ejemplos correspondientes a esta explicación son las betalainas, mescalina del peyote o catinona del té (Bruneton, 2001).

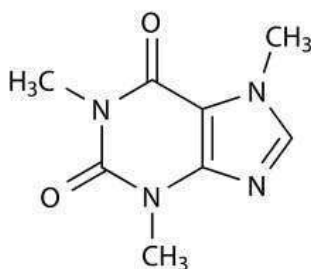


Figura 5. Estructura Cafeína (Marín Lasheras & Téllez Ariso, 2011)

PLANTAS EN LAS QUE SE ENCUENTRAN LOS METABOLITOS SECUNDARIOS

6. Taninos

Roble (*Quercus spp*)

El duramen se encuentra formado por celulosa (40%), hemicelulosa (20%), lignina (25%), elagitaninos (10%), y componentes de naturaleza química diversa (5%). El resto de los constituyentes se encuentran en la denominada fracción extraíble, quienes pueden hallarse mezclados con los polímeros en la pared celular o como formaciones en los lúmenes celulares (Fernández de Simón & Cadahía, 2007).

La mayor concentración de taninos se encuentra en tejidos leñosos, los cuales contienen una alta proporción de células de parénquima, y en los radios de madera. Estos taninos tienen la capacidad de existir en estado independiente o estar enlazados

a moléculas de polisacáridos. Además, contribuyen a propiedades de la madera como: color, olor, sabor y resistencia a la descomposición.



Ilustración 1. *Árbol de roble. Tomado de: (Fernández de Simón & Cadahía, 2007)*

Granada (*Punica granatum*)

La granada es una fruta conocida por su alto contenido de taninos. Estas son las partes y las concentraciones de los taninos en las que se encuentran mayoritariamente (Puech et al., 1999).



Ilustración 2. *Fruta de granada con contenido de taninos. Tomado de: (Sensaciones en tu piel con el aroma de la fruta granada | Palmolive, s.f.)*

- **Cáscara de granada:** La concentración de taninos en la cáscara de la granada puede oscilar entre el 10% y el 30% en peso seco. Esto significa que, en promedio, alrededor del 10% al 30% del peso seco de la cáscara está compuesto por taninos.
- **Jugo de granada:** La concentración de taninos en el jugo de granada es mucho menor en comparación con la cáscara. Se estima que la concentración de taninos en el jugo de granada es aproximadamente del 0,2% al 1% en peso.

Castaño (Catanea spp)

En esta planta, los taninos se encuentran en las siguientes partes (Gürlér, 2016):



Ilustración 3. *Catanea spp* con contenido de taninos.
Tomado de: (Castaño de Indias (*Aesculus hippocastanum*), s.f.)

- **Hojas:** Las hojas del castaño suelen contener una concentración moderada de taninos, que puede oscilar entre el 5% y el 15% en peso seco. La cantidad de taninos puede ser más alta en las hojas jóvenes y disminuir a medida que las hojas maduran.
- **Corteza:** La corteza del castaño, especialmente la corteza interna, es rica en taninos. Se estima que la

concentración de taninos en la corteza puede variar del 10% al 25% en peso seco.

- **Frutos (castañas):** Los frutos del castaño, conocidos como castañas, también contienen taninos, pero en concentraciones más bajas en comparación con la corteza y las hojas. La concentración de taninos en las castañas puede variar del 1% al 5% en peso seco.

Mangle (Rhizophora spp)

El mangle contiene una alta concentración de taninos en diferentes partes de la planta. Sin embargo, es importante destacar que la concentración de taninos puede variar entre especies y también dentro de la misma especie de mangle. A continuación, se presentan algunas estimaciones generales de la concentración de taninos en el mangle:



Ilustración 4. Planta de *Rhizophora spp*, la cual contiene taninos. Tomado de: (Mangle (*rhizophora sp.*) con las raíces expuestas, el sudeste de asia, s. f.)

- **Raíces:** Las raíces del mangle suelen contener una alta concentración de taninos. Se estima que la concentración

de taninos en las raíces puede variar entre el 10% y el 30% en peso seco.

- **Corteza:** La corteza del mangle también es rica en taninos. La concentración de taninos en la corteza puede oscilar entre el 5% y el 20% en peso seco.
- **Hojas:** Las hojas del mangle contienen taninos en menor concentración en comparación con las raíces y la corteza. La concentración de taninos en las hojas puede variar del 1% al 10% en peso seco.

Frambuesa (Rubus spp)

La concentración de taninos en las frambuesas (*Rubus spp*) es relativamente baja en comparación con otras plantas ricas en taninos. Las frambuesas son conocidas por su sabor dulce y suave, y su contenido de taninos es generalmente bajo. Aunque las concentraciones pueden variar ligeramente entre especies y variedades, se estima que la concentración de taninos en las frambuesas es inferior al 1% en peso seco.

A diferencia de otras plantas que contienen taninos en partes como la corteza o las raíces, en el caso de las frambuesas, los taninos tienden a estar presentes en menor cantidad en la pulpa y la piel de la fruta. Esto contribuye a su sabor agradable y suavidad al paladar (Gudej & Tomczyk, 2004).



Ilustración 5. *Fruta de frambuesa la cual contiene un porcentaje mínimo de taninos. Tomado de: (Frambuesa, s.f.)*

7. Lignanos

Semillas de chia (Salvia Hispanica)

La concentración de lignanos en las semillas de chía (*Salvia hispanica*) puede variar, pero se ha encontrado que contienen niveles significativos de estos compuestos. En particular, las semillas de chía son conocidas por ser una buena fuente de lignanos, entre otros nutrientes.

La concentración específica de lignanos en las semillas de chía puede depender de varios factores, como la variedad de chía, el origen geográfico y las condiciones de crecimiento. Sin embargo, se ha informado que las semillas de chía contienen lignanos en el rango de 1 a 10 mg por cada 100 gramos de semillas.



Ilustración 6. Semilla de Chia la cual contiene lignanos.
Tomado de: (Para qué sirve la chía | Beneficios de la semilla de chía | Quaker México, s.f.)

Semillas de girasol (*Helianthus annuus*)

Los lignanos son compuestos fenólicos presentes en varias plantas, pero su contenido específico puede variar ampliamente según la variedad de la planta, las condiciones de crecimiento y otros factores. Estos metabolitos en las semillas del girasol pueden estar presentes en concentraciones de alrededor de 0,1-0,4 mg por cada 100 gramos de semillas de girasol, la cual no es tan significativa.



Ilustración 7. Semillas de girasol la cual contiene lignanos.
Tomado de: (Maymo, 2020)

Lino (Linum usitatissimum)

El lino (*Linum usitatissimum*) es conocido por ser una excelente fuente de lignanos en los cuales, la concentración de lignanos puede variar, pero generalmente se considera una de las fuentes más ricas en estos compuestos. La concentración aproximada de lignanos en el lino es de aproximadamente 75-800 mg por cada 100 gramos de semillas de lino.

El lino contiene lignanos que son precursores del enterodiol y enterolactona, los cuales son metabolitos activos en el cuerpo humano (Hadeel et al., 2020).



Ilustración 8. Planta de lino la cual es una excelente fuente de lignanos. Tomado de: (*Propiedades del lino - Cooperativa Simbiosis, 2020*)

8. Terpenos

Lavanda (Lavandura spp)

En general, la lavanda contiene varios terpenos en diferentes proporciones. Algunos de los terpenos comunes encontrados en la lavanda incluyen:

- **Linalool:** es uno de los terpenos más predominantes en la lavanda, y le da su aroma floral y relajante. La concentración de linalool puede variar, pero

generalmente oscila entre el 25% y el 50% del contenido total de terpenos en la lavanda.

- **Linalil acetato:** es otro terpeno importante en la lavanda, que contribuye a su aroma dulce y suave. La concentración de linalil acetato también puede variar, pero generalmente se encuentra en un rango del 20% al 40% del contenido total de terpenos en la lavanda.
- **1,8-cineol (también conocido como eucaliptol):** es otro terpeno presente en la lavanda, aunque en menor proporción. Aporta un aroma fresco y herbal a la planta.



Ilustración 9. Planta de lavanda con presencia de terpenos. Tomado de: *(Lavanda, la planta aromática perfecta para cultivar en el jardín, 2021).*

Pino (*Pinus spp*)

Los pinos son conocidos por contener una alta concentración de terpenos, lo que les da su característico aroma a bosque. Algunos de los terpenos más comunes encontrados en los pinos incluyen (Berta et al., 1997):

- **Pineno:** es uno de los terpenos más abundantes en los pinos y se encuentra en dos formas isoméricas, alfa-

pineno y beta-pineno. Estos terpenos contribuyen al aroma fresco y resinoso de los pinos. La concentración de pineno en los pinos puede variar, pero generalmente oscila entre el 30% y el 50% del contenido total de terpenos.

- **Limoneno:** es otro terpeno presente en los pinos, que aporta un aroma cítrico a la planta. La concentración de limoneno puede variar, pero generalmente se encuentra en una proporción menor en comparación con el pineno.
- **Careno:** es otro terpeno que se encuentra en los pinos, que contribuye a su aroma característico. La concentración de careno también puede variar según la especie y las condiciones de crecimiento.



Ilustración 10. *Árbol de pino con presencia de terpenos en su resina. Tomado de: (Marisa, 2023)*

9. Polifenoles

Té verde

El contenido de polifenoles en el té verde puede variar dependiendo de varios factores, como la variedad de té y las condiciones de crecimiento. Sin embargo, generalmente se estima que el té verde contiene alrededor de 30-40% de

polifenoles en peso seco. Entre los polifenoles presentes en el té verde, las catequinas son los más comunes y se consideran responsables de muchos de los beneficios para la salud asociados con esta infusión.



Ilustración 11. Planta de té verde con alto contenido de terpenos. Tomado de: (Zepeda, 2018)

Berries

La concentración de polifenoles en los berries puede variar dependiendo del tipo de berry y otros factores. Entre estos podemos mencionar los siguientes:

- Los arándanos deshidratados tienen un contenido promedio de polifenoles de aproximadamente 1011.5 mg GAE/100g.
- Los berries nativos, como el maqui, pueden tener una alta concentración de polifenoles antioxidantes (Patterson, 2008).



Ilustración 12. Familia berries con presencia de terpenos.
Tomado de: (Patterson, 2008)

10. Alcaloides

Belladona (Atropa belladonna)

Los alcaloides presentes en la belladona, que pertenecen a una categoría de medicamentos conocidos como anticolinérgicos y antiespasmódicos, contienen diversas sustancias químicas como la hiosciamina, atropina y escopolamina. En ocasiones, se añade fenobarbital para lograr resultados óptimos en el ámbito medicinal. La belladona tiene la capacidad de aliviar los síntomas de los calambres estomacales e intestinales al relajar los músculos del estómago y los intestinos. Por su parte, el fenobarbital, un sedante barbitúrico, actúa en el cerebro y ayuda a reducir la ansiedad, produciendo un efecto calmante (Prusakov, 2014). Existen varias presentaciones disponibles de medicamentos que contienen los componentes de la belladona. Algunos ejemplos de estas formulaciones incluyen Donnatal, los cuales contienen atropina, hiosciamina, fenobarbital y escopolamina. También se encuentra disponible como Hyos, que contiene atropina, hiosciamina y escopolamina, así como Quadrapax, que posee los mismos componentes.



Ilustración 13. *Planta de belladona con presencia de alcaloides. Tomada de: (Propiedades curativas de la belladona, 2017)*

Estramonio (Datura stramonium)

Estramonio es una planta herbácea que pertenece a la familia de las solanáceas. Es reconocida por sus atributos característicos, como sus hojas grandes y dentadas, sus flores blancas o moradas en forma de trompeta y su fruto espinoso que alberga las semillas. Aunque tiene su origen en las regiones cálidas de América del Norte, también se ha adaptado y extendido en muchas zonas del mundo (Bruneton & Fernández-Galiano, 2001). Los extractos de la planta contienen diversos alcaloides, como los alcaloides de tropano (atropina y escopolamina), así como la anfetamina y sus derivados, entre otros compuestos, que se ha observado que favorecen las funciones neuronales. Sin embargo, se ha observado que el extracto de fruta contiene una distribución más amplia de compuestos alcaloides junto con sus bioactividades, lo que sugiere que podría tener un efecto neuromodulador más pronunciado en comparación con el extracto de hoja.



Ilustración 14. Planta de estramonio con presencia de alcaloides. Tomado de: (SUR, 2018)

Amapola del opio (Papever somniferum alkaloids)

La amapola del opio es un vegetal cultivado específicamente por su valioso látex, conocido como opio, que se obtiene de las cápsulas de las flores inmaduras de la planta. El opio contiene una variedad de alcaloides, que son compuestos químicos con propiedades farmacológicas. Entre los alcaloides más significativos y notables presentes en el opio se encuentran la morfina y la codeína, además de encontrarse para tebaína, papaverina, noscapina.



Ilustración 15. Planta de opio con presencia de alcaloides. Tomado de: (GeaSeeds, 2018)

Tabaco (Nicotina tabacum)

El tabaco se ha cultivado durante siglos por sus propiedades estimulantes y sus hojas se utilizan para elaborar productos de tabaco, como cigarrillos, puros, tabaco de pipa y tabaco para masticar. Las hojas de la planta de tabaco contienen altas concentraciones de nicotina, un alcaloide que actúa como un estimulante del sistema nervioso central y es responsable de la adicción asociada con el consumo de tabaco. Además de la nicotina, el tabaco también contiene otros alcaloides en menor cantidad, como la anabasina y la nornicotina. Estos alcaloides contribuyen a los efectos estimulantes y adictivos del tabaco, así como a los riesgos para la salud asociados con su consumo, como la dependencia, enfermedades cardiovasculares y cáncer.



Ilustración 16. Planta de coca con presencia de alcaloides.
Tomado de: (BIONDICH & JOSLIN, 2016)

Hongo de mosca (Amanita muscaria)

Este hongo es reconocido por su apariencia característica, que incluye un sombrero de color rojo brillante con manchas blancas y un tallo blanco y robusto. La *Amanita muscaria* contiene varios compuestos químicos, incluidos alcaloides como el muscimol y la iboténica, que le confieren propiedades psicoactivas y sedantes. Estos compuestos actúan sobre el

sistema nervioso central, produciendo efectos que varían desde la euforia y la distorsión perceptiva hasta la relajación muscular y la somnolencia.



Ilustración 17. Hongo de mosca con alto contenido de alcaloides. Tomado de: (Hongo matamoscas «*Amanita muscaria*», Conabio)

PROPIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS

11. Taninos

Entre las características principales que sobresalen de los taninos podemos mencionar los siguientes:

- **Sabor astringente:** Los taninos tienen un sabor astringente que se puede encontrar en alimentos como el té, el vino tinto, ciertas frutas y algunos frutos secos. Esta propiedad astringente se produce cuando los taninos precipitan con las proteínas, dejando una sensación de sequedad en la boca.

- **Soluble en agua:** Los taninos son solubles en agua y pueden ser extraídos por procesos de infusión o maceración.
- **Coloración:** Estos se destacan por su coloración oscura en las sustancias que se encuentren. Uno de los ejemplos es en los vinos tintos, los cuales adquieren tonalidades oscuras debido a los taninos presentes en las uvas.
- **Propiedades antioxidantes:** Los taninos tienen propiedades antioxidantes, lo que significa que pueden neutralizar los radicales libres y proteger a las células del daño oxidativo, resultandos beneficiosos para la salud.
- **Actividad antimicrobiana:** Algunos taninos presentan actividad antimicrobiana ayudando en la inhibición del crecimiento de ciertos microorganismos, como bacterias y hongos. Esta propiedad puede ser usada en la conservación de alimentos y en algunos casos en la medicina tradicional.

12. Lignanos

Los lignanos son compuestos fenólicos que se encuentran en diversas plantas, especialmente en semillas, granos enteros, frutas y verduras. Tienen varias características generales que los distinguen, entre ellos podemos mencionar las siguientes:

- **Propiedades antioxidantes:** Los lignanos, al igual que los taninos, poseen propiedades antioxidantes ayudando a neutralizar los radicales libres y proteger a las células del daño oxidativo. Esto puede tener beneficios para la salud, ya que el estrés oxidativo se ha relacionado con el envejecimiento y el desarrollo de enfermedades crónicas.
- **Actividad fitoestrogénica:** Algunos lignanos tienen la capacidad de actuar como fitoestrógenos, es decir, pueden imitar o modular la actividad de los estrógenos en

el cuerpo. Los beneficios de este se encuentran en la regulación hormonal y en la prevención de ciertas enfermedades relacionadas con desequilibrios hormonales.

- **Potencial anticancerígeno:** Se ha observado que algunos lignanos tienen propiedades anticancerígenas. Pueden inhibir el crecimiento de células cancerosas, inducir la apoptosis y modular diferentes vías metabólicas y de señalización relacionadas con el desarrollo y progresión del cáncer.
- **Beneficios para la salud cardiovascular:** Se ha sugerido que los lignanos pueden tener efectos positivos en la salud cardiovascular. Pueden ayudar a reducir el colesterol LDL (denominado como colesterol malo) y los triglicéridos, así como a mejorar la función endotelial y reducir la inflamación, contribuyendo así a la prevención de enfermedades cardiovasculares (Ražná et al., 2021).

13. Polifenoles

- Son compuestos químicos que contienen estructuras de anillos fenólicos.
- Mayoritariamente se encuentran en plantas como frutas, verduras, granos enteros, té y vino.
- Tienen propiedades antioxidantes tal como los taninos y lignanos, además de presentar propiedades antiinflamatorias.
- Pueden contribuir a la prevención de enfermedades crónicas, como enfermedades cardiovasculares y cáncer.

Ejemplos de polifenoles son los flavonoides, el resveratrol y el ácido elágico (Abdel-Shafy & Mansour, 2017).

14. Alcaloides

Los alcaloides son un grupo diverso de compuestos químicos que se encuentran en muchas plantas y hongos, y que a menudo tienen efectos farmacológicos o psicoactivos (Atanasov et al., 2015).

De manera general, los alcaloides puros son en su mayor parte sólidos cristalinos; otros son gomas o sólidos amorfos. Algunos son sólo ligeramente solubles en agua, pero todos se disuelven cuando se les neutraliza con ácido. Se encuentran en las plantas en parte como N-óxidos, los cuales son solubles en agua. Los alcaloides presentan una notable estabilidad, aunque pueden experimentar hidrólisis cuando se encuentran en soluciones alcalinas y sufrir descomposición debido a la acción de enzimas. Esto último ocurre en algunas especies de plantas cuando se marchitan y se secan. Se desconoce la estabilidad de los alcaloides cuando se cocinan las plantas (Costa-Sena et al., 2019).

Algunas de las propiedades químicas que se pueden mencionar son:

- Químicamente los alcaloides tienen todo un carácter común, que es el poseer un nitrógeno básico, ya sea cíclico o no.
- La posesión del nitrógeno básico común confiere a los alcaloides un sabor amargo pronunciado (carácter organoléptico común).
- Como carácter físico común señalaremos que las bases de los alcaloides son liposolubles, siendo escasa su solubilidad en el agua.

- Por poseer el nitrógeno básico tienen los alcaloides una porción de reacciones generales cuyo fundamento no es siempre el mismo.
- Los alcaloides suelen tener puntos de fusión relativamente altos, lo que significa que son sólidos a temperatura ambiente.
- La toxicidad, finalmente, no puede considerarse característica de todos los alcaloides, pues si bien la mayoría, a dosis de unos miligramos, son mortales; otros, como la quinina, hordenina, teobromina, etc., a dosis mucho mayores, no tienen peligro alguno.
- Pueden contener otras sustancias como flavonoides, azúcares, saponinas, esteroides, fenoles y taninos.
- Son solubles en solventes orgánicos como el cloroformo, el éter o el alcohol.
- Muchos son alcalinos, lo que significa que tienen un pH básico.
- Pueden reaccionar con ácidos para formar sales más solubles en agua.
- Muchos son terpenoides modificados, lo que significa que están hechos de isoprenoides.
- Pueden tener actividad analgésica (para el dolor), anestésica, antidepresiva, alucinógena, entre otras.
- Algunos alcaloides están relacionados con la actividad insecticida o fungicida en plantas.

CLASIFICACIÓN DE LOS ALCALOIDES

Los tipos de alcaloides estas clasificados de diferentes maneras entre ellas se encuentran:

- Alcaloides que provienen de aminoácidos como ornitina/arginina, lisina, histidina y fenilalanina/tirosina.
- Clasificación de Hegnauer (1960) que divide los alcaloides en tres tipos: alcaloides verdaderos, pseudoalcaloides y protoalcaloides.
- Según la estructura química, se pueden clasificar en diferentes grupos, como alcaloides indólicos, alcaloides isoquinolínicos, alcaloides de esteroide, alcaloides quinazolínicos, entre otros.
- Según su origen, se pueden clasificar en alcaloides derivados de plantas, alcaloides sintéticos y alcaloides de origen animal.

La clasificación de los alcaloides más utilizada es la clasificación de Hegnauer, la cual fue desarrollada por el botánico suizo Richard Hegnauer, se utiliza en la química y en la taxonomía de plantas para clasificar los metabolitos secundarios de las plantas, incluyendo los alcaloides (Borja-Yanez, 2021).

Según esta clasificación, los alcaloides se dividen en cuatro tipos:

15. Alcaloides verdaderos

Los Alcaloides Verdaderos son una clase de compuestos químicos que se producen naturalmente en plantas, animales y algunos microorganismos. Algunos de estos alcaloides son conocidos por sus efectos farmacológicos en humanos y animales, como la morfina, la cafeína y la nicotina. La mayoría de los Alcaloides Verdaderos tienen en su composición nitrógeno en forma de anillo heterocíclico aromático, lo que les otorga su actividad biológica característica. A menudo se

utilizan en la medicina tradicional y moderna debido a sus propiedades terapéuticas y han sido objeto de investigación para conocer más sobre sus propiedades químicas y biológicas.

16. Protoalcaloides

Los protoalcaloides son compuestos químicos que se encuentran en diferentes tipos de plantas y que actúan como precursores biosintéticos de los alcaloides verdaderos. Los protoalcaloides no tienen una estructura heterocíclica aromática, pero tienen grupos funcionales que pueden convertirse en los sistemas heterocíclicos característicos de los alcaloides verdaderos. Debido a esta propiedad, los protoalcaloides son importantes moléculas de interés en la investigación de las vías biosintéticas de los alcaloides y sus derivados. Además, algunos protoalcaloides tienen actividad biológica y pueden tener beneficios potenciales en la medicina moderna.

17. Pseudoalcaloides

Los pseudoalcaloides son una clase de compuestos que se encuentran en diversas plantas y que, a pesar de no tener una estructura heterocíclica característica de los alcaloides verdaderos, pueden confundirse con ellos debido a su actividad biológica. Estos compuestos no tienen nitrógeno en forma de anillo heterocíclico, sino que se originan a partir de aminoácidos y otros metabolitos celulares. Aunque los pseudoalcaloides no son considerados alcaloides verdaderos, algunos tienen propiedades farmacológicas importantes y han sido objeto de investigación en áreas como la farmacología y la fitoquímica.

18. Alcaloides imperfectos

Los Alcaloides imperfectos son compuestos químicos derivados de las bases piricas, que no precipitan con los

reactivos habituales de precipitación de alcaloides. Aunque no presentan la estructura química típica de los alcaloides verdaderos, los alcaloides imperfectos tienen propiedades farmacológicas y algunos de ellos se han encontrado en plantas con propiedades medicinales.

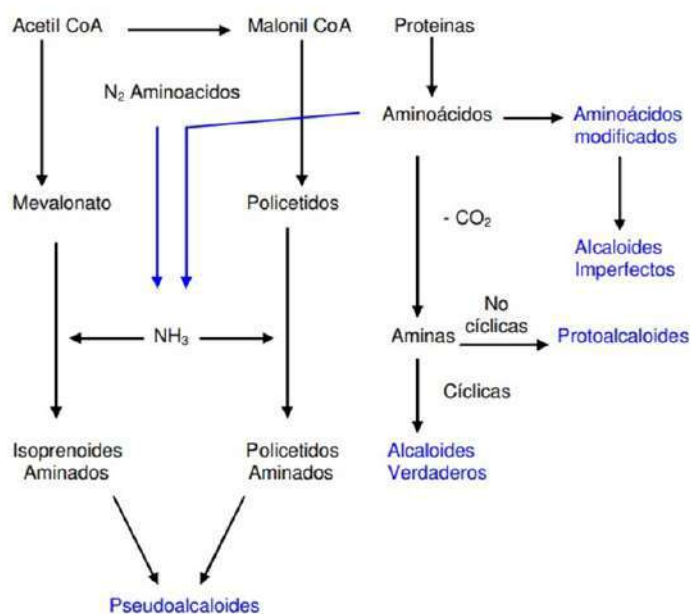


Figura 6. Clasificación de los alcaloides según Richard Hegnauer

Esta clasificación se basa en la estructura química de los compuestos y tiene en cuenta su origen biosintético y su actividad biológica. Es útil en la identificación de alcaloides y en la comprensión de sus propiedades y usos potenciales.

ACTIVIDAD BIOLÓGICA Y FARMACOLÓGICA

Los alcaloides ejercen sus efectos biológicos a través de una variedad de mecanismos de acción. Algunos actúan como

agonistas o antagonistas de receptores específicos en el cuerpo, lo que modula la señalización celular y produce respuestas farmacológicas (Barbosafilho et al., 2000). Otros alcaloides pueden inhibir enzimas clave o interferir con procesos metabólicos vitales en las células. Por ejemplo, la vincristina, un alcaloide de la vinca, inhibe la división celular al unirse a los microtúbulos, lo que la convierte en un agente efectivo en el tratamiento del cáncer.

Varios alcaloides presentes en plantas han mostrado actividad analgésica significativa. Por ejemplo, la morfina, obtenida principalmente de la adormidera (*Papaver somniferum*), es un alcaloide conocido por su potente efecto analgésico. Otros alcaloides con propiedades analgésicas incluyen la codeína y la tebaina. Estos compuestos actúan principalmente como agonistas de los receptores opioides en el sistema nervioso central, reduciendo la percepción del dolor (Barbosafilho et al., 2000).

Algunos alcaloides de origen vegetal han demostrado propiedades antiinflamatorias. La curcumina, un alcaloide presente en la cúrcuma (*Curcuma longa*), ha sido objeto de intensa investigación debido a sus efectos antiinflamatorios y antioxidantes. Otros alcaloides con actividad antiinflamatoria incluyen la berberina, presente en diversas plantas como el agracejo (*Berberis vulgaris*), y la colchicina, obtenida del azafrán de otoño (*Colchicum autumnale*) (Shen et al., n.d.).

Los alcaloides de origen vegetal también han mostrado propiedades antineoplásicas, es decir, capacidad para combatir el crecimiento y la proliferación de células cancerosas. La vinblastina y la vincristina, alcaloides extraídos de la vinca (*Catharanthus roseus*), son utilizados en el tratamiento de diversos tipos de cáncer. Otro ejemplo es la

taxol, un alcaloide aislado del tejo del Pacífico (*Taxus brevifolia*), que se ha utilizado ampliamente en el tratamiento del cáncer de mama y otros tipos de cáncer.

Numerosos alcaloides presentes en plantas han demostrado actividad antimicrobiana contra bacterias, hongos y parásitos. La berberina, por ejemplo, ha mostrado efectos antimicrobianos contra una amplia gama de patógenos, incluyendo bacterias resistentes a los antibióticos. Otros alcaloides con propiedades antimicrobianas incluyen la sanguinarina, obtenida de la sangre de dragón (*Sanguinaria canadensis*), y la berenil, aislada de la planta africana *Veronia colorata* (Ain et al., 2016).

Muchos alcaloides son tóxicos para los animales y pueden ser letales si se ingieren en cantidades suficientemente altas, algunos ejemplos de alcaloides tóxicos son la estricnina y la conina, debido a esto otros tantos como la nicotina y la anabasina son alcaloides presentes en el tabaco y se utilizan como insecticidas para controlar plagas de insectos (Adamski et al., 2020). Así mismo, alcaloides como la cafeína, la morfina y la cocaína, tienen efectos sobre el sistema nervioso central, lo que puede alterar la función cerebral y el estado de ánimo.

19. Actividad biológica de los alcaloides de protoberberina

Los alcaloides de protoberberina son un grupo de alcaloides que pertenecen a la clase de los alcaloides isoquinolínicos y están relacionados estructuralmente con la protoberberina, la cual es una base alcaloide presente en ciertas plantas; dentro de algunos ejemplos podemos citar alcaloides tales como la berberina, la palmatina, la jatrorrizina y la coptisina, entre otros.

Este tipo de alcaloides se encuentran principalmente en la familia de las Berberidáceas, como el género *Berberis*, así como en otras plantas medicinales como *Coptis chinensis* y *Hydrastis canadensis* (Kerr, 1993). Las investigaciones farmacológicas que se han realizado con los alcaloides de la protoberberina han mostrado, que estos tienen efecto sobre sistemas vivos como bacterias y hongos, a medida que avanzan los años, un número creciente y relevante de actividades biológicas muy importantes.

Contra agentes patógenos

A esta clase de alcaloides se les ha atribuido varias actividades diferentes contra agentes patógenos. Se utilizan como agentes antisépticos, antiparasitarios, antitripanosómicos, insecticidas, molusquicidas, antifúngicos y antileishmaniasis, entre muchas otras actividades.

En sistemas orgánicos específicos

Aquellos alcaloides de protoberberina, a nivel del sistema nervioso central (SNC) presentan actividad analgésica, antiamnésica, antineurotóxica, narcótica y bloqueadora de receptores de mediadores químicos como GABAérgico, ya han sido descrito, así mismo se ha encontrado que estos alcaloides generan la inhibición de varias enzimas involucradas en procesos fisiológicos (Brahmachari, 2011). Además, actúan sobre el sistema nervioso autónomo (SNA), pues intervienen en el sistema cardiovascular: antiarrítmico, antiesquémico, antihemorrágico, antifibrilatorio, vasorelajante y actividades hipotensoras, son algunos de los efectos que han sido estudiados. Cabe mencionar que generan efectos metabólicos ya que se comportan como hipoglucemiantes, antihipercolesterolémico, inhibición de la reabsorción ósea,

inhibición de la formación de osteoclastos, inhibición de la lipasa y la lipogénesis.

Algunas enzimas como el alcohol deshidrogenasa, aldehído reductasa, acetiltransferasa, acetil y butirilcolinesterasa, y las lipoxigenasas se inhiben significativamente en presencia de algunos alcaloides derivados de la protoberberina (Cordell, 2015) (Belder et al., n.d.). Así mismo son capaces de bloquear los canales iónicos, especialmente los canales de calcio y potasio, los cuales se hallan distribuidos en torno a algunas células, por otra parte, se ha informado actividades agonistas y antagonistas que regulan los sistemas adrenérgicos, colinérgico, dopaminérgico y serotoninérgico.

20. Actividad de la manzamina A

En particular el clorhidrato de manzamina A muestra una concentración inhibitoria media máxima (IC₅₀) de 0,07 µg/mL, esta medida es capaz de inhibir el crecimiento de células de leucemia en ratones de ensayo, así mismo este alcaloide muestra una actividad antimicrobiana contra *Staphylococcus aureus* con una concentración inhibitoria mínima (MIC) de 6,3 µg/mL. Los ensayos muestran que la manzamina A puede provocar una inhibición del crecimiento del 80 % de las larvas del insecto *Spodoptera littoralis* a concentraciones de 132 ppm. Además, la manzamina A exhibe actividad insecticida hacia las larvas recién nacidas del insecto plaga *Spodoptera littoralis*, en cuanto a su comportamiento antibacteriano la Manzamine A es activo contra las bacterias Grampositivas *Bacillus subtilis* y *Staphylococcus aureus*.

Entre las actividades más prometedoras de la manzamina A está el hecho de que inhibe el crecimiento in vivo del parásito de la malaria en roedores *Plasmodium berghei*, inhibe del 98-99 % de *Mycobacterium tuberculosis* (Fa et al., 2009).

21. Alcaloides de la piridina sesquiterpénica

La familia Calastraceae contiene varias especies que se han utilizado como insecticidas naturales durante mucho tiempo en la agricultura tradicional, en particular los ésteres sesquiterpénicos de dihidroagarofurano y los alcaloides son los principales compuestos que tienen actividades insecticidas y antialimentarias para insectos; los alcaloides de piridina sesquiterpénicos wilforina y wilfordina presentes en las raíces de *T. wilfordii*. Estos alcaloides exhiben una potente actividad larvicida contra el maíz europeo *Pyrausta nubilalis* en concentraciones de 60 ppm, inclusive inducen la muerte en todos los casos tras tres días de haber sido administrados (Soepenberget al., 2003). La wilforina demostró ser eficaz en el control de larvas de la polilla de la espalda de diamante, así mismo ha demostrado una actividad antialimentaria eficaz contra el saltamontes *Locusta migratoria* y la oruga *Pieris rapae*. Algunos alcaloides de piridina sesquiterpénicos, aislados de *T. hypoglaucum* y un extracto de uso clínico de *T. wilfordii*, han mostrado actividad anti-VIH, los mejores resultados para la inhibición de la replicación del virus del VIH lo muestran alcaloides como la triptonina B, hipoglaunina B, hiponina B y wilfortrina (Soepenberget al., 2003).

USOS MEDICINALES

22. Taninos.

Los taninos se encuentran en plantas superiores como metabolitos secundarios polifenólicos, siendo ésteres de galloilo que se unen a una variedad de polifenoles como catequinas y triterpenoides, o a su vez son proantocianidinas oligoméricas que poseen una variedad de patrones de acoplamiento, los taninos tiene varias propiedades que son de interés farmacéutico como antioxidante, antiinflamatorias, y

astirgentes (Lambert & Elias, 2010; Molino et al., 2023; Riba et al., 2017; Scalbert & Williamson, 2000).

Elagitaninos.

Los elagitaninos con taninos hidrolizables formados cuanto menos por dos unidades de galloilo que dan lugar al HHDP y este a su vez se unirá con moléculas de azúcar. Poseen sabores amargos y astirgentes.

Este tipo de taninos tiene propiedades antioxidantes, anticancerígeno, antiinflamatorio, protección cardiovascular y potencial antidiabético (Lee et al., 2022; Tolmie et al., 2023).

Tabla 1. Frutas en las que se encuentra los elagitaninos



Tomada de:
(Sensaciones en tu
piel con el aroma
de la fruta
granada |
Palmolive, s. f.)



Tomada de:
(especialistasweb,
2022)



Tomada de:
(Frambuesa,
s. f.).

Galotaninos.

Los galotaninos son taninos hidrolizables básicos con muy poca presencia en la naturaleza, están formados por derivados del ácido gálico y seis o más grupos galloilo. Los galotaninos pueden producir una molécula de glucosa y diez de ácido gálico al unirse a una proteína. Presentan propiedades antioxidantes, antiinflamatorio, gastroprotectores, anticancerígeno y antidiabético (Guo et al., 2023; Kwon et al., 2013; Molino et al., 2023).

Tabla 2. Plantas y árboles donde se encuentran los galotaninos.



Los galotaninos se encuentran en la corteza del árbol de quina. Tomada de: (PERÚ, 2022).



Los galotaninos se encuentran en la corteza del árbol de roble. Tomada de: (Ramírez, 2022).



Se encuentran en las hojas de la camellia sinensis. Tomada de: (Camellia sinensis, s. f.).

Taninos condensados.

Los taninos condensados o proantocianidinas son el grupo de taninos más abundante representando casi el 90% que se pueden encontrar en frutos, cortezas, hojas y semillas, se suelen encontrar en la naturaleza en forma de complejos con proteínas, han despertado el interés debido a sus propiedades antioxidantes, antiinflamatorias y antimicrobianas.

Tabla 3. Planta donde se encuentran los taninos condensados.



Los taninos condensados están presentes en el fruto castaño de indias. Tomado de: (Castaño de Indias (Aesculus



Los taninos condensados están presentes en el fruto del cacao. Tomado de: (Theobroma cacao



Los taninos condensados están presentes en el fruto de la uva. Tomada de: (How to Grow Common Grape Vines

hippocastanum), *Búsqueda de Google*, (*Vitis Vinifera*),
s. f.). s. f.). s. f.)

23. Flavonoides.

Los flavonoides son metabolitos secundarios ampliamente distribuidos en el reino vegetal, se caracteriza por sus anillos aromáticos unidos por dobles enlaces. Los flavonoides se han utilizado en tratamientos medicinales ancestrales, debido a sus propiedades antiinflamatorias, antioxidantes, antimicrobianas, etc (Havsteen, 2002).

Flavonas.

Son derivados de los flavonoides presentes en frutas cítricas y diversas verduras, siendo su estructura química la responsable de sus propiedades anticancerígenas, antimicrobiana, antiobesidad, entre otras (Ahmad et al., 2023; P. Wang et al., 2022).

Tabla 4. Plantas donde se encuentran las flavonas.



Las flavonas se encuentran en el apio. Tomada de: (Perejil, 2021).



Las flavonas se encuentran en la naranja. Tomada de: (Sara, 2020).



Las flavonas se encuentran en la toronja. Tomada de: (Cuáles son los beneficios de comer toronja, s. f.).

Flavononas.

Las flavononas son metabolitos secundarios presentes en una gran variedad de plantas, en anillo aromático unido al grupo cetona del C-4 le confiere las diversas propiedades tales como antioxidantes, antiinflamatorias, para enfermedades

cardiovasculares, y neurodegenerativas (de Souza et al., 2023; Zhao et al., 2023)

Tabla 5. Plantas donde se encuentran las flavononas.



Las flavononas se encuentran en la pulpa del limón. Tomada de: (Cuáles son los tipos de limones | Recetas Nestlé, 2021)



Las flavononas se encuentran en las hojas de la menta. Tomado de: (Menta, 2022).



Las flavononas se encuentran en la pulpa de la mandarina. Tomado de: (Mandarina | HerbaZest, s. f.).

Flavonoles.

Los flavonoles son los flavonoides más numerosos distribuidos ampliamente en el reino vegetal, son pigmentos naturales ampliamente distribuidos en frutas, flores, y verduras. Debido a su estructura pueden neutralizar radicales libres, además de poseer propiedades antiinflamatorias, antioxidante, entre otras (Manach et al., 2004; Mendonça et al., 2022; Qin et al., 2021).

Tabla 6. Plantas y frutas en donde se encuentran los flavonoles.



Los flavonoles se encuentran en la piel externa y



Los flavonoles se encuentran en la piel y pulpa de la



Los flavonoles se encuentran en los tallos y flores

capas superficiales de la cebolla. Tomada de: (ecosostenible, 2022).	manzana. Tomada del de: (Buenmercadoacasa, 2018)	del brócoli. Tomado de: (La técnica para cocinar el brócoli sin que huela mal y siete recetas deliciosas, 2020)
---	---	--

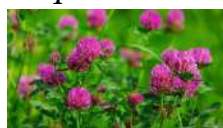
Isoflavonas.

Las isoflavonas son derivados de los flavonoides que contienen dos anillos bencénicos unidos a un anillo de pirano, las isoflavonas pertenecen a los fitoestrógenos que se puede encontrar en la soja. Tiene un gran interés debido a sus propiedades estrogénicas, antioxidantes, salud ósea, y salud cardiovascular (Novais et al., 2023; Reed et al., 2021; Sleiman et al., 2021).

Tabla 7. Plantas en las que se encuentran las isoflavonas.



Las isoflavonas se encuentran en los granos, semillas, brotes y productos derivados del a soja. Tomado de: (Soja, 2022).



Las isoflavonas se encuentran en las flores y hojas del trébol rojo. Tomado de: (Trébol Rojo Pasto Forrajero – Ganagro, s. f.).



Las isoflavonas se encuentran en las semillas y hojas de la alfalfa. Tomada de: («La alfalfa es la planta que podría crecer sobre la superficie de Marte y que serviría como

fertilizante»,
2022).

24. Lignanos.

Los lignanos son compuestos polifenólicos que se encuentran distribuidos en plantas superiores, su distribución en la planta es bastante dispersa (encontrándose en la raíz, tallo, hojas, corteza, frutos, semillas, y leño). Se clasifican en enterolignanos en los que se encuentra el enterodiol y el enterolactona que tienen un efecto en la salud cardiovascular y hormonal. Los furofuranos en los que se encuentra el sesamin y sesamolina que tienen potencial antiinflamatorios y antioxidantes.

Tabla 8. Plantas donde se encuentran los lignanos.



Los lignanos se encuentran en la capa externa de la linaza. Tomada de: *(Semillas de lino (Linaza), s. f.)*.



Los lignanos se encuentran en la semilla de sésamo. Tomada de: *(Viveur, s. f.)*



Los lignanos se encuentran en la avena y sus derivados. Tomado de: *(Avena: Propiedades, Beneficios y Usos en la Cocina, s. f.)*

25. Terpenos.

Los terpenos se encuentran ampliamente en la naturaleza desempeñando un papel fundamental en una variedad de organismos. Tienen una gran importancia en la biosíntesis de aceites esenciales. Están formados por unidades de isopreno y se diferencia por las unidades y su estructura. Los terpenos despertaron gran interés debido a sus propiedades

antiinflamatorias, antioxidante, analgésico, etc. (Breitmaier, 2006)

Monoterpenos.

Los monoterpenos son ampliamente distribuidos en la naturaleza, poseen dos unidades de isopreno, poseen propiedades antiinflamatorias y antimicrobianas. Los monoterpenos comunes son el linalool el cual tiene efectos sedantes, antiinflamatorios, analgésicos y potencial microbiano, por otro lado tenemos al geraniol el cual tiene propiedades antiinflamatorias, antimicrobiana, efecto sedante (An et al., 2006; Fu et al., 2011; Li et al., 2020).

Tabla 9. Plantas en las que se encuentra los monoterpenos.



Los monoterpenos se encuentran en las hojas y resina del romero. Tomada de: (*Propiedades del romero, para qué sirve y cómo prepararlo - Guía práctica*, s. f.)



Los monoterpenos se encuentran en la resina y agujas del árbol de pino: Tomada de: (Marisa, 2023)



Los monoterpenos se encuentran en las hojas del eucalipto. Tomada de: (*Eucalyptus globulus*, 2021)

Diterpenos.

Los diterpenos se encuentran distribuidos en diversas plantas y organismos, están conformados por cuatro unidades de isopreno, presentan propiedades antihipertensivas, antioxidantes, antidiabéticas, entre otras. Los monoterpenos

más estudiados son el ácido cofestólico y el ácido kahweol que presentan propiedades antioxidantes, antiinflamatorias, y anticancerígenas. (Breitmaier, 2006; Feng et al., 2022; Qin et al., 2021).

Tabla 10. Plantas en las que se encuentran los diterpenos.



Los diterpenos los podemos encontrar en los granos de café sin tostar. Tomado de: *(La planta del Café, Coffea arabica- Cafeto. | Plantas y Jardín, s. f.)*



Los diterpenos se encuentran en la resina del abeto. Tomada de: *(Cómo cultivar el abeto plateado, un árbol perfecto para Navidad, 2021)*



Los diterpenos se encuentran presentes en el aceite esencial de la lavanda. Tomada de: *(Lavanda, la planta aromática perfecta para cultivar en el jardín, 2021)*

Triterpenos.

Los triterpenos son derivados del escualeno y el epoxi escualeno, estos son los más números encontrándose tanto en animales como en plantas, exhiben propiedades anti VIH, antitumorales, protección cardiaca, analgésico, entre otras. Los triterpenoides m´ s comunes son el ácido oleanólico en cual tiene propiedades antiinflamatorias, antioxidante, hepatoprotector, y antidiabético. Por otro lado, tenemos al ácido ursólico el cual presenta propiedades antitumorales, protección muscular, antiinflamatoria, y efectos en el

metabolismo (Dzubak et al., 2006; Feng et al., 2022; Lacchini et al., 2023; X. Wang et al., 2018).

Tabla 11. Plantas en las que se puede encontrar triterpenos.



Los triterpenos los podemos encontrar en las hojas y pulpa de la aceituna. Tomado de: (Sourtech, s. f.)



Los triterpenos los podemos encontrar en la piel de la manzana. Tomado de: (*Todos los beneficios de comer manzanas* | Bupa Salud, s. f.)



Los triterpenos los podemos encontrar en la resina de la planta Boswellia serrata. Tomada de: (Eyzaguirre, 2023).

26. Alcaloides.

Los alcaloides son metabolitos secundarios y poseen nitrógeno en su estructura, estos se encuentran en muchas plantas superiores y hongos. Los alcaloides presentan propiedades farmacológicas, psicoactivas, antimicrobianas, antiinflamatorias, entre otras.

Los alcaloides con más uso está la morfina la cual presenta propiedades analgésicas potentes, supresión de la tos, y sedantes. Otro alcaloide es la codeína el cual tiene propiedades antidiarreicas, la colchicina presenta propiedades antiinflamatorias, tratamiento de la gota, y tratamiento de la pericardia (Funayama & Cordell, 2015).

Tabla 12. Plantas en las que se encuentra alcaloides.



Los alcaloides los encontramos en el látex del opio. Tomado de: (GeaSeeds, 2018)



Los alcaloides los encontramos en las hojoas de la coca. Tomado de: (BIONDICH & JOSLIN, 2016)



Los alcaloides los encontramos en las hojas y raíces de la belladona. Tomado de: (*Propiedades curativas de la belladona*, 2017)



Los alcaloides los encontramos en las semillas y hojas del estramonio. Tomado de: (SUR, 2018)



Los alcaloides los encontramos en las hojas de la planta de tabaco. Tomado de: (*La planta de tabaco puede producir biocombustible y albúmina humana*, s. f.)



Los alcaloides los encontramos en la corteza del árbol de quina. Tomado de: (PERÚ, 2022).

BILIOGRAFÍA

- Abdel-Shafy, H., & Mansour, M. (2017). *Polyphenols: Properties, Occurrence, Content in Food and Potential Effects* (pp. 232-261).
- Ahmad, B., Friar, E. P., Taylor, E., Vohra, M. S., Serpell, C. J., Garrett, M. D., Loo, J. S. E., Fong, I. L., & Wong, E. H. (2023). Anti-pancreatic lipase and anti-adipogenic effects of 5,7,3',4',5'-pentamethoxy and 6,2',4'-trimethoxy flavone—An in vitro study. *European Journal of Pharmacology*, 938, 175445. <https://doi.org/10.1016/j.ejphar.2022.175445>
- An, R.-B., Kim, H.-C., Lee, S.-H., Jeong, G.-S., Sohn, D.-H., Park, H., Kwon, D.-Y., Lee, J. H., & Kim, Y.-C. (2006). A new monoterpene glycoside and antibacterial monoterpene glycosides from *Paeonia suffruticosa*. *Archives of Pharmacal Research*, 29(10), 815. <https://doi.org/10.1007/BF02973899>
- Atanasov, A. G., Waltenberger, B., Pferschy-Wenzig, E.-M., Linder, T., Wawrosch, C., Uhrin, P., Temml, V., Wang, L., Schwaiger, S., Heiss, E. H., Rollinger, J. M., Schuster, D., Breuss, J. M., Bochkov, V., Mihovilovic, M. D., Kopp, B., Bauer, R., Dirsch, V. M., & Stuppner, H. (2015). Discovery and resupply of pharmacologically active plant-derived natural products: A review. *Biotechnology Advances*, 33(8), Article 8. <https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2015.08.001>
- Avena: Propiedades, Beneficios y Usos en la Cocina.* (s. f.). Recuperado 15 de agosto de 2023, de <https://deliciaskitchen.com/avena/>
- Barbosafilho, J., Vasconcelosleitaodacunha, E., & Gray, A. (2000). Alkaloids of the menispermaceae. *The Alkaloids*:

- Chemistry and Biology*, 54, 1-190.
[https://doi.org/10.1016/S0099-9598\(00\)54002-4](https://doi.org/10.1016/S0099-9598(00)54002-4)
- Berta, F., Supuka, J., & Chladná, A. (1997). The composition of terpenes in needles of *Pinus sylvestris* in a relatively clear and in a city environment. *Biologia*, 52, 71-78.
- BIONDICH, Amy S., & JOSLIN, Jeremy D. (2016). Coca: The History and Medical Significance of an Ancient Andean Tradition. *Emergency Medicine International*, 2016, 1-5.
<https://doi.org/10.1155/2016/4048764>
- Borja-Yanez, R. E. (2021). *Revisión bibliográfica de especies vegetales del Ecuador que son fuentes naturales de alcaloides y sus posibles usos*. [UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO]. chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/33654/1/BQ%20276.pdf
- Breitmaier, E. (2006). *Terpenes: Flavors, fragrances, pharmaca, pheromones*. Wiley-VCH.
- Bruneton, J. (2001). *Plantas tóxicas: Vegetales peligrosos para el hombre y los animales*. Acribia.
- Buenmercadoacasa. (2018, mayo 30). *Variedades de manzana—Aprende a diferenciarlas y a usarlas en la cocina*. El Blog de Buenamercadoacasa. <https://www.buenmercadoacasa.com/blog/variedades-de-manzana/>
- Camellia sinensis*. (s. f.). Recuperado 15 de agosto de 2023, de <https://www.inecol.mx/inecol/index.php/es/ct-menu-item-25/planta-del-mes/37-planta-del-mes/596-camellia-sinensis>

- Castaño de Indias (Aesculus hippocastanum)*. (s. f.). PictureThis. Recuperado 8 de julio de 2023, de https://www.picturethisai.com/es/wiki/Aesculus_hippocastanum.html
- Cómo cultivar el abeto plateado, un árbol perfecto para Navidad*. (2021, diciembre 7). hola.com. <https://www.hola.com/decoracion/galeria/20211207200902/cultivo-abeto-plateado-plantas-exterior-mc/1/>
- Costa-Sena, A. E., Ramos, A. L., & Escócio-Drummond-Vianna-Faria, F. S. (2019). Avaliação da síntese de nanopartículas de prata sob diferentes concentrações do extrato de Copaíba multijuga(Heine). *Scientia Naturalis*, 1(1), Article 1. <https://periodicos.ufac.br/index.php/SciNat/article/view/2396>
- Cuáles son los beneficios de comer toronja*. (s. f.). infobae. Recuperado 15 de agosto de 2023, de <https://www.infobae.com/mexico/2023/01/20/cuales-son-los-beneficios-de-comer-toronja/>
- Cuáles son los tipos de limones | Recetas Nestlé*. (2021, diciembre 15). <https://www.recetasnestle.com.ec/escuela-sabor/tips/tipos-limones>
- de Souza, A. B., Pinheiro, J. C. A., Soares, J. B., de Araújo, J. I. F., de Araújo, S. M. B., Batista, F. L. A., de Sousa, K. K. O., Tintino, S. R., Araujo, I. M., Magalhães, F. E. A., Leite, L. H. I., & de Azevedo, F. R. (2023). Antibacterial activity and anxiolytic-like effect of *Ziziphus joazeiro* Mart. Leaves in adult zebrafish (*Danio rerio*). *Fish and Shellfish Immunology Reports*, 5, 100108. <https://doi.org/10.1016/j.fsirep.2023.100108>

- Dzubak, P., Hajduch, M., Vydra, D., Hustova, A., Kvasnica, M., Biedermann, D., Markova, L., Urban, M., & Sarek, J. (2006). Pharmacological activities of natural triterpenoids and their therapeutic implications. *Natural Product Reports*, 23(3), 394. <https://doi.org/10.1039/b515312n>
- ecosostenible. (2022, diciembre 4). Allium cepa: Sistemática, Etimología, Hábitat, Cultivo... *Un mundo ecosostenible*. <https://antropocene.it/es/2022/12/04/allium-cepa-3/>
- especialistasweb. (2022, abril 1). LA FRESA, UNA PLANTA HERBÁCEA, PERENNE Y DE PORTE RASTRERO. *DFINNOVA*. <https://dfinnova.com/2022/04/01/la-fresa-una-planta-herbacea-perenne-y-de-por-te-rastrero/>
- Eucalyptus globulus*. (2021). <https://www.tramil.net/es/plant/eucalyptus-globulus>
- Eyzaguirre, C. (2023, abril 18). Boswellia Serrata: Propiedades antiinflamatorias. *Farma5*. <https://www.farma5.es/boswellia-serrata-propiedades-antiinflamatorias/>
- Feng, H., Jiang, Y., Cao, H., Shu, Y., Yang, X., Zhu, D., & Shao, M. (2022). Chemical characteristics of the sesquiterpenes and diterpenes from Lauraceae family and their multifaceted health benefits: A review. *Heliyon*, 8(12), e12013. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e12013>
- Fernández de Simón, B., & Cadahía, E. (2007). Tratamiento de la madera de roble para tonelería. *Enología*, 4(4), 30.
- Flores, J. (2017, marzo 21). Los taninos: Qué son y qué tipos hay. *Blog de la Escuela ESAH*. <https://www.estudiahosteleria.com/blog/enologia/los-taninos>

- Frambuesa*. (s. f.). Cuerpamente. Recuperado 15 de agosto de 2023, de <https://www.cuerpamente.com/guia-alimentos/frambuesa>
- Fu, J. J., Qin, J. J., Zeng, Q., Huang, Y., Zhang, W. D., & Jin, H. Z. (2011). Two new monoterpene alkaloid derivatives from the roots of *Incarvillea arguta*. *Archives of Pharmacal Research*, 34(2), 199-202. <https://doi.org/10.1007/s12272-011-0203-3>
- Funayama, S., & Cordell, G. A. (2015). *Alkaloids A Treasury of Poisons and Medicines*. El Sevier Inc. and Ap.
- GeaSeeds. (2018, abril 27). Todo sobre el opio, peligros y efectos. *Blog Cannabico de GeaSeeds*. <https://geaseeds.com/blog/todo-sobre-el-opio-peligros-y-efectos/>
- Gudej, J., & Tomczyk, M. (2004). Determination of Flavonoids, Tannins and Ellagic acid in leaves from *Rubus* L. species. *Archives of pharmacal research*, 27, 1114-1119. <https://doi.org/10.1007/BF02975114>
- Guo, P., Tong, Y., Yang, R., Zhang, M., Lin, Q., Lin, S., & Wang, C. (2023). Effects of hydrolyzed gallotannin on intestinal physical barrier, immune function and microbiota structure of yellow-feather broilers. *Poultry Science*, 103010. <https://doi.org/10.1016/j.psj.2023.103010>
- Gürler, D. (2016). Tannin content of pomegranate rind extract and its potential use in leather production. *Fresenius Environmental Bulletin*, 25, 5924-5928.
- Hadeel, S. Y., Khalida, S. A., & Walsh, M. K. (2020). *Antioxidant activity of sesame seed lignans in sunflower and flaxseed oils*. [https://doi.org/10.26656/fr.2017.4\(3\).331](https://doi.org/10.26656/fr.2017.4(3).331)
- Harvey, A. L., Edrada-Ebel, R., & Quinn, R. J. (2015). The re-emergence of natural products for drug discovery in the

- genomics era. *Nature Reviews Drug Discovery*, 14(2), Article 2. <https://doi.org/10.1038/nrd4510>
- Hassanpour, S., Maheri-Sis, N., Eshratkhah, B., & baghbani mehmandar, F. (2011). Plants and secondary metabolites (Tannins): A Review. *Int. J. Forest, Soil and Erosion*, 1, 47-53.
- Havsteen, B. H. (2002). *The biochemistry and medical significance of the flavonoids*. El Sevier Inc.
- Hongo matamoscas «*Amanita muscaria*». (Conabio). <http://enciclovida.mx/especies/2556-amanita-muscaria>
- How to Grow Common Grape Vines (Vitis Vinifera)*. (s. f.). The Spruce. Recuperado 15 de agosto de 2023, de <https://www.thespruce.com/growing-common-grapes-vitis-vinifera-5093675>
- Inostroza-Saldías, J. P. (2018). *Revalorización de matrices lignocelulósicas como fuentes de lignanos*. <http://repositorio.udec.cl/jspui/handle/11594/995>
- Koehn, F. E., & Carter, G. T. (2005). The evolving role of natural products in drug discovery. *Nature Reviews Drug Discovery*, 4(3), Article 3. <https://doi.org/10.1038/nrd1657>
- Kwon, O. J., Bae, J.-S., Lee, H. Y., Hwang, J.-Y., Lee, E.-W., Ito, H., & Kim, T. H. (2013). Pancreatic Lipase Inhibitory Gallotannins from *Galla Rhois* with Inhibitory Effects on Adipocyte Differentiation in 3T3-L1 Cells. *Molecules*, 18(9), Article 9. <https://doi.org/10.3390/molecules180910629>
- La alfalfa es la planta que podría crecer sobre la superficie de Marte y que serviría como fertilizante. (2022, agosto 24). *AGROECUADOR TV*. <https://www.agroecuadortv.com/la-alfalfa-es-la-planta->

que-podria-crecer-sobre-la-superficie-de-marte-y-que-serviria-como-fertilizante/

La planta de tabaco puede producir biocombustible y albúmina humana. (s. f.). Agencia SINC. Recuperado 16 de agosto de 2023, de <https://www.agenciasinc.es/Noticias/La-planta-de-tabaco-puede-producir-biocombustible-y-albumina-humana>

La planta del Café, Coffea arabica- Cafeto. | *Plantas y Jardín.* (s. f.). Recuperado 15 de agosto de 2023, de <https://plantasyjardin.com/2011/11/la-planta-del-cafe-coffee-arabica-cafeto/>

La técnica para cocinar el brócoli sin que huela mal y siete recetas deliciosas. (2020, septiembre 22). Diario ABC. https://www.abc.es/bienestar/alimentacion/recetas-saludables/abci-tecnica-para-cocinar-brocoli-sin-huela-y-siete-recetas-deliciosas-202009220114_noticia.html

Lacchini, E., Venegas-Molina, J., & Goossens, A. (2023). Structural and functional diversity in plant specialized metabolism signals and products: The case of oxylipins and triterpenes. *Current Opinion in Plant Biology*, 74, 102371. <https://doi.org/10.1016/j.pbi.2023.102371>

Lambert, J. D., & Elias, R. J. (2010). The antioxidant and pro-oxidant activities of green tea polyphenols: A role in cancer prevention. *Archives of biochemistry and biophysics*, 501(1), 65-72. <https://doi.org/10.1016/j.abb.2010.06.013>

Lavanda, la planta aromática perfecta para cultivar en el jardín. (2021, abril 15). hola.com. <https://www.hola.com/decoracion/galeria/20210415187823/cultivar-lavanda-plantas-exterior-mc/1/>

- Lee, G. E., Kim, R. H., Lim, T., Kim, J., Kim, S., Kim, H.-G., & Hwang, K. T. (2022). Optimization of accelerated solvent extraction of ellagitannins in black raspberry seeds using artificial neural network coupled with genetic algorithm. *Food Chemistry*, 396, 133712. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2022.133712>
- Li, Y., Sun, K., Liang, L., Wang, M., & Sun, Z. (2020). A New Monoterpene-Flavanone Conjugate from the Aerial Parts of *Chimonanthus grammatus*. *Chemistry of Natural Compounds*, 56(5), 811-813. <https://doi.org/10.1007/s10600-020-03158-0>
- Los Terpenos: ¿Qué son y cuáles son sus utilidades?* (2022, agosto 19). Futura Farms. <https://futura-farms.com/terpenos-que-son-y-sus-utilidades/>
- Manach, C., Scalbert, A., Morand, C., Rémésy, C., & Jiménez, L. (2004). Polyphenols: Food sources and bioavailability. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 79(5), 727-747. <https://doi.org/10.1093/ajcn/79.5.727>
- Mandarina | HerbaZest.* (s. f.). Recuperado 15 de agosto de 2023, de <https://www.herbazest.com/es/hierbas/mandarina>
- Mangle (rhizophora sp.) con las raíces expuestas, el sudeste de asia.* (s. f.). 123RF. Recuperado 16 de agosto de 2023, de https://es.123rf.com/photo_14593239_mangle-rhizophora-sp-con-las-raíces-expuestas-el-sudeste-de-asia.html
- Marín Lasheras, E., & Téllez Ariso, C. (2011). *Síntesis de materiales mesoporosos ordenados silíceos con cafeína micelada encapsulada*. Universidad de Zaragoza.
- Marisa. (2023, junio 9). ▷ ✓ *La planta del pino: Cuidados necesarios para mantenerla fuerte y saludable* ◁

- Plantasmania*   *Plantasmania* .
- <https://www.plantasmania.com/planta-del-pino/>
- Martínez-Guerra, J. J. (s. f.). *Estructura de los terpenos*. Universidad Autónoma de Aguascalientes. <https://libroelectronico.uaa.mx/capitulo-13-estructura/estructura-de-los-terpenos.html>
- Maymo, V. (2020, septiembre 30). *5 recetas con semillas de girasol*. <https://buenavibra.es/casa/sabores/recetas-con-semillas-de-girasol/>
- Mendonça, C. R., Manhães-de-Castro, R., de Santana, B. J. R. C., Olegário da Silva, L., Toscano, A. E., Guzmán-Quevedo, O., & Galindo, L. C. M. (2022). Effects of flavonols on emotional behavior and compounds of the serotonergic system: A preclinical systematic review. *European Journal of Pharmacology*, 916, 174697. <https://doi.org/10.1016/j.ejphar.2021.174697>
- Menta: Cuidados y propiedades de una planta medicinal que puedes cultivar en casa*. (2022, mayo 16). La Vanguardia. <https://www.lavanguardia.com/natural/plantas/20220516/8270724/menta-cuidados-propiedades-planta-medicinal-puedes-cultivar-casa-nbs.html>
- Molino, S., Pilar Francino, M., & Ángel Rufián Henares, J. (2023). Why is it important to understand the nature and chemistry of tannins to exploit their potential as nutraceuticals? *Food Research International*, 173, 113329. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2023.113329>
- Newman, D. J., & Cragg, G. M. (2007). Natural products as sources of new drugs over the last 25 years. *Journal of Natural Products*, 70(3), 461-477. <https://doi.org/10.1021/np068054v>
- Novais, G. B., Dias, M. A., Santana, A. A. M., Batista, T. C., Marques, M. N., Melo, C. R., Albuquerque, R. L. C.,

- Gomes, M. Z., Severino, P., Souto, E. B., & Cardoso, J. C. (2023). Isoflavones-functionalized single-walled and multi-walled carbon nanotubes: Synthesis and characterization of new nanoarchitectonics for biomedical uses. *Journal of Molecular Structure*, 1294, 136351. <https://doi.org/10.1016/j.molstruc.2023.136351>
- Orhan, I. E. (2014). Pharmacognosy: Science of natural products in drug discovery. *BioImpacts : BI*, 4(3), 109-110. <https://doi.org/10.15171/bi.2014.001>
- Para qué sirve la chía | Beneficios de la semilla de chía | Quaker México.* (s. f.). Recuperado 16 de agosto de 2023, de <https://quaker.lat/mx/articulos/beneficios-de-la-chia-descubre-las-propiedades-de-esta-super-semilla/>
- Patterson, C. A. (2008). *Polyphenols in Berries Antioxidant powerhouse*. 4.
- Perejil: Una hierba aromática antioxidante, antiinflamatoria y anticoagulante.* (2021, noviembre 25). Diario ABC. https://www.abc.es/bienestar/alimentacion/abci-perejil-202111251243_noticia.html
- PERÚ, E. P. de S. E. S. A. E. (2022, julio 13). *Árbol de la quina: Conoce las propiedades medicinales de esta emblemática especie peruana.* <https://andina.pe/agencia/noticia-arbol-de-quina-conoce-las-propiedades-medicinales-esta-emblematica-especie-peruana-808503.aspx>
- Propiedades curativas de la belladona.* (2017, febrero 20). www.mundodeportivo.com/uncomo. <https://www.mundodeportivo.com/uncomo/salud/articulo/propiedades-curativas-de-la-belladona-45698.html>
- Propiedades del lino—Cooperativa Simbiosis.* (2020, abril 2). <https://www.cooperativasimbiosis.com/propiedades-del-lino/>

- Propiedades del romero, para qué sirve y cómo prepararlo—*
Guía práctica. (s. f.). Recuperado 15 de agosto de 2023,
 de <https://www.ecologiaverde.com/propiedades-del-romero-para-que-sirve-y-como-prepararlo-3293.html>
- Puech, J.-L., Feuillat, F., & Mosedale, J. R. (1999). The Tannins of Oak Heartwood: Structure, Properties, and Their Influence on Wine Flavor. *American Journal of Enology and Viticulture*, 50(4), 469-478. <https://doi.org/10.5344/ajev.1999.50.4.469>
- Qin, T., Liu, B., Xu, Z., Yao, G., Xu, H., & Zhao, C. (2021). Flavonol-based small-molecule fluorescent probes. *Sensors and Actuators B: Chemical*, 336, 129718. <https://doi.org/10.1016/j.snb.2021.129718>
- Quiñones, M., Miguel, M., & Aleixandre, A. (2012). Los polifenoles, compuestos de origen natural con efectos saludables sobre el sistema cardiovascular. *Nutrición Hospitalaria*, 27(1), 76-89.
- Ramírez, P. A. R. (2022, marzo 18). *Madera de roble: Características y principales usos*. Mejor con Salud. <https://mejorconsalud.as.com/madera-roble-caracteristicas-principales-usos/>
- Ražná, K., Nôžková, J., Vargaov, A., Harenčá, L., & Bjelková, M. (2021). Biological funtions of lignans in plants. *Agriculture (Poľnohospodárstvo)*, 67(4), 155-165. <https://doi.org/DOI: 10.2478/agri-2021-0014>
- Reed, K. E., Camargo, J., Hamilton-Reeves, J., Kurzer, M., & Messina, M. (2021). Neither soy nor isoflavone intake affects male reproductive hormones: An expanded and updated meta-analysis of clinical studies. *Reproductive Toxicology*, 100, 60-67. <https://doi.org/10.1016/j.reprotox.2020.12.019>

- Riba, A., Deres, L., Sumegi, B., Toth, K., Szabados, E., & Halmosi, R. (2017). Cardioprotective Effect of Resveratrol in a Postinfarction Heart Failure Model. *Oxidative Medicine and Cellular Longevity*, 2017, 6819281. <https://doi.org/10.1155/2017/6819281>
- Sara. (2020, julio 24). *La importancia del color naranja en la historia*. Noticias de Arte Totenart. <https://totenart.com/noticias/importancia-color-naranja-historia/>
- Scalbert, A., & Williamson, G. (2000). Dietary Intake and Bioavailability of Polyphenols. *The Journal of Nutrition*, 130(8), 2073S-2085S. <https://doi.org/10.1093/jn/130.8.2073S>
- Semillas de lino (Linaza)*. (s.f.). Salud y Alimentación. Recuperado 15 de agosto de 2023, de <https://www.diet-health.info/es/recetas/ingredientes/in/qd3982-semillas-de-lino-linaza>
- Sensaciones en tu piel con el aroma de la fruta granada | Palmolive*. (s.f.). Recuperado 15 de agosto de 2023, de <https://www.palmolive.com.mx/tips/ingredientes-naturales/sensaciones-con-el-aroma-granada>
- Skaltsa, E. (s.f.). *Journal of Pharmacognosy and Natural Products- Open Access Journa*. Recuperado 14 de agosto de 2023, de <https://www.hilarispublisher.com/pharmacognosy-natural-products.html>
- Sleiman, H. K., de Oliveira, J. M., & Langoni de Freitas, G. B. (2021). Isoflavones alter male and female fertility in different development windows. *Biomedicine & Pharmacotherapy*, 140, 111448. <https://doi.org/10.1016/j.biopha.2021.111448>

- Soja: Propiedades, beneficios, mitos y valor nutricional.* (2022, marzo 21). La Vanguardia. <https://www.lavanguardia.com/comer/materia-prima/20211223/4581/soja-beneficios-mitos-propiedades-salud.html>
- Sourtech. (s. f.). *Cuál es el mejor aceite de oliva del mundo, dónde encontrarlo y a qué precio.* Forbes Ecuador. Recuperado 16 de agosto de 2023, de <https://www.forbes.com.ec/lifestyle/cual-mejor-aceite-oliva-mundo-donde-encontrarlo-precio-n9731>
- SUR. (2018, julio 13). *¿Qué es el estramonio?* Diario Sur. <https://www.diariosur.es/sociedad/salud/estramonio-20180713191158-nt.html>
- Theobroma cacao—Búsqueda de Google.* (s. f.). Recuperado 15 de agosto de 2023, de https://www.google.com/search?sca_esv=557132508&sxsrf=AB5stBjjtcWUqBUVPP-Gq5hMDG_wGbt2Mw:1692117272994&q=Theobroma+cacao&tbm=isch&source=lnms&sa=X&sqi=2&ved=2ahUKEwi5jOaHjN-AAxXxFFkFHeIdD6YQopQJegQICRAB&biw=871&bih=859&dpr=1.1#imgrc=zRCiWowo_O3ejM
- Todos los beneficios de comer manzanas | Bupa Salud.* (s. f.). Recuperado 16 de agosto de 2023, de <https://www.bupasalud.com/salud/todos-los-beneficios-de-comer-manzana>
- Tolmie, M., Bester, M. J., Serem, J. C., Nell, M., & Apostolides, Z. (2023). The potential antidiabetic properties of green and purple tea [Camellia sinensis (L.) O Kuntze], purple tea ellagitannins, and urolithins. *Journal of Ethnopharmacology*, 309, 116377. <https://doi.org/10.1016/j.jep.2023.116377>

- Trébol Rojo Pasto Forrajero – Ganagro.* (s. f.). Recuperado 15 de agosto de 2023, de <https://ganagro.ec/producto/trebol-rojo-pasto-forrajero/>
- Vino y salud (6): ¿Qué son los polifenoles y qué funciones cumplen? (s. f.). *Pla i llevant*. Recuperado 16 de agosto de 2023, de <http://doplaillevant.com/vino-y-salud-6-que-son-los-polifenoles-y-que-funciones-cumplen/>
- Viveur, B. (s. f.). *Sésamo: Qué son estas semillas, propiedades y beneficios para la salud*. Bon Viveur. Recuperado 15 de agosto de 2023, de <https://www.bonviveur.es/gastroteca/semillas-de-sesamo-el-condimento-favorito-de-la-cocina-asiatica>
- Wang, P., Wu, R., Jia, Y., Tang, P., Wei, B., Zhang, Q., Wang, V. Y.-F., & Yan, R. (2022). Inhibition and structure-activity relationship of dietary flavones against three Loop 1-type human gut microbial β -glucuronidases. *International Journal of Biological Macromolecules*, 220, 1532-1544. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2022.09.018>
- Wang, X., Liu, C.-H., Li, J.-J., Zhang, B., Ji, L.-L., & Shang, X.-Y. (2018). Iridoid glycosides from the fruits of *Cornus officinalis*. *Journal of Asian Natural Products Research*, 20(10), 934-942. <https://doi.org/10.1080/10286020.2018.1497609>
- Xie, T., Song, S., Li, S., Ouyang, L., Xia, L., & Huang, J. (2015). Review of natural product databases. *Cell Proliferation*, 48(4), 398-404. <https://doi.org/10.1111/cpr.12190>
- Zepeda, M. (2018, diciembre 10). ¡México tiene un proyecto para cultivar té! ¿Dónde? *Animal Gourmet*. <https://www.animalgourmet.com/2018/12/10/mexico-tiene-un-proyecto-para-cultivar-te/>

Zhao, Y., Li, D., & Huang, T. (2023). Associations of dietary flavonoids and subclasses with total and cardiovascular mortality among 369,827 older people: The NIH-AARP Diet and Health Study. *Atherosclerosis*, 365, 1-8. <https://doi.org/10.1016/j.atherosclerosis.2022.12.006>

CAPÍTULO 2

CONSTITUYENTES QUÍMICOS DE LOS PRODUCTOS NATURALES

NATURALEZA QUÍMICA DE LOS COMPONENTES

Tanto materia viva como inerte presenta cierta característica en su composición, la cual presenta componentes químicos en abundancia y una estructura variada. Los componentes químicos se refieren a las sustancias que constituyen la materia y participan en las reacciones químicas, se pueden clasificar en:

1.1. Inorgánicos

- Agua: Es uno de los componentes que se encuentra con mayor porcentaje en las plantas, suele llegar entre un 80 – 90% en plantas herbáceas, mientras que en las partes leñosas contienen más del 50% y juega un papel esencial en diferentes funciones vitales. El agua es absorbida por las raíces de las plantas del suelo y luego se mueve a través del sistema vascular de la planta, conocido como xilema (Universidad Nacional del Nordeste, 2015), el cual transporta agua y nutrientes desde las raíces hasta las partes superiores de la planta, como tallos, hojas y flores.
- Minerales: Son elementos químicos esenciales para el crecimiento y desarrollo de las plantas. Estos elementos se absorben del suelo a través de las raíces y desempeñan un papel vital en una variedad de procesos biológicos (Taiz & Zeiger, 2006), incluyendo la formación de estructuras celulares, la síntesis de compuestos orgánicos y la regulación de funciones metabólicas. En algunas plantas medicinales (Ordoñez et al., 2021) encontró que el Ca, K, Mg y Na fueron los macroelementos más

predominantes mientras que en microelementos priorizaron el Fe, Mn, Zn, Cu y Cr, sin embargo, la (Universidad Politécnica de Valencia, 2003) encontró que algunos dichos minerales se acumulan en la planta en cantidades considerables, son los macronutrientes: nitrógeno, fósforo, potasio, magnesio, calcio y azufre. Otros se encuentran en cantidades mucho menores, son los micronutrientes: hierro, cobre, cinc, molibdeno, manganeso, boro y cloro.

1.2. Orgánicos

Los compuestos orgánicos que se encuentran presentes en los vegetales se derivan del metabolismo primario y metabolismo secundario. Los compuestos del metabolismo primario son esenciales para el crecimiento y desarrollo básico de las plantas, mientras que los compuestos del metabolismo secundario cumplen roles más específicos, como defensa contra herbívoros, atracción de polinizadores y adaptación al entorno .

Metabolismo Primario:

- **Carbohidratos:** Incluyen glucosa, sacarosa, almidón y celulosa. Son esenciales para el almacenamiento y transporte de energía, así como para la estructura celular.
- **Lípidos:** Como grasas y aceites, son fundamentales para el almacenamiento de energía y la formación de membranas celulares.
- **Proteínas:** Cruciales para la estructura y función celular, así como para reacciones metabólicas y regulación de procesos.

- **Ácidos nucleicos:** ADN y ARN, que llevan y transmiten la información genética.

Metabolismo Secundario:

- **Alcaloides:** Compuestos nitrogenados que a menudo actúan como defensa contra herbívoros.
- **Isoprenoides:** Compuestos aromáticos que pueden actuar como feromonas, defensa contra herbívoros y atracción de polinizadores. Incluyen los aceites esenciales, saponinas, cardiotónicos y terpenos.
- **Derivados fenólicos:** Actúan como antioxidantes y defensores contra estrés ambiental y patógenos. Proviene del ácido shikímico como los fenoles, ácidos fenólicos, cumarinas, lignanos, flavonoides, antocianinas y taninos, también provienen de los acetatos como las quinonas y antracénicos.

ACTIVIDAD DE LOS COMPONENTES DE LAS DROGAS

DROGAS VEGETALES Y SUS COMPONENTES

Se denomina a las plantas o sus partes enteras, molidas o pulverizadas (flores, frutos, semillas, tubérculos, cortezas) frescas o secas, así como los jugos, gomas, látex, aceites esenciales o fijos y otros componentes similares, se emplean puras o mezcladas en la elaboración de medicamentos, las materias primas, constituyen la materia médica, actualmente denominada Farmacognosia (del griego Pharmakon: remedio y Gnosis: conocimiento), conviene precisar que, aunque en ocasiones la droga vegetal está constituida por la planta entera (Berdonces, 2015).

Principios activos: Es la molécula que esta se obtiene del producto del metabolismo de organismos vegetales ya que estos son muy susceptibles de la utilización farmacéutica. Los principios activos purificados con la mentalidad mecanicista de pensar que el principio activo aislado es mejor que la droga in tato. La clínica y la experimentación farmacológica nos han demostrado que la acción de una planta no se puede explicar por la de uno de sus principios activos. La acción farmacológica de las plantas se debe en la mayor parte de los casos a los llamados fitocomplejos (Leyva, 2011).

CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LOS FITOCOMPLEJOS.

- Sus componentes aislados nos muestran una acción fisiológica modificada, reducida o anulada. Son entidades bioquímicas dinámicas y unitarias, con interrelaciones entre sus componentes.
- Las funciones biológicas de las diferentes moléculas son complementarias.
- Los fitocomplejos no pueden ser estudiados por el método analítico sin destruir la unidad (Maeda, 2019).

ASPECTOS PARTICULARES SOBRE TOXICIDAD DE LOS PRINCIPALES RUPOS DE PLANTAS MEDICINALES

Plantas con saponinas: Son irritantes sobre el tubo digestivo, y tienen además la propiedad de hemolizar los glóbulos rojos de la sangre, en especial las saponinas con núcleo esteroidal que se unen a los lípidos de la membrana eritrocítica, haciéndolos más permeables. Las saponinas más tóxicas se denominan saponotoxinas. La acción hemolítica de las saponinas se manifiesta sólo por vía endovenosa. (Berdonces, 2015).

Plantas con taninos: Se combinan con las proteínas alimentarias, dando lugar a complejos resistentes a la acción de las proteasas intestinales. Inhiben además la acción de algunos enzimas digestivos. En dosis elevadas pueden ser hepatotóxicos.

Plantas con heterósidos cianogenéticos: Pueden ser responsables de graves intoxicaciones por ácido cianhídrico, si se toman en grandes dosis de una sola vez, ya que en dosis moderadas no tienen toxicidad. Una dosis de aceite de almendras amargas de 50-70 gramos basta para matar a un adulto. El ácido cianhídrico es paralizante de los centros nerviosos bulbares y del centro respiratorio. En cambio, la misma dosis repartida durante el día, produce una toxicidad mínima.

Plantas con heterósidos antraquinónicos: Acción laxante y purgativa, pueden producir dolores abdominales violentos.

Plantas con heterósidos cardiotónicos: Se han dado casos de muerte por parálisis cardíaca (Quiñones, 2016).

Plantas con alcaloides: este grupo está compuesto por una amplia variedad de plantas que contienen moléculas portadoras de nitrógeno que las hacen muy activas. Muchas de estas plantas se han utilizado para crear fármacos muy conocidos que se utilizan con fines medicinales. Un ejemplo es la atropina, que se encuentra en la belladona.

Plantas que contienen amargos: este grupo se compone de una variedad de plantas que se agrupan debido a su sabor muy amargo. Este amargor provoca la estimulación de las glándulas salivales y los órganos digestivos. Como tal, los amargos se pueden usar para mejorar el apetito y fortalecer el

sistema digestivo. Ejemplos de amargos incluyen ajenojo y lúpulo (Berdonces, 2015).

Plantas con flavonoides: Los flavonoides se encuentran ampliamente en todo el mundo vegetal y tienen una amplia gama de usos y acciones medicinales. A menudo actúan como pigmentos dando un color amarillo o blanco a flores y frutos. Algunos flavonoides tienen propiedades antivirales y antiinflamatorias. Se sabe que los flavonoides que se encuentran en muchas plantas como el limón y el trigo sarraceno fortalecen los capilares y evitan la fuga a los tejidos.

Plantas con minerales: muchas plantas tienen altos niveles de minerales porque pueden extraer minerales del suelo y convertirlos en una forma que el cuerpo humano pueda usar más fácilmente. El contenido mineral es a menudo el factor clave en la efectividad de una planta como medicina.

Plantas con polisacáridos: Los polisacáridos se encuentran en todas las plantas y se componen de múltiples unidades de moléculas de azúcar unidas entre sí. Con fines medicinales, los polisacáridos “pegajosos” producen mucílagos o gomas que se encuentran comúnmente en la corteza, las raíces, las hojas y las semillas.

Proantocianinas: estos compuestos son pigmentos que dan a las frutas y flores tonalidades rojas, moradas o azules y están estrechamente relacionados con los taninos y los flavonoides. Se ha documentado que estos compuestos son valiosos en la protección de la circulación específicamente en el corazón, los ojos y los pies (Plasencia, 2015).

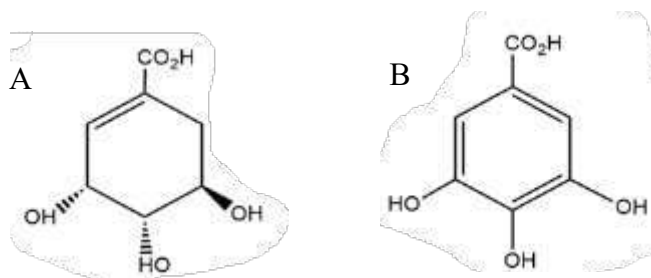
RUTAS BIOSINTÉTICAS

2.1. Ácidos fenólicos

Los ácidos fenólicos son un grupo de compuestos orgánicos que se encuentran en el metabolismo secundario de las plantas. Son conocidos por desempeñar diversos roles en las plantas, incluida la defensa contra patógenos, la protección contra daños causados por la radiación ultravioleta y la interacción con polinizadores. Los ácidos fenólicos se caracterizan por la presencia de un anillo aromático unido a un grupo hidroxilo (-OH) y pueden estar presentes en varias formas, como ácidos simples o como parte de compuestos más complejos.

Características de los ácidos fenólicos:

- **Estructura química:** Los ácidos fenólicos tienen una estructura básica que consta de un anillo bencénico con al



menos un grupo hidroxilo (-OH) unido. Estos grupos hidroxilo pueden estar en diferentes posiciones a lo largo del anillo, lo que da lugar a diferentes tipos de ácidos fenólicos.

Figura. 1. Ácidos fenólicos (A - ácido shikimico y B - ácido gálico)(Martín Gordo, 2018).

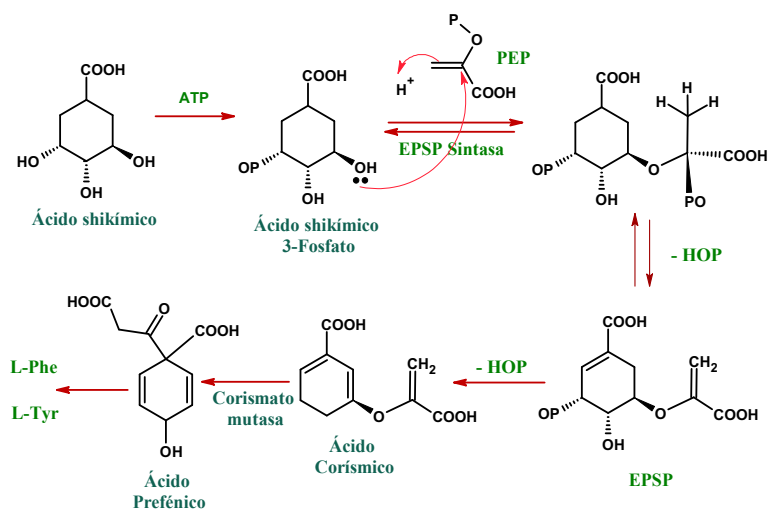
- **Funciones biológicas:** Los ácidos fenólicos cumplen funciones importantes en las plantas, como

antioxidantes, agentes antimicrobianos y participantes en las respuestas de defensa contra patógenos e insectos.

- **Color y sabor:** Algunos ácidos fenólicos son responsables de los colores brillantes en flores y frutas, y también pueden contribuir al sabor y aroma característicos de ciertos alimentos.
- **Interacción con polinizadores:** Algunos ácidos fenólicos pueden atraer polinizadores como abejas y aves debido a sus colores y aromas, lo que beneficia la reproducción de la planta.
- **Usos industriales y medicinales:** Los ácidos fenólicos también tienen aplicaciones en la industria, como conservantes naturales y en la producción de tintes y productos farmacéuticos.

Ruta Biosintética:

Figura. 2. Obtención de ácidos fenólicos mediante ruta del ácido shikímico (Martín, s/a).



2.2. Taninos

Los taninos son un grupo de compuestos químicos pertenecientes a los metabolitos secundarios de las plantas. Son conocidos por su capacidad para unirse a proteínas y otras moléculas orgánicas, lo que les confiere propiedades astringentes y amargas. Los taninos cumplen diversas funciones en las plantas, como defensa contra herbívoros, regulación del crecimiento y protección contra estrés ambiental.

Características de los taninos:

- **Estructura química:** Los taninos son polímeros complejos que se forman a partir de la unión repetida de unidades de flavonoides o fenoles. Estos polímeros pueden variar en tamaño y estructura, lo que resulta en diferentes tipos de taninos.

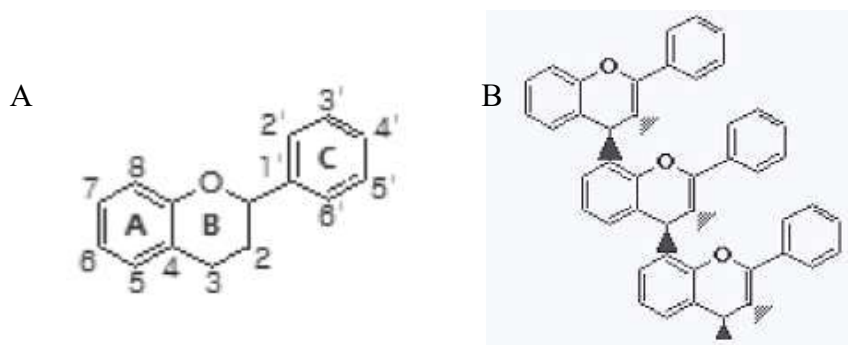


Figura. 3. A – Estructura común del tanino y B – Tanino condensando (Angélica Vazquez-Flores et al., 2012)

- **Propiedades astringentes:** Los taninos tienen la capacidad de interactuar con proteínas y enzimas, lo que puede llevar a una sensación astringente en la boca y una disminución

de la salivación. Esto se debe a su capacidad para precipitar las proteínas y formar complejos insolubles.

- **Defensa contra herbívoros:** En las plantas, los taninos pueden actuar como defensa química contra herbívoros al interferir con la digestión y la absorción de nutrientes. Algunos herbívoros pueden ser disuadidos por el sabor amargo y astringente de los taninos.
- **Antioxidantes:** Los taninos también tienen propiedades antioxidantes y pueden ayudar a proteger las células vegetales contra el daño causado por el estrés oxidativo.
- **Interacción con metales:** Los taninos pueden formar complejos con metales, lo que puede afectar la disponibilidad y la toxicidad de estos elementos en el suelo.

Ruta Biosintética:

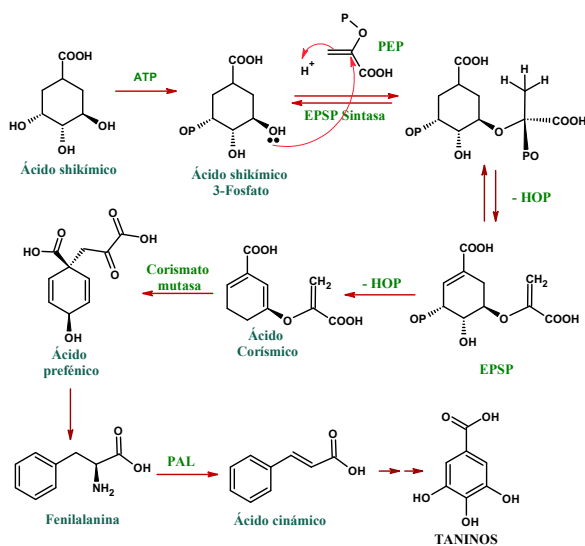


Figura. 4. Obtención de taninos mediante la ruta del ácido shikímico (Villalta, 2016).

2.3. Flavonoides

Los flavonoides son un grupo diverso de compuestos polifenólicos que se encuentran en el metabolismo secundario de las plantas. Son conocidos por sus diversas propiedades biológicas y su amplia gama de funciones en las plantas, que incluyen la protección contra el estrés ambiental, la atracción de polinizadores y la defensa contra patógenos.

Características de los flavonoides:

- **Estructura química:** Los flavonoides están compuestos por un núcleo de estructura flavona, que consta de dos anillos aromáticos conectados por un puente de tres átomos de carbono. Pueden variar en la disposición y el número de grupos funcionales en su estructura.

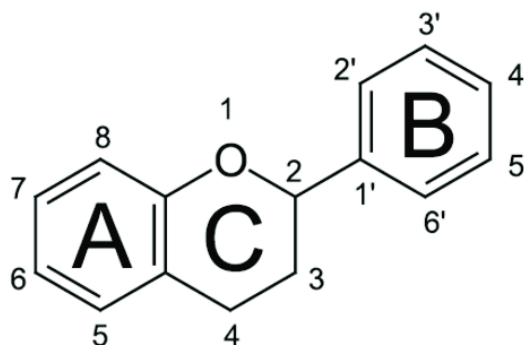
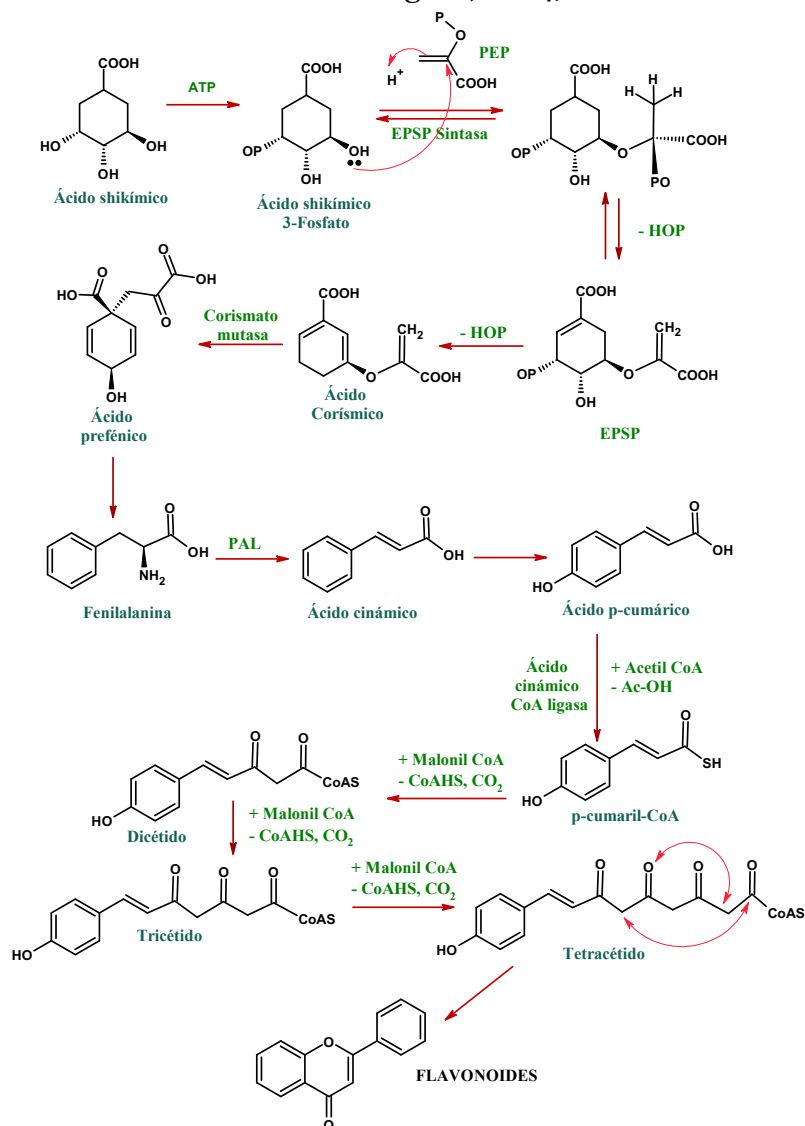


Figura. 5. Estructura química general de los flavonoides. A, B y C son anillos aromáticos. Los números indican los carbonos de la molécula (Calderon, 2016)

- **Pigmentación:** Algunos flavonoides son responsables de los colores brillantes en flores, frutas y hojas. Contribuyen a la coloración de las plantas y pueden atraer polinizadores.

- **Antioxidantes:** Los flavonoides son antioxidantes naturales y pueden ayudar a proteger las células vegetales del daño causado por el estrés oxidativo.
- **Interacción con polinizadores:** Algunos flavonoides son utilizados por las plantas para atraer polinizadores, como las abejas y los colibríes, al producir colores y aromas específicos.
- **Defensa contra patógenos:** Los flavonoides también pueden tener propiedades antimicrobianas y actuar como parte del sistema de defensa de las plantas contra patógenos.
- **Interacción con metales:** Al igual que los taninos, algunos flavonoides pueden formar complejos con metales, lo que puede influir en la disponibilidad y la toxicidad de los metales en el suelo.

Figura. 6. Obtención de flavonoides mediante ruta del ácido shikímico y ruta de policétidos (Durán, Luna, Mendoza, & Rodríguez, 2014).



2.4. Alcaloides

Los alcaloides son un grupo diverso de compuestos químicos nitrogenados que se encuentran en el metabolismo secundario de las plantas. Tienen propiedades biológicas y farmacológicas únicas y a menudo desempeñan funciones en la defensa de las plantas contra herbívoros, la atracción de polinizadores y la interacción con el entorno.

Características de los alcaloides:

- **Estructura química:** Los alcaloides se caracterizan por su contenido de nitrógeno y su estructura química variada. Pueden tener anillos aromáticos y no aromáticos en su estructura, y a menudo se derivan de aminoácidos.

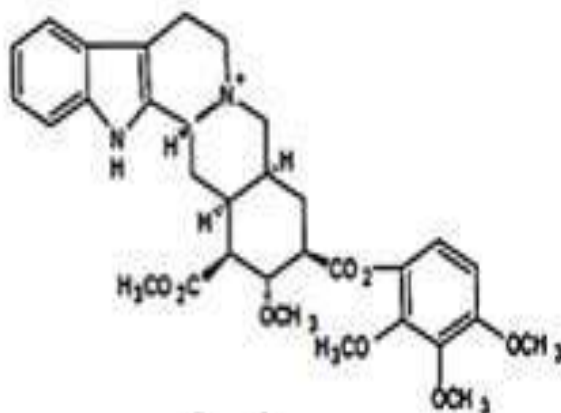
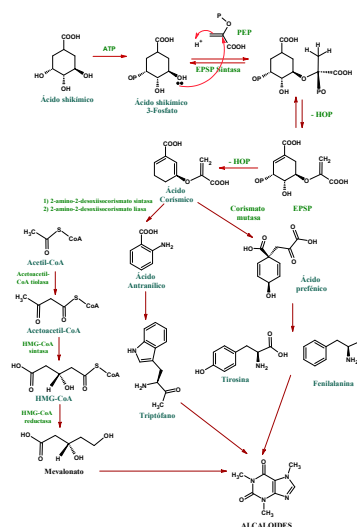


Figura. 7. Estructura química de los alcaloides (*Reserpina*)(Barrales et al., 2015).

- **Propiedades biológicas:** Muchos alcaloides tienen propiedades biológicas y farmacológicas importantes. Algunos pueden ser tóxicos o venenosos para los herbívoros, lo que actúa como un mecanismo de defensa para las plantas.

- ### Ruta Biosintética:



85

2.5. Antraquinonas

Las antraquinonas son un grupo de compuestos químicos orgánicos que se encuentran en el metabolismo secundario de las plantas y otros organismos. Estas sustancias son conocidas por su estructura característica de antraceno y su variedad de funciones biológicas y propiedades farmacológicas.

Características de las antraquinonas:

- **Estructura química:** Las antraquinonas son compuestos aromáticos que consisten en tres anillos de benceno fusionados en una estructura cíclica. Están caracterizadas por la presencia de grupos ceto ($-C=O$) en posiciones específicas en la molécula.

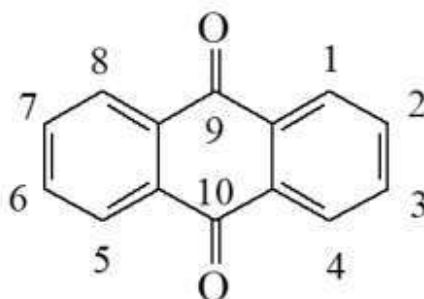


Figura. 9. Estructura general de las antraquinonas
(Martinez Martinez, 2020)

- **Coloración:** Muchas antraquinonas son pigmentos naturales y contribuyen a la coloración de plantas, flores y frutas. Son responsables de colores que van desde el amarillo hasta el rojo y el morado.
- **Propiedades laxantes:** Algunas antraquinonas tienen propiedades laxantes y se han utilizado en la medicina tradicional para tratar el estreñimiento. Ejemplos incluyen el sen y la cáscara sagrada.

- **Interacciones biológicas:** Las antraquinonas pueden desempeñar un papel en la defensa contra herbívoros y patógenos, y también pueden estar involucradas en interacciones simbióticas con microorganismos.
- **Actividad farmacológica:** Además de su uso como laxantes, algunas antraquinonas tienen actividad farmacológica en el tratamiento de diversas afecciones, como enfermedades inflamatorias.

Ruta Biosintética:

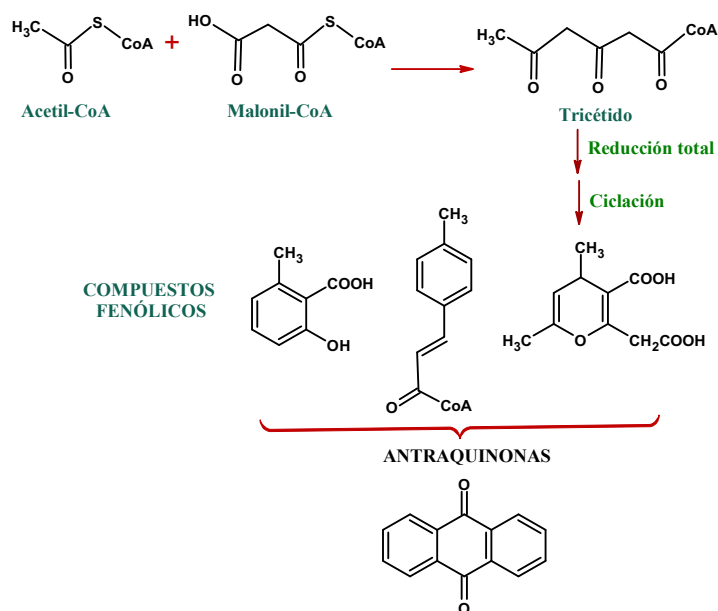


Figura. 10. Obtención de antraquinonas mediante ruta de los policétidos (Quiored, 2004).

2.6. Antibióticos

Los antibióticos son compuestos químicos producidos por microorganismos, como bacterias y hongos, que tienen la capacidad de inhibir el crecimiento o matar otros microorganismos. Aunque los antibióticos no se originan directamente en las plantas, algunos metabolitos secundarios de plantas y otros organismos pueden tener propiedades antibacterianas o antimicrobianas.

Características de los antibióticos:

- **Actividad antimicrobiana:** Los antibióticos se utilizan para combatir infecciones causadas por bacterias, hongos y otros microorganismos patógenos. Tienen la capacidad de interferir con procesos vitales en las células objetivo, lo que resulta en la inhibición del crecimiento o la muerte de los microorganismos.
- **Producción natural:** Los antibióticos son producidos de manera natural por ciertos microorganismos como parte de su defensa contra competidores o patógenos. Estos compuestos pueden ser aislados y utilizados en medicina.
- **Amplia variedad de estructuras:** Los antibióticos pueden tener una amplia variedad de estructuras químicas, lo que les permite actuar de diferentes maneras sobre los microorganismos. Algunos ejemplos incluyen penicilinas, tetraciclinas, cefalosporinas y aminoglucósidos.
- **Efectos selectivos:** Los antibióticos pueden tener un espectro de acción selectivo, lo que significa que afectan a ciertos tipos de microorganismos y no a otros. Esto es

importante para tratar infecciones específicas sin dañar la microbiota beneficiosa.

- **Resistencia:** Con el tiempo, algunos microorganismos pueden desarrollar resistencia a los antibióticos, lo que puede limitar su efectividad. La resistencia a los antibióticos es un problema creciente en la medicina.

Ruta Biosintética:

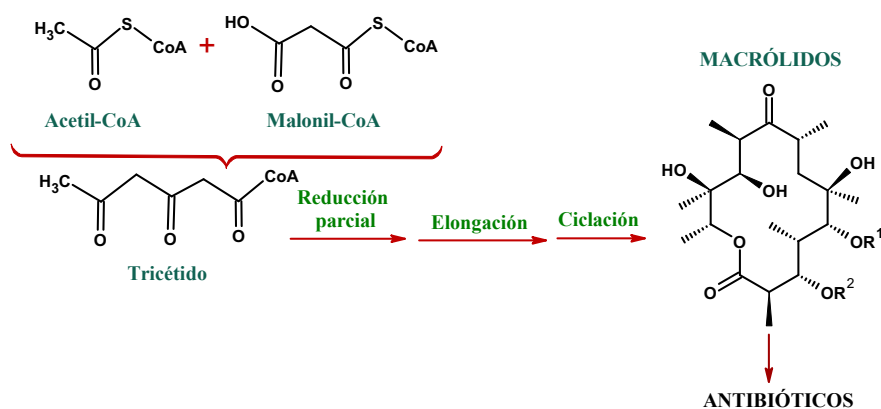


Figura. 11. Obtención de ácidos antibióticos mediante ruta de los policétidos (Quiored, 2004).

2.7. Lignanos y cumarinas

Los lignanos y las cumarinas son dos tipos de compuestos químicos presentes en el metabolismo secundario de las plantas. Tienen diversas funciones biológicas y propiedades que pueden influir en la salud humana y en la interacción de las plantas con su entorno.

Lignanos:

Los lignanos son polifenoles que se derivan de la unión de dos unidades de fenilpropanoides. Se encuentran en la pared celular de las plantas y cumplen funciones estructurales y de defensa. Los lignanos tienen propiedades antioxidantes y pueden tener beneficios para la salud humana debido a sus efectos sobre el sistema cardiovascular y el sistema inmunológico.

Cumarinas:

Las cumarinas son compuestos orgánicos aromáticos que se encuentran en una variedad de plantas. Tienen propiedades anticoagulantes, antiinflamatorias y antioxidantes. Las cumarinas son conocidas por su aroma característico y se utilizan en la industria de fragancias y perfumes. Además, algunas cumarinas pueden tener efectos fototóxicos en la piel bajo la exposición al sol.

Características generales:

- **Estructura química:** Los lignanos y las cumarinas tienen estructuras químicas específicas que incluyen anillos aromáticos y grupos funcionales característicos.

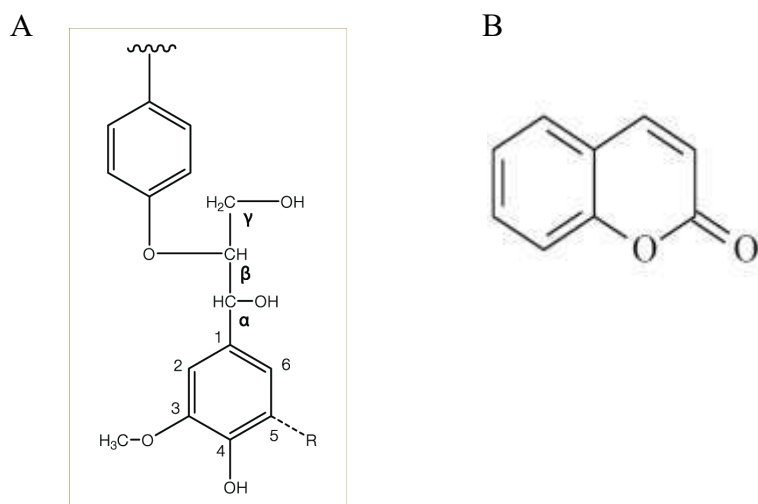
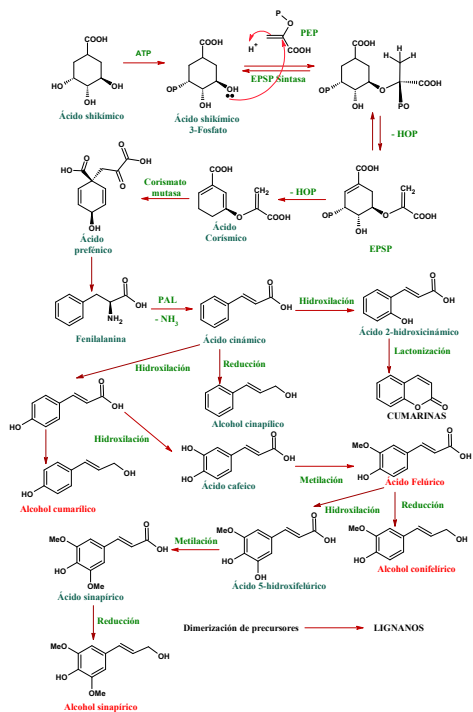


Figura. 12. A – Estructura de los lignanos y B – Estructura de las cumarinas (Quiroz & Matilde, 2013)

- **Funciones biológicas:** Tanto los lignanos como las cumarinas pueden tener funciones de defensa en las plantas, protegiéndolas contra patógenos y herbívoros.
- **Propiedades farmacológicas:** Estos compuestos también pueden tener propiedades farmacológicas y se han estudiado por sus posibles beneficios para la salud humana.
- **Interacciones con el entorno:** Los lignanos y las cumarinas pueden influir en la interacción de las plantas con su entorno, como la atracción de polinizadores o la repulsión de herbívoros.

Ruta Biosintética:



Dimerización de precursores:

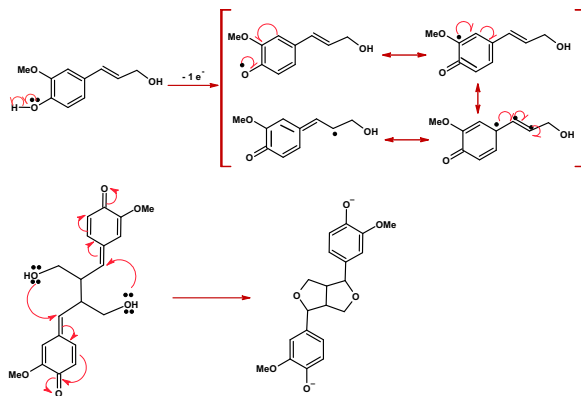


Figura. 13. *Obtención de lignanos y cumarinas mediante ruta del ácido shikímico (Martín, s/a).*

2.8. Esteroides

Los esteroides son una clase de compuestos orgánicos que se encuentran en el metabolismo secundario de las plantas y otros organismos. Están compuestos por una estructura básica de cuatro anillos de carbono fusionados, con diversos grupos funcionales unidos a esta estructura. Los esteroides cumplen una variedad de funciones biológicas y desempeñan un papel crucial en varios procesos metabólicos.

Características de los esteroides:

- **Estructura química única:** Los esteroides tienen una estructura química distintiva compuesta por cuatro anillos de carbono fusionados en una disposición tridimensional particular.

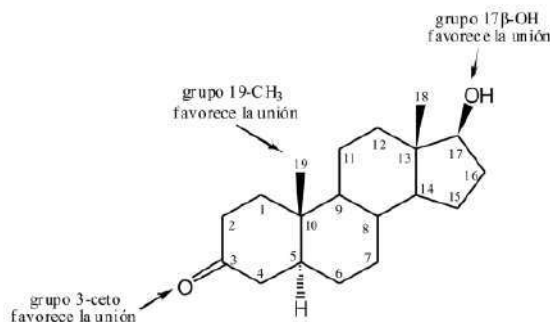


Figura. 14. Estructura de la molécula de esteroide y sitios importantes de unión (Montiel et al., 2011)

- **Diversidad funcional:** Aunque comparten una estructura básica, los esteroides pueden variar en los grupos funcionales unidos a la estructura, lo que confiere diferentes propiedades y funciones.
- **Funciones biológicas:** Los esteroides cumplen una variedad de funciones en los organismos, incluida la regulación

del metabolismo, la función inmunológica, la reproducción y el desarrollo. Por ejemplo, los esteroides sexuales como los estrógenos, progesterona y testosterona desempeñan un papel importante en la reproducción y el desarrollo sexual.

- **Componentes de membranas celulares:** Algunos esteroides son componentes esenciales de las membranas celulares, ayudando a mantener su fluidez y permeabilidad.
- **Interacciones hormonales:** Los esteroides pueden actuar como hormonas y reguladores químicos en el cuerpo, transmitiendo señales y regulando procesos biológicos.
- **Usos farmacológicos:** Algunos esteroides tienen aplicaciones farmacológicas y se utilizan en medicina para tratar diversas condiciones, como la inflamación (corticosteroides) y desequilibrios hormonales.

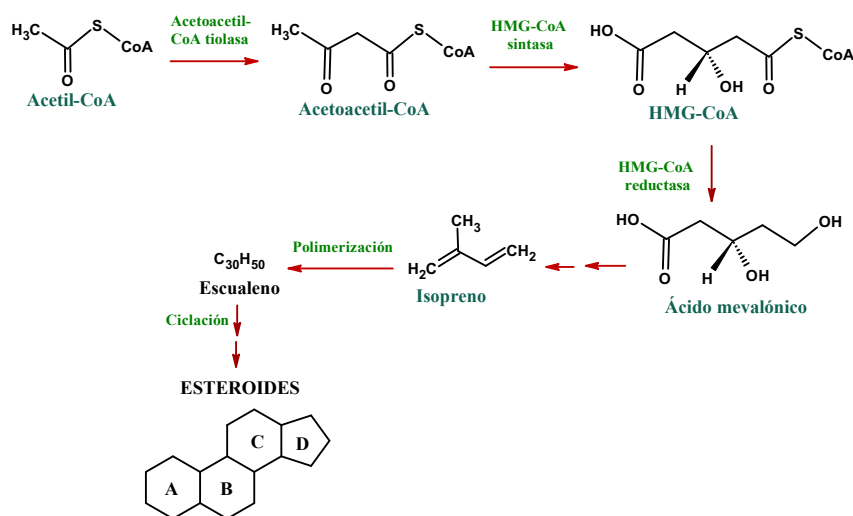


Figura. 15. Obtención de esteroides mediante ruta del ácido mevalónico (Quiored, 2004)

2.9. Terpenos

Los terpenos son una clase amplia de compuestos orgánicos que se encuentran en el metabolismo secundario de las plantas y otros organismos. Están formados por unidades básicas de isopreno y juegan un papel esencial en varias funciones biológicas, incluida la protección contra herbívoros y patógenos, la atracción de polinizadores y la adaptación al entorno.

Características de los terpenos:

- **Unidades de isopreno:** Los terpenos están compuestos por unidades repetitivas de isopreno, que pueden estar organizadas en diferentes formas y tamaños para crear una variedad de estructuras terpénicas.

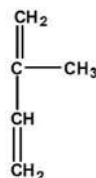


Figura. 16. *Unidad de isopreno* (Martinez, 2014).

- **Variedad estructural:** Los terpenos varían en tamaño y estructura, lo que les permite cumplir diversas funciones biológicas y desempeñar roles en la comunicación química entre organismos.

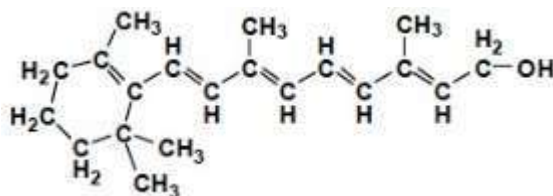


Figura. 17. *Terpeno (Vitamina A)* (Martinez, 2014).

- **Funciones biológicas:** Los terpenos desempeñan roles importantes en las plantas, como la síntesis de hormonas vegetales (como las giberelinas), la formación de pigmentos (como los carotenoides) y la producción de aceites esenciales con propiedades antimicrobianas y aromáticas.
- **Atracción de polinizadores:** Algunos terpenos, especialmente los aceites esenciales, pueden ser liberados por las plantas para atraer a polinizadores como abejas y mariposas debido a sus aromas distintivos.
- **Defensa contra herbívoros y patógenos:** Algunos terpenos actúan como defensa química contra herbívoros y patógenos al tener propiedades tóxicas o repelentes.
- **Interacciones con el entorno:** Los terpenos también pueden influir en las interacciones entre las plantas y otros organismos en su entorno, incluida la competencia entre plantas y la comunicación entre diferentes especies.

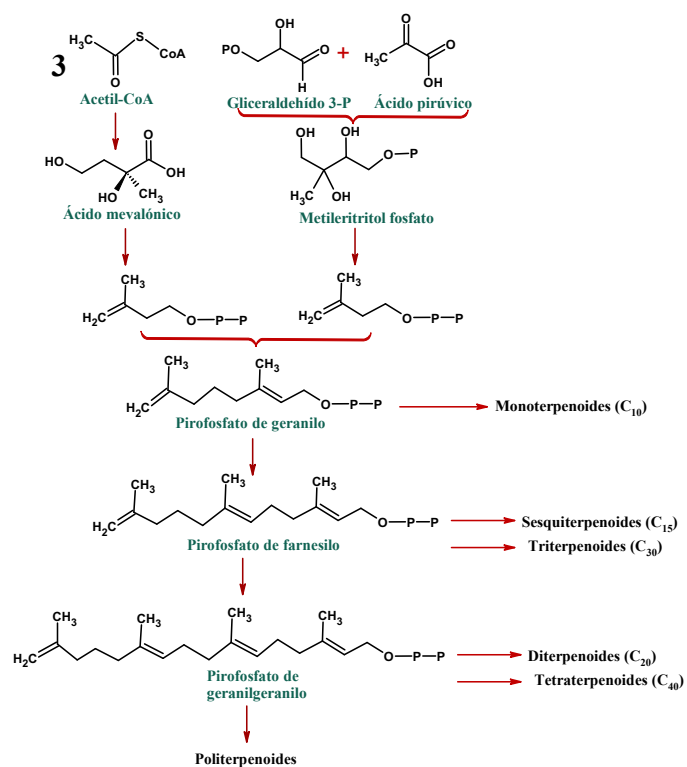
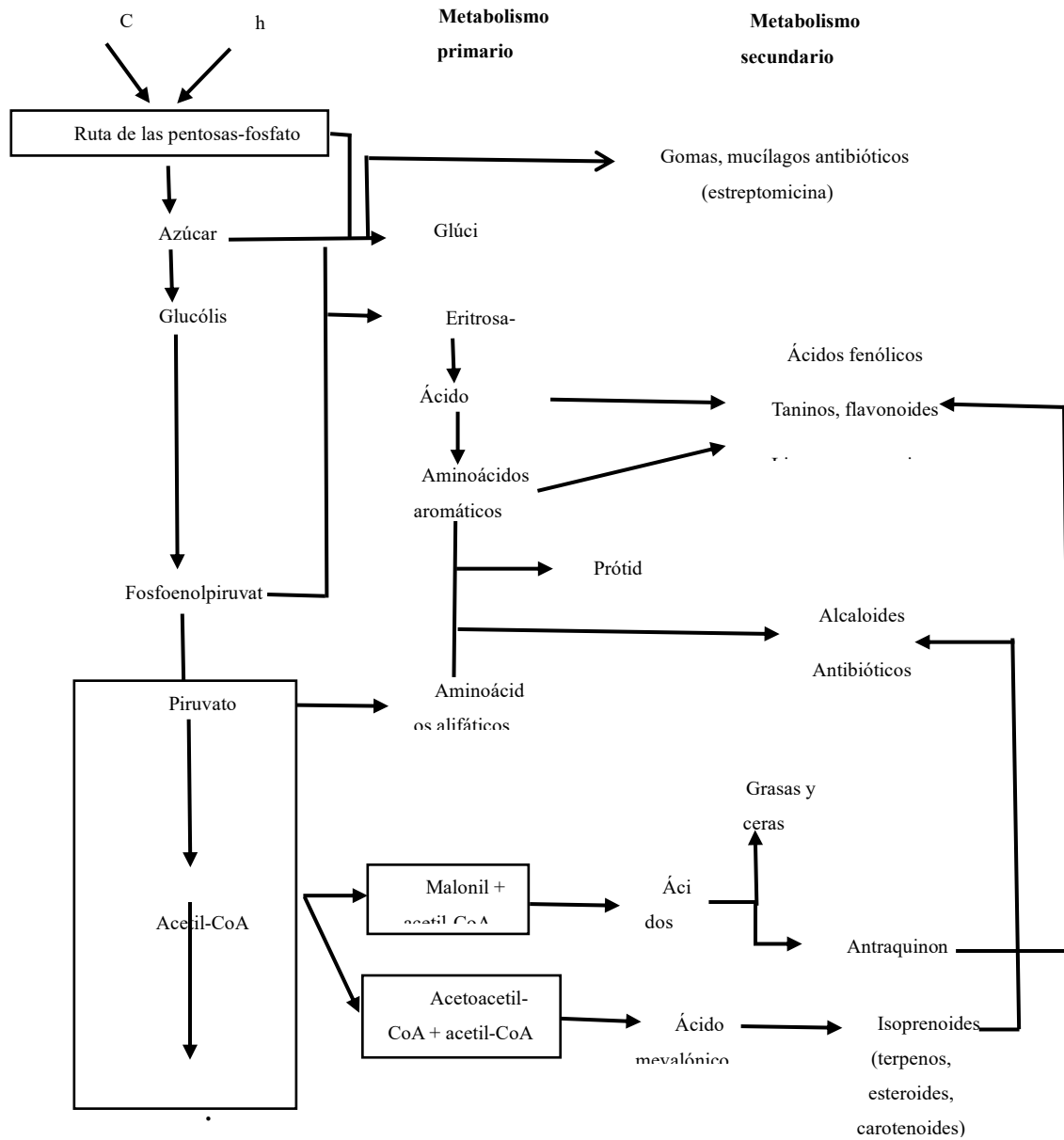


Figura. 18. Obtención de terpenos mediante ruta del ácido mevalónico (Labster Theory, 2021).

ESQUEMA DEL METABOLISMO PRIMARIO Y SECUNDARIO



Bibliografía

- Angélica Vazquez-Flores, A., Alvarez-Parrilla, E., Wall, A., & De La Rosa, L. A. (2012). *Taninos hidrolizables y condensados: naturaleza química, ventajas y desventajas de su consumo*. <https://www.researchgate.net/publication/277816258>
- Barrales, H., Reyes, C., Chávez, S., & Andrade, Petra. (2015). PERFIL FARMACOLÓGICO, BIOQUÍMICO Y BIOTECNOLÓGICO DEL MEJORAMIENTO DE LOS METABOLITOS SECUNDARIOS DE *Rauwolfia serpentina*. In *Revista CENIC Ciencias Biológicas* (Vol. 46, Issue 3).
- Calderon, O. H. (2016). *Evaluation of Endocannabinoid and GABA signaling in Circadian Rhythms disruption in AD-phenotype*. [View project. https://doi.org/10.13140/RG.2.1.3673.0486](https://doi.org/10.13140/RG.2.1.3673.0486)
- Martín Gordo, D. A. (2018). Los Compuestos Fenólicos, Un Acercamiento A Su Biosíntesis, Síntesis Y Actividad Biológica. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*, 9(1), 81–104. <https://doi.org/10.22490/21456453.1968>
- Martinez, J. (2014). *Estructura de los terpenos* (2nd ed.). <https://libroelectronico.uaa.mx/capitulo-13-estructura/estructura-de-los-terpenos.html>
- Martinez Martinez, A. (2020). *Química de Productos Naturales*. <https://www.researchgate.net/publication/343609844>
- Montiel, S., Ruiz, J., Ruiz, A., & Sandoval, J. (2011). *Aplicación del cribado virtual para la obtención de nuevos*

esteroides 17(alpha)-metilados con potencial actividad anabólica y androgénica.
<https://www.researchgate.net/publication/237027421>

Ordoñez, E. S., Menacho-Mallqui, T., & Reategui, D. (2021). Quantification of minerals in medicinal plants and their infusions using Inductively Coupled Plasma Optical Emission Spectroscopy (ICP-OES). *Agroindustrial Science*, 11(3), 313–322.
<https://doi.org/10.17268/agroind.sci.2021.03.09>

Quiroz, C., & Matilde, M. (2013). *UTILIZACIÓN DE LA RADIACIÓN DE MICROONDA PARA LA SÍNTESIS DE CUATRO CUMARINAS, MEDIANTE CONDENSACIÓN DE KNOEVENAGEL.*

Taiz, L., & Zeiger, E. (2006). *Fisiología Vegetal* (3rd ed., Vol. 1). <https://books.google.com.ec/books?id=7QIbYg-OC5AC&lpg=PP1&hl=es&pg=PP1#v=onepage&q&f=false>

Universidad Nacional del Nordeste. (2015). *Absorción del agua por las plantas.*
<https://www.exa.unne.edu.ar/biologia/fisiologia.vegetal/Absorcion%20del%20agua%20por%20las%20plantas.pdf>

Universidad Politécnica de Valencia. (2003). *El Agua en las Plantas. Nutrición y Transporte de Elementos Minerales. Nutrición Mineral.* .
http://www.euita.upv.es/varios/biologia/Temas/tema_12.htm

Berdonces, J. L. (2015). *Scielo.* Obtenido de PrincipiosActivosYPreparacionesFarmaceuticas:

- file:///C:/Users/Jhonny/Downloads/Dialnet-PrincipiosActivosYPreparacionesFarmaceuticasDeLasP-4989379%20(4).pdf
- García, A. Á. (2020). *Metabolismo secundario de plantas*. Obtenido de <https://docta.ucm.es/rest/api/core/bitstreams/26b94db5-92de-4aaf-8822-8f063c180904/content>
- Leyva, E. (junio de 2011). *ResearchGate*. Obtenido de Biosíntesis y actividad biológica de fitoestrógenos y fitoesteroides: https://www.researchgate.net/publication/313891022_Biosintesis_y_actividad_biologica_de_fitoestrogenos_y_fitoesteroides/link/58add86e45851503be91e588/download
- Maeda, H. A. (10 de julio de 2019). *Frontier in the plant science*. Obtenido de Evolutionary Diversification of primary of metabolism and Its Contribution to Plant Chemical diversity: <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fpls.2019.00881/full>
- Plasencia, E. C. (2015). *Componentes de Las Drogas Vegetales*. Obtenido de <https://es.scribd.com/document/360213935/Componentes-de-Las-Drogas-Vegetales>
- Quiñones, M. (2016). *Scielo*. Obtenido de Los polifenoles, compuestos de origen natural con efectos saludables: https://scielo.isciii.es/pdf/nh/v27n1/o9_revision_o8.pdf
- Berdonces, J. L. (2015). *Scielo*. Obtenido de PrincipiosActivosYPreparacionesFarmaceuticas: file:///C:/Users/Jhonny/Downloads/Dialnet-

- PrincipiosActivosYPreparacionesFarmaceuticasDeLas
P-4989379%20(4).pdf
- García, A. Á. (2020). *Metabolismo secundario de plantas*.
Obtenido de
<https://docta.ucm.es/rest/api/core/bitstreams/26b94db5-92de-4aaf-8822-8f063c180904/content>
- Leyva, E. (junio de 2011). *ResearchGate*. Obtenido de
Biosíntesis y actividad biológica de fitoestrógenos y
fitoesteroides:
https://www.researchgate.net/publication/313891022_Biosintesis_y_actividad_biologica_de_fitoestrogenos_y_fitoesteroides/link/58add86e45851503be91e588/download
- Maeda, H. A. (10 de julio de 2019). *Frontier in the plant science*. Obtenido de Evolutionary Diversification of
primary of metabolism and Its Contribution to Plant
Chemical diversity:
<https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fpls.2019.00881/full>
- Plasencia, E. C. (2015). *Componentes de Las Drogas Vegetales*. Obtenido de
<https://es.scribd.com/document/360213935/Componentes-de-Las-Drogas-Vegetales>
- Quiñones, M. (2016). *Scielo*. Obtenido de Los polifenoles,
compuestos de origen natural con efectos saludables:
https://scielo.isciii.es/pdf/nh/v27n1/09_revision_08.pdf
- Berdonces, J. L. (2015). *Scielo*. Obtenido de
PrincipiosActivosYPreparacionesFarmaceuticas:

- file:///C:/Users/Jhonny/Downloads/Dialnet-PrincipiosActivosYPreparacionesFarmaceuticasDeLasP-4989379%20(4).pdf
- Durán, G., Luna, N., Mendoza, Y., & Rodríguez, A. (2014). *Biosíntesis*. Obtenido de Enciclopedia de Nutraceuticos: <https://nutraceuticose53.wixsite.com/enciclopedia-e5/biosntesis-qt>
- García, A. Á. (2020). *Metabolismo secundario de plantas*. Obtenido de <https://docta.ucm.es/rest/api/core/bitstreams/26b94db5-92de-4aaf-8822-8f063c180904/content>
- Kuklinski, C. (s/a). *Farmacognosia - Estudio de las drogas y sustancias de origen natural*. Omega.
- Labster Theory. (2021). *Biosíntesis de terpenoide*. Obtenido de <https://theory.labster.com/terpenoid-biosynthesis-es/>
- Leyva, E. (junio de 2011). *ResearchGate*. Obtenido de Biosíntesis y actividad biológica de fitoestrógenos y fitoesteroides: https://www.researchgate.net/publication/313891022_Biosintesis_y_actividad_biologica_de_fitoestrogenos_y_fitoesteroides/link/58add86e45851503be91e588/download
- Maeda, H. A. (10 de julio de 2019). *Frontier in the plant science*. Obtenido de Evolutionary Diversification of primary of metabolism and Its Contribution to Plant Chemical diversity: <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fpls.2019.00881/full>
- Martín, D. (s/a). *Los compuestos fenólicos: un acercamiento a su biosíntesis, síntesis y actividad biológica*. Bogotá - Colombia: Universidad Nacional Abierta y a Distancia.

- Plasencia, E. C. (2015). *Componentes de Las Drogas Vegetales*. Obtenido de <https://es.scribd.com/document/360213935/Componentes-de-Las-Drogas-Vegetales>
- Quiñones, M. (2016). *Scielo*. Obtenido de Los polifenoles, compuestos de origen natural con efectos saludables: https://scielo.isciii.es/pdf/nh/v27n1/o9_revision_o8.pdf
- Quiored. (2004). *Clasificación de los productos naturales basada en la biogénesis*. Obtenido de Universidad de Granada: <https://www.ugr.es/~quiored/pnatu/biogenesis.htm>
- Soto, M. (12 de septiembre de 2013). *Clase de metabolitos secundarios y ruta de ácido shikímico por Q.F Marilú Roxana Soto Vásquez*. Obtenido de Slideshare: <https://es.slideshare.net/maryluz/clase-de-metabolitos-secundarios-y-ruta-de-acido-shikimico-por-qf-maril-roxana-soto-vsquez>
- Villalta, I. (6 de octubre de 2016). *Compuestos fenólicos*. Obtenido de Slideshare: <https://es.slideshare.net/IgorVillalta/clase-21-taninos-67687252>

CAPÍTULO 3

MÉTODOS DE OBTENCIÓN DE PRINCIPIOS ACTIVOS

Un principio activo se caracteriza por ser aquella molécula que es generada por el metabolismo de las plantas que presentan actividades farmacológicas usadas terapéuticamente, presentan formas farmacéuticas líquidas que están constituidas por principios activos solubles que se encuentran contenidos en una droga (parte medicinal de los tejidos vegetales o animales) y separados del residuo del proceso de extracción por la acción solvente de un menstruo conveniente. Por otra parte los principios inactivos que forman residuos en la extracción, son alterables, por lo que podrían llegar a perjudicar la preservación del preparado (Pérez, Lugo, & Gutierrez, 2013).

- Factores primordiales en un procedimiento de extracción:

Naturaleza de la droga: Características que presenta el material, como la dureza (semillas), si la droga se encuentra en un estado fresco o seco, tipo de comportamiento frente al menstruo (hinchamiento, separación de compuestos, volatilidad).

Características del menstruo: Debe ser lo más selectivo para los principios activos que se quiere extraer con la finalidad de lograr una completa disolución, y que la cantidad de principios inactivos que arrastre se presente en cantidades inferiores. Es recomendable el uso de menstros que presenten propiedades antimicrobianas, ya que las soluciones extractivas, por provenir de drogas animales o vegetales, son atacadas por microorganismos.

Tipos de solvente: Los solventes más utilizados son el agua, el alcohol y mezclas de los mismos.

- Agua: Presenta la ventaja de ser un solvente natural y económico, por otra parte no es selectivo y es alterable por la acción de microorganismos.

Tabla 1. Sustancias disueltas y no disueltas por la acción del agua

Disuelve	No disuelve
Glicósidos	Alcaloides
Sales de alcaloides	Resinas
Gomas, mucílagos	Grasas
Saponinas	Aceites esenciales
Pectinas	
Sales minerales	
Carbohidratos, proteínas etc.	

Tomado de (Pérez, Lugo, & Gutierrez, 2013)

- Alcohol: Presenta la ventaja de ser más selectivo que el agua, posee acción antimicrobiana e inactivación de enzimas: Es un solvente de elección en varias soluciones extractivas como en mezclas hidroalcohólicas.

Tabla 2. Sustancias disueltas y no disueltas por la acción del alcohol

Disuelve	No disuelve
Glicósidos	Proteínas
Aceites esenciales	Pectinas
Alcaloides	Gomas
Bálsamos	Azúcares, etc.
Resinas	

Tomado de (Pérez, Lugo, & Gutierrez, 2013)

- Éter es otro solvente utilizado pero presenta la desventaja de ser muy inflamable y solubiliza sustancias como: aceites, resinas, aceites esenciales y grasas. En casos específicos al agregar pequeñas cantidades de otras sustancias facilitan el método de extracción como es en el caso de la acidificación en la extracción acuosa de alcaloides.

Procedimiento general de obtención de soluciones extractivas

- Preparación o acondicionamiento de la droga: Constituido por Fragmentación y división del material con el objetivo de poder disminuir el tamaño de la partícula y el aumento de área de contacto con el menstruo. Se somete a un proceso de desfibrado, precipitación de proteínas y la inactivación de las enzimas.
- Extracción: El proceso dependerá de las características del material a extraer, por lo que se realizará con o sin ayuda del calor, en algunos casos se requiere de agitación.
- Expresión: Una vez finalizada la extracción se exprime el residuo con la objetivo de liberar la solución extractiva retenida.
- Lavado del residuo: Se utiliza pequeñas alícuotas del menstruo utilizado en el proceso de extracción.
- Filtración: Se pretende eliminar el material que pueda estar en suspensión y así clarificar la solución obtenida.

Existen distintos procesos de extracción de diferentes partes de la planta como de las raíces, los tallos, las hojas, las flores, los frutos y semillas. La elección dependerá de las características de la droga, de los principios activos que se desean obtener y del producto final al que se desea llegar, distribuidas en secciones:

Métodos extractivos a partir de la droga

Tabla 3. Clasificación de métodos de extracción a partir de la droga

Extracción Mecánica	- Por Expresión - Por incisiones - Por calor
Destilación	- Hidrodestilación - Por arrastre de vapor
Extracción con disolventes	Discontinua - Decocción - Digestión - Maceración - Infusión Continua - Soxhlet - Percolación
Otros métodos de extracción	- Extracción asistida por ultrasonidos - Extracción asistida por microondas - Extracción con fluidos supercríticos

Tomado de (Piñero, Sifaoui, & López, 2016)

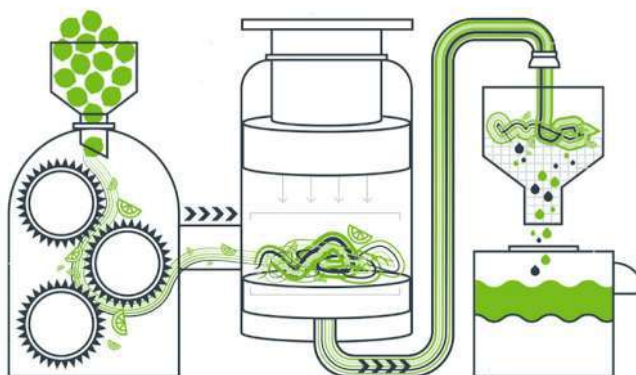
Extracción Mecánica:

- Por expresión: Llamado también prensado en frío, consiste en hacer presión sobre el organismo vegetal y así obtener un jugo o zumo, en el que están presentes los principios activos de interés. El producto así obtenido es luego clarificado por fermentación (precipitan pectinas) y por último

se somete a temperatura para destruir microorganismos. No se le adicionan sustancias conservantes o antisépticas.

La composición de los zumos es variable, contienen azúcares, diferentes ácidos orgánicos (ácido cítrico, tartárico, málico, etc.) sustancias aromáticas y colorantes, principios purgantes, etc. Se lo utiliza principalmente para la obtención de aceites esenciales a partir de cítricos como la naranja, el limón, la mandarina o la lima. Los zumos (proviene de plantas) y los jugos (proviene de animales), se obtienen como líquidos turbios, debido a impurezas sólidas que son el resultado del proceso extractivo mecánico; por lo que es necesario realizar una clarificación siendo los métodos más empleados como la decantación, la filtración y la centrifugación (Piñero, Sifaoui, & López, 2016).

Ilustración 1. Sistema de extracción Mecánica por expresión



Tomado de: (Villamil, 2020)

Tabla 4. Ventajas y Desventajas que presenta la extracción mecánica por expresión

Ventajas	Desventajas
Máquinas fiables de funcionamiento sencillo	Velocidad inferior de proceso
Moderados costes de inversión	Proceso discontinuo
Potencia eléctrica y consumo reducidos (30-50 kWh)	Necesita mucho espacio
Orujos con escasa Humedad, muy aprovechables	Requiere de mano de obra
No se añade agua, produce pocos alpechines (liquido oscuro y fétido)	

Tomado de (Piñero, Sifaoui, & López, 2016)

- Por incisiones: Es la extracción de zumos de algunos vegetales, se basa en hacer cortes en la planta en una parte específica de donde se desea extraer zumo, se emplea en cápsulas de adormidera para obtener opio (Piñero, Sifaoui, & López, 2016).

Ilustración 2. Extracción de alcaloides mediante incisiones

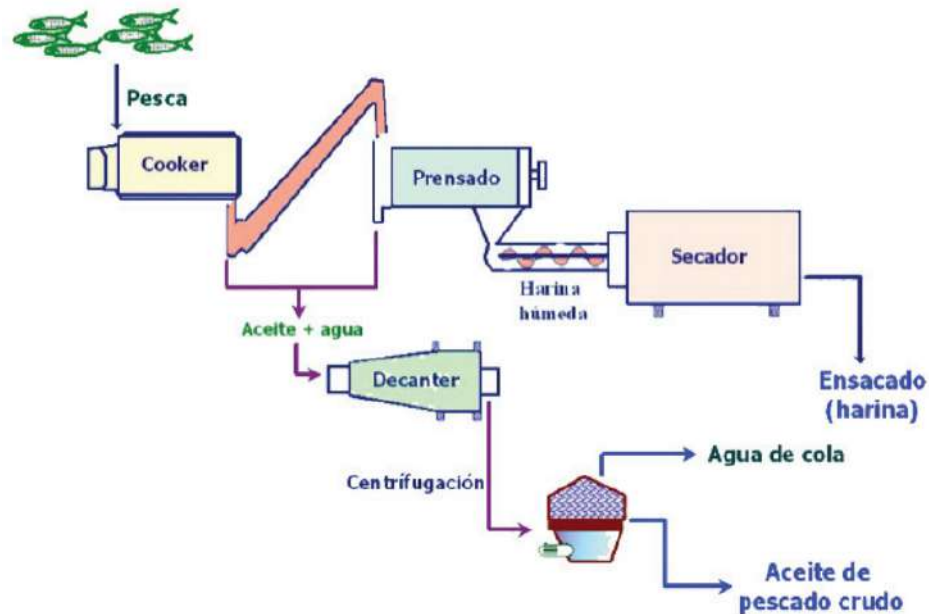


Tomada de: (Vázquez, 2008)

La droga es extraída de la savia que es exudada a través de incisiones en las cápsulas del fruto semi-maduro. En base de dicha savia seca, es elaborado el opio y sus derivados más conocidos, como es la heroína. Presenta un alto contenido en alcaloides como es la morfina, droga narcótica y analgésica que contiene la adormidera, la papaverina y codeína.

- Por calor: Es el método por el cual se obtiene el aceite de hígado de bacalao, es un proceso donde actúa el calor sobre células animales provocando la ruptura por dilatación de protoplasma. No aplica para células vegetales porque la pared celular es muy resistente (Piñero, Sifaoui, & López, 2016).

Esquema 1. Obtencion de aceite de bacalao mediante calor



Obtenido de: (Valenzuela, Sanhueza, & Barra, 2012)

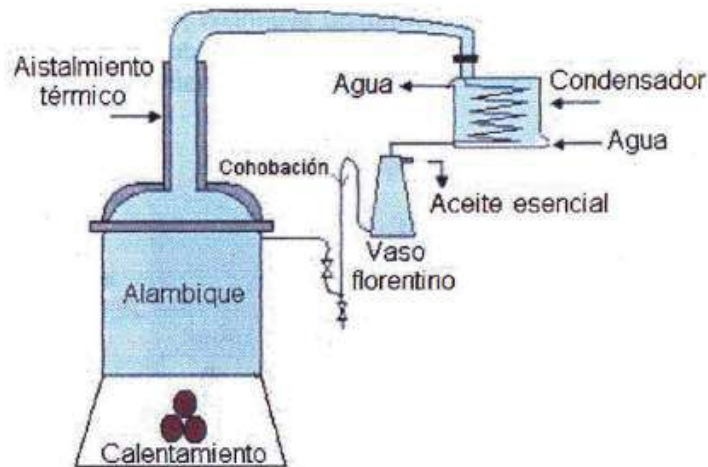
El uso del aceite de pescado en la actualidad es en la industria acuicultora, básicamente en la salmonicultura (salmón y trucha), la que ha alcanzado altos niveles de producción (Valenzuela, Sanhueza, & Barra, 2012).

Destilación:

Una forma de describir a la destilación sería: "Sustancias que tienen un punto de ebullición muy alto, calentadas juntamente con el agua que pasan a un estado de vapor a la temperatura de ebullición, por lo tanto, son volátiles pero con el vapor de agua se pueden obtener y purificar por destilación en corriente de ese vapor" (Villamil, 2020).

- Hidrodestilación: Consiste en colocar la planta ya sea intacta o sometida a un proceso de trituración, en agua la misma que es llevada al punto de ebullición. Con este proceso las células de la planta se rompen y liberan especies químicas olorosas, obteniendo una mezcla azeotrópica que al condensarse se forma el aceite esencial (López, Triana, & Pérez, 2011).

Ilustración 3 . Sistema de destilación por hidrodestilación

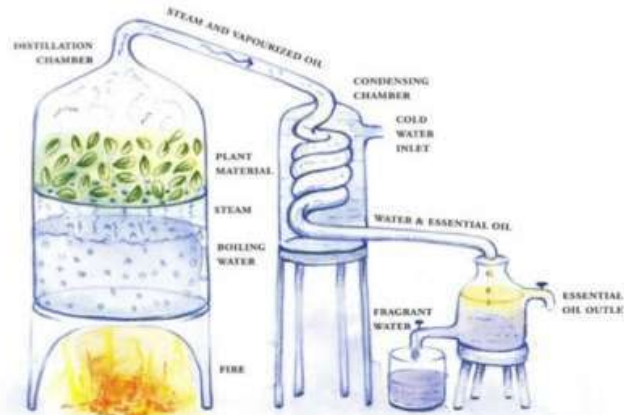


Tomado de: (Villamil, 2020)

El dispositivo cuenta con una fuente de calor en la parte inferior del recipiente denominado alambique en la que se coloca el material vegetal y el agua. El conjunto cuenta con un condensador y un decantador o vaso florentino utilizado para la recolección del condensado y separar aceites esenciales (López, Triana, & Pérez, 2011).

- Por arrastre de vapor: Conocido por ser uno de los métodos más utilizados para la obtención de aceites esenciales. Siendo una técnica que consiste en la separación de sustancias insolubles en agua de otras sustancias que se encuentran presentes en la mezcla, como sales inorgánicas o diferentes compuestos orgánicos (López, Triana, & Pérez, 2011).

Ilustración 4. Sistema de destilación por arrastre de vapor



Tomado de: (Villamil, 2020)

También fue un método popular para la purificación de compuestos orgánicos, sin embargo, con la popularización de la destilación al vacío, cayó en desuso para esta aplicación. Aun así, el arrastre con vapor sigue siendo empleado en ciertos sectores industriales (López, Triana, & Pérez, 2011).

Tabla 5. Ventajas y Desventajas que presenta la destilación por arrastre de vapor

Ventajas	Desventajas
Fácil montaje y operación, bajo costo debido al uso de agua en lugar de solventes.	No todos los extractos se pueden obtener por medio de arrastre con vapor.

La cantidad de vapor a utilizar en operaciones industriales se puede controlar fácilmente	Si el producto de interés es de bajo costo, el tiempo de amortización del capital necesario para el montaje a escala industrial puede ser muy largo
La temperatura de extracción siempre va a ser menor o igual que la temperatura de ebullición del agua a condiciones ambientales.	No es una técnica de separación específica, se extrae toda sustancia volátil en el rango de temperatura de operación, esto puede incluir pesticidas o sustancias indeseadas
Pueden obtenerse dos productos de la extracción, el aceite esencial y el hidrosol, cuya composición dependerá de la solubilidad de los compuestos en agua.	No sirve para obtener todo tipo de sustancias (por ejemplo, resinas).

Tomado de: (López, Triana, & Pérez, 2011)

Extracción con disolvente

Existen procesos de extracción con disolventes que pueden ser clasificados en dos tipos: sólido-líquido y líquido-líquido. Cada uno de ellos puede clasificarse en: discontinuos o estáticos y continuos o dinámicos (Levoso, 2016).

Extracción con disolvente (Discontinua)

- **Maceración:** Siendo un método adecuado para la obtención de extractos termosensibles. Consiste en sumergir el material vegetal, previamente cortado en un disolvente como es el agua, glicerina o etanol que tienen la función de penetrar y disolver las partes solubles, dejándolo reposar por un periodo de tiempo acompañado de una agitación ocasional, sometiénolo a un proceso de filtración y separación por parte de un evaporador rotatorio para así obtener el extracto. En la maceración se debe realizar a una temperatura ambiente protegido de la luz (Levosos, 2016).

Tabla 6. Tipos y características de la Maceración

Macerado en frío	Macerado en calor
Consiste en el sumergimiento de un producto en un líquido frío durante un periodo de tiempo con el objetivo de traspasar parte de los aromas y sabores del producto al líquido en cuestión. - Especies maceradas en aceite de oliva.	Es muy similar al macerado en frío, con la diferencia que el tiempo del proceso disminuye considerablemente, ya que el calor acelera las reacciones de extracción.
Ventajas del macerado en frío	Desventajas del macerado en calor
La principal ventaja de esta técnica es que permite extraer todas las características, la esencia	Aunque es un proceso más práctico y rápido, el calor puede destruir parte de la esencia del producto a macerar.

del producto principal, en este caso la especia.	
--	--

Tomado de: (Levosos, 2016)

Es un método muy usado en diversas áreas, como en la medicina, la herboristería, y en la industria alimenticia. Básicamente para la extracción de diversos compuestos y preparaciones, como es la maceración del vino y la extracción de la cafeína del café (Levosos, 2016).

Maceración carbónica: Es un proceso que ocurre en la fermentación y que, en vez de desgranar las uvas para extraer sus jugos, se utilizan racimos completos en un tanque hermético cuya atmósfera no tiene presencia de oxígeno, sino de dióxido de carbono. Así, los granos de uvas empiezan con la fermentación intracelular en su interior y una vez que alcanzan un 2% de alcohol, las pieles de las uvas se rompen desprendiendo sus jugos. Con la presencia de levaduras nativas que ya traen las uvas, cuando entran en contacto con el azúcar de los jugos, la fermentación alcohólica que ya había comenzado al interior de la baya sigue su proceso.

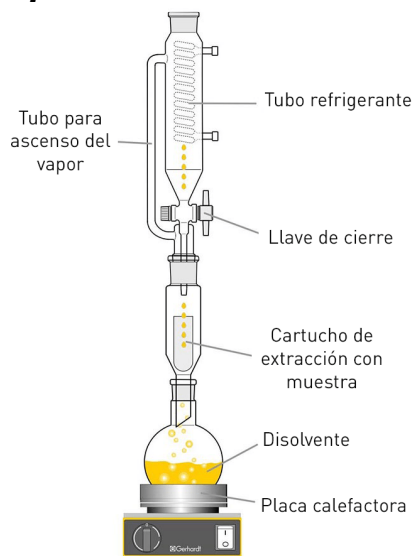
Ilustración 3. Extracción de uva mediante maceración carbónica



Tomado de: (Villamil, 2020)

- **Digestión:** Es aplicado generalmente en ciertas plantas que contienen principios activos de difícil extracción. Factores a destacar para el empleo de este método es que los principios activos estén contenidos en los lugares leñosos de los organismos vegetales y que requieran una gran cantidad de calor por un largo tiempo (Levoso, 2016).

Ilustración 4. Sistema de Extracción de digestión



Tomado de: (López, Triana, & Pérez, 2011)

- **Infusión:** Se aplica a las partes blandas de los organismos vegetales como las hojas y flores, la infusión consiste en introducir el material vegetal previamente molido en agua fría o caliente durante un lapso de tiempo. El producto obtenido son soluciones diluidas de los componentes solubles de las plantas (Levoso, 2016).

Tabla 7. Ventajas y desventajas del proceso de Infusión

Ventajas	Desventajas
Tiene un fácil proceso	El principio activo no puede liberarse del todo
Es un proceso que no demanda mucho tiempo	Proceso realizado solo con hojas, flores y algunos frutos
Proceso de bajo costo y fácil de conseguir	Se pueden evaporar los aceites esenciales a otras temperaturas

Tomado de: (Villamil, 2020)

Ilustración 5. Proceso de Extracción discontinuo por infusión



Tomado de: (Villamil, 2020)

- **Decocción:** Un método utilizado para extraer componentes termoestables e hidrosolubles de la planta. La decocción implica primero el secado del material vegetal para luego ser machacado, rebanado o cortado para que el material permita una máxima disolución; y por ultimo paso hervir en agua para la extracción de aceites, compuestos orgánicos volátiles y diferentes sustancias químicas. Es un método que se

aplica si la extracción es las partes leñosas de una planta (Levoso, 2016).

Ilustración 6. Proceso de Extracción discontinuo por Decocción

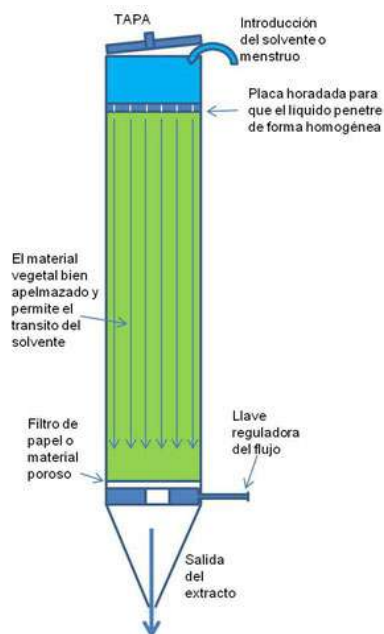


Tomado de: (Levoso, 2016)

En ocasiones se puede usar sustancias como el etanol acuoso o glicerol en vez de agua. Este proceso se puede utilizar para la fabricación de tisanas, tinturas y soluciones similares. Procesos como la decocción y la infusión pueden producir líquidos con diferentes propiedades químicas, ya que la temperatura o una diferencia de preparación pueden generar un tipo de sustancias químicas solubles (Levoso, 2016).

- Extracción con disolvente (Continua)
- Percolación: Método utilizado en la extracción de principios activos empleados para la elaboración de tinturas, consiste en pasar el disolvente a través de la planta la cual está colocada en la parte superior del percolador. La desventaja del método es que presenta un costo elevado ya que al querer obtener una extracción completa se renueva constantemente el disolvente (Arenas, 2019).

Ilustración 6. Proceso de Extracción continuo por Percolación



Tomado de: (Arenas, 2019)

Este proceso puede ser utilizado para la predicción de factores de transporte del agua tales como la tasa de lixiviación y el flujo de materiales en el agua. Se utiliza en la agricultura para la determinación de movimiento de los fertilizantes o el contenido de sales en el suelo. La lixiviación se refiere al movimiento del agua a través de sustancias como productos químicos alterados durante una amplia explotación minera o de residuos que se encuentran presentes en rellenos sanitarios que pueden afectar a suministros de aguas subterráneas (Arenas, 2019).

- Extracción continua con el Soxhlet: Método utilizado para la extracción continua de sólidos: Consiste en colocar la muestra pulverizada en un cartucho con una superficie porosa que se encuentra en la cámara del extractor Soxhlet, en el matraz se encuentra el disolvente extractante sometido a un proceso de calentamiento que al condensar sus vapores cae en forma de gotas sobre en cartucho que tiene la muestra separando los analitos solubles, proceso que es repetido hasta alcanzar una extracción completa de analitos de la muestra (Arenas, 2019).

Ilustración 7. Proceso de Extracción continua por Soxhlet

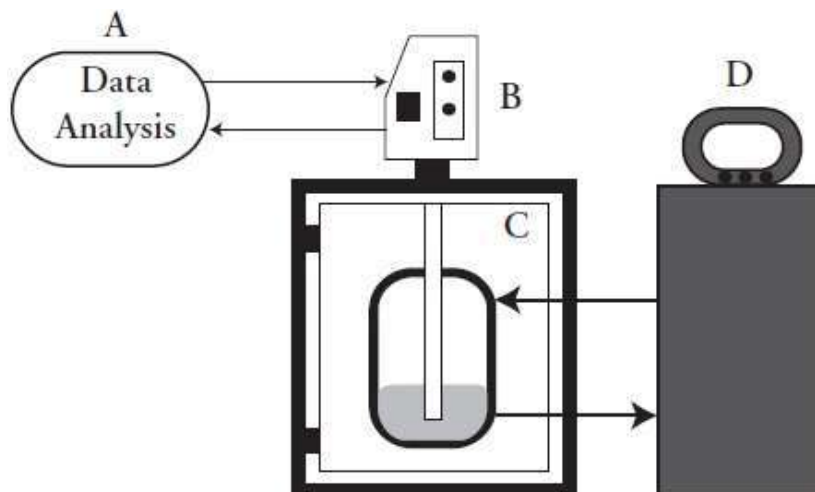


Tomado de: (Arenas, 2019)

El método de Soxhlet es uno de los nuevos e innovadores análisis básicos que se desarrollan en los laboratorios de alimentos. Siendo un método clásico con base en una propiedad de la sustancia de interés, en este caso la grasa, permitiendo cuantificar de forma indirecta su presencia en alimentos. Es un análisis que se lo conoce como gravimétrico. De esta manera, el método va registrando el peso de la muestra del alimento en dos momentos clave: al inicio, cuando el alimento contiene a la sustancia de interés; y al final, cuando se ha perdido parte de la composición, siendo el componente que se busca cuantificar o, por el contrario, toda la materia que no la contenga. Así, por diferencia de peso, se estima el porcentaje del compuesto. En la actualidad, se aplica a nivel de investigación para la evaluación de funcionamientos en otro tipo de muestras, como en la extracción de grasas o aceites a partir de muestras líquidas, o para la extracción de cafeína, lo cual requiere adaptaciones al procedimiento original (Arenas, 2019).

- Otros métodos de extracción
 - Extracción asistida por ultrasonidos: Se basa en la aplicación de ondas ultrasónicas para la extracción de compuestos microbianos, vegetales entre otros. Consiste en utilizar pulsos de una alta frecuencia causando puntos calientes que a escala macroscópica presentaban características como una alta tensión de cizallamiento y temperatura para la formación del proceso denominado cavitación. Teniendo como resultado una aspersion rápida del soluto de la fase solida al disolvente (Medina Torres, 2017).

Ilustración 7. Proceso de Extracción asistida por ultrasonidos

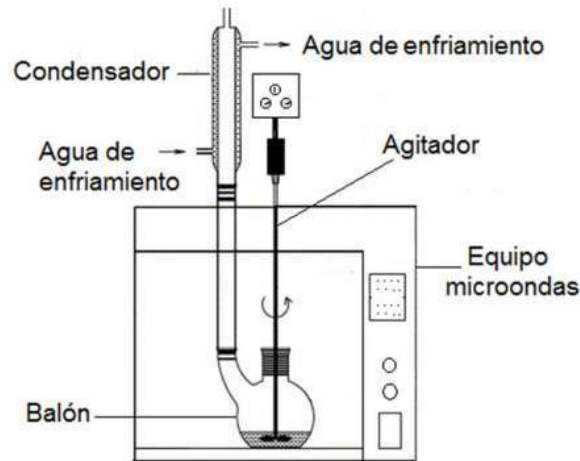


Tomado de: (Medina Torres, 2017)

- **Extracción Asistida por Microondas:** Consiste en la aplicación de energía de las microondas para poder calentar los disolventes que se encuentran en las muestras, por lo que produce una separación de analitos de la matriz de la muestra que se encuentra en el disolvente (Hernandez, Hernandez , Rojo, Robles, & Vanegas, 2013).

Una característica a destacar de nuevos instrumentos tecnológicos para el estudio es que se adapta rápido a la química de extracción existente. Se logra mediante el uso de un material único, se lo conoce como Weflon. Sin este material las extracciones podrían ser ejecutadas con disolvente polares como la acetona, metanol entre otros, o mezclas de disolventes polares y no polares, porque no se calientan mediante microondas. El material Weflon ayuda a eliminar este problema ya que actúa como un agente de acoplamiento (Hernandez, Hernandez , Rojo, Robles, & Vanegas, 2013).

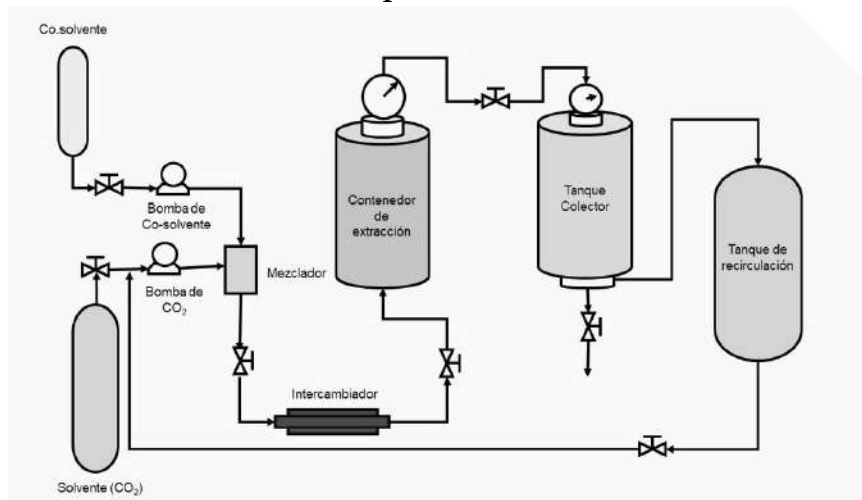
Ilustración 8. Proceso de Extracción asistida por microondas



Tomado de: (Hernandez, Hernandez , Rojo, Robles, & Vanegas, 2013)

- Extracción con Fluidos Supercríticos: Consiste en la extracción y separación de sustancias empleando un fluido denominado supercrítico que actúa como disolvente. El dióxido de carbono presenta características favorables para ser usado como disolvente en este método, El fluido debe presentar propiedades similares a la del fluido ordinario como en la densidad ya que la mayoría de sustancias presentan una buena solubilidad (Vázquez, 2008).

Ilustración 8. Proceso de Extracción asistida por fluidos supercriticos



Tomado de: (Vázquez, 2008)

Las primeras aplicaciones a destacar que tuvo la extracción asistida por fluidos supercríticos fue el descafeinización del café, también se aplica para la extracción de la teobromina de cáscaras de cacao, o en la eliminación de compuestos responsables del sabor amargo que tiene la cerveza. Se ha utilizado para el procesamiento de residuos petroleros o el saneamiento de áreas que han sido contaminadas y en procesos que se han empleado catalizadores. En la actualidad, la demanda de productos naturales ha presentado un incremento, por lo que el uso de la extracción asistida por fluidos supercríticos se ha optimizado para un aprovechamiento de recursos biológicos con varias actividades benéficas para la salud, principalmente provenientes de plantas. Los compuestos presentes en los aceites esenciales u oleorresinas obtenidas por la extracción asistida por fluidos supercríticos son los terpenos, terpenoides, triacilglicéridos,

flavonoides, triterpenos, esteroides, ácidos grasos insaturados, fenantrenos, hidratos de carbono, alcaloides, compuestos fenólicos, fitoesteroles, tocoferoles, polisacáridos, entre otras biomoléculas que estén presentes en la materia prima (Vázquez, 2008).

Métodos hemisintéticos o semisintéticos

En este tipo de método se emplean sustancias de origen natural que desde un punto de vista farmacológico pueden encontrarse en un estado activo o inactivo. Teniendo como función la modificación mediante reacciones químicas y en algunos casos específicos mediante transformaciones biológicas. La particularidad de modificar mediante reacciones químicas es que dura más por presentar varias etapas, es menos selectivo y su costo es muy elevado, por otra parte al modificar mediante biotransformaciones presenta propiedades distintas, producto de la incorporación de enzimas purificadas o células, el uso de microorganismos y en algunos casos tejidos vegetales y animales. El objetivo de modificar sustancias que se encuentran en estado activo se busca mejorar características como: mayor lipofilia, mejor adsorción, menor toxicidad, mayor solubilidad entre otros. En el caso de ser sustancias en estado inactivo se obtienen sustancias activas (Atencio, y otros, 2009).

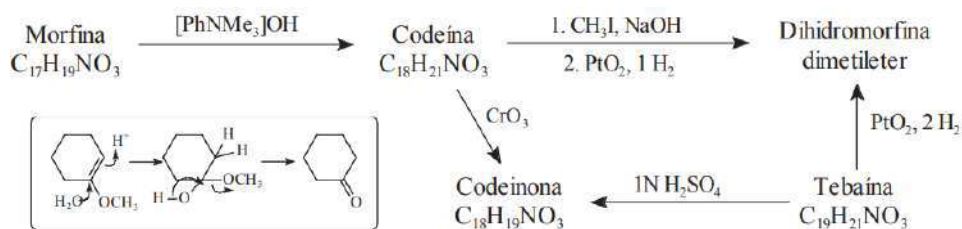
Tabla 8. Ejemplos de modificaciones semisintéticas

Precursor natural	Producto semisintético	Modificación
Morfina (activa)	Codeína	Metilación Química
Penicilina G (activa)	Penicilinas semisintéticas	Química o microbiológica, compleja

Sacarosa (activo)	Dextranos	Biotransformación
Diosgenina (inactiva)	Hormonas esteroídicas	Química y microbiológica
Hecogenina (inactiva)	Hormonas esteroídicas	Química y microbiológica

Tomado de: (Atencio, y otros, 2009)

Esquema 2. Modificación de la Morfina por el método hemisintético



Tomado de: (Atencio, y otros, 2009)

Métodos biotecnológicos

Los principios activos no solo se obtienen únicamente de los organismos vegetales el principio de este método es el empleo de bacterias, hongos, microorganismos, insectos entre otros. Se los clasifican en métodos microbiológicos y cultivo de células y tejidos. (Cercenado & Cantón, 2013)

- Métodos microbiológicos

Los microorganismos (hongos y bacterias) elaboran principios activos que se encuentran en el medio de cultivo, Las sustancias producidas por los microorganismos de gran interés son: antibióticos, vacunas, vitaminas, enzimas, alcaloides,

interferones, ácidos nucleicos entre otros. Son producidos de forma espontanea o por una previa manipulación genética de su organismo (Cercenado & Cantón, 2013).

Tabla 9. Productores de principios activos

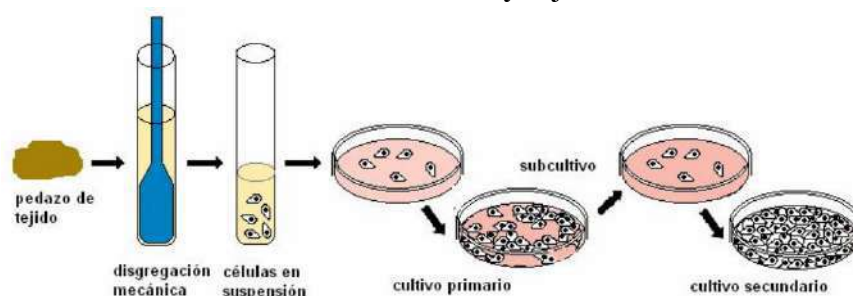
Hongos	Bacterias
<i>Penicillium</i> sp.: naftaquinonas, penicilinas	<i>Bacillus</i> sp.: bacitracina
<i>Corynebacterium</i> sp.:atropina	<i>Streptomyces</i> sp.: quinidina, vindolinam, vinblastina
<i>Sacharomyces</i> sp.: esteroides, vainilla	<i>Clavices</i> sp.: alcaloides

Tomado de: (Cercenado & Cantón, 2013)

- Métodos por cultivo de células y tejidos

Es un método con una utilidad muy limitada por su particularidad de tener un elevado costo y dificultades referentes al cultivo de las células y tejidos como la rápida oxidación de los cultivos, aumento de viscosidad en los cultivos, presencia de espuma (saponinas), e inconvenientes en la extracción de principios activos. Aun así hay procesos en las que se emplea las células y tejidos tanto de animales y vegetales para la obtención de hormonas y ácidos monoclonales, en el caso de tejidos vegetales se utiliza para la obtención del ácido rosmarínico (Calva, 2006).

Ilustración 8. Proceso de Extracción por el método por cultivo de células y tejidos



Tomado de: (Calva, 2006)

Se tiene en cuenta que los cultivos se establecen a partir de suspensiones celulares que son generadas por la disgregación de tejidos, que a diferencia de las bacterias, la mayoría de las células que forman parte de los tejidos no pueden vivir en suspensión, y necesitan una superficie sólida sobre la cual crecer y multiplicarse. Este soporte es la base de una placa o frasco de plástico, aunque los requerimientos son más complejos y el plástico debe ser recubierto con componentes de la matriz extracelular (es la sustancia que rodea y contiene a las células en los tejidos, y con la cual interactúan), como la laminina y el colágeno (Calva, 2006).

Bibliografía

Arenas, S. (Diciembre de 2019). *Extracción de compuestos fenólicos mediante el uso de disolventes orgánicos a partir del subproducto obtenido en la elaboración de aceite de oliva virgen (alperujo)*. Obtenido de Universidad Politécnica de Valencia: [https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/134096/Arenas%20-%20Extracci%C3%B3n%20de%20compuestos%20fen%C3%B3licos%20mediante%20el%20uso%20de%20disolventes%20org%C3%A1nicos%20a%20partir%20del%20subproducto%20obtenido%20en%20la%20elaboraci%C3%B3n%20de%20aceite%20de%20oliva%20virgen%20\(alperujo\).pdf](https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/134096/Arenas%20-%20Extracci%C3%B3n%20de%20compuestos%20fen%C3%B3licos%20mediante%20el%20uso%20de%20disolventes%20org%C3%A1nicos%20a%20partir%20del%20subproducto%20obtenido%20en%20la%20elaboraci%C3%B3n%20de%20aceite%20de%20oliva%20virgen%20(alperujo).pdf)

C3%B3licos%20mediante%20el%20uso%20de%20disol
ventes%20org%C3%A1nicos%20a%20partir%20del....p
df?sequence=1

- Atencio, E., Blanco, E., Duarte, E., Haylock, C., Molina, H., Rivas, S., . . . Velásquez, T. (13 de Octubre de 2009). *Uso de opioides en tratamiento al dolor*. Obtenido de Asociación Latinoamericana de Cuidados Paleativos: <https://cuidadospaliativos.org/uploads/2012/11/ManualOpioides.pdf>
- Calva, G. (11 de Noviembre de 2006). *Cultivo de células y tejidos vegetales: Fuente de alimentos para el futuro*. Obtenido de Revista Digital Universitaria: https://www.revista.unam.mx/vol.6/num11/art104a/nov_art104a.pdf
- Cercenado, E., & Cantón, R. (Mayo de 2013). *Validación y Verificación analítica de métodos microbiológicos*. Obtenido de Procedimientos en Microbiología Clínica: <https://www.seimc.org/contenidos/documentoscientificos/procedimientosmicrobiologia/seimc-procedimientomicrobiologia48.pdf>
- Hernandez, M., Hernandez, J., Rojo, F., Robles, C., & Vanegas, C. (Febrero de 2013). *Extracción asistida por Microondas y limpieza en fase sólida como método de análisis para la determinación de plaguicidas organofosforados en Ambystoma mexicanum*. Obtenido de Revista Internacional de Contaminación: <https://www.redalyc.org/pdf/370/37028275005.pdf>
- Levoso, A. (Junio de 2016). *Modelado del proceso de extracción de ácido acético con recuperación del disolvente orgánico*. Obtenido de INDUSTRIALES: https://oa.upm.es/42845/1/TFG_ANA_SANCHEZ_LEVOSO.pdf

- López, M., Triana, J., & Pérez, f. (Julio de 2011). *Métodos físicos de separación y purificación de sustancias orgánicas*. Obtenido de Universidad de las Palmas de Gran Canaria Departamento de Química: <https://accedacris.ulpgc.es/bitstream/10553/436/1/494.pdf>
- Medina Torres, C. (Noviembre de 2017). *Efecto del ultrasonido en la extracción y nano encapsulación de polifenoles de limón persa*. Obtenido de Centro de Investigación y asistencia en Tecnología y Diseño del estado de Jalisco: <https://ciatej.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1023/447/1/Nelly%20Carolina%20Medina.pdf>
- Pérez, V., Lugo, E., & Gutierrez, M. (Mayo de 2013). *Extracción de compuestos fenólicos de la cáscara de lima y determinación de su actividad antioxidante*. Obtenido de Revista de Ciencias Biológicas y de la Salud : <https://www.redalyc.org/pdf/6729/672971124003.pdf>
- Piñero, J., Sifaoui, I., & López, A. (28 de Enero de 2016). *Bloque II: Desde el extracto crudo al compuesto puro*. Obtenido de Revisión de los métodos de extracción utilizados en plantas medicinales: https://campusvirtual.ull.es/ocw/pluginfile.php/18761/mod_resource/content/2/OCW%20INES%20SIFAUI%20Final.pdf
- Valenzuela, A., Sanhueza, j., & Barra, F. (21 de Junio de 2012). *El aceite de pescado: ayer un desecho industrial, hoy un producto de alto valor nutricional*. Obtenido de Rev Chil Nutr Vol. 39: <https://www.scielo.cl/pdf/rchnut/v39n2/arto9.pdf>
- Vázquez, L. (Junio de 2008). *Extracción con fluidos supercríticos y síntesis enzimática para la obtención de Lípidos funcionales*. Obtenido de Universidad Autónoma

de Madrid:
https://repositorio.uam.es/bitstream/handle/10486/1830/5441_vazquez_frutos_luis.pdf?sequence=1
Villamil, S. (27 de Octubre de 2020). *Aromacosmética*.
Obtenido de El secreto de los aceites esenciales y de la
cosmética natural:
<https://aromacosmetica.blogspot.com/2020/10/los-metodos-de-extraccion-de-los.html>

CAPÍTULO 4

TERPENOS

Los terpenos son compuestos orgánicos volátiles que se encuentran ampliamente distribuidos en la naturaleza. Son conocidos por su distintivo aroma y sabor, y desempeñan un papel crucial en una variedad de organismos, incluyendo plantas, insectos y microorganismos. Estas moléculas están compuestas por unidades de isopreno y se sintetizan a través de la ruta del mevalonato o del metil eritritol fosfato, dependiendo del organismo. Además de su importancia en la industria de fragancias y sabores, los terpenos han atraído una creciente atención debido a sus potenciales propiedades beneficiosas para la salud humana (Pérez-Ibáñez, 2013). Los terpenos son una clase diversa de compuestos naturales, compuestos por múltiples unidades de isopreno, que exhiben una amplia gama de actividades biológicas y farmacológicas. Se ha informado que los terpenos poseen propiedades antioxidantes, antiinflamatorias, antimicrobianas y anticancerígenas, entre otras. Los terpenos abarcan una amplia gama de sustancias de origen vegetal y su importancia ecológica como protectores de las plantas está bien establecida. Se han aislado varios monoterpenos y se ha evaluado su toxicidad contra distintos insectos. Estos estudios se centraron en el α -pineno, el β -pineno, el 3-careno, el limoneno, el mirceno, el α -terpineno y el canfeno (Viegas-Júnior, 2003).

Como se dijo los terpenos son compuestos volátiles para lo cual su almacenamiento es complejo ya va a depender de varios factores aunque el principal sería por propiedades químicas con lo que tiene que ver su presión de vapor e hidrofobicidad, su emisión dependerá de factores como la temperatura, humedad, estacionalidad, irradiancia y su interacción con las

demás plantas y microorganismos presentes en el medio (Boncan et al., 2020). Los terpenos y terpenoides, así como sus derivados, juegan un papel crucial en la generación del color y aroma en las plantas. Por ejemplo, la coloración anaranjada de las zanahorias y las flores de cempasúchil se debe a la síntesis y al igual que la acumulación de carotenoides. Por otro lado, los terpenos son responsables del aroma característico presente en cítricos, eucaliptos y pinos. Estas propiedades sensoriales se logran gracias a la síntesis de terpenos en las plantas (Luqueño-Bocardo et al., 2021).

Los aceites esenciales están constituidos de una mezcla de terpenos en diferentes concentraciones, estos aceites son producidas y secretadas por tejidos vegetales dedicadas a generar este metabolito, una manera general de clasificar los terpenos es por cuantas unidades isoprenicas lo conforman, siendo: hemiterpenos, monoterpenos, sesquiterpenos, diterpenos, triterpenos y carotenoides; aunque también se los puede clasificar al tener diferentes grupos funcionales tales como grupos alcohol, aldehído, fenol, cetona, éter e hidrocarburo (Guimarães et al., 2019).

Investigaciones sobre los terpenos y terpenoides, presentes en la biomasa, nos dicen son moléculas de origen natural con una amplia gama de funciones, lo que los convierte en candidatos prometedores como monómeros de base biológica para la producción de bioplásticos. A pesar de los avances en la investigación de los últimos años para desarrollar métodos eficientes de polimerización, todavía queda un largo camino por recorrer para lograr procesos óptimos en la polimerización de esta fascinante familia de compuestos naturales. Se requiere el desarrollo de catalizadores activos que permitan una polimerización selectiva, facilitando así la obtención de

materiales competitivos a partir de estos productos de origen biológico (Mosquera et al., 2021), al igual de tener trabajos que investigan la actividad antimicrobiana de los terpenos presentes en los aceites esenciales (Guimarães et al., 2019).

ISOPRENO E ISOPRENIODES

Cuando se encuentra en su estado puro, el isopreno es un líquido incoloro y volátil. Se trata de un hidrocarburo insaturado que se produce tanto en plantas como en animales, incluyendo los seres humanos. Sus polímeros constituyen la parte principal del caucho natural. En 1860, CG Williams le dio nombre a esta sustancia después de obtenerla mediante la descomposición térmica, conocida como pirólisis, del caucho natural (*Isopreno*, s. f.).

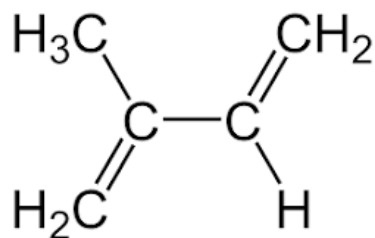


Ilustración 18. Estructura del isopreno o 2-metil-1,3-butadieno. Tomado de (Pérez-Ibáñez, 2013).

Los terpenoides son comúnmente conocidos como isoprenoides debido a que el isopreno actúa como su precursor biológico. Estas sustancias presentan una amplia diversidad estructural y se derivan de la repetida fusión de unidades ramificadas de cinco carbonos basadas en la estructura del isopentenilo. Los monómeros que forman estos compuestos se consideran unidades isoprénicas y se clasifican según la cantidad de unidades de cinco carbonos que contienen, como mono, sesqui, di, tri, tetraterpenos, entre otros. Los productos

resultantes del metabolismo del isopreno abarcan terpenos, carotenos, vitaminas, esteroides, y otros compuestos (*Biogénesis de terpenoides*, s. f.).

Los isoprenoides desempeñan un papel importante en diversos procesos biológicos, como la respiración celular (a través de la ubiquinona) y el transporte de oligosacáridos en el retículo endoplásmico (mediante el dolicol). También intervienen en la prenilación de proteínas (Luqueño-Bocardo et al., 2021).

Los isoprenoides y terpenos se clasifican debido a la cantidad de unidades isoprenicas, así como el número de carbonos que tienen en su estructura:

Tabla 13. *Clasificación de los Terpenos según sus unidades isoprenicas y número de carbonos.*

Terpenos	Unidad isoprenicas	Número de carbonos
Hemiterpeno	1	5
Monoterpeno	2	10
Sesquiterpenos	3	15
Diterpeno	4	20
Triterpeno	6	30
Tetraterpeno	8	40
Politerpenos	<8	<40

A continuación, hablaremos más a profundidad sobre la clasificación de los terpenos:

CLASIFICACIÓN

Los terpenos son metabolitos secundarios siendo importantes para el crecimiento de las plantas, tienen una gran variedad de estructuras, ampliamente distribuidos en plantas, hongos, y

algunos insectos. Además, son muy utilizadas en las industrias farmacéuticas, perfumerías, etc. La unidad base de los terpenos es el isopreno, dando lugar a la regla del isopreno, la cual indica que los diferentes tipos de terpenos son múltiplos de 5. Los terpenos reciben su nombre dependiendo de la cantidad de unidades de isoprenos (unidos cabeza-cola o cabeza-cabeza), estos reciben los siguientes prefijos: hemi (una unidad de isopreno), mono (dos unidades de isopreno), sesqui (tres unidades de isopreno), di (4 unidades de isopreno), tri (seis unidades de isopreno), tetra (ocho unidades de isopreno). Los terpenos pueden poseer estructuras a, mono, bi, tri, tetra, y pentacíclicas las cuales se explicarán posteriormente (Bohlmann & Keeling, 2008; Breitmaier, 2006; Buchanan et al., 2015; Pacheco Jiménez, 2012).

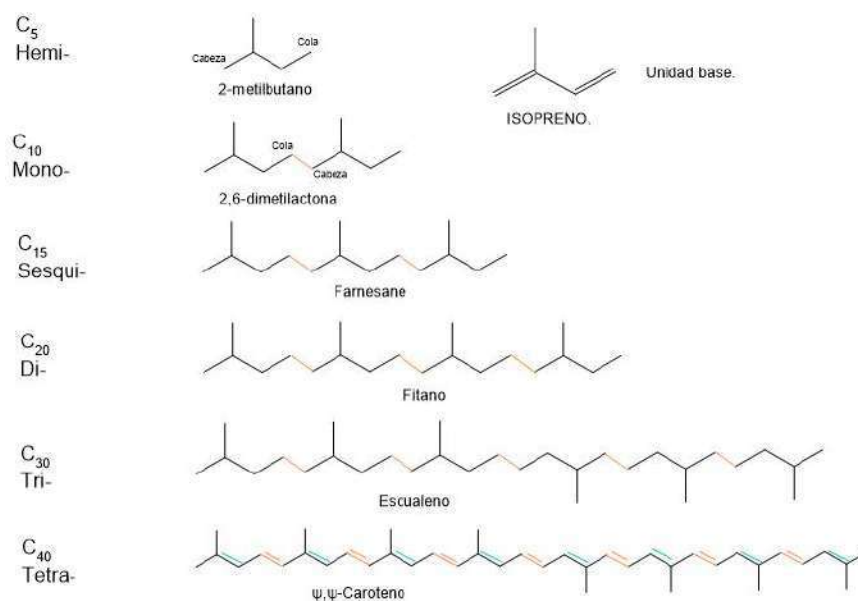


Ilustración 19. Diagrama de la clasificación de los terpenos. Tomado de (Breitmaier, 2006).

Hemiterpenos

Los hemiterpenos son los más simples de los terpenoides, debido a que solo tienen una unidad de isopreno, pero es bastante escaso llegando a conocerse solo 50, estos se pueden formar parte de otros metabolitos. Existen terpenos intrínsecos en los organismos vivos como el DMAPF y IPPF, algunos de los hemiterpenos son el Prenol utilizado como aromatizante, (S)-3-metil-3-butan-2-ol utilizado como saborizante y en perfumerías, 2-carboxy-1-butan-4-ol utilizado en la industria de alimentos (Breitmaier, 2006; Buchanan et al., 2015).

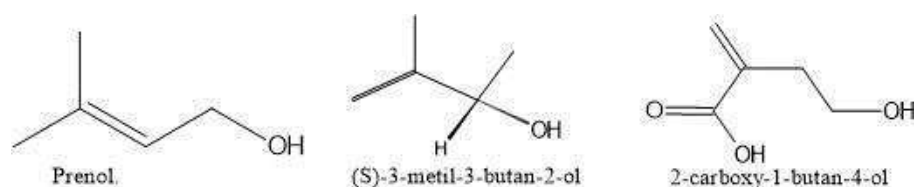


Ilustración 20. Ejemplos de hemiterpenos. Tomado de (Breitmaier, 2006).

Los hemiterpenos se pueden encontrar en una variedad de plantas entre ellas están (Breitmaier, 2006):



Ilustración 21.
Planta de Ylang-Ylang (Jover, 2022).



Ilustración 22.
Planta de Lúpulo (Vanaclocha & Cañigueral, s.f.)



Ilustración 23.
Toronja (hemiterpenos en su aceite esencial) (Marengo & Ware, 2019)

Monoterpenos

Los monoterpenos cuentan con una amplia distribución en la naturaleza siendo identificado cerca de 1500, estos poseen 2 unidades de isopreno y uniones cabeza-cola o cola cabeza. Se encuentran en los aceites esenciales en conjunto con los sesquiterpenos conformando el 90% de estos debido a esto y otras propiedades son muy utilizados en la industria de la perfumería, cosmética, alimentaria, y farmacéutica. Los monoterpenos pueden clasificarse por sus estructuras como: acíclicas y monocíclicas, y podemos añadir la clasificación de los iridoides, iridoides glicosídicos, iridoides no glicosídicos, seco-iridoides glicosídicos (Breitmaier, 2006; Buchanan et al., 2015; Gavira, 2013; Pacheco Jiménez, 2012; Thabet et al., 2022)

- *Monoterpenos acíclicos.*

Son monoterpenos que no forman anillos ya que las 2 unidades de isopreno están unidades linealmente, pero tienen diferentes grupos como el hidroxilo o un doble enlace, además de poseer

actividad óptica este tipo de características ayudan a diferenciarlos, entre los más comunes tenemos el β - mirceno y β -ocimeno utilizados en perfumerías y en bebidas alcohólicas, el (R)-Linalool utilizado en la industria alimenticia y farmacéutica, perileno utilizado en tintes y otras aplicaciones novedosas (Breitmaier, 2006; Buchanan et al., 2015; Gavira, 2013; Pacheco Jiménez, 2012).

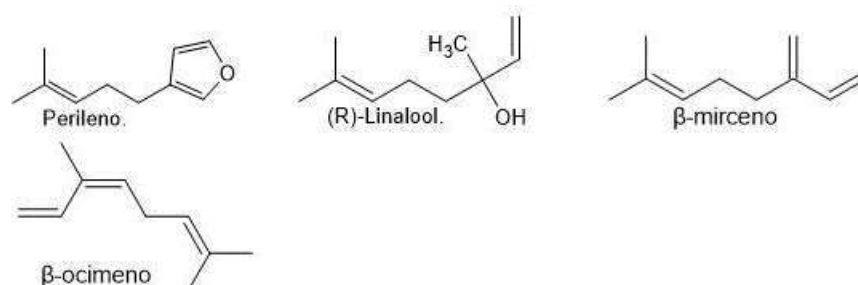


Ilustración 24. Monoterpenos acíclicos comunes. Tomado de (Breitmaier, 2006).

Los monoterpenos acíclicos se los puede encontrar en las siguientes plantas:



Ilustración 25.
Planta de menta (los monoterpenos se encuentran en su aceite esencial) (Benítez-Burgada, 2022).



Ilustración 26. *Planta de menta (los monoterpenos se encuentran en su aceite esencial) (Volkov, 2022).*



Ilustración 27. *Rosas (los monoterpenos se encuentran en su aceite esencial) (Consejos para tus rosas, 2020)*



Ilustración 28. *Los monoterpenois acíclicos se pueden encontrar en los aceites esenciales de los cítricos (Cereceda, 2020).*

- *Monoterpenos monocíclicos.*

Los monoterpenos monocíclicos contienen un anillo en su estructura el cual puede ser de seis o de cinco, estos se forman por la ciclación de las 2 unidades de isopreno. Al igual que los monoterpenos acíclicos contienen grupos (CH_3 , CO_2CH_3 , OH , entre otros). Este tipo de terpenos suelen ser feromonas

sexuales de escarabajos, y cumplen funciones en las plantas. Los monoterpenos más comunes tenemos (+)-Crisantemo utilizado en la industria farmacéutica y (+)-carvone and (-)-carvone utilizados en la industria de la perfumería y alimenticia (Breitmaier, 2006; Buchanan et al., 2015; Can Baser & Buchbaver, 2010; Gavira, 2013).

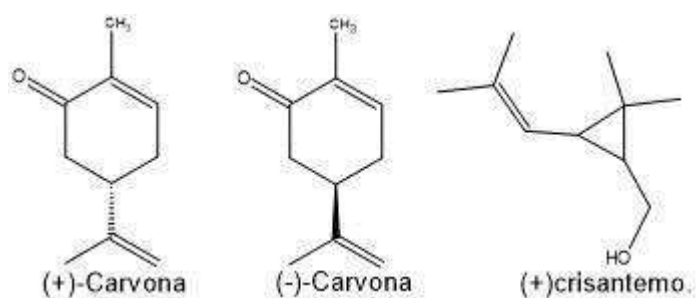


Ilustración 29. Monoterpenos monocíclicos comunes.
Tomado de (Breitmaier, 2006; Ramawat & Mérillon, 2013).

Los monoterpenos monocíclicos encuentran distribuidos en una variedad de plantas entre ellas:



Ilustración 30.
*Planta de menta (los
monoterpenos
monocíclicos se
encuentran en su aceite
esencial)(Nast, 2021)*



Ilustración 31.
*Semillas de alcaravea
(los monoterpenos
monocíclicos se
encuentran en su aceite
esencial)(«Semillas de
alcaravea», 2020)*



Ilustración 32.
*Plantas de crisantemo
(los monoterpenos
monocíclicos se
encuentran en su aceite
esencial)
(Chrysanthemum
indicum cv., 2020)*



Ilustración 33. *Planta
de eucalipto (los
monoterpenos
monocíclicos se
encuentran en su aceite
esencial)(Eucalyptus
globulus, 2021)*

Iridoides.

Los iridoides son metabolitos secundarios ciclopentenoides altamente oxidados que se presentan en el reino vegetal como glucósidos (unidos en C-1), son derivados del geraniol por la

vía del mevalonato. Su estructura posee 10 átomos de carbono y 2 átomos de oxígeno, se ha demostrado actividades biológicas como antivirales, antidiabéticos, antitumoral, etc. Los iridoides pueden ser calificados como iridoides glicosídicos, secoiridoides, iridoides no glicosídicos (Arraché Gonçalves et al., 2022; Chukwudulue et al., 2022; Thabet et al., 2022).

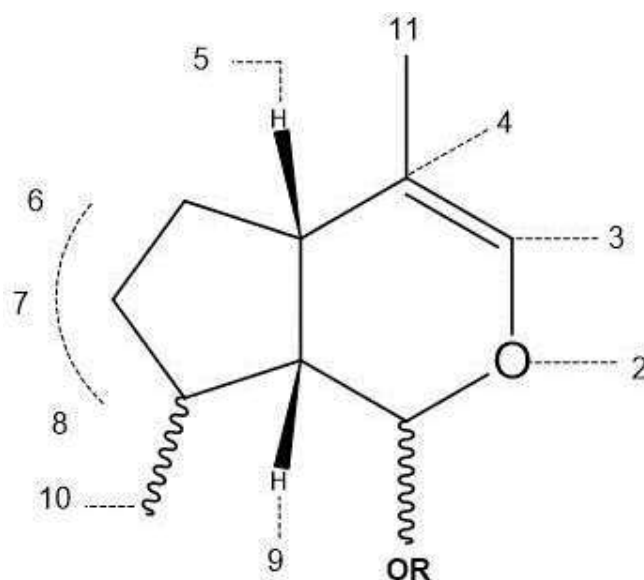


Ilustración 34. Estructura general de los iridoides.
Tomado de (Arraché Gonçalves et al., 2022).

Iridoides glicosídicos.

Los iridoides glicosídicos son los dispersos en el reino vegetal, la glucosa regularmente se encuentra unida al C-1, estos pueden tener de 8-10 átomos de carbono y pueden contener compuestos azufrados que contribuye al olor desagradable de la planta. Son solubles en etanol y se suelen encontrar en plantas medicinales teniendo propiedades como antipirético, agentes hipotensores, antiinflamatorias, y ayuda a combatir el

Alzheimer. Podemos encontrar los siguientes iridoides glicosídicos (Arraché Gonçalves et al., 2022; Saidi et al., 2020; X. Wang et al., 2018; Xu et al., 2023).

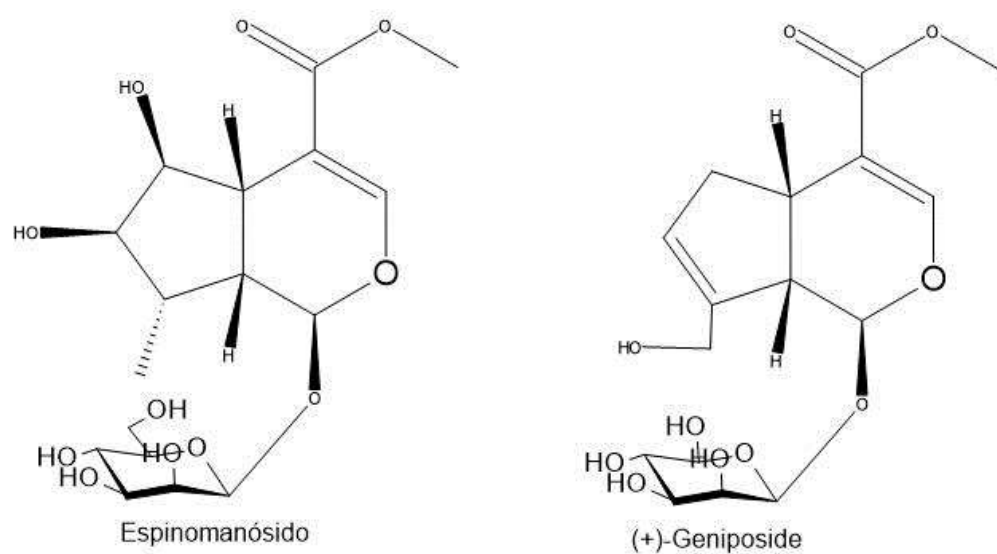


Ilustración 35. Iridoides glicosídicos comunes. Tomado de (C. Wang et al., 2020; X. Wang et al., 2018).

Los monoterpenos monocíclicos encuentran distribuidos en una variedad de plantas entre ellas:



Ilustración 36.
*Planta de Jazmín
 de cabo (los
 iridoides
 glicosídicos se
 encuentran en su
 aceite esencial)
 (Jazmín de cabo
 (jardín gardenia,
 gardenia
 jasminoides
 j.ellis) en la
 planta., 2023)*



Ilustración 37.
*Planta de
 Xanthium
 spinosum (los
 iridoides
 glicosídicos se
 encuentran en su
 aceite esencial)
 (Xanthium
 Spinosum L. |
 Plants of the
 World Online |
 Kew Science,
 2023)*



Ilustración 38.
*Planta de Cornus
 officinalis (los
 iridoides
 glicosídicos se
 encuentran en su
 fruto)(Cornus
 officinalis
 (Chinese
 Cornelian
 Dogwood,
 Japanese Cornel
 Dogwood,
 Japanese
 cornelian cherry
 dogwood,
 Japanese
 Cornelian
 Dogwood, Korean
 Cornelian
 Dogwood) | North
 Carolina
 Extension
 Gardener Plant
 Toolbox, 2023)*

Secoiridoides.

Los secoiridoides son derivados de los iridoides glicosídicos debido a que poseen un grupo hidroxí hemiacetal el cual es propenso a ser glicosilado, estos se encuentran bastante distribuidos entre las familias Gentianaceae, Nymphaeaceae, Caprifoliaceae, etc. Se pueden subclasificar dependiendo la unión de los carbonos, por ejemplo, si el C-7 está esterificado y el C-9 y C-10 están unidos por un doble enlace es considerado un oleósido; si el C-8 y el C-10 están unidos por un doble enlace son secolaginas y así entre muchos otros. Los secoiridoides se convirtieron en compuestos de interés debido a sus diversas propiedades biológicas confiriendo actividades antivirales, purgantes, antiinflamatorias, coleréticas, etc (Geng et al., 2013; Ramawat & Mérillon, 2013; C. Wang et al., 2020).

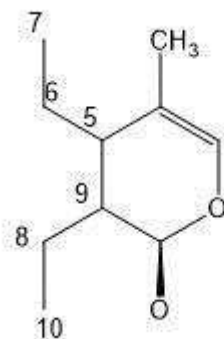


Ilustración 39. Estructura general de los secoiridoides.
Tomado de (Geng et al., 2013).

Los secoiridoides se encuentran distribuidos en una variedad de plantas entre ellas:



Ilustración 40.
Familia
Nymphaeaceae



Ilustración 41.
Familia
Caprifoliaceae



Ilustración 42. *Familia*
Gentianaceae
(Gentianaceae |
Description,
Major Species,
& Facts |
Britannica,
2023).

Irridiodes no glicósidos.

Los iridoides no glicosídicos se encuentran en plantas superiores y en algunos animales, estos iridoides en la naturaleza con pocos ya que no poseen azúcares unidos a su estructura. Los iridoides no glicosídicos poseen actividades biológicas como actividad antiinflamatoria, antioxidante, antitumoral, etc (C. Wang et al., 2020).

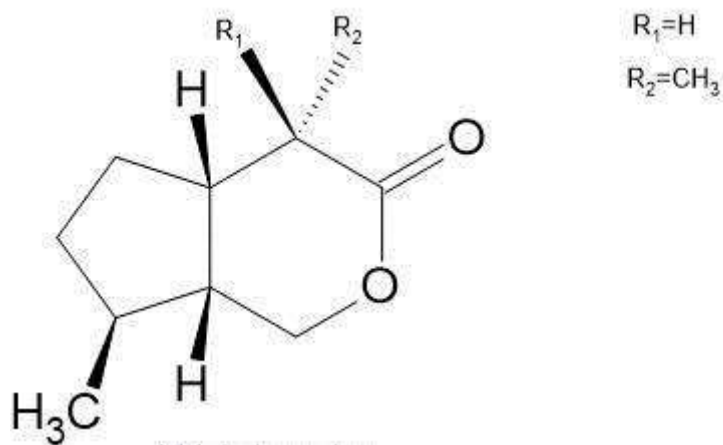


Ilustración 43. Estructura de iridoimirmecina. Tomado de (Saidi et al., 2020)-

Los iridoides no glicosídicos los podemos encontrar en:



Ilustración 44.
Plantas de Genciana, los iridoides se encuentran en su raíz (Gómez, 2008).



Ilustración 45.
Planta de olivo, los iridoides no glicosídicos se encuentran en su fruto (Carrillo de Albornoz & Fernández, 2018).



Ilustración 46.
Planta de valeriana, contiene iridoides no glicosídicos (Melgar, 2018).

Sesquiterpenos

Los sesquiterpenos están formados por 3 unidades de isopreno estos pueden estar en forma de cadena o anillos. Son componentes mayoritarios de aceites esenciales en las plantas

y presentan varias propiedades biológicas como antialérgicas, antiinflamatorias, antipalúdica. Los sesquiterpenos se encuentran en resinas, ceras, y caucho. Los sesquiterpenos pueden formar estructuras a, mono, bi, tricíclicos, los podemos encontrar en plantas, hongos, y algunos organismos marinos. Los sesquiterpenos se subclasifican en hidrocarburos sesquiterénicos, alcoholes sesquiterpénicos, y lactonas sesquiterénicas (Pattanaik & Lindberg, 2015; Ramawat & Mérillon, 2013).

Sesquiterpenos lineales tenemos el farneseno, en estructuras monocíclicas tenemos el humuleno, en la bicíclica están el β -cariofileno, y en la tricíclica encontramos el α -copaeno.

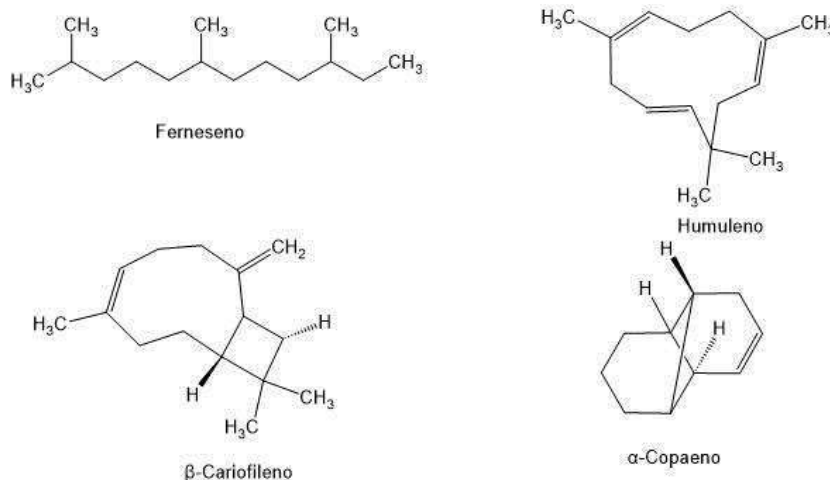


Ilustración 47. Ejemplos de las estructuras cíclicas formadas por los sesquiterpenos. Tomada de (Breitmaier, 2006; Ramawat & Mérillon, 2013).

Alcoholes sesquiterpénicos.

Los alcoholes sesquiterpénicos se diferencian gracias a la presencia de un grupo -OH en su estructura, estos se pueden

encontrar en bacterias, animales y plantas a las cuales da su olor. Son utilizados en la industria cosmética, farmacéutica, y como precursor para la síntesis de carotenoides. Podemos encontrar a varios sesquiterpenos alcohólicos entre los cuales están: farnesol, geosmina, cedrol, etc. Cumplen varias funciones dentro de la planta como defensa contra patógenos, atracción de polinizadores, etc. Además, presenta interesantes propiedades biológicas como actividad antimicrobiana, antiinflamatoria, antioxidante, y antitumoral (Boris et al., 2011; Haniffa et al., 2021; Pattanaik & Lindberg, 2015; Ramawat & Mérillon, 2013).

Los alcoholes sesquiterpénicos se podemos encontrar en las siguientes plantas:



Ilustración 48.
*Planta de
 manzanilla, los
 alcoholes
 sesquiterpénicos
 los encontramos
 en sus
 flores(¿Ansiedad,
 estrés?, 2022)*



Ilustración 49.
*Árbol de mirra,
 los alcoholes
 sesquiterpénicos
 los encontramos
 en su resina
 (Commiphora
 myrrha: Un árbol
 con grandes usos
 y beneficios |
 Jardineria On,
 2023)*



Ilustración 50.
*Planta de clavo de
 olor, los alcoholes
 sesquiterpénicos
 los encontramos en
 los capullos de
 flores secas
 (Futuro, 2022)*

Hidrocarburos sesquiterpenicos.

Al igual que los sesquiterpénicos alcohólicos, los hidrocarburos sesquiterpénicos están compuestos por 3 unidades de isopreno, estos se diferencian por no poseer ningún grupo funcional. Los hidrocarburos sesquiterpénicos los podemos encontrar en insectos, invertebrados marinos, algunos microorganismos y plantas. Poseen actividad antimicrobiana, antioxidante, insecticida, etc. Los hidrocarburos sesquiterpénicos que están presentes en varios aceites esenciales es el β -burboneno, copaeno, y el α -patchouleno (König et al., 1999; Narita et al., 2007; Ramawat & Mérillon, 2013).

Los hidrocarburos sesquiterpénicos se encuentran en una variedad de plantas, entre las cuales están:



Ilustración 51.
Planta de ajenjo dulce, los hidrocarburos sesquiterpénicos se encuentra en sus hojas y flores (Artemisia annua, 2023).



Ilustración 52.
Planta de valeriana, los hidrocarburos sesquiterpénicos se encuentra en sus raíces (Melgar, 2018).



Ilustración 53. *Árbol de canela, los hidrocarburos sesquiterpénicos se encuentra en su corteza (Cinnamon Tree Cinnamomum Verum - Banco de fotos e imágenes de stock - iStock, 2023).*

Lactonas sesquiterpénicas.

Las lactonas sesquiterpénicas son derivados de los sesquiterpenos que posee un anillo de γ -lactona en su estructura, la incorporación del anillo de lactona puede ser α o β , debido a que el anillo de lactona puede fusionarse en una configuración trans o cis. Presentan actividades biológicas como antitumoral, antiinflamatoria, antioxidante, etc. Las podemos encontrar en la lechuga, qinghaosu, entre otros. Las lactonas sesquiterpénicas presentan citotoxicidad, lo que ha

llevado a implementar transformaciones químicas para disminuirla (Sülsen & Martino, 2018).

Las lactonas sesquiterpénicas se encuentran distribuidas en una gran variedad de plantas, entre las cuales están:



Ilustración 54.
Planta de diente de león, las lactonas sesquiterpénicas se encuentran en el tallo, hojas, y raíces (Diente de león: para qué sirve y cómo tomarlo - canalSALUD, 2023).



Ilustración 55.
Planta de lechuga, las lactonas sesquiterpénicas se encuentran principalmente en sus hojas (Lactuca Sativa (Lettuce), 2023).



Ilustración 56.
Planta de qinghaosu, las lactonas sesquiterpénicas se encuentran en sus hojas y flores (Artemisia annua, 2023).

Diterpenos.

Los diterpenos están compuestos de cuatro unidades de isopreno unidas cabeza-cola, y la podemos encontrar formando estructuras, acíclicas (fitanos), monicíclicas (Vitamina A), bicíclicos (labdanos, clerodanos), tricíclicos (pimaranes, abietanos, etc), tetracíclicos (Kauranos, atisanos, etc), policíclicos (cembranes, daphnanes, taxanos, etc). Los diterpenos presenta varias propiedades biológicas como

antihipertensivas, antioxidantes, antipalúdicas, antidiabéticas, entre muchas otras. Al estar altamente oxidados se pueden dividir en cetales, hemicetales, lactonas, dicetonas. Se encuentran ampliamente distribuidos pudiéndose encontrar en plantas, microorganismos marinos, algunas especies fúngicas, e insectos (Feng et al., 2022; Liu, Chen, et al., 2022; Mohammed et al., 2022).

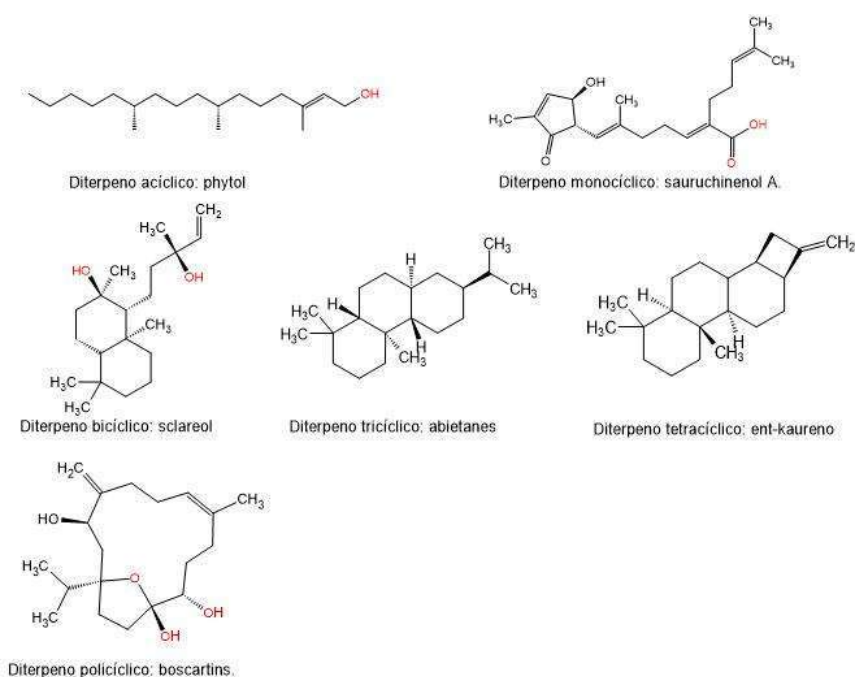


Ilustración 57. Ejemplos de las diferentes estructuras cíclicas formadas por los diterpenos. Tomado de (Breitmaier, 2006; Feng et al., 2022).

Al ser ampliamente distribuidos, en el reino vegetal podemos encontrar los diterpenos en las siguientes plantas:



Ilustración 58. *Planta de salvia, los diterpenos se encuentra en las hojas (Salvia, 2023)*



Ilustración 59. *Árbol de tejo, los diterpenos se encuentra en la corteza y hojas (El tejo, el árbol que crece de arriba a abajo, 2022)*



Ilustración 60. *Familia de las plantas euforbias, los diterpenos mayormente se encuentran en la savia lechosa (Ambiental, 2021)*



Ilustración 61. *Planta de coleo, los diterpenos se encuentra en las raíces (Cuidados del cóleo - Guía de jardinería, 2023)*

Triterpenos.

Los triterpenos se caracterizan por estar conformado de 6 unidades de isopreno acopladas con el enlace cola-cola, la mayoría siendo derivados del escualeno y el epoxi escualeno. Son las más numerosas encontrándose por lo que se encuentran en animales, hongos, bacterias y plantas, se han descubierto por lo menos unos 30 000, además pueden

asociarse a esteroides formando extensos grupos de isoprenos. Los triterpenoides exhiben varias propiedades biológicas, entre las que más destacan el ser anti VIH, antitumorales, protección cardíaca, analgésicos, citotóxico, etc. Podemos tener estructuras a, bi, tri, tetra, y pentacíclicas. Se pueden clasificar en saponinas (unidos a azúcares), y ácidos terpénicos (Dzubak et al., 2006; Hu, 2022; Lacchini et al., 2023; Liu, Min, et al., 2022).

Triterpenos ácidos.

Los triterpenos ácidos se encuentran distribuidos en varias plantas, y presentan actividades antiinflamatorias, anticancerígena, entre otras. Presentan cierta dificultad al momento de la purificación o su separación debido a la similitud de sus estructuras (Liu, Min, et al., 2022).

Los triterpenos ácidos están bastante distribuidos en el reino vegetal, pero se los halla en las siguientes plantas:



Ilustración 62.
Planta de olivo, los triterpenos ácidos los podemos encontrar en su corteza (Río, 2018)



Ilustración 63.
Árbol boswellia serrata, los triterpenos ácidos se encuentran en su resina (Boswellia serrata: Sistemática, Etimología, Hábitat, Cultivo..., 2023)



Ilustración 64.
Árbol boswellia serrata, los triterpenos ácidos se encuentran en su resina (Centella asiática: propiedades y contraindicaciones - Guía, 2023)

Saponinas.

Las saponinas son heterósidos ampliamente distribuidos en plantas superiores y algunos organismos marinos, están constituidas por una sapogenina la cual está asociada a una o varias cadenas osídicas. Las saponinas en algunas plantas son el responsable del dulzor, amargor, protección contra herbívoros, y regulador de crecimiento, a su vez son espumantes y emulsionantes. Se utilizan en la industria farmacéutica, alimenticia, cosmético y agrícola, por otra parte, las propiedades biológicas son antiinflamatorias, inmunomoduladores, antiinvasivos, antimicrobianas, etc (Aouane et al., 2022; Le Bot et al., 2022; Li et al., 2022; Yao et al., 2020).

Plantas con presencia de saponinas:



Ilustración 65. Planta de panax ginseng, las saponinas se encuentran en sus raíces (Panax Ginseng: Sistemática, Etimología, Hábitat, Cultivo..., 2023)



Ilustración 66. Planta de regaliz, las lactonas se encuentran en las raíces(Licorice (Glycyrrhiza Glabra) – Calm - Pegasus Products, 2019)



Ilustración 67. Planta de cataño de Indias, las lactonas se encuentran en sus semillas y corteza(Castaño de Indias (Aesculus hippocastanum), 2023)



Ilustración 68. Planta de quinoa, las lactonas están en la capa externa de su semilla(Todo sobre la Quinoa: junio 2007, 2023)

Tetraterpenos.

Los tetraterpenos o carotenoides son compuestos que contienen 8 unidades de isopreno derivados del ácido

mevalónico, la mayoría de los carotenoides son cadenas lineales terminadas con uno o 2 anillos de 6 miembros por lo que son lípidos insaturados. Poseen actividad antioxidante, salud ocular, ayuda al sistema inmunológico, etc. Los carotenoides se encuentran ampliamente distribuidos en plantas superiores, cianobacterias, algas, y unos pocos hongos.

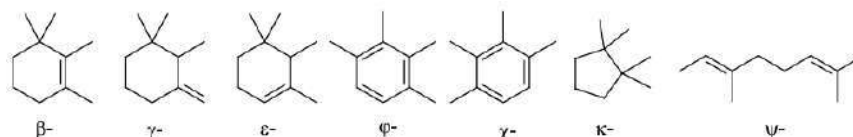


Ilustración 69. Terminaciones de las cadenas de los carotenoides. Tomado de (Breitmaier, 2006).

Son pigmentos naturales que dan colores desde amarillo claro hasta rojo intenso, dando propiedades de conservación de alimentos, y siendo utilizado en varias industrias (Breitmaier, 2006; Sanches Silva et al., 2020; Seigler, 1998).

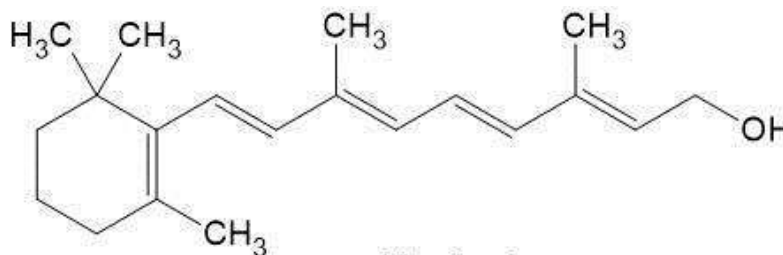


Ilustración 70. Vitamina A. Tomada de (Breitmaier, 2006).

Apocarotenoides.

Son derivados de los carotenoides que se forman por la escisión oxidativa de los carotenoides, esta variedad se encuentra en hongos, plantas, y algunas bacterias. La razón de su variedad es el gran número de precursores (carotenoides) que existen, una transformación de un caroteno a

apocarotenoides es (Breitmaier, 2006; Stange, 2016; Sun et al., 2023):

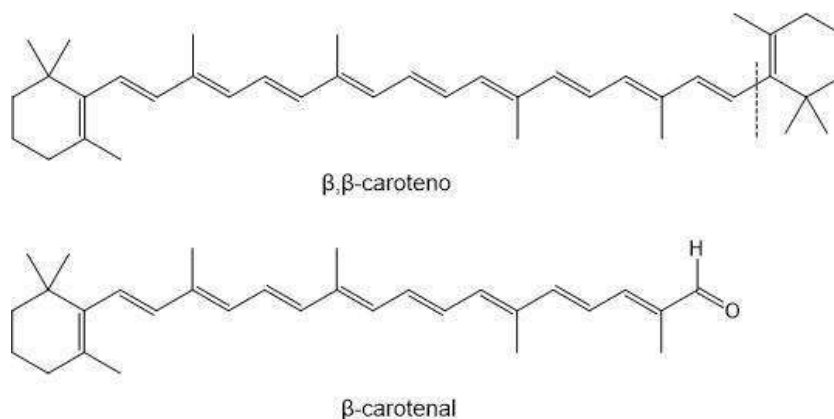
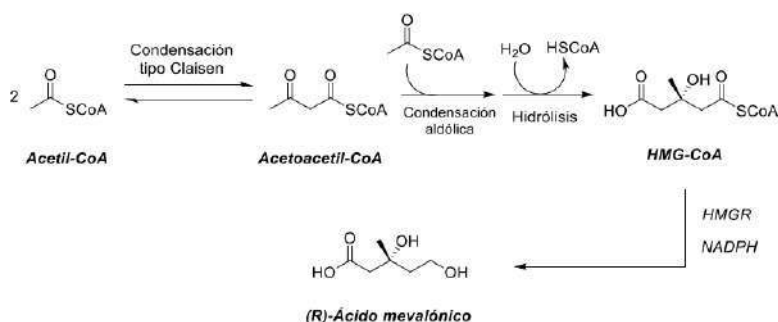


Ilustración 71. Escisión oxidativa del β,β -caroteno a β -carotenal. Tomado de (Breitmaier, 2006).

RUTA BIOSINTÉTICA DE LOS TERPENOS

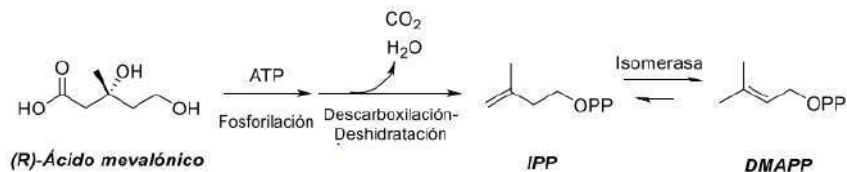
Su biosíntesis empieza con el acetil-coenzima A (acetil-CoA) denominado como el precursor biogénico. Por lo que dos moléculas de acetil-CoA se ensamblan a través de una condensación tipo Claisen para formar Acetoacetil-CoA, que participa como un aceptor de enolato en una condensación de tipo Aldólica con una tercera molécula de acetil-CoA. Se da un proceso de hidrólisis, generando el (5)-3-hidroxi-3-metilglutaril-CoA (HMG-CoA). La hidrólisis presente en el grupo tioéster de la enzima constituye la fuerza impulsora para la formación, ya que esta condensación aldólica no es favorable termodinámicamente al actuar el compuesto menos ácido (acetil-CoA) como generador de enolato. La fase a destacar de la sucesión es la reducción por la que pasa el HMG-CoA, que es intervenido por el HMG-CoA reductasa, una enzima que depende del cofactor denominado NADPH encargado de

generar ③-ácido mevalónico siendo un intermedio con gran importancia en la síntesis de terpenos (Ávalos-García & Pérez-Urria Carril, 2011).

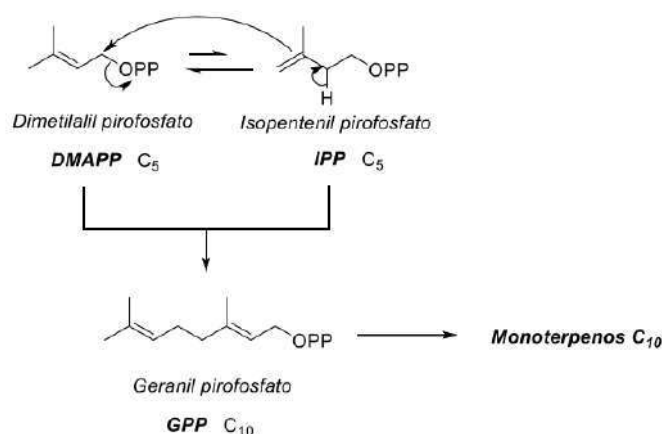


Se lo denomina al (R)-ácido mevalónico al intermedio de gran relevancia siendo el pionero de las unidades biológicas del isopreno como es el caso de C_5 que establece el inicio de la distribución de los terpenos. Siendo así que la biosíntesis de compuestos terpénicos y esteroides se conoce comúnmente como ruta del ácido mevalónico (Lopez-Carreras et al., 2012).

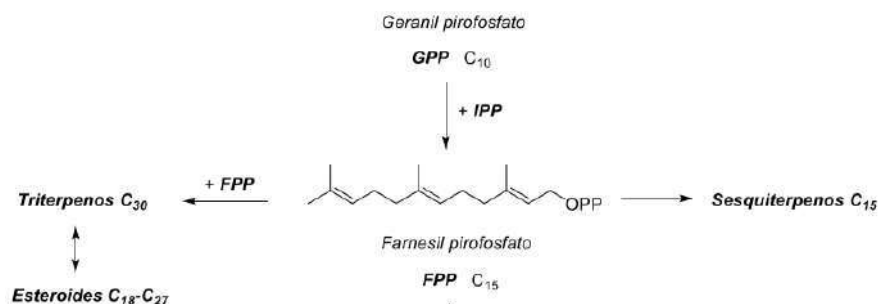
El proceso empieza con una fosforilación del ácido mevalónico intervenido por el ATP, seguido por una descarboxilación-deshidratación, que conduce al isopentenil pirofosfato (IPP), denominado isopreno activado. Este experimenta una isomerización, catalizada por la enzima (IPP isomerasa), la cual genera el dimetilalil pirofosfato (DMAPP) (González-González, 2018).



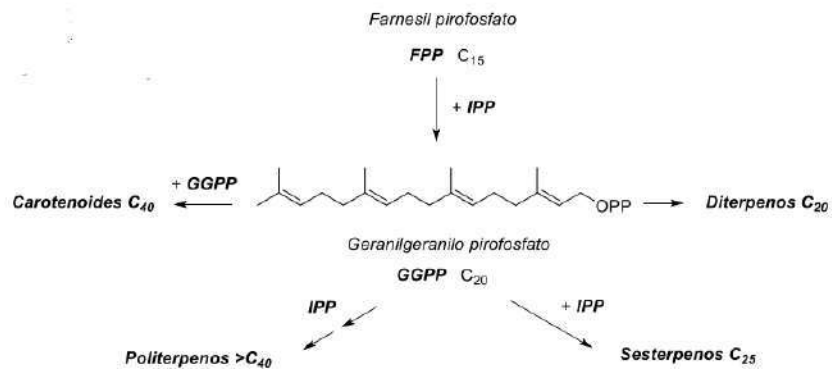
Las unidades C_5 isoprénicas: isopentenil pirofosfato y dimetilalil pirofosfato son la base para construir los terpenos conocidos. La unión de la molécula IPP con una molécula DMAPP produce al precursor de monoterpenos (C_{10}) conocido como la unidad de geranil pirofosfato (GPP) (González-González, 2018).



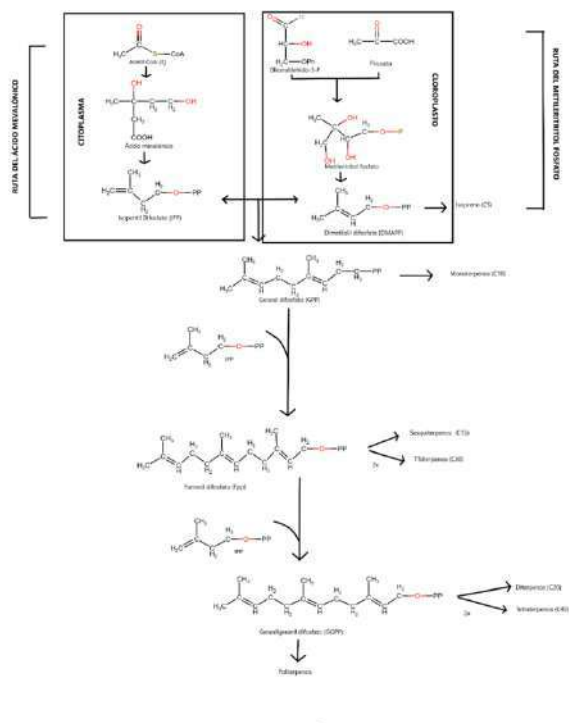
El acoplamiento de una unidad de GPP con otra unidad de IPP da lugar al farnesil pirofosfato (FPP), que es el antecesor de los sesquiterpenos (C_{15}) (González-González, 2018).



La combinación de una unidad de IPP forma la unidad conocida como geranil pirofosfato, base para la formación de las estructuras de diterpenos C_{20} . Una unidad de IPP adicional forma los sesterpenos (C_{25}). Además, la dimerización del FPP origina los triterpenos (C_{30}) y la de GGPP genera los tetraterpenos o carotenoides (C_{40}). Por otra parte, la incorporación de múltiples unidades sucesivas de IPP al GGPP da lugar a los politerpenos ($>C_{40}$). Cada uno de los acoplamientos entre estructuras está catalizado por enzimas sintasas específicas denominadas preniltransferasas (González-González, 2018).



De una forma mas resumida a los terpenos los encontramos de esta forma:



TÉCNICAS DE CARACTERIZACIÓN

Entendemos que la caracterización de un material en específico es un proceso de estudio y comprensión de las propiedades tales como físicas, eléctricas y químicas. Por lo que la muestra es sometida a un proceso de preparación.

Preparación de la muestra.

Hay técnicas encargadas del pretratamiento de una muestra que consiste en el aislamiento ya sea total o parcial y en su caso la preconcentración de algunos componentes de interés desde la matriz para que se hallen de una forma apropiada para ser utilizados en procesos de separación, detección y análisis. Teniendo como objetivo lograr la reproducibilidad y robustez,

evitando daños en la columna, eliminando interferencias, compatibilidad de métodos y concentrar el analito.

Ensayo de Liebermann – Burchard

Su metodología consiste en que al reactivo se lo prepara añadiendo una gota de ácido sulfúrico concentrado a una mezcla que contiene 1mL de anhídrido acético y en presencia de 1mL de cloroformo. A la cual se disuelve una pequeña parte de la muestra en este caso es el aceite esencial en un tubo que contenga cloroformo para luego agregar gotas del reactivo, y así poder observar cambios de coloración. Para denominar que es una reacción positiva debe existir una formación de color verde, azul, naranja o roja (Serrano-Martínez, 2009).

PATRÓN	DRAGENDORFF	WAGNER	MAYER	LIEBERMAN BURCHARD
	ALCALOIDES (+)	ALCALOIDES (+)	ALCALOIDES (+)	TRITERPENOS Y ESTEROIDES (+)
				

Ilustración 72. Identificación de metabolitos secundarios (terpenos).

HPLC

Es conocido como una técnica avanzada de la cromatografía líquido-líquido. Se fundamenta en una fase móvil (líquido o mezcla de líquidos) que atraviesa por una columna en la fase estacionaria. El tipo de detector más común para este tipo de cromatografía incluye el de absorbancia, electroquímicos y

fluorescencia. Esta técnica es utilizada por su gran sensibilidad, una fácil adaptación a determinaciones cuantitativas exactas y aplicabilidad en muchas áreas. Se utiliza pequeñas cantidades de muestra, su rango varía entre 0,5 y 5 μL , pero requiere el empleo de grandes cantidades de solvente. Por lo que se vuelve una técnica muy costosa. Una aplicación a resaltar de esta técnica es para la separación de terpenos en diferentes matrices, pero no en Cannabis por sus superposiciones de señales de cannabinoides y terpenos, ya que en el UV-VIS la relación de señales es muy alta y los terpenos no son fáciles de separar. Para su conocimiento el trabajo de investigación se centra en el análisis de terpenos en flores secas de la planta Cannabis sativa, su metodología consiste en que la planta es tratada con dióxido de carbono como fluido supercrítico como técnica de pretratamiento, lo que permitió alcanzar límites de cuantificación de hasta $1\mu\text{g mL}^{-1}$. En este caso se utilizó un equipo de HPLC acoplado a MS/MS, empleando una columna compuesta por bifenilo con “endcapping” de una solución de tetrametilsilano para luego realizar una corrida en forma gradiente, que se parte de un valor 50:50 de 2 mM acetato de amonio + 0.1% ácido fórmico que participa como fase acuosa y 2 mM acetato de amonio + 0.1% ácido fórmico en presencia de metanol que participa como fase orgánica, presentando un aumento a 5:95 en un intervalo de 6 minutos de haber iniciado la corrida, que para el final de la corrida a los 12 minutos vuelve la proporción de 50:50 teniendo como resultado las señales que corresponden a terpinoleno, mirceno y limoneno que se hallan levemente superpuestas, la separación fue notable, obteniendo límites de cuantificación inferiores a 1 ppb (Sol, 2021).

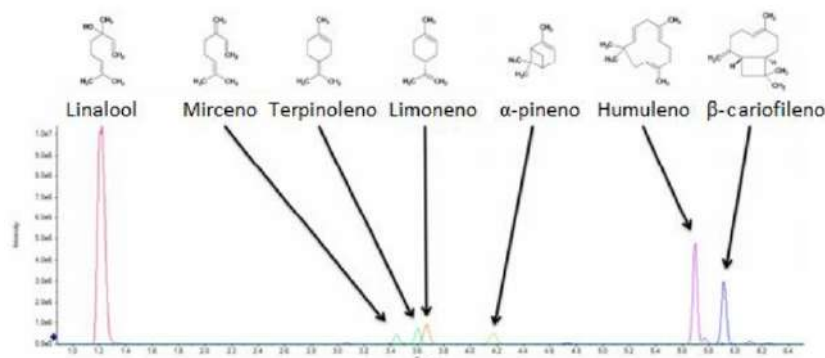


Ilustración 73. Cromatograma de una muestra de terpenos en *Cannabis* mediante la técnica HPLC MS/MS.

CLAR

Es un método que emplea en el análisis de plantas como medicinales debido por lo que es una técnica sencilla y muy versátil a comparación de otras, permite distinguir compuestos polares, no polares e iónicos así también como compuestos volátiles como no volátiles. Normalmente, la CLAR es utilizada para análisis de la mayoría de los compuestos en plantas medicinales. Al comparar entre todos los métodos cromatográficos para la toma de características específicas de las plantas medicinales, el que tiene más relevancia es la cromatografía líquida de alta resolución juntamente a un detector de diodos (CLAR-DAD). En la aplicación de detectores de diodos en línea tienen como objetivo proporcionar información adicional de los perfiles cromatográficos obtenidos a longitudes de onda simples, los mismos que pueden ser empleados para un criterio de análisis de pureza e identificación de los picos. Para su conocimiento esta técnica fue utilizada en la identificación de terpenos en flores secas de la planta *Cannabis sativa*, su metodología consiste en que por ser una muestra compleja y presentar

pocos patrones para comparar, se recurre al uso de índices de retención de Kováts. Aplicando una inyección que contiene una solución de alcanos que incluyen carbonos 9 a 19, por lo que se parte del cálculo de las temperaturas de elución en el gradiente y haciendo relación con sus índices de retención se forma una recta en la que se intercalaron los datos de temperaturas de elución de cada uno de los compuestos para obtener sus respectivos índices de retención (Lucio-Gutiérrez, 2012).

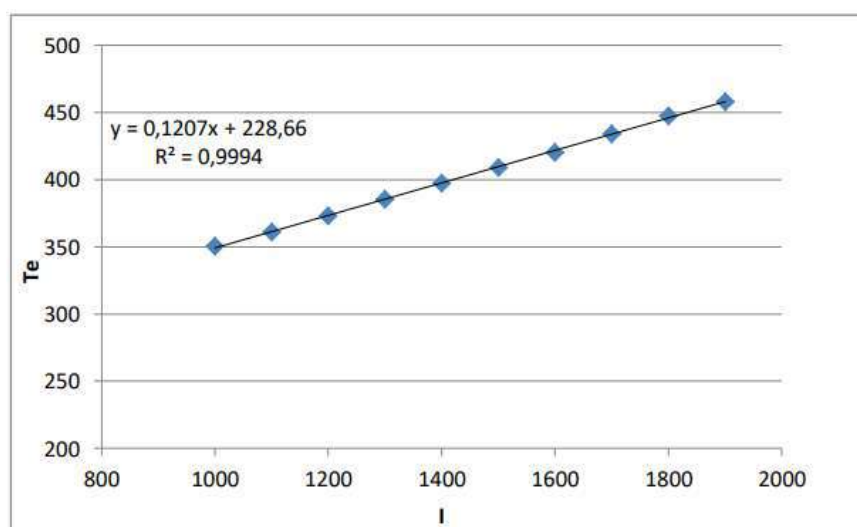


Ilustración 74. Datos de índices de retención Kováts de *n*-alcanos y temperaturas de elución (K).

CCF

En la aplicación de técnicas para análisis de plantas medicinales, las cromatográficas han presentado una amplia capacidad de separar complejos, componentes químicos de extractos. La cromatografía de capa fina (CCF) ha presentado características para ser una técnica que tiene el fin de analizar

plantas medicinales. La técnica de CCF se puede aplicar como un método de rastreo y semicuantitativo que facilita perfiles cromatográficos y tolera la identificación de adulteraciones en productos. Las ventajas a destacar de esta técnica es que es rápida, versátil y sencilla que permite analizar muchas muestras. Para su conocimiento esta técnica fue utilizada en la identificación de terpenos en flores secas de la planta Cannabis sativa, por lo que no es necesario llevar a cabo el pretratamiento del material herbáceo. Existen partes de la planta de cannabis que presentan niveles altos de cannabinoides como son las sumidades floridas y hojas superiores. Que son seleccionadas para el proceso de extracción. Por lo que su metodología consiste en que el producto de la extracción produce soluciones con concentraciones de THC que llega a los 0,5 mg/ml siendo extraída en presencia de disolventes como el éter de petróleo, n-hexano el cloroformo, el tolueno y el metanol con una cantidad de 10 ml en un periodo de 15 minutos considerando que debe estar a una temperatura ambiente. El extracto es filtrado para estar listo a ser aplicado la cromatografía. Obtenemos resultados que corresponden al método en el que se usan placas de HPTLC. Las placas de 20x20 cm con una capa de 0,25 mm de gel de sílice facilitan separaciones similares, por último se deberá determinar los valores Rf de los compuestos (Lucio-Gutiérrez, 2012).

Tabla 14. Resultados que corresponden al método CCF.

COMPUESTO	Sistema de desarrollo, valores Rf x100*		
	A	B	C**
CBN	33	26	47
THC	37	38	49

<i>CBD</i>	42	42	47
<i>THCA</i>	6	-	36

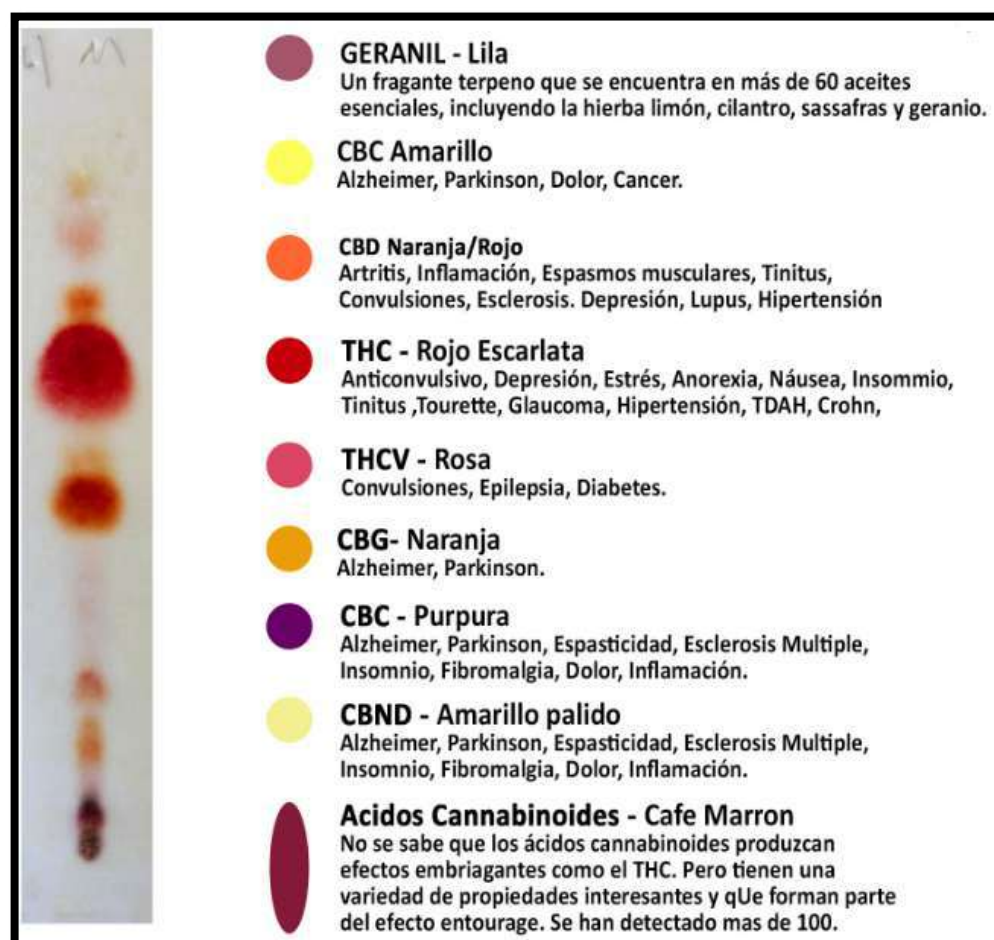


Ilustración 75. Identificación de patrones en la placa de la técnica CCF.

EC

La electroforesis capilar fue incluida a principios de los 80 como una eficaz técnica analítica de separación. Este método electroforético, ha sido empleado en el análisis de plantas como las medicinales que ha ido tomando fuerza en la última década. La EC presenta funciones como la separación y análisis de los ingredientes activos en plantas medicinales; presentando la ventaja de que requiere una poca cantidad de muestra y permite realizar análisis de una forma rápida con una buena capacidad de separación. Presenta buenas características para denominarla una buena herramienta para la generación de huellas dactilares de plantas medicinales. Para su conocimiento la aplicación de esta técnica se dio en la identificación mediante EC en plantas medicinales, su metodología empieza con la cuantificación de flavonoides en presencia de AlCl_3 para su respectiva oxidación y así formar un compuesto colorido que se detecta a 510 nm (Lucio-Gutiérrez, 2012).

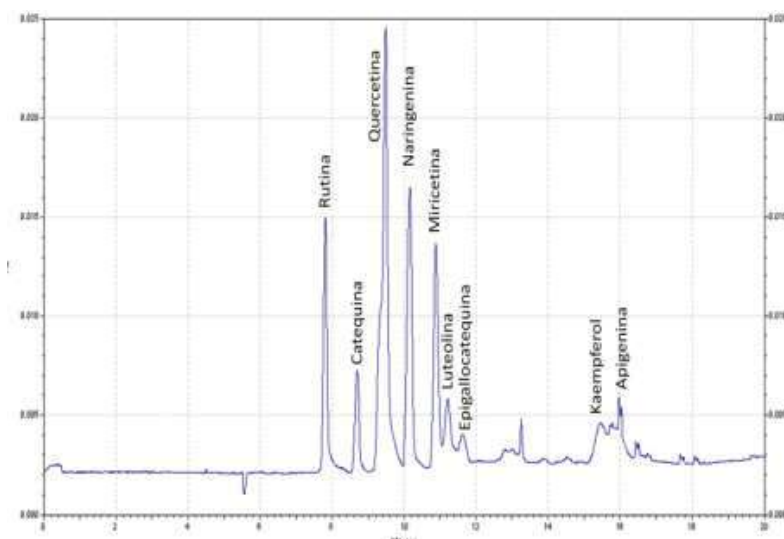


Ilustración 76. Electrograma de estándares de flavonoides.

RMN

Las características específicas que son obtenidas mediante RMN han sido empleadas, en el análisis de alimentos naturales como aceite de oliva, cerveza, vino, entre otros. El método no va a depender de su procedencia natural de la muestra en el que obtendremos huellas dactilares cuantitativas del material a estudiar. Detecta sincrónicamente los componentes en la muestra que presenten núcleos de hidrogeno, el mismo que cubre todos los compuestos orgánicos como: ácidos grasos, carbohidratos, lípidos, ésteres aminoácidos, fenoles y aminas. Para su conocimiento esta técnica fue utilizada en el estudio de identificación de compuestos que se encuentran en la planta *Aloysia citrodora*. Su metodología se basa en disolver entre 1 mg y 40 mg del compuesto puro a que se va a analizar en alrededor de 0,6 ml del disolvente adecuado como es la

acetona-d₆, metanol-d₄, DMSO-d₆ entre otros. La opción de escoger el disolvente a trabajar se hará dependiendo los criterios de disolución de la muestra. Esta necesita alcanzar una altura en el tubo de RMN en un rango de 4 y 4,5 cm. Teniendo en cuenta que si existe cambios bruscos de estado pueden dañar el tubo dentro del equipo. Teniendo como resultados los picos característicos de los antioxidantes presentes en el cedrón (Lucio-Gutiérrez, 2012).

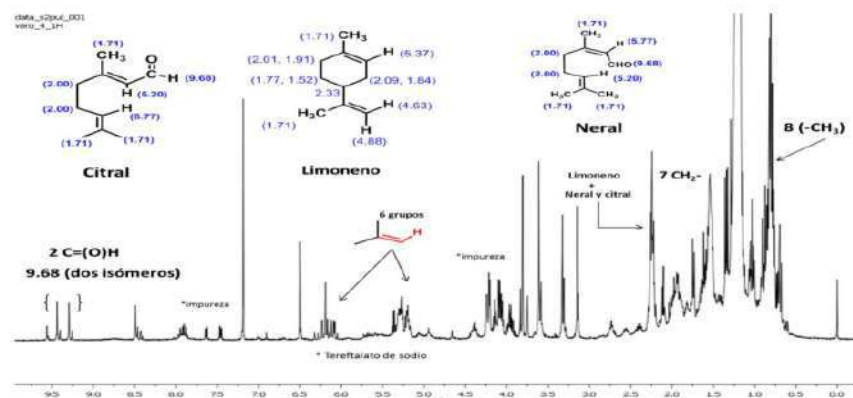


Ilustración 77. Espectro RMN de la solución a tratar (extracto de acetato de etilo de cedrón).

En el texto de Quiroga (2013) se plantea el problema de la Evaluación de propiedades antioxidantes de los aceites esenciales y terpenos de tipo monoterpenos en las aplicaciones en alimentos que contienen un alto nivel de lípidos con el fin de mejorar la conservación de propiedades sensoriales y nutricionales.

Teniendo como resultados en el estudio de la composición de aceites esenciales como el orégano y poleo. Mostrando componentes con porcentajes mayores al 0,1%. El aceite

esencial obtenido a partir orégano presenta 37 componentes, los principales monoterpénicos destacar son: α -terpineno (15,10%) β -felandreno (7,10%), timol (8,00%), p-cimeno (8,00%) y γ -terpineno (32,10%).

Tabla 15. Información de concentraciones de terpenos presentes en aceites esenciales provenientes de Orégano y Poleo según el análisis de Cromatografía gaseosa acoplada a espectrómetro de masa.

Índice de Retención	Métodos de identificación en cromatografía gaseosa	Compuestos	Porcentaje relativo Orégano	Porcentaje relativo Poleo
924	Detector de Masa	α -tujeno	0,70 $\pm$ 0,06	No se detecta
930	Detector de Masa	α -pineno	1,40 $\pm$ 0,1	0,9 $\pm$ 0,08
944	Detector de Masa	Camfeno	0,50 $\pm$ 0,04 a	1,15 $\pm$ 0,1 b
970	Detector de Masa	Sabineno	3,10 $\pm$ 0,26 b	1,4 $\pm$ 0,08 a
974	Co-Ms	β -pineno	No se detecta	1,45 $\pm$ 0,13
989	Detector de Masa	β -mirceno	0,50 $\pm$ 0,04	0,25 $\pm$ 0,02
1002	Co-Ms	α -felandreno	2,90 $\pm$ 0,25	No se detecta
1014	Co-Ms	α -terpineno	15,10 $\pm$ 1,2	No se detecta

1020	Detector de Masa	p-cimeno	8,00± 0,6 b	0,15± 0,01 a
1024	Detector de Masa	Limoneno	0,60± 0,05 a	76,8± 6,9 b
1026	Co-Ms	β-felandreno	7,10± 0,62	No se detecta

ACTIVIDADES DE LOS TERPENOS

Se ha demostrado gracias a trabajos, investigaciones y al conocimiento entofarmacológico lo cual a incrementado su potencial terapéutico y farmacológico (Kiyama, 2017), estas moléculas ayudan a reducir el estrés, presión arterial, ayudan al crecimiento de células asesinas evitando así el crecimiento y actividad de células cancerígenas (Lee et al., 2017); ayuda a mejorar enfermedades cardiometabólicas, y evitando así efectos secundarios al consumir fármacos (Oliveira et al., 2021); así pues se les atribuyen actividades anticancerígenas, antimicrobianos, anti-inflamatorios, antioxidantes y anti-alérgicos (Masyita et al., 2022), siendo pues estas algunas de las actividades de ciertos terpenos específicos:

Tabla 16. Efecto farmacológico de algunos terpenos.

Actividad farmacológica	Terpeno	Efecto
<i>Anticancerígena</i>	Limonene; 1,8-cineole	Reduce la proliferación celular.
	Alpha-Pinene	Reduce el crecimiento celular.
	Alpha.thujone	Induce a la muerte celular. Reduce la proliferación e invasión.

	Carvone	Protege contra tumores.
	Carvacrol	Incrementa la apoptosis celular e inhibe la proliferación.
	Geranial; Neral; Citral	Inhibe el crecimiento celular.
	Bukuchiol	Incrementa la muerte celular y reduce la viabilidad celular.
<i>Antimicrobiano</i>	Myrcene	Crecimiento microbiano.
	Bornerol	Actividad bacteriostática.
	Bakuchiol	Actividad antibacteriana.
	Geraniol	Efectos antrimicrobiano.
	1,8-cineole	Efecto contra microorganismos.
	p-Cymene	Actividad antimicrobiana.
	Linalool	Actividad antibacteriana.
	Carvacrol	Efecto antimicrobiano.
	Citral	Acción antimicrobiana.
<i>Anti-inflamatorio</i>	Myrcene	Inhibe la actividad inflamatoria de tejidos renales en ratas.

Alpha-pinene	Efecto neuroprotector durante el ictus isquémico mediante la atenuación de la neuroinflamación en isquemia cerebral focal en ratas.
Geraniol	Mejora los cambios inflamatorios en los pulmones de los ratones.
Prillyl alcohol	Inhibición de la inflamación celular del tejido pulmonar en ratas
Cytral	Actividad anti-inflamatoria de hiperalgesia y pleuresía en ratones
Carvacrol 1,8-cineole	Asma en ratas Previene en bajo grado la inflamación de los tejidos del íleon superior

Esta tabla ha sido editada de “Terpenes and terpenoids as main bioactive compounds of essential oils, their roles in human health and potential application as natural food preservatives” por A. Masyita et al. (2022). Food Chemistry: X. Vol. 13.

Además, algunos alimentos contiene terpenos (en forma de aceites esenciales) los cuales tiene actividad biológica y que además de producir efectos beneficiosos sobre la salud como se describió anteriormente ayudan a la preservación de la comida, entre ellos, destacan algunos monoterpenos bicíclicos derivados del geraniol, que se denominan iridoides (López-Carreras et al., 2012).

Tabla 17. *Terpenos presentes en aceites esenciales utilizados para preservar alimentos.*

Alimento	Planta de donde se extrajo el aceite esencial	Terpenos presentes
<i>Pan</i>	Cymbopogon citratus (lemongrass)	(z)-Citral (62.58%), cis-verbenol (6.29%) geranyl acetate (5.36%) isoeugenol (4.52%) caryophyllene (3.91%)
<i>Pastel</i>	Thymus vulgaris	Thymol (53.57%) p-cymene (15.51%) limonene (7.14%) carvacrol (6.93%) transcaryophyllene (3.26%) α -pinene (2.80%)
<i>Frutas secas</i>	Mentha cardiaca L.	Carvone (59.6%) limonene (23.3%) β -myrcene (2.5%) 1,8-cineole (2.1%) β -bourbonene (1.5%)

		cis-dihydrocarvone (1.5%)
<i>Jugo de naranja</i>	Eucalyptus essential oil	globulus1,8-cineole (94.03%) α -pinene (2.93%) γ -terpinene (1.93%) α -phellandrene (0.59%) β -pinene (0.20%) myrcene (0.19%)
<i>Jugo de manzana</i>	Cymbopogon D.C. Stapf. essential oil (CCEO)	citratusGeraniol (46.16%) neral (31.74%) geranylacetate (4.34%) caryophyllene (2.02%) 6- methyl-5-hepten-2- ona (1.77%) dipentylketone (1.06%) linalool (1.03%)
<i>Albóndigas de pollo</i>	Ziziphora clinopodioides	Carvacrol (65.22%) thymol (19.51%) pcymene (4.86%) γ -terpinene (4.63%)

Esta tabla ha sido editada de "Terpenes and terpenoids as main bioactive compounds of essential oils, their roles in human health and potential application as natural food preservatives" por A. Masyita et al. (2022). Food Chemistry: X. Vol. 13.

IMPORTANCIA FARMACEÚTICA

Los terpenos son compuestos orgánicos, existe en una amplia variedad de plantas, incluyendo cannabis, cereales, soja y alimentos de color verde. Se ha demostrado que tienen propiedades antiinflamatorias, analgésicas y antioxidantes beneficiosos para la salud (Manayi et al., 2016).

Tabla 18. Clasificación de terpenos con beneficios para la salud humana.

Terpenos	Efectos	Se encuentra también en	Beneficios medicinales
Mirceno	Sedante, relajante, aumenta los beneficios psicoactivos del THC.	Mango, tomillo, cítrico, citronela, hojas de laurel.	Antiséptico, antifúngico, antiinflamatorio.
Cariofileno	No hay efectos físicos notables.	Pimienta, madera, especies.	Antioxidante, antiinflamatorio, espasticidad, dolor, insomnio.
Linalool	Sedante y calmante.	Lavanda, cítricos, laurel, abedul, palo de rosa.	Insomnio, estrés, depresión, ansiedad, dolor, convulsiones.
Pineno	Retención de memoria y atención.	Pinocha, coníferas, salvia.	Antiinflamatorio, broncodilatador.

Humeleno	Inhibe el apetito.	Lúpulo, cilantro.	Antiinflamatorio, antibacteriano, analgésico.
Limoneno	Eleva ánimo alivia estrés.	el y cítricas, enebro, menta.	Antidepresivo, ansiolítico, reflujo, gástrico, antifúngico.

- Antimicrobianas: Detienen el crecimiento o matan algunos microorganismos.
- Antiparasitarias: El limoneno y el pineno son eficaces para combatir al parásito que produce la malaria.
- Antivirales: Se utiliza para contrarrestar los efectos de virus como el herpes.
- Anticancerígenas: el limoneno puede combatir células cancerígenas es un excelente fármaco quimiopreventivo. Varios compuestos terpenoides, como la timoquina, el beta-mirceno y el pineno, han demostrado exhibir esta característica..
- Efectos sedantes y ansiolíticos: El linalool y el limoneno contienen propiedades sedantes ayuda a reducir la ansiedad y promueve la relajación.

Tabla 2. Actividad biológica: naturaleza y propiedades.

Fitoquímico		Propiedades
Terpenos	Iridoides	Amebicida
		Antiinflamatoria
		Antimicrobiana
	Saponinas	Anticancerígena
		Antiinflamatoria
		Hipocolesterolemiantes
	Carotenoides	Antioxidantes

Prevención de degeneración
macular
Prevención de enfermedades
cardiovasculares

Podemos encontrar en la naturaleza algunas plantas con propiedades farmacológicas, las cuales son de gran utilidad ya que poseen principios activos de naturaleza iridoí - dica. Entre las mas importantes destacan el olivo, el harpagófito, la valeriana, la genciana.

Valeriana. Es una de las plantas más reconocidas por su uso medicinal, se conoce por sus múltiples efectos farmacológicos, entre los cuales destacan los efectos sedantes, ansiolíticos (Lopez-Carreras et al., 2012).

Harpagófito. Es una planta nativa del continente africano, vulgarmente se la conoce como “Garra del diablo” sus frutos son cápsulas leñosas recubiertas de espinas ganchudas y aceradas. Sus tubérculos secos se aplican dentro de la medicina por los nativos para el tratamiento de la fiebre, la indigestión, la malaria, las alergias, el cáncer de piel, el reuma y la artritis (Lopez-Carreras et al., 2012).

PROPIEDADES FARMACOLÓGICAS DE LOS TERPENOS

Los terpenos, compuestos orgánicos que se encuentran en una amplia variedad de plantas, han demostrado tener diversas propiedades farmacológicas. Muchos estudios han investigado los efectos de los terpenos en diferentes sistemas y condiciones de enfermedades (Manayi et al., 2016).

En el campo de la farmacología, se ha descubierto que los terpenos poseen propiedades antiinflamatorias, antioxidantes,

analgésicas, antimicrobianas y anticancerígenas, entre otras. Estas propiedades pueden ser beneficiosas en el tratamiento de una amplia gama de enfermedades y condiciones (Deo et al., 2016). A continuación, se describen algunas de estas propiedades junto con las referencias relacionadas:

Actividad antiinflamatoria:

Algunos terpenos han demostrado tener efectos antiinflamatorios, lo que los hace potencialmente útiles en el tratamiento de enfermedades inflamatorias. Por ejemplo, en un estudio realizado discuten el potencial de los terpenos en el tratamiento de trastornos del sistema nervioso central. Señalan que ciertos terpenos han mostrado propiedades neuroprotectoras y pueden tener efectos positivos en trastornos como el Alzheimer, el Parkinson y la esclerosis múltiple (Manayi et al., 2016).

Propiedades antioxidantes:

Los terpenos también pueden actuar como antioxidantes, ayudando a proteger contra el estrés oxidativo y el daño celular. Un artículo de Deo et al (2016) exploró la capacidad de diversos extractos de plantas, incluidos los terpenos, para inhibir la glicación proteica, un proceso implicado en el desarrollo de complicaciones diabéticas. Los resultados revelaron que algunos terpenos poseían actividad anticarbonylante, lo que sugiere su posible uso en el tratamiento de la diabetes y sus complicaciones (Machado et al., 2009).

Actividad antimicrobiana:

Algunos terpenos han demostrado actividad antimicrobiana contra bacterias, hongos y otros patógenos. Por ejemplo, En

otro estudio, Nissen et al (2010) investigaron las propiedades antimicrobianas de los terpenos presentes en variedades de cáñamo industrial (*Cannabis sativa* L.). Los resultados mostraron que los terpenos tenían actividad antimicrobiana contra ciertas cepas de bacterias y hongos, lo que sugiere su potencial aplicación en terapias antimicrobianas (Russo, 2011).

Efectos neuroprotectores:

Se ha investigado el potencial de ciertos terpenos para proteger el sistema nervioso y tener efectos neuroprotectores. Russo (2011) examinó los posibles efectos sinérgicos entre los terpenos y los cannabinoides presentes en el cannabis. Este estudio destaca que los terpenos pueden modular los efectos de los cannabinoides en el sistema endocannabinoide, lo que podría tener implicaciones terapéuticas en el uso medicinal del cannabis (Mirzamohammad et al., 2021).

Actividad anticancerígena:

Algunos estudios han demostrado que ciertos terpenos pueden tener efectos anticancerígenos y ayudar en el tratamiento del cáncer. Otro estudio interesante es el realizado por Machado et al (2009), quienes investigaron el efecto antidepresivo del extracto de romero (*Rosmarinus officinalis*) en ratones. Los resultados demostraron que los terpenos presentes en el extracto de romero tenían propiedades antidepresivas, lo que sugiere su potencial como alternativa natural para el tratamiento de la depresión (Nieto et al., 2018).

ACTIVIDAD DE LOS TERPENOS EN EL CANNABIS

Los terpenos juegan un papel crucial en la actividad y los efectos del cannabis. Estos compuestos son responsables de los

distintos aromas y sabores encontrados en las variedades de cannabis y pueden interactuar con los cannabinoides presentes en la planta, como el THC y el CBD, para influir en sus efectos (Tang et al., 2000). A continuación, se describe la actividad de los terpenos en el cannabis, respaldada por referencias relacionadas:

Efectos sinérgicos con los cannabinoides:

Los terpenos presentes en el cannabis pueden interactuar con los cannabinoides y otros compuestos para producir un efecto sinérgico conocido como el "efecto séquito" o "entourage effect". Un estudio realizado por Russo (2011) resalta la interacción compleja entre los terpenos y los cannabinoides, sugiriendo que esta sinergia puede modificar los efectos psicoactivos, la biodisponibilidad y la actividad terapéutica del cannabis (Orav et al., 2008).

Modulación de la actividad cerebral:

Algunos terpenos en el cannabis pueden influir en la actividad cerebral y afectar el estado de ánimo, la cognición y la percepción. Por ejemplo, el terpeno limoneno se ha asociado con efectos estimulantes y de mejora del estado de ánimo, mientras que el mirceno puede tener efectos sedantes. Estos efectos son mencionados en el estudio de Russo (2011), que explora las interacciones entre los terpenos y los cannabinoides (Bohlmann et al., 1998; Burt, 2004).

Potencial efecto ansiolítico y relajante:

Algunos terpenos presentes en el cannabis han demostrado tener propiedades ansiolíticas y relajantes. Por ejemplo, el terpeno linalool, que también se encuentra en plantas como la lavanda, se ha asociado con efectos calmantes y ansiolíticos.

Estos efectos se mencionan en el estudio de Machado et al. (2009), que investigó el extracto de *Rosmarinus officinalis*, que contiene terpenos como el linalool (Tang et al., 2000).

Propiedades antiinflamatorias y analgésicas:

Algunos terpenos presentes en el cannabis han mostrado propiedades antiinflamatorias y analgésicas, lo que puede ser beneficioso en el tratamiento del dolor y las enfermedades inflamatorias. Estos efectos se mencionan una investigación realizada, que destaca la capacidad de los terpenos para modular la respuesta inflamatoria en el sistema nervioso central (Burt, 2004).

Es importante tener en cuenta que los efectos específicos de los terpenos pueden variar según la concentración, la interacción con otros compuestos y la respuesta individual de cada persona. Además, la investigación en este campo aún está en curso y se necesita más evidencia científica para comprender plenamente los efectos de los terpenos en el cannabis.

APLICACIONES DE LOS TERPENOS

Los terpenos tienen una amplia gama de aplicaciones en diversos campos. A continuación, se describen algunas de las aplicaciones de los terpenos respaldadas por referencias relacionadas:

Industria farmacéutica:

Los terpenos se utilizan en la industria farmacéutica como ingredientes activos o coadyuvantes en la formulación de medicamentos. Su amplia gama de propiedades farmacológicas los convierte en candidatos potenciales para el desarrollo de nuevos fármacos. Un estudio destaca el potencial

de los terpenos en el tratamiento de trastornos del sistema nervioso central (Manayi et al., 2016; Nissen et al., 2010).

Aromaterapia:

Los terpenos se utilizan en la aromaterapia para aprovechar sus aromas y propiedades terapéuticas. Algunos terpenos, como el linalool o el limoneno, se han asociado con efectos relajantes, estimulantes o de mejora del estado de ánimo. Estos efectos se mencionan en el estudio de Machado et al. (2009) y Russo (2011) que investigó el extracto de *Rosmarinus officinalis*, que contiene terpenos como el linalool.

Industria cosmética:

Los terpenos se utilizan en la industria cosmética para añadir fragancia y propiedades terapéuticas a productos como perfumes, cremas y lociones. Su amplia variedad de aromas y sus propiedades beneficiosas para la piel hacen de los terpenos ingredientes populares en la formulación de productos cosméticos.

Industria alimentaria:

Los terpenos se utilizan en la industria alimentaria para añadir sabor y aroma a los alimentos. Se encuentran naturalmente en muchas plantas y frutas, y contribuyen a los perfiles sensoriales distintivos de diferentes alimentos. Algunos terpenos, como el limoneno o el mirceno, se utilizan como aditivos alimentarios naturales.

Control de plagas:

Algunos terpenos tienen propiedades repelentes o tóxicas para plagas y pueden utilizarse en productos de control de plagas naturales. Estos compuestos pueden ser una alternativa más

segura y respetuosa con el medio ambiente a los pesticidas químicos convencionales.

Estas son solo algunas de las aplicaciones de los terpenos, y su potencial se sigue explorando en diversos campos. Cabe mencionar que la efectividad y las aplicaciones específicas de los terpenos pueden variar según el tipo de terpeno y el contexto de uso.

BIBLIOGRAFÍA

- Ambiental, A. P. (2021, febrero 17). Hallan tres nuevas especies de euforbias—Ambientum. *Ambientum Portal Lider Medioambiente*.
<https://www.ambientum.com/ambientum/biodiversidad/hallan-tres-nuevas-especies-de-euforbias.asp>
- ¿Ansiedad, estrés? Descubrí por qué la manzanilla también es conocida como el médico de las plantas. (2022, diciembre 7). LA NACION.
<https://www.lanacion.com.ar/revista-jardin/las-deliciosas-propiedades-de-la-manzanilla-nid29032022/>
- Aouane, C., Kabouche, A., Voutquenne-Nazabadioko, L., Sayagh, C., Martinez, A., Alabdul Magid, A., & Kabouche, Z. (2022). Triterpenoid saponins from *Anagallis monelli* ssp. *Linifolia* (L.) Maire and their chemotaxonomic significance. *Phytochemistry*, 202, 113305.
<https://doi.org/10.1016/j.phytochem.2022.113305>
- Arraché Gonçalves, G., Eifler-Lima, V. L., & von Poser, G. L. (2022). Revisiting nature: A review of iridoids as a potential antileishmanial class. *Phytochemistry Reviews*, 21(1), Article 1. <https://doi.org/10.1007/s11101-021-09750-8>
- Artemisia annua*. (2023, julio 8). La Maison de l'Artemisia - Esta planta puede salvar millones de vidas.

- <https://maison-artemisia.org/es/artemisia-en-el-lado-agronomico/lartemisia-annua-es/>
- Ávalos-García, A., & Pérez-Urria Carril, E. (2011). Metabolismo secundario de plantas. *Revista Reduca*, 2(3), Article 3.
- Benítez-Burgada. (2022, mayo 16). *Menta: Cuidados y propiedades de una planta medicinal que puedes cultivar en casa*. La Vanguardia. <https://www.lavanguardia.com/natural/plantas/20220516/8270724/menta-cuidados-propiedades-planta-medicinal-puedes-cultivar-casa-nbs.html>
- Biogénesis de terpenoides*. (s.f.). Quioired - Productos naturales orgánicos. Recuperado 12 de julio de 2023, de <https://www.ugr.es/~quioired/pnatu/terpenoides.htm>
- Bohlmann, J., & Keeling, C. I. (2008). Terpenoid biomaterials. *The Plant Journal*, 54(4), 656-669. <https://doi.org/10.1111/j.1365-313X.2008.03449.x>
- Bohlmann, J., Meyer-Gauen, G., & Croteau, R. (1998). Plant terpenoid synthases: Molecular biology and phylogenetic analysis. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 95(8), 4126-4133. <https://doi.org/10.1073/pnas.95.8.4126>
- Boncan, D. A. T., Tsang, S. S. K., Li, C., Lee, I. H. T., Lam, H.-M., Chan, T.-F., & Hui, J. H. L. (2020). Terpenes and Terpenoids in Plants: Interactions with Environment and Insects. *International Journal of Molecular Sciences*, 21(19), Article 19. <https://doi.org/10.3390/ijms21197382>
- Boris, R., Elena, T., Erich, S., Walter, J., Gerhard, B., & Leopold, J. (2011). Cytotoxic Properties of Selected Sesquiterpene Alcohols on Human Cervix Carcinoma Cell Lines. *Journal of Essential Oil Bearing Plants*, 14(3),

- Article 3.
<https://doi.org/10.1080/0972060X.2011.10643940>
Boswellia serrata: Sistemática, Etimología, Hábitat, Cultivo... (2023, julio 9).
<https://antropocene.it/es/2023/01/27/boswellia-serrata-3/>
- Breitmaier, E. (2006). *Terpenes: Flavors, Fragrances, Pharmaca, Pheromones*. John Wiley & Sons.
- Buchanan, B. B., Gruissem, W., & Jones, R. L. (Eds.). (2015). *Biochemistry & molecular biology of plants* (Second edition). Wiley Blackwell.
<https://www.worldcat.org/es/title/biochemistry-molecular-biology-of-plants/oclc/920806546>
- Burt, S. (2004). Essential oils: Their antibacterial properties and potential applications in foods--a review. *International Journal of Food Microbiology*, 94(3), 223-253. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2004.03.022>
- Can Baser, K. H., & Buchbaver, G. (Eds.). (2010). *Handbook of Essential Oils: Science, Technology, and Applications*. CRC Press.
- Carrillo de Albornoz, M. A., & Fernández, M. A. (2018, abril 20). *Simbolismo de... El olivo*. Biblioteca de Nueva Acrópolis. <https://biblioteca.acropolis.org/simbolismo-olivo/>
- Castaño de Indias (Aesculus hippocastanum)*. (2023, julio 9). PictureThis.
https://www.picturethisai.com/es/wiki/Aesculus_hippocastanum.html
- Centella asiática: Propiedades y contraindicaciones—Guía*. (2023, julio 9).
<https://www.ecologiaverde.com/centella-asiatica-propiedades-y-contraindicaciones-3076.html>

- Cereceda, I. (2020, marzo 11). Nuevas variedades de cítricos para Latinoamérica. *PortalFruticola.com*.
<https://www.portalfruticola.com/noticias/2020/03/11/nuevas-variedades-de-citricos-para-latinoamerica/>
- Chrysanthemum indicum* cv. (2020).
<https://plantasflores.com/chrysanthemum-indicum-varietal/>
- Chukwudulue, U. M., Attah, A. F., & Okoye, F. B. C. (2022). Linking phytochemistry to traditional uses and pharmacology of an underexplored genus – Psydrax: A review. *Phytochemistry Reviews*, 21(5), Article 5.
<https://doi.org/10.1007/s11101-021-09798-6>
- Cinnamon Tree Cinnamomum Verum*—Banco de fotos e imágenes de stock—IStock. (2023, julio 8).
<https://www.istockphoto.com/es/fotos/cinnamon-tree-cinnamomum-verum>
- Commiphora myrrha*: Un árbol con grandes usos y beneficios | Jardineria On. (2023, julio 8).
<https://www.jardineriaon.com/commiphora-myrrrha.html>
- Consejos para tus rosas. (2020, diciembre 1). Armony Sustentable. <https://www.armony.cl/consejos-para-tus-rosas/>
- Cornus officinalis* (Chinese Cornelian Dogwood, Japanese Cornel Dogwood, Japanese cornelian cherry dogwood, Japanese Cornelian Dogwood, Korean Cornelian Dogwood) | North Carolina Extension Gardener Plant Toolbox. (2023, julio 2).
<https://plants.ces.ncsu.edu/plants/cornus-officinalis/>
- Cuidados del cóleo—Guía de jardinería. (2023, julio 8). ecologiaverde.com.

- <https://www.ecologiaverde.com/cuidados-del-coleo-3503.html>
- Deo, P., Hewawasam, E., Karakoulakis, A., Claudie, D. J., Nelson, R., Simpson, B. S., Smith, N. M., & Semple, S. J. (2016). In vitro inhibitory activities of selected Australian medicinal plant extracts against protein glycation, angiotensin converting enzyme (ACE) and digestive enzymes linked to type II diabetes. *BMC Complementary and Alternative Medicine*, 16(1), 435. <https://doi.org/10.1186/s12906-016-1421-5>
- Diente de león: Para qué sirve y cómo tomarlo -canalSALUD*. (2023, julio 8). <https://www.salud.mapfre.es/cuerpo-y-mente/naturopatia/diente-de-leon-un-aliado-del-higado-y-el-rinon/>
- Dzubak, P., Hajduch, M., Vydra, D., Hustova, A., Kvasnica, M., Biedermann, D., Markova, L., Urban, M., & Sarek, J. (2006). Pharmacological activities of natural triterpenoids and their therapeutic implications. *Natural Product Reports*, 23(3), Article 3. <https://doi.org/10.1039/b515312n>
- El tejo, el árbol que crece de arriba a abajo*. (2022, abril 19). <https://www.escapadarural.com/blog/el-arbol-que-crece-de-arriba-abajo/>
- Eucalyptus globulus*. (2021). <https://www.tramil.net/es/plant/eucalyptus-globulus>
- Feng, H., Jiang, Y., Cao, H., Shu, Y., Yang, X., Zhu, D., & Shao, M. (2022). Chemical characteristics of the sesquiterpenes and diterpenes from Lauraceae family and their multifaceted health benefits: A review. *Heliyon*, 8(12), Article 12. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e12013>

- Futuro, C. (2022, enero 18). Cómo cultivar clavo de olor en maceta. *Cultiva Futuro*.
<https://cultivafuturo.com/como-cultivar-clavo-de-olor-en-maceta/>
- Gavira, C. (2013). *Production de terpènes fonctionnalisés par les cytochromes P450 de plantes recombinants* [Université de Strasbourg].
file:///D:/Gavira_Carole_2013_ED414.pdf
- Geng, C.-A., Zhang, X.-M., Ma, Y.-B., Huang, X.-Y., & Chen, J.-J. (2013). Minor secoiridoid aglycones from the low-polarity part of the traditional Chinese herb: *Swertia mileensis*. *Natural Products and Bioprospecting*, 3(5), Article 5. <https://doi.org/10.1007/s13659-013-0059-y>
- Gentianaceae | Description, Major Species, & Facts | Britannica*. (2023, julio 8).
<https://www.britannica.com/plant/Gentianaceae>
- Gómez, J. (2008, abril 2). Genciana: Planta Medicinal. *Herbolario Casa Pià*.
<https://www.casapia.com/blog/plantas-medicinales/genciana-gentiana-lutea-informacion.html>
- González-González, J. M. (2018). *Diseño y desarrollo de una estrategia para la síntesis estereoselectiva de 6,7-epoxifarnesol* [Trabajo de fin de máster, Universidad de Oviedo].
https://digibuo.uniovi.es/dspace/bitstream/handle/10651/47768/TFM_Jose_Manuel_Gonzalez.pdf?sequence=3&isAllowed=y
- Guimarães, A. C., Meireles, L. M., Lemos, M. F., Guimarães, M. C. C., Endringer, D. C., Fronza, M., & Scherer, R. (2019). Antibacterial Activity of Terpenes and Terpenoids Present in Essential Oils. *Molecules*, 24(13), Article 13. <https://doi.org/10.3390/molecules24132471>

- Haniffa, H. M., Safana, R. F., & Kathirgamanathar, s. (2021). *Antimicrobial activity of essential oils separated from selected plants of Sri Lankan Rutaceae*.
- Hu, D. (2022). Discovery and analysis of a new class of triterpenes derived from hexaprenyl pyrophosphate. *Engineering Microbiology*, 2(3), Article 3. <https://doi.org/10.1016/j.engmic.2022.100035>
- Isopreno. (s. f.). Academia Lab. Recuperado 12 de julio de 2023, de <https://academia-lab.com/enciclopedia/isopreno/>
- Jazmín de cabo (jardín gardenia, gardenia jasminoides j.ellis) en la planta. (2023, julio 2). 123RF. https://es.123rf.com/photo_90079421_jazmín-de-cabo-jardín-gardenia-gardenia-jasminoides-jellis-en-la-planta.html
- Jover, A. (2022, febrero 10). *Aceite esencial de ylang ylang: Todas sus propiedades y usos*. Cuerpomente. https://www.cuerpomente.com/salud-natural/terapias-naturales/aceite-esencial-ylang-ylang-propiedades-usos_9566
- Kiyama, R. (2017). Estrogenic terpenes and terpenoids: Pathways, functions and applications. *European Journal of Pharmacology*, 815, 405-415. <https://doi.org/10.1016/j.ejphar.2017.09.049>
- König, W. A., Bülow, N., & Saritas, Y. (1999). Identification of sesquiterpene hydrocarbons by gas phase analytical methods. *Flavour and Fragrance Journal*, 14(6), Article 6. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1099-1026\(199911/12\)14:6<367::AID-FFJ856>3.0.CO;2-4](https://doi.org/10.1002/(SICI)1099-1026(199911/12)14:6<367::AID-FFJ856>3.0.CO;2-4)
- Lacchini, E., Venegas-Molina, J., & Goossens, A. (2023). Structural and functional diversity in plant specialized metabolism signals and products: The case of oxylipins

- and triterpenes. *Current Opinion in Plant Biology*, 74, 102371. <https://doi.org/10.1016/j.pbi.2023.102371>
- Lactuca sativa* (Lettuce). (2023, julio 8). Gardenia.Net. <https://www.gardenia.net/plant/lactuca-sativa>
- Le Bot, M., Thibault, J., Pottier, Q., Boisard, S., & Guilet, D. (2022). An accurate, cost-effective and simple colorimetric method for the quantification of total triterpenoid and steroidal saponins from plant materials. *Food Chemistry*, 383, 132597. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2022.132597>
- Lee, J., Cho, K. S., Jeon, Y., Kim, J. B., Lim, Y., Lee, K., & Lee, I.-S. (2017). Characteristics and distribution of terpenes in South Korean forests. *Journal of Ecology and Environment*, 41(1), 19. <https://doi.org/10.1186/s41610-017-0038-z>
- Li, Y., Hao, N., Ye, S., Hu, Z., Zhao, L., Qi, Y., & Tian, X. (2022). New triterpenoid saponins from Clematis lasiandra and their mode of action against pea aphids Acyrthosiphon pisum. *Industrial Crops and Products*, 187, 115517. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2022.115517>
- Licorice (Glycyrrhiza glabra) – Calm—Pegasus Products*. (2019, octubre 4). <https://www.pegasusproducts.com/shop/flower-essences/licorice-glycyrrhiza-glabra-calm-2/>
- Liu, Y., Chen, X., & Zhang, C. (2022). Sustainable biosynthesis of valuable diterpenes in microbes. 15. <https://doi.org/10.1016/j.engmic.2022.100058>
- Liu, Y., Min, K., Yang, R., Xie, X., Nie, X., Zhou, N., Chen, S., Ma, M., & Chen, B. (2022). Selective adsorption of triterpene acids on cerium oxide nanoparticles. *Journal of Chromatography A*, 1674, 463141. <https://doi.org/10.1016/j.chroma.2022.463141>

- Lopez-Carreras, N., Miguel, M., & Aleixandre, A. (2012). *Propiedades beneficiosas de los terpenos iridoides sobre la salud*. 32(3), 81-91.
- Lucio-Gutiérrez, J. R. (2012). *Aplicación de métodos quimiométricos para la caracterización y control de calidad de plantas medicinales* [Universitat Autònoma de Barcelona].
https://www.tdx.cat/bitstream/handle/10803/96257/jr_lg1de1.pdf?sequence=1
- Luqueño-Bocardo, O. I., Pardo, J. P., Guerra-Sánchez, G., González, J., Matus-Ortega, G., Romero-Aguilar, L., Luqueño-Bocardo, O. I., Pardo, J. P., Guerra-Sánchez, G., González, J., Matus-Ortega, G., & Romero-Aguilar, L. (2021). Los isoprenoides como fuente de biocombustibles. *TIP. Revista especializada en ciencias químico-biológicas*, 24.
<https://doi.org/10.22201/fesz.23958723e.2021.0.291>
- Machado, D. G., Bettio, L. E. B., Cunha, M. P., Capra, J. C., Dalmarco, J. B., Pizzolatti, M. G., & Rodrigues, A. L. S. (2009). Antidepressant-like effect of the extract of *Rosmarinus officinalis* in mice: Involvement of the monoaminergic system. *Progress in Neuro-Psychopharmacology & Biological Psychiatry*, 33(4), 642-650. <https://doi.org/10.1016/j.pnpbp.2009.03.004>
- Manayi, A., Nabavi, S. M., Daglia, M., & Jafari, S. (2016). Natural terpenoids as a promising source for modulation of GABAergic system and treatment of neurological diseases. *Pharmacological Reports: PR*, 68(4), 671-679.
<https://doi.org/10.1016/j.pharep.2016.03.014>
- Marengo, K., & Ware, M. (2019, noviembre 7). *Grapefruit: Benefits, facts, and research*. Medical News Today.
<https://www.medicalnewstoday.com/articles/280882>

- Masyita, A., Mustika Sari, R., Dwi Astuti, A., Yasir, B., Rahma Rumata, N., Emran, T. B., Nainu, F., & Simal-Gandara, J. (2022). Terpenes and terpenoids as main bioactive compounds of essential oils, their roles in human health and potential application as natural food preservatives. *Food Chemistry: X*, 13, 100217. <https://doi.org/10.1016/j.fochx.2022.100217>
- Melgar, B. (2018, mayo 29). *Valeriana: Para qué sirve y propiedades de la planta*. EspanaDiario.tips. <https://espanadiario.tips/consejos/valeriana>
- Mirzamohammad, E., Alirezalu, A., Alirezalu, K., Norozi, A., & Ansari, A. (2021). Improvement of the antioxidant activity, phytochemicals, and cannabinoid compounds of Cannabis sativa by salicylic acid elicitor. *Food Science & Nutrition*, 9(12), 6873-6881. <https://doi.org/10.1002/fsn3.2643>
- Mohammed, A., Tajuddeen, N., Ibrahim, M. A., Isah, M. B., Aliyu, A. B., & Islam, Md. S. (2022). Potential of diterpenes as antidiabetic agents: Evidence from clinical and pre-clinical studies. *Pharmacological Research*, 179, 106158. <https://doi.org/10.1016/j.phrs.2022.106158>
- Mosquera, M. E. G., Jiménez, G., Tabernero, V., Vinueza-Vaca, J., García-Estrada, C., Kosalková, K., Sola-Landa, A., Monje, B., Acosta, C., Alonso, R., & Valera, M. Á. (2021). Terpenes and Terpenoids: Building Blocks to Produce Biopolymers. *Sustainable Chemistry*, 2(3), Article 3. <https://doi.org/10.3390/suschem2030026>
- Narita, H., Furihata, K., Kuga, S., & Yatagai, M. (2007). A sesquiterpene hydrocarbon from the bogwoods of Cryptomeria japonica D. Don, presumably formed by diagenetic hydrogenation. *Phytochemistry*, 68(5), Article 5. <https://doi.org/10.1016/j.phytochem.2006.12.004>

- Nast, C. (2021, febrero 10). *Por qué la menta puede convertirse en tu planta ideal*. Architectural Digest. <https://www.admagazine.com/sustentabilidad/menta-cuidados-y-beneficios-de-tener-una-20210210-8111-articulos>
- Nieto, G., Ros, G., & Castillo, J. (2018). Antioxidant and Antimicrobial Properties of Rosemary (*Rosmarinus officinalis*, L.): A Review. *Medicines*, 5(3), 98. <https://doi.org/10.3390/medicines5030098>
- Nissen, L., Zatta, A., Stefanini, I., Grandi, S., Sgorbati, B., Biavati, B., & Monti, A. (2010). Characterization and antimicrobial activity of essential oils of industrial hemp varieties (*Cannabis sativa* L.). *Fitoterapia*, 81(5), 413-419. <https://doi.org/10.1016/j.fitote.2009.11.010>
- Oliveira, J. R., Ribeiro, G. H. M., Rezende, L. F., & Fraga-Silva, R. A. (2021). Plant Terpenes on Treating Cardiovascular and Metabolic Disease: A Review. *Protein and Peptide Letters*, 28(7), 750-760. <https://doi.org/10.2174/0929866528999210128210145>
- Orav, A., Raal, A., & Arak, E. (2008). Essential oil composition of *Pimpinella anisum* L. fruits from various European countries. *Natural Product Research*, 22(3), 227-232. <https://doi.org/10.1080/14786410701424667>
- Pacheco Jiménez, E. N. (2012). *Determinación del contenido de ácido ascórbico y la presencia de terpenos en un grupo de briófitas, propias de la zona amazónica norte del Ecuador, expuestas a la acción de una dosis de glifosato*. [BachelorThesis, Quito, 2012.]. <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/4677>
- Panax Ginseng: Sistemática, Etimología, Hábitat, Cultivo...* (2023, julio 9).

- <https://antropocene.it/es/2022/10/29/panax-ginseng-es/>
- Pattanaik, B., & Lindberg, P. (2015). Terpenoids and Their Biosynthesis in Cyanobacteria. *Life*, 5(1), Article 1. <https://doi.org/10.3390/life5010269>
- Pérez-Ibáñez, N. M. (2013). *Terpenos*. Farmacognosia y Medicamentos Herbarios, Universidad Central de Venezuela. <https://acortar.link/VZJVHE>
- Quiroga, P. R. (2013). *Evaluación de aceites esenciales y monoterpenos como agentes conservantes de las propiedades químicas y sensoriales de los alimentos*. Universidad Nacional de Córdoba.
- Ramawat, K. G., & Mérillon, J.-M. (Eds.). (2013). *Natural Products: Phytochemistry, Botany and Metabolism of Alkaloids, Phenolics and Terpenes*. Springer Berlin Heidelberg. <https://doi.org/10.1007/978-3-642-22144-6>
- Río, J. del. (2018, abril 20). *Simbolismo de... El olivo*. Biblioteca de Nueva Acrópolis. <https://biblioteca.acropolis.org/simbolismo-olivo/>
- Russo, E. B. (2011). Taming THC: Potential cannabis synergy and phytocannabinoid-terpenoid entourage effects. *British Journal of Pharmacology*, 163(7), 1344-1364. <https://doi.org/10.1111/j.1476-5381.2011.01238.x>
- Saidi, I., Baccari, W., Marchal, A., Waffo-Tégou, P., Harrath, A. H., Mansour, L., & Ben Jannet, H. (2020). Iridoid glycosides from the Tunisian *Citharexylum spinosum* L.: Isolation, structure elucidation, biological evaluation, molecular docking and SAR analysis. *Industrial Crops and Products*, 151, 112440. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2020.112440>

- Salvia: Propiedades, beneficios, para qué sirve y contraindicaciones.* (2023, julio 8). *ecologiaverde.com*.
<https://www.ecologiaverde.com/salvia-propiedades-para-que-sirve-y-contraindicaciones-3864.html>
- Sanches Silva, A., Fazel Nabavi, S., Saeedi, M., & Mohammad Nabavi, S. (Eds.). (2020). *Recent advances in natural products analysis*. El Sevier Inc.
- Seigler, D. S. (1998). *Plant Secondary Metabolism*. Springer.
- Semillas de alcaravea. (2020). *Chilli No. 5 - The Sauce of Life*.
<https://chilli-no5.com/es/superfoods/semillas-de-alcaravea/>
- Serrano-Martínez, J. L. (2009). *Espectroscopía infrarroja 1—Fundamentos*. Universidad Politécnica de Cartagena.
https://www.upct.es/~minaees/espectroscopia_infrarroja.pdf
- Sol, G. (2021). *Desarrollo de métodos de análisis de terpenos y compuestos terpenoides por cromatografía. Comparación crítica de resultados obtenidos mediante CG y HPLC* [Universidad Nacional de La Plata].
http://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/118511/Documento_completo.pdf-PDFA.pdf?sequence=1&isAllowed=y.
- Stange, C. (Ed.). (2016). *Carotenoids in Nature: Biosynthesis, Regulation and Function* (Vol. 79). Springer International Publishing. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-39126-7>
- Sülsen, V. P., & Martino, V. S. (Eds.). (2018). *Sesquiterpene Lactones: Advances in their Chemistry and Biological Aspects*. Springer.
- Sun, G., Liao, J., Kurze, E., Hoffmann, T. D., Steinchen, W., McGraphery, K., Habegger, R., Marek, L., Catichi, D. A. M., Ludwig, C., Jing, T., Hoffmann, T., Song, C., & Schwab,

- W. (2023). Apocarotenoids are allosteric effectors of a dimeric plant glycosyltransferase involved in defense and lignin formation. *New Phytologist*, 238(5), 2080-2098. <https://doi.org/10.1111/nph.18875>
- Tang, H. Q., Hu, J., Yang, L., & Tan, R. X. (2000). Terpenoids and flavonoids from *Artemisia* species. *Planta Medica*, 66(4), 391-393. <https://doi.org/10.1055/s-2000-8538>
- Thabet, A., Ayoub, I., Youssef, F., Al-Sayed, E., Efferth, T., & N. Singab, A. N. (2022). *Phytochemistry, structural diversity, biological activities and pharmacokinetics of iridoids isolated from various genera of the family Scrophulariaceae* Juss. 48. <https://doi.org/10.1016/j.phyplu.2022.100287>
- Todo sobre la Quinua: Junio 2007. (2023, julio 9). <https://laquinua.blogspot.com/2007/06/>
- Vanaclocha, B., & Cañigueral. (s. f.). *Lúpulo*. Recuperado 27 de junio de 2023, de <https://www.fitoterapia.net/vademecum/plantas/lupulo.html>
- Viegas-Júnior, C. (2003). Terpenos com atividade inseticida: Uma alternativa para o controle químico de insetos. *Química Nova*, 26, 390-400. <https://doi.org/10.1590/S0100-40422003000300017>
- Volkov, V. (2022, agosto 10). *Cómo cultivar y mantener una planta de laurel mas usos*. EcoInventos. <https://ecoinventos.com/como-cultivar-planta-de-laurel/>
- Wang, C., Gong, X., Bo, A., Zhang, L., Zhang, M., Zang, E., Zhang, C., & Li, M. (2020). Iridoids: Research Advances in Their Phytochemistry, Biological Activities, and Pharmacokinetics. *Molecules*, 25(2), Article 2. <https://doi.org/10.3390/molecules25020287>

- Wang, X., Liu, C.-H., Li, J.-J., Zhang, B., Ji, L.-L., & Shang, X.-Y. (2018). Iridoid glycosides from the fruits of *Cornus officinalis*. *Journal of Asian Natural Products Research*, 20(10), Article 10. <https://doi.org/10.1080/10286020.2018.1497609>
- Xanthium spinosum* L. | *Plants of the World Online* | *Kew Science*. (2023, julio 2). Plants of the World Online. <http://powo.science.kew.org/taxon/urn:lsid:ipni.org:names:260892-1>
- Xu, Y., Zeng, J., Wang, L., Xu, J., He, X., & Wang, Y. (2023). Anti-inflammatory iridoid glycosides from *Paederia scandens* (Lour.) Merrill. *Phytochemistry*, 212, 113705. <https://doi.org/10.1016/j.phytochem.2023.113705>
- Yao, L., Lu, J., Wang, J., & Gao, W.-Y. (2020). Advances in biosynthesis of triterpenoid saponins in medicinal plants. *Chinese Journal of Natural Medicines*, 18(6), Article 6. [https://doi.org/10.1016/S1875-5364\(20\)30049-2](https://doi.org/10.1016/S1875-5364(20)30049-2)

CAPÍTULO 5

ALCALOIDES

Los alcaloides son compuestos orgánicos nitrogenados, tóxicos que son sintetizados de forma natural por las plantas como mecanismo de defensa ante depredadores herbívoros. El término fue introducido por W. Meisner a inicios del siglo XIX para designar a sustancias que actúan como bases.

Los alcaloides tienen una estructura compleja, en donde el átomo de nitrógeno que poseen forma parte de un sistema heterocíclico, además presentan actividad farmacológica reveladora. De acuerdo con diversos autores, los alcaloides son encontrados únicamente en el reino vegetal en estado de sales y son sintetizados a partir de aminoácidos.

Las características antes mencionadas corresponden a los alcaloides “verdaderos”. Análogamente se distinguen otros dos términos: *protoalcaloides* y *pseudoalcaloides*. Estos últimos gozan de presentar todas las características de un alcaloide “verdadero”, sin embargo, estos no son sintetizados de aminoácidos. En la mayoría de los casos se trata de isoprenoides (alcaloides terpénicos) por ejemplo: alcaloides monoterpénicos, sesquiterpénicos y diterpénicos, aunque también se conocen sustancias nitrogenadas heterocíclicas provenientes del metabolismo del acetato.

Por su parte, los protoalcaloides son aminas de carácter simple cuyo nitrógeno no se encuentra dentro del heterociclo, de igual manera tienen una reacción básica y se sintetizan in vitro a partir de aminoácidos. Los ejemplos correspondientes a esta explicación son las betalaínas, mescalina del peyote o catinona del té (Bruneton, 2017).

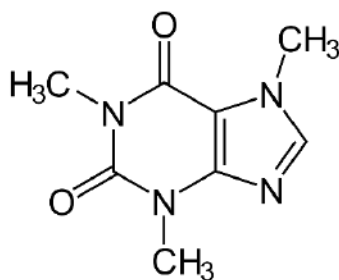


Figura 7: Fórmula de la cafeína, un alcaloide estimulante. La estructura de este alcaloide consiste en dos anillos de 5 átomos unidos que comparten un átomo de nitrógeno.

1. Rutas metabólicas

Son considerados productos finales del metabolismo del nitrógeno. Los alcaloides forman un grupo muy amplio de bases nitrogenadas cuyo origen es vegetal, y su acción fisiológica.

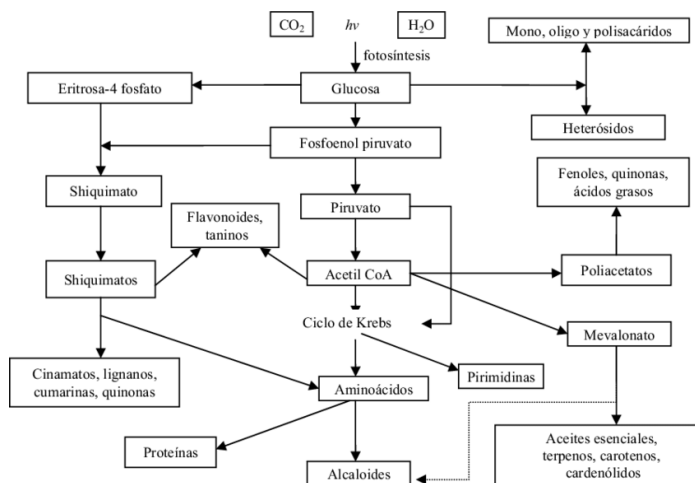


Figura 8: Ruta metabólica general de los alcaloides. (Moreno Rodríguez et al., 2008).

La ruta metabólica de los alcaloides implica una serie de etapas biosintéticas que conducen a la formación de estos compuestos.

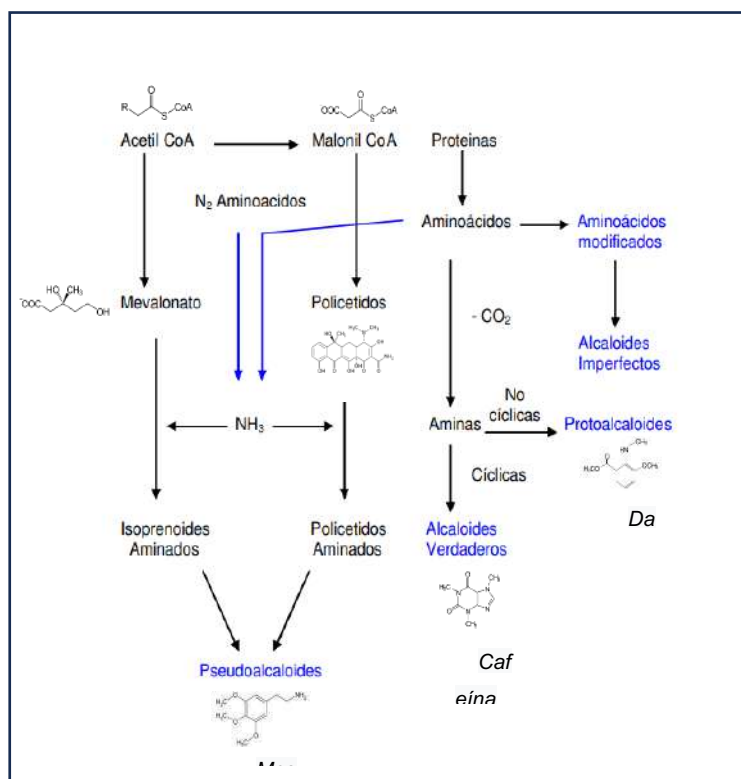
1. Precursor básico: Los alcaloides se derivan de un precursor básico común llamado aminoácido. El aminoácido más comúnmente involucrado es la fenilalanina o la tirosina, pero también se pueden utilizar otros aminoácidos como el triptófano o la lisina, dependiendo del tipo de alcaloide que se esté sintetizando.
2. Transformación del precursor: El aminoácido precursor experimenta una serie de transformaciones químicas para generar un compuesto intermediario. Estas transformaciones pueden incluir desaminación, descarboxilación, hidroxilación, metilación, entre otras reacciones enzimáticas.
3. Formación del esqueleto: El compuesto intermediario se somete a una serie de reacciones enzimáticas y químicas adicionales para formar el esqueleto básico del alcaloide. Estas reacciones pueden incluir ciclización, oxidación, reducción, acoplamiento, entre otras transformaciones.
4. Modificaciones estructurales: Una vez formado el esqueleto básico, se pueden llevar a cabo modificaciones estructurales adicionales para generar la diversidad de alcaloides observada en la naturaleza. Estas modificaciones pueden incluir la adición de grupos funcionales, como grupos metoxi o hidroxilo, la glicosilación, la acilación, la esterificación, entre otros procesos.
5. Almacenamiento y defensa: Los alcaloides a menudo se almacenan en compartimentos celulares específicos, como vacuolas o látex, dentro de las plantas. Se cree que los

alcaloides pueden desempeñar funciones en la defensa de las plantas contra herbívoros, patógenos u otras amenazas.

Es importante tener en cuenta que la ruta metabólica de los alcaloides puede variar según el tipo de alcaloide y la especie de planta en la que se sintetizan. Existen numerosas clases de alcaloides, como los alcaloides de la vinca, los alcaloides del opio, los alcaloides de las solanáceas, los alcaloides del ergot, entre otros, cada uno con su propia ruta metabólica específica.

Ruta metabólica de los tipos de alcaloides

Figura 3: Ruta metabólica de los alcaloides según Richard Hegnauer. (Moreno Rodríguez et al., 2008).



2. Presencia de alcaloides en las plantas y hongos

Los alcaloides se han identificado en torno al 15% de las plantas, también en bacterias, hongos e inclusive animales. Pero, es en el reino vegetal, donde se encuentran en mayor porcentaje en grupos primitivos como *Lycopodium* o *Equisetum*, así como plantas superiores como gimnospermas y angiospermas. Dentro de las angiospermas, algunas familias tienen una mayor cantidad de especies que contienen alcaloides en comparación con otras. Estas familias o taxones, ricos en alcaloides incluyen *Papaveraceae*, *Fabaceae*, *Berberidaceae*, *Boraginaceae*, *Apocynaceae*, *Asteraceae*, *Liliaceae*. Además, se ha observado que varios alimentos y plantas utilizados en la alimentación humana también pueden contener alcaloides (Wink, 2016). Se destacan en el reino vegetal diversas plantas en las cuales en este inciso se indicará a las más importantes.

Reino vegetal

2.1.1. Belladona (*atropa belladonna*)

Belladona



Atropa belladonna

Taxonomía

Reino:	Plantae
Orden:	Solanales
Familia:	Solanaceae
Subfamilia:	Solanoideae
Tribu:	Hyoscyameae
Género:	<i>Atropa</i>
Especie:	<i>A. belladonna</i>

Los alcaloides presentes en la belladonna, que pertenecen a una categoría de medicamentos conocidos como anticolinérgicos y antiespasmódicos, contienen diversas sustancias químicas como la hiosciamina, atropina y escopolamina. En ocasiones, se añade fenobarbital para lograr resultados óptimos en el ámbito medicinal. La belladonna tiene la capacidad de aliviar los síntomas de los calambres estomacales e intestinales al relajar los músculos del estómago y los intestinos. Por su parte, el fenobarbital, un sedante barbitúrico, actúa en el cerebro y ayuda a reducir la ansiedad, produciendo un efecto calmante (Prusakov, 2014). Existen varias presentaciones disponibles de medicamentos que contienen los componentes de la belladonna. Algunos ejemplos de estas formulaciones incluyen Donnatal, los cuales contienen atropina, hiosciamina, fenobarbital y escopolamina. También se encuentra disponible como Hyos, que contiene atropina, hiosciamina y escopolamina, así como Quadrapax, que posee los mismos componentes (Prusakov, 2014).

2.1.2. Estramonio (*datura stramonium*)

Estramonio es una planta herbácea que pertenece a la familia de las solanáceas. Es reconocida por sus atributos

característicos, como sus hojas grandes y dentadas, sus flores blancas o moradas en forma de trompeta y su fruto espinoso que alberga las semillas. Aunque tiene su origen en las regiones cálidas de América del Norte, también se ha adaptado y extendido en muchas zonas del mundo (Bruneton & Fernández-Galiano, 2001). Los extractos de la planta contienen diversos alcaloides, como los alcaloides de tropano (atropina y escopolamina), así como la anfetamina y sus derivados, entre otros compuestos, que se ha observado que favorecen las funciones neuronales. Sin embargo, se ha observado que el extracto de fruta contiene una distribución más amplia de compuestos alcaloides junto con sus bioactividades, lo que sugiere que podría tener un efecto neuromodulador más pronunciado en comparación con el extracto de hoja (Ademiluyi et al., 2016).

Estramonio



<u>Taxonomía</u>	
<u>Reino:</u>	<u>Plantae</u>
<u>División:</u>	<u>Magnoliophyta</u>
<u>Clase:</u>	<u>Magnoliopsida</u>
<u>Subclase:</u>	<u>Asteridae</u>
<u>Orden:</u>	<u>Solanales</u>
<u>Familia:</u>	<u>Solanaceae</u>
<u>Género:</u>	<u>Datura</u>
<u>Especie:</u>	<i>stramonium</i>

2.1.3. Amapola del opio (*Papaver somniferum alkaloids*)

La amapola del opio es un vegetal cultivado específicamente por su valioso látex, conocido como opio, que se obtiene de las cápsulas de las flores inmaduras de la planta. El opio contiene una variedad de alcaloides, que son compuestos químicos con propiedades farmacológicas. Entre los alcaloides más significativos y notables presentes en el opio se encuentran la morfina y la codeína, además de encontrarse para tebaína, papaverina, noscapina (Bruneton & Fernández-Galiano, 2001; Hao et al., 2015)

La morfina se considera uno de los alcaloides más importantes y potentes que se encuentran en el opio. Es un analgésico narcótico muy utilizado para aliviar dolores intensos, especialmente en casos de enfermedades crónicas o después de procedimientos quirúrgicos. Por otro lado, la codeína es otro alcaloide presente en el opio y se usa principalmente como un analgésico de acción más suave. También tiene propiedades antitusivas, lo que significa que ayuda a suprimir la tos. Es fundamental indicar que tanto la amapola del opio como sus

alcaloides se consideran sustancias controladas debido a su potencial de abuso y adicción. Por lo tanto, su producción, distribución y uso están estrictamente regulados en muchos países y generalmente requieren receta médica para su correcto uso.(Bruneton & Fernández-Galiano, 2001; Groothuis & Levy, 2009)

Adormidera



Taxonomía

<u>Reino:</u>	<u>Plantae</u>
<u>Subreino:</u>	<u>Tracheobionta</u>
<u>Filo:</u>	<u>Magnoliophyta</u>
<u>Clase:</u>	<u>Magnoliopsida</u>
<u>Subclase:</u>	<u>Magnoliidae</u>
<u>Orden:</u>	<u>Ranunculales</u>
<u>Familia:</u>	<u>Papaveraceae</u>
<u>Subfamilia:</u>	<u>Papaveroideae</u>
<u>Tribu:</u>	<u>Papavereae</u>
<u>Género:</u>	<u>Papaver</u>
<u>Especie:</u>	<i>Papaver somniferum</i>

2.1.4. Coca (*Erythroxylum coca*)

Es una planta perenne que crece en regiones tropicales y subtropicales de países como Perú, Bolivia y Colombia. La coca es conocida por contener un alcaloide llamado cocaína, el cual tiene propiedades estimulantes y psicoactivas. La cocaína se extrae de las hojas de la planta y se utiliza como una droga ilícita con efectos estimulantes en el sistema nervioso central (Presti, 2012).

La cocaína ejerce su acción bloqueando la recaptación de proteínas transportadoras de neurotransmisores clave, como la dopamina, la noradrenalina y, en menor medida, la serotonina. Esta inhibición de la recaptación resulta en la activación de circuitos cerebrales que aumentan el estado de alerta y la vigilia, así como producen euforia y reducen el apetito. Además, en el sistema nervioso periférico, la cocaína estimula la rama simpática del sistema nervioso autónomo. Esto conlleva un aumento en la frecuencia cardíaca, la presión arterial, la dilatación de las pupilas y el ensanchamiento de las vías respiratorias bronquiales (Presti, 2012)

Erythroxylum



[Taxonomía](#)

[Reino:](#)

[Plantae](#)

<u>División:</u>	<u>Magnoliophyta</u>
<u>Clase:</u>	<u>Magnoliopsida</u>
<u>Orden:</u>	<u>Malpighiales</u>
<u>Familia:</u>	<u>Erythroxylaceae</u>
<u>Género:</u>	<i>Erythroxylum</i>

2.1.5. Kath (*Catha edulis*)

Las hojas de khat se mastican o se preparan en infusiones para obtener sus efectos estimulantes. Los alcaloides más destacados presentes en el khat son la catinona y la catina, que son compuestos químicos similares a la anfetamina y propiedades que tienen estimulantes del sistema nervioso central. El consumo de khat puede producir efectos como euforia, aumento de la energía, mayor capacidad de atención y alerta, disminución del apetito y supresión del sueño. Sin embargo, su uso prolongado y en grandes cantidades puede tener efectos adversos para la salud, como insomnio, ansiedad, irritabilidad, problemas digestivos y adicción (Bruneton & Fernández-Galiano, 2001; Wabe, 2011). Se encuentran muchos compuestos diferentes, incluidos alcaloides, terpenoides, flavonoides, esteroides, glucósidos, taninos, aminoácidos, vitaminas y minerales. 9-11 Las fenilalquilaminas y las catedulinas son los principales alcaloides. Las catedulinas se basan en un esqueleto de sesquiterpeno polihidroxilado y son básicamente poliésteres de euoniminol. Recientemente, se caracterizaron 62 catedulinas diferentes (Wabe, 2011).

Qat



Catha edulis

Taxonomía

<u>Reino:</u>	<u>Plantae</u>
<u>División:</u>	<u>Magnoliophyta</u>
<u>Clase:</u>	<u>Magnoliopsida</u>
<u>Orden:</u>	<u>Celastrales</u>
<u>Familia:</u>	<u>Celastraceae</u>
<u>Género:</u>	<u>Catha</u>
<u>Especie:</u>	<i>C. edulis</i>

2.1.6. Tabaco (*Nicotiana tabacum*)

El tabaco se ha cultivado durante siglos por sus propiedades estimulantes y sus hojas se utilizan para elaborar productos de tabaco, como cigarrillos, puros, tabaco de pipa y tabaco para masticar. Las hojas de la planta de tabaco contienen altas concentraciones de nicotina, un alcaloide que actúa como un estimulante del sistema nervioso central y es responsable de la adicción asociada con el consumo de tabaco. Además de la nicotina, el tabaco también contiene otros alcaloides en menor cantidad, como la anabasina y la nornicotina. Estos alcaloides contribuyen a los efectos estimulantes y adictivos del tabaco, así como a los riesgos para la salud asociados con su consumo, como la dependencia, enfermedades cardiovasculares y cáncer (Sun et al., 2018).

Tabaco



Taxonomía

<u>Reino:</u>	<u>Plantae</u>
<u>División:</u>	<u>Magnoliophyta</u>
<u>Clase:</u>	<u>Magnoliopsida</u>
<u>Orden:</u>	Solanales
<u>Familia:</u>	<u>Solanaceae</u>
<u>Subfamilia:</u>	Nicotianoideae
<u>Tribu:</u>	<u>Nicotianeae</u>
<u>Género:</u>	<i>Nicotiana</i>
<u>Especie:</u>	<i>Nicotiana tabacum</i>

2.1.7. Café (*Coffea Arabica*)

Las especies más comunes de café cultivadas para la producción son el café arábigo y café robusto. La planta de café se caracteriza por tener hojas opuestas y brillantes, así como flores blancas y fragantes. Estas flores dan lugar a pequeños frutos redondos o elipsoides, conocidos como "cerezas de café". Cada cereza de café generalmente contiene dos semillas, que son los granos de café que se utilizan para producir la bebida. El cultivo del café se lleva a cabo en regiones tropicales y subtropicales, en áreas que brindan las condiciones ideales de

temperatura, altitud, humedad y suelo para el crecimiento óptimo de la planta. El café contiene una variedad de alcaloides, siendo la cafeína el alcaloide más prominente y abundante. La cafeína actúa como un estimulante del sistema nervioso central al bloquear los receptores de adenosina en el cerebro, lo que genera un estado de alerta y estimulación (Bruneton & Fernández-Galiano, 2001; Groothuis & Levy, 2009). La cafeína es responsable de los efectos energizantes y estimulantes que se experimentan al beber café. Además de la cafeína, el café también contiene otros alcaloides en cantidades menores, como la trigonelina y la dimetilxantina. La trigonelina se transforma en nicotinamida durante el proceso de tostado de los granos de café (Groothuis & Levy, 2009).

Cafeto arábigo



Taxonomía

<u>Reino:</u>	<u>Plantae</u>
<u>División:</u>	<u>Magnoliophyta</u>
<u>Clase:</u>	<u>Magnoliopsida</u>
<u>Orden:</u>	<u>Gentianales</u>

<u>Familia:</u>	<u>Rubiaceae</u>
<u>Subfamilia:</u>	<u>Ixoroideae</u>
<u>Tribu:</u>	<u>Coffeae</u>
<u>Género:</u>	<u>Coffea</u>
<u>Especie:</u>	<i>C. arabica</i>

2.2. Reino fungi

2.2.1. Hongo de mosca (*Amanita muscaria*)

Este hongo es reconocido por su apariencia característica, que incluye un sombrero de color rojo brillante con manchas blancas y un tallo blanco y robusto. La *Amanita muscaria* contiene varios compuestos químicos, incluidos alcaloides como el muscimol y la iboténica, que le confieren propiedades psicoactivas y sedantes. Estos compuestos actúan sobre el sistema nervioso central, produciendo efectos que varían desde la euforia y la distorsión perceptiva hasta la relajación muscular y la somnolencia (Hao et al., 2015).

Hongo de mosca



Taxonomía

Dominio	Eucariota
Reino	Fungi
Clase	Agaricomycetes
Orden	Agaricales

Familia	Amanitaceae
Genero	<i>Amanita</i>
Especie	A. muscaria

2.2.2. Hongo mágico o psilocibios (*Psilocybe cubensis*)

Los compuestos psicoactivos presentes en *Psilocybe cubensis* son la psilocibina y la psilocina, los cuales son responsables de los efectos alucinógenos y psicodélicos asociados con su consumo. Cuando se ingiere, la psilocibina es convertida en psilocina por el organismo y ejerce su acción sobre los receptores de serotonina en el cerebro, revela cambios en la percepción, el estado de ánimo y la cognición. Los efectos característicos de *Psilocybe cubensis* incluyen alteraciones en la percepción visual, aumento de la creatividad, expansión de la conciencia, sensación de euforia, modificaciones en el pensamiento y en las emociones, así como una mayor conexión espiritual o introspectiva (Vega-Villasante et al., 2013).

Hongo mágico



Taxonomía

Dominio

Eucariota

Reino	Fungi
Clase	Agaricomycetes
Orden	Agaricales
Familia	Hymenogastraceae
Genero	<i>Psilocybe</i>
Especie	<i>P. cubensis</i>

3. Propiedades FISICOQUÍMICAS

Los alcaloides son un grupo diverso de compuestos químicos que se encuentran en muchas plantas y hongos, y que a menudo tienen efectos farmacológicos o psicoactivos (Atanasov et al., 2015). De manera general, los alcaloides puros son en su mayor parte sólidos cristalinos; otros son gomas o sólidos amorfos. Algunos son sólo ligeramente solubles en agua, pero todos se disuelven cuando se les neutraliza con ácido. Se encuentran en las plantas en parte como N-óxidos, los cuales son solubles en agua. Los alcaloides son bastante estables, pero están sujetos a hidrólisis en solución alcalina y a descomposición enzimática. Esto último ocurre en algunas especies de plantas cuando se marchitan y se secan. Se desconoce la estabilidad de los alcaloides cuando se cocinan las plantas (Costa Sena et al., 2019).

Algunas de las propiedades químicas que se pueden mencionar son:

- Químicamente los alcaloides tienen todo un carácter común, que es el poseer un nitrógeno básico, ya sea cíclico o no.

- La posesión del nitrógeno básico común confiere a los alcaloides un sabor amargo pronunciado (carácter organoléptico común).
- Como carácter físico común señalaremos que las bases de los alcaloides son liposolubles, siendo escasa su solubilidad en el agua.
- Por poseer el nitrógeno básico tienen los alcaloides una porción de reacciones generales cuyo fundamento no es siempre el mismo.
- Los alcaloides suelen tener puntos de fusión relativamente altos, lo que significa que son sólidos a temperatura ambiente.
- La toxicidad, finalmente, no puede considerarse característica de todos los alcaloides, pues si bien la mayoría, a dosis de unos miligramos, son mortales; otros, como la quinina, hordenina, teobromina, etc., a dosis mucho mayores, no tienen peligro alguno.
- Pueden contener otras sustancias como flavonoides, azúcares, saponinas, esteroides, fenoles y taninos.
- Son solubles en solventes orgánicos como el cloroformo, el éter o el alcohol.
- Muchos son alcalinos, lo que significa que tienen un pH básico.
- Pueden reaccionar con ácidos para formar sales más solubles en agua.
- Muchos son terpenoides modificados, lo que significa que están hechos de isoprenoides.
- Pueden tener actividad analgésica (para el dolor), anestésica, antidepresiva, alucinógena, entre otras.
- Algunos alcaloides están relacionados con la actividad insecticida o fungicida en plantas.

4. Clasificación

Los tipos de alcaloides están clasificados de diferentes maneras entre ellas se encuentran:

- Alcaloides derivados de aminoácidos, tales como ornitina/arginina, lisina, histidina, fenilalanina/ tirosina.
- Clasificación de Hegnauer (1960) que divide los alcaloides en tres tipos: alcaloides verdaderos, pseudoalcaloides y protoalcaloides.
- Según la estructura química, se pueden clasificar en diferentes grupos, como alcaloides indólicos, alcaloides isoquinolínicos, alcaloides de esteroide, alcaloides quinazolínicos, entre otros.
- Según su origen, se pueden clasificar en alcaloides derivados de plantas, alcaloides sintéticos y alcaloides de origen animal.

La clasificación de los alcaloides más utilizada es la clasificación de Hegnauer, la cual fue desarrollada por el botánico suizo Richard Hegnauer, se utiliza en la química y en la taxonomía de plantas para clasificar los metabolitos secundarios de las plantas, incluyendo los alcaloides (Gonzalez Chavarro et al., 2020). Según esta clasificación, los alcaloides se dividen en cuatro tipos:

4.1. Alcaloides verdaderos:

Los Alcaloides Verdaderos son una clase de compuestos químicos que se producen naturalmente en plantas, animales y algunos microorganismos. Algunos de estos alcaloides son conocidos por sus efectos farmacológicos en humanos y animales, como la morfina, la cafeína y la nicotina. La mayoría de los Alcaloides Verdaderos tienen en su composición

nitrógeno en forma de anillo heterocíclico aromático, lo que les otorga su actividad biológica característica. A menudo se utilizan en la medicina tradicional y moderna debido a sus propiedades terapéuticas y han sido objeto de investigación para conocer más sobre sus propiedades químicas y biológicas.

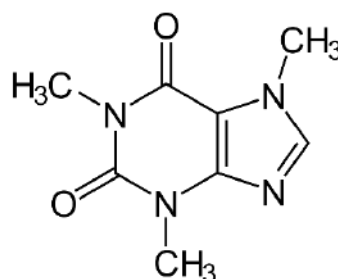


Figura 2: Fórmula de la cafeína.

4.2. Protoalcaloides:

Los Protoalcaloides son compuestos químicos que se encuentran en diferentes tipos de plantas y que actúan como precursores biosintéticos de los alcaloides verdaderos. Los Protoalcaloides no tienen una estructura heterocíclica aromática, pero tienen grupos funcionales que pueden convertirse en los sistemas heterocíclicos característicos de los alcaloides verdaderos. Debido a esta propiedad, los Protoalcaloides son importantes moléculas de interés en la investigación de las vías biosintéticas de los alcaloides y sus derivados. Además, algunos Protoalcaloides tienen actividad biológica y pueden tener beneficios potenciales en la medicina moderna.

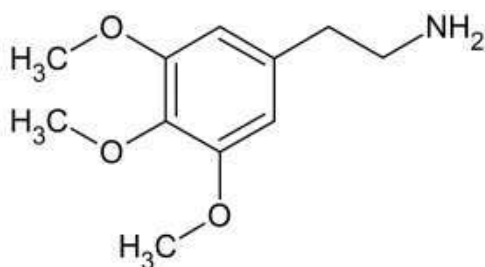


Figura 3: Fórmula de la mescalina

4.3. Pseudoalcaloides:

Los Pseudoalcaloides son una clase de compuestos que se encuentran en diversas plantas y que, a pesar de no tener una estructura heterocíclica característica de los alcaloides verdaderos, pueden confundirse con ellos debido a su actividad biológica. Estos compuestos no tienen nitrógeno en forma de anillo heterocíclico, sino que se originan a partir de aminoácidos y otros metabolitos celulares. Aunque los Pseudoalcaloides no son considerados alcaloides verdaderos, algunos tienen propiedades farmacológicas importantes y han sido objeto de investigación en áreas como la farmacología y la fitoquímica.

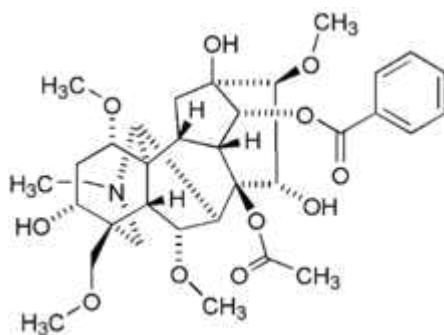


Figura 4: Fórmula de la aconitina.

4.4. Alcaloides Imperfectos:

Los Alcaloides Imperfectos son compuestos químicos derivados de las bases púricas, que no precipitan con los reactivos habituales de precipitación de alcaloides. Aunque no presentan la estructura química típica de los alcaloides verdaderos, los alcaloides imperfectos tienen propiedades farmacológicas y algunos de ellos se han encontrado en plantas con propiedades medicinales.

Esta clasificación se basa en la estructura química de los compuestos y tiene en cuenta su origen biosintético y su actividad biológica. Es útil en la identificación de alcaloides y en la comprensión de sus propiedades y usos potenciales.

5. ENFOQUES PARA SELECCIONAR EL MATERIAL DE PARTIDA PARA EL ESTUDIO DE ALCALOIDES

En el estudio de los alcaloides existen distintos enfoques para seleccionar el material de partida para la investigación, estos enfoques nos ayudan a escoger de una mejor manera la planta a estudiar ya que es altamente selectivo según las necesidades de estudio.

En el enfoque de selección aleatoria, los extractos de plantas, las fracciones enriquecidas o los compuestos aislados se seleccionan al azar en función de su disponibilidad. En el contexto del descubrimiento de fármacos a base de plantas, este enfoque podría ser muy ventajoso cuando se aplica con muestras que se originan en regiones de alta biodiversidad y endemismo, ya que la diversidad química de los productos

naturales puede reflejar la biodiversidad de sus organismos de origen(Barbosa, 2012).

El enfoque clásico basado en el conocimiento es el enfoque etnofarmacológico, donde el uso medicinal tradicional de las plantas constituye la base para la selección del material de prueba y el ensayo farmacológico. La etnofarmacología implica la observación, descripción e investigación experimental de fármacos utilizados tradicionalmente y sus bioactividades (Martinez et al., 2008). Representa un concepto transdisciplinario basado en la botánica, la química, la bioquímica y la farmacología, que involucra muchas disciplinas más allá de las ciencias naturales, como la antropología, la arqueología, la historia y la lingüística (Henrich & Beutler, 2013).

Junto al enfoque etnofarmacológico, otra posibilidad para la selección de material vegetal para las pruebas farmacológicas es el enfoque quimiosistemático o filogenético, que utiliza el conocimiento quimiotaxonómico y los datos filogenéticos moleculares para seleccionar especies de plantas de géneros o familias conocidas por producir compuestos o clases de compuestos. asociado con una determinada bioactividad o potencial terapéutico de una manera más específica (Barbosa, 2012). Los estudios filogenéticos y fitoquímicos combinados han demostrado que existe una fuerte señal filogenética en la distribución de metabolitos secundarios en el reino vegetal que puede explotarse en la búsqueda de nuevos productos naturales (Barbosa, 2012).

En particular, la exploración de patrones etnomédicos transculturales dentro de un marco filogenético se considera una herramienta muy poderosa para la identificación de grupos de plantas muy prometedores, cuando se encuentran

especies de plantas filogenéticamente relacionadas de regiones muy distantes que se utilizan para afecciones médicas en las mismas áreas terapéuticas(Moreno Rodríguez et al., 2008).

El enfoque ecológico para seleccionar material vegetal se basa en la observación de las interacciones entre los organismos y su entorno que podrían conducir a la producción de compuestos naturales bioactivos. La hipótesis que subyace a este enfoque es que los metabolitos secundarios, por ejemplo, en especies de plantas, poseen funciones ecológicas que también pueden tener potencial terapéutico para los seres humanos. Por ejemplo, los metabolitos involucrados en la defensa de las plantas contra los patógenos microbianos pueden ser útiles como antimicrobianos en humanos, o los productos secundarios que defienden a una planta contra los herbívoros a través de la actividad neurotóxica podrían tener efectos beneficiosos en los humanos debido a una supuesta actividad en el sistema nervioso central(Barbosa, 2012) .

Por otro lado, los métodos computacionales son otro enfoque muy poderoso basado en el conocimiento que ayuda a seleccionar material vegetal o productos naturales con una alta probabilidad de actividad biológica. Estos métodos también pueden ayudar con la racionalización de la actividad biológica de los productos naturales. Las simulaciones in silico se pueden utilizar para proponer características de unión de alcaloides estructuras moleculares, por ejemplo, constituyentes conocidos de un material vegetal. Los compuestos que funcionan bien en las predicciones in silico se pueden utilizar como materiales de partida prometedores para el trabajo experimental.

6. METODOS DE EXTRACCIÓN

Para lograr una concentración adecuada de los principios activos contenidos en las plantas y que su acción sea más efectiva es necesario realizar diversos procedimientos mediante los cuales sean extraídos aquellos con solventes adecuados que se seleccionan de acuerdo con la solubilidad y la estabilidad que posean las sustancias beneficiosas.

Estas preparaciones son conocidas como: decocciones, infusiones, extractos fluidos, densos o secos (según su contenido de líquidos) y las tinturas. A partir de estos procedimientos se han perfeccionado técnicas extractivas que permiten obtener las sustancias activas en forma pura para la elaboración más sofisticada de medicamentos en forma de tabletas, líquidos, ungüentos, cápsulas, etc, pero que no han logrado desplazar las preparaciones originales las cuales han tomado mayor auge en la actualidad, por su inocuidad y menores reacciones no deseadas. Además, existen varios métodos de extracción utilizados para obtener alcaloides de plantas y otros organismos:

- **Extracción con disolventes orgánicos:** Este es el método de extracción más utilizado. Consiste en macerar o agitar la muestra vegetal en un disolvente orgánico, como el etanol, el metanol, el cloroformo o la acetona. Los alcaloides se disuelven en el disolvente, mientras que los componentes no deseados quedan atrás. Luego, la solución se filtra y se concentra, generalmente mediante evaporación del disolvente, para obtener los alcaloides en forma de extracto.
- **Extracción por destilación:** Algunos alcaloides pueden ser volátiles y se pueden extraer mediante destilación. En este método, la muestra vegetal se calienta en un aparato

de destilación y los vapores de los alcaloides se recogen y condensan. El condensado se recoge y se procesa posteriormente para obtener los alcaloides puros.

- **Extracción con fluidos supercríticos:** Los fluidos supercríticos, como el dióxido de carbono (CO₂) en estado supercrítico, se utilizan como disolventes para la extracción de alcaloides. El CO₂ supercrítico tiene propiedades similares a los líquidos y a los gases, lo que lo convierte en un disolvente eficiente y selectivo. Se aplica presión y temperatura controladas para extraer los alcaloides, y luego se liberan las presiones para obtener el extracto.

- **Extracción mediante Soxhlet:** El aparato de Soxhlet es un dispositivo de extracción continuo que se utiliza para extraer alcaloides de muestras sólidas. La muestra vegetal se coloca en un cartucho de extracción que se coloca en el aparato de Soxhlet. Un disolvente orgánico se bombea continuamente a través del cartucho, se calienta y se evapora, y luego se condensa y se filtra a través de la muestra. Este proceso se repite varias veces para lograr una extracción completa de los alcaloides.

- **Extracción asistida por ultrasonidos:** En este método, se utiliza energía ultrasónica para mejorar la extracción de alcaloides. La muestra vegetal se coloca en un disolvente y se somete a ultrasonidos, lo que ayuda a romper las células y facilita la liberación de los alcaloides. Esto acelera el proceso de extracción y aumenta el rendimiento.

Es importante tener en cuenta que la elección del método de extracción depende de varios factores, como la naturaleza de los alcaloides, la matriz de la muestra, la disponibilidad de equipos y los objetivos de la extracción. Además, se deben

considerar las normativas y regulaciones aplicables para garantizar una extracción segura y responsable.

Por otro lado, a nivel de laboratorio se realiza por lo general la extracción de alcaloides en medio ácido o básico.

Extracción de alcaloides en medio ácido

La extracción de alcaloides en medio ácido se utiliza en casos específicos en los que los alcaloides presentan mayor solubilidad o estabilidad en un ambiente ácido.

Método:

1. Preparación de la muestra: Tritura la muestra vegetal o el material biológico que contiene los alcaloides para aumentar la superficie de contacto.
2. Pretratamiento ácido: Añade la muestra a un recipiente y cubre la muestra con un ácido fuerte, como el ácido clorhídrico (HCl) o el ácido sulfúrico (H₂SO₄). La concentración y la proporción ácido-muestra pueden variar según el tipo de alcaloide y la naturaleza de la muestra. Agitar suavemente la mezcla para asegurar una buena interacción.
3. Extracción líquido-líquido: Añade un disolvente orgánico no polar, como el cloroformo, el diclorometano o el éter de petróleo, a la mezcla ácido-muestra. Agita vigorosamente para asegurar una extracción eficiente de los alcaloides. Los alcaloides se disolverán preferentemente en la fase orgánica, mientras que otros componentes no deseados quedarán en la fase acuosa.
4. Separación de fases: Permite que la mezcla se separe en dos fases distintas: una fase acuosa y una fase orgánica. Esto se logra dejando reposar la mezcla en un embudo de separación o en un recipiente apropiado para la

separación de líquidos inmiscibles. La fase orgánica que contiene los alcaloides se recoge y se separa de la fase acuosa.

5. Recuperación de los alcaloides: La fase orgánica que contiene los alcaloides se seca usando una sustancia deshidratante, como el sulfato de sodio anhidro. Luego, el disolvente se elimina por evaporación, utilizando un evaporador rotatorio u otro método adecuado, dejando los alcaloides en forma de residuo sólido o en un extracto concentrado.

Extracción de alcaloides en medio básico

La extracción de alcaloides en medio básico se utiliza en casos en los que los alcaloides son más solubles o estables en un ambiente alcalino.

Método:

1. Preparación de la muestra: Tritura la muestra vegetal o el material biológico que contiene los alcaloides para aumentar la superficie de contacto.
2. Pretratamiento básico: Añade la muestra a un recipiente y cubre la muestra con una solución básica fuerte, como hidróxido de sodio (NaOH) o hidróxido de potasio (KOH). La concentración y la proporción base-muestra pueden variar según el tipo de alcaloide y la naturaleza de la muestra. Agita suavemente la mezcla para asegurar una buena interacción.
3. Extracción líquido-líquido: Añade un disolvente orgánico polar, como el cloroformo o el diclorometano, a la mezcla básica-muestra. Agita vigorosamente para permitir la extracción de los alcaloides. Los alcaloides se disolverán

preferentemente en la fase orgánica, mientras que otros componentes no deseados quedarán en la fase acuosa.

4. Separación de fases: Permite que la mezcla se separe en dos fases distintas: una fase acuosa y una fase orgánica. Esto se logra dejando reposar la mezcla en un embudo de separación o en un recipiente adecuado para la separación de líquidos inmiscibles. La fase orgánica que contiene los alcaloides se recoge y se separa de la fase acuosa.

5. Recuperación de los alcaloides: La fase orgánica que contiene los alcaloides se seca utilizando una sustancia deshidratante, como el sulfato de sodio anhidro. Luego, el disolvente se elimina por evaporación, utilizando un evaporador rotatorio u otro método apropiado, lo que dejará los alcaloides en forma de residuo sólido o en un extracto concentrado.

Estos métodos pueden requerir ajustes según las características específicas de los alcaloides y la muestra. Además, es importante considerar las precauciones de seguridad adecuadas al trabajar con bases fuertes, ya que pueden ser corrosivas y tóxicas.

7. Actividad biológica y farmacológica

Los alcaloides ejercen sus efectos biológicos a través de una variedad de mecanismos de acción. Algunos actúan como agonistas o antagonistas de receptores específicos en el cuerpo, lo que modula la señalización celular y produce respuestas farmacológicas (Alkaloids, 2006). Otros alcaloides pueden inhibir enzimas clave o interferir con procesos metabólicos vitales en las células. Por ejemplo, la vincristina, un alcaloide de la vinca, inhibe la división celular al unirse a los

microtúbulos, lo que la convierte en un agente efectivo en el tratamiento del cáncer.

Varios alcaloides presentes en plantas han mostrado actividad analgésica significativa. Por ejemplo, la morfina, obtenida principalmente de la adormidera (*Papaver somniferum*), es un alcaloide conocido por su potente efecto analgésico. Otros alcaloides con propiedades analgésicas incluyen la codeína y la tebaina. Estos compuestos actúan principalmente como agonistas de los receptores opioides en el sistema nervioso central, reduciendo la percepción del dolor (Alkaloids, 2006).

Algunos alcaloides de origen vegetal han demostrado propiedades antiinflamatorias. La curcumina, un alcaloide presente en la cúrcuma (*Curcuma longa*), ha sido objeto de intensa investigación debido a sus efectos antiinflamatorios y antioxidantes. Otros alcaloides con actividad antiinflamatoria incluyen la berberina, presente en diversas plantas como el agracejo (*Berberis vulgaris*), y la colchicina, obtenida del azafrán de otoño (*Colchicum autumnale*) (Shen et al., n.d.).

Los alcaloides de origen vegetal también han mostrado propiedades antineoplásicas, es decir, capacidad para combatir el crecimiento y la proliferación de células cancerosas. La vinblastina y la vincristina, alcaloides extraídos de la vinca (*Catharanthus roseus*), son utilizados en el tratamiento de diversos tipos de cáncer. Otro ejemplo es la taxol, un alcaloide aislado del tejo del Pacífico (*Taxus brevifolia*), que se ha utilizado ampliamente en el tratamiento del cáncer de mama y otros tipos de cáncer.

Numerosos alcaloides presentes en plantas han demostrado actividad antimicrobiana contra bacterias, hongos y parásitos. La berberina, por ejemplo, ha mostrado efectos

antimicrobianos contra una amplia gama de patógenos, incluyendo bacterias resistentes a los antibióticos. Otros alcaloides con propiedades antimicrobianas incluyen la sanguinarina, obtenida de la sangre de dragón (*Sanguinaria canadensis*), y la berenil, aislada de la planta africana *Veronia colorata* (Ain et al., 2016).

Muchos alcaloides son tóxicos para los animales y pueden ser letales si se ingieren en cantidades suficientemente altas, algunos ejemplos de alcaloides tóxicos son la estricnina y la conina, debido a esto otros tantos como la nicotina y la anabasina son alcaloides presentes en el tabaco y se utilizan como insecticidas para controlar plagas de insectos (Adamski et al., 2020). Así mismo, alcaloides como la cafeína, la morfina y la cocaína, tienen efectos sobre el sistema nervioso central, lo que puede alterar la función cerebral y el estado de ánimo.

Actividad biológica de los alcaloides de protoberberina

Los alcaloides de protoberberina son un grupo de alcaloides que pertenecen a la clase de los alcaloides isoquinolínicos y están relacionados estructuralmente con la protoberberina, la cual es una base alcaloide presente en ciertas plantas; dentro de algunos ejemplos podemos citar alcaloides tales como la berberina, la palmatina, la jatrorrizina y la coptisina, entre otros.

Este tipo de alcaloides se encuentran principalmente en la familia de las Berberidáceas, como el género *Berberis*, así como en otras plantas medicinales como *Coptis chinensis* y *Hydrastis canadensis* (Kerr, 1993). Las investigaciones farmacológicas que se han realizado con los alcaloides de la protoberberina han mostrado, que estos tienen efecto sobre sistemas vivos como bacterias y hongos, a medida que avanzan

los años, un número creciente y relevante de actividades biológicas muy importantes.

6.1.1. *Contra agentes patógenos*

A esta clase de alcaloides se les ha atribuido varias actividades diferentes contra agentes patógenos. Se utilizan como agentes antisépticos, antiparasitarios, antitripanosómicos, insecticidas, molusquicidas, antifúngicos y antileishmaniasis, entre muchas otras actividades.

6.1.2. *En sistemas orgánicos específicos*

Aquellos alcaloides de protoberberina, a nivel del sistema nervioso central (SNC) presentan actividad analgésica, antiamnésica, antineurotóxica, narcótica y bloqueadora de receptores de mediadores químicos como GABAérgico, ya han sido descrito, así mismo se ha encontrado que estos alcaloides generan la inhibición de varias enzimas involucradas en procesos fisiológicos (Brahmachari, 2011). Además, actúan sobre el sistema nervioso autónomo (SNA), pues intervienen en el sistema cardiovascular: antiarrítmico, antiesquémico, antihemorrágico, antifibrilatorio, vasorelajante y actividades hipotensoras, son algunos de los efectos que han sido estudiados. Cabe mencionar que generan efectos metabólicos ya que se comportan como hipoglucemiantes, antihipercolesterolémico, inhibición de la reabsorción ósea, inhibición de la formación de osteoclastos, inhibición de la lipasa y la lipogénesis.

Algunas enzimas como el alcohol deshidrogenasa, aldehído reductasa, acetiltransferasa, acetil y butirilcolinesterasa, y las lipoxigenasas se inhiben significativamente en presencia de algunos alcaloides derivados de la protoberberina (Cordell, 2015) (Belder et al., n.d.). Así mismo son capaces de bloquear los canales iónicos, especialmente los canales de calcio y

potasio, los cuales se hallan distribuidos en torno a algunas células, por otra parte, se ha informado actividades agonistas y antagonistas que regulan los sistemas adrenérgicos, colinérgico, dopaminérgico y serotoninérgico.

6.1. Actividad de la manzamina A

En particular el clorhidrato de manzamina A muestra una concentración inhibitoria media máxima (IC₅₀) de 0,07 µg/mL, esta medida es capaz de inhibir el crecimiento de células de leucemia en ratones de ensayo, así mismo este alcaloide muestra una actividad antimicrobiana contra *Staphylococcus aureus* con una concentración inhibitoria mínima (MIC) de 6,3 µg/mL. Los ensayos muestran que la manzamina A puede provocar una inhibición del crecimiento del 80 % de las larvas del insecto *Spodoptera littoralis* a concentraciones de 132 ppm. Además, la manzamina A exhibe actividad insecticida hacia las larvas recién nacidas del insecto plaga *Spodoptera littoralis*, en cuanto a su comportamiento antibacteriano la Manzamine A es activo contra las bacterias Grampositivas *Bacillus subtilis* y *Staphylococcus aureus*.

Entre las actividades más prometedoras de la manzamina A está el hecho de que inhibe el crecimiento in vivo del parásito de la malaria en roedores *Plasmodium berghei*, inhibe del 98-99 % de *Mycobacterium tuberculosis* (Fa et al., 2009).

6.2. Alcaloides de la piridina sesquiterpénica

La familia Calastraceae contiene varias especies que se han utilizado como insecticidas naturales durante mucho tiempo en la agricultura tradicional, en particular los ésteres sesquiterpénicos de dihidroagarofurano y los alcaloides son los principales compuestos que tienen actividades insecticidas y antialimentarias para insectos; los alcaloides de piridina sesquiterpénicos wilforina y wilfordina presentes en las raíces

de *T. wilfordii*. Estos alcaloides exhiben una potente actividad larvica contra el maíz europeo *Pyrausta nubilalis* en concentraciones de 60 ppm, inclusive inducen la muerte en todos los casos tras tres días de haber sido administrados (Soepenberget al., 2003). La wilforina demostró ser eficaz en el control de larvas de la polilla de la espalda de diamante, así mismo ha demostrado una actividad antialimentaria eficaz contra el saltamontes *Locusta migratoria* y la oruga *Pieris rapae*.

Algunos alcaloides de piridina sesquiterpénicos, aislados de *T. hypoglauca* y un extracto de uso clínico de *T. wilfordii*, han mostrado actividad anti-VIH, los mejores resultados para la inhibición de la replicación del virus del VIH lo muestran alcaloides como la triptonina B, hipoglaunina B, hiponina B y wilfortrina (Soepenberget al., 2003).

8. Biosíntesis

La biosíntesis de alcaloides es el proceso mediante el cual los organismos vivos, como plantas, hongos y algunos organismos marinos, producen y sintetizan alcaloides, que son compuestos químicos naturales con propiedades farmacológicas y biológicas diversas.

La biosíntesis de alcaloides implica una serie de etapas y reacciones químicas que transforman metabolitos básicos en estructuras complejas de alcaloides (Subramanaya, 2007). Aunque los detalles específicos pueden variar según el compuesto y el organismo en cuestión, existen algunas etapas generales que se encuentran en muchas vías biosintéticas de alcaloides.

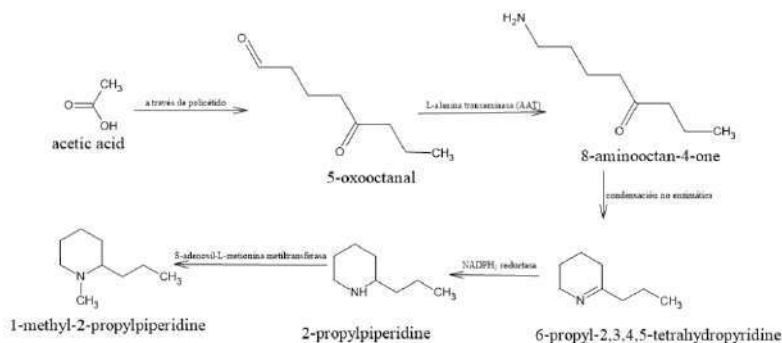
Se ha descubierto que la mayoría de los alcaloides se derivan de aminoácidos, como la tirosina, en ocasiones la fenilalanina y el ácido antranílico, el triptófano, la arginina, la lisina, la histidina y el ácido nicotínico. Sin embargo, pueden derivarse de las purinas, los terpenoides y de policetidos derivados de acetato. En cuanto a la acción de las enzimas han sido estudiadas pocas rutas, dentro de las cuales claramente las enzimas requeridas son altamente específicas para un paso biosintético determinado.

7.1. Biosíntesis de alcaloides de piperidina simples derivados de acetato

Las piperidinas simples se encuentran en plantas, animales y microorganismos. En plantas, en especies de *Conium* (coniina), *Pinus jeffre* (pinidina), *Cassia sp.* (casina), *Prosopis sp.* (spectalina) y los alcaloides diméricos de *Azima tetracantha* y *Carica papaya* (azimina, azacarpaína y carpaína) son algunos de los ejemplos. También se ha encontrado coniina en la planta de jarra, *Sarracenia*, y en varias especies de Aloe. En los artrópodos, las piperidinas simples pueden usarse como parte de los sistemas de comunicación y defensa química; por ejemplo, en *Aphaenogaster* (hormigas), la anabaseína se ha identificado como un atrayente, y en la hormiga de fuego venenosa, *Solenopsis saevissima*, parece que se usan piperidinas simples como parte de un sistema de defensa (Alkaloids, 2006). Mientras que en las plantas los alcaloides de piperidina pueden formarse a partir de acetato o lisina según la especie vegetal, por su parte en los microorganismos todos estos alcaloides parecen ser derivados del acetato. Este es también el caso de los antibióticos del tipo cicloheximida en *Streptomyces noursei*.

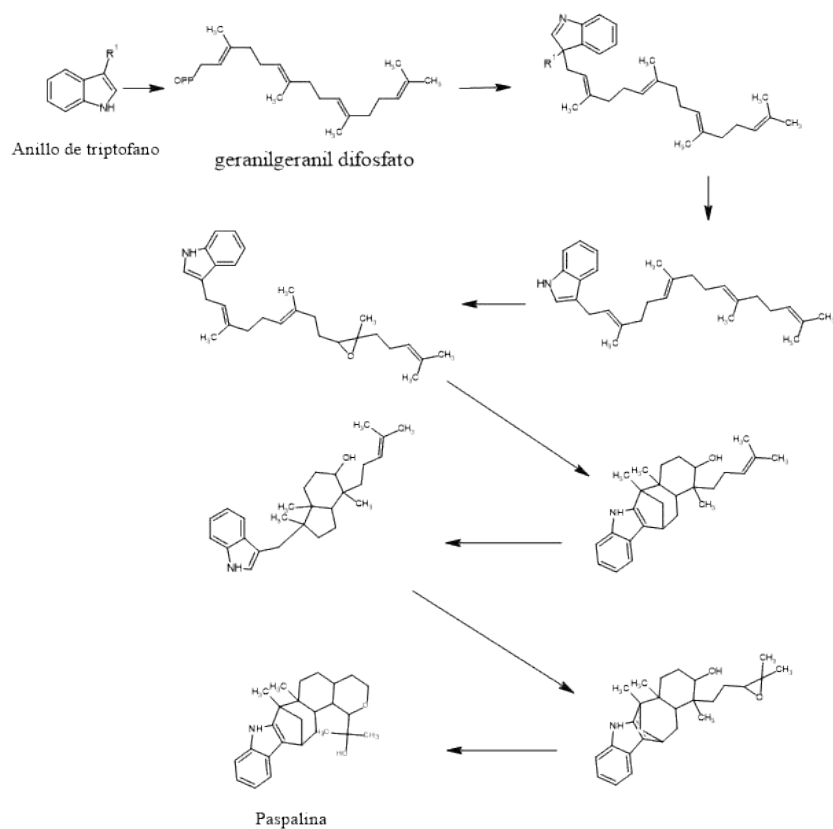
Los alcaloides de piperidina de *Conium maculatum*, cicuta, se conocen tradicionalmente como poderosos venenos, ya Platón, 387 a. C., los citaba en sus escritos, con una DL₅₀ oral para ratones de 12 mg kg⁻¹ de γ -coniceína (HARBORNE, 1982).

La biosíntesis de estos alcaloides fue una de las primeras en investigarse a nivel enzimático. Estos alcaloides son derivados simples de la piperidina con una cadena lateral de tres carbonos y originalmente se pensó que se derivaban de la lisina. Sin embargo, se ha demostrado de forma experimental con precursores radiomarcados que estos alcaloides se derivan del acetato. En particular la vía enzimática que involucra a la L-alanina, la 5-cetooctanal transaminasa (AAT), una γ -coniceína reductasa (CR) dependiente de NADPH y coniina la S-adenosil-L-metionina metiltransferasa (CSAM) se encuentra principalmente en las partes aéreas de la planta. El primer paso comprometido en la formación de alcaloides es la aminación del 5-cetooctanal por AAT, de los cuales ocurren dos isoenzimas con diferentes requisitos de sustrato. Se ha sugerido que Conium AAT es similar a la transaminasa de aminoácidos que se encuentra en muchas plantas superiores, la cual está involucrada en la formación de aminas. El funcionamiento de esta enzima ubicua depende de la aparición de los aldehídos apropiados. Las dos enzimas restantes en la secuencia, la reductasa y la metiltransferasa, son altamente específicas de sustrato.



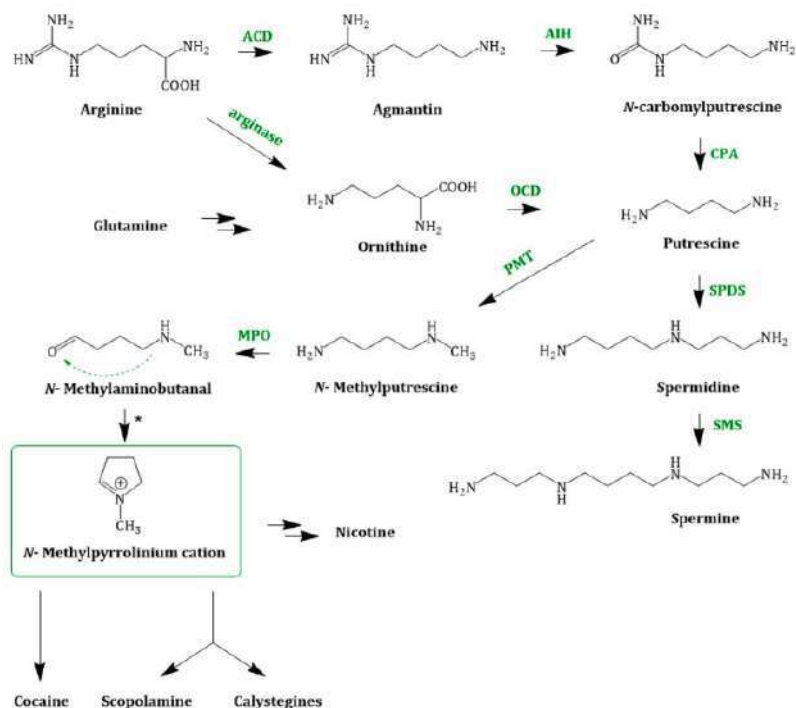
7.2. Biosíntesis de alcaloides de indol tremorgénicos

Se sabe muy poco sobre la naturaleza de los intermedios bioquímicos o la enzimología de su biosíntesis, aquellos artículos que se han publicado sobre esquemas biogénéticos se han enfocado en radiomarcaje y el aislamiento de intermediarios propuestos. Se ha informado que la paspalina se forma a través de la condensación de triptófano y geranilgeranil difosfato GGPP, los estudios además han propuesto que se produce una migración del esqueleto de carbono durante el curso de la biosíntesis, la condensación de triptófano con GGPP seguida de desalquilación para producir un intermediario. La epoxidación de la penúltima olefina da como resultado el cierre del anillo al intermedio de carbocatión, tras lo cual se produce una migración 1,2 del esqueleto de carbono para producir otro intermediario y los anillos A-E paspalano, finalmente un segundo cierre de anillo de epoxidación produce paspalina, el precursor propuesto de paxillina y paspalicina (HARBORNE, 1982).



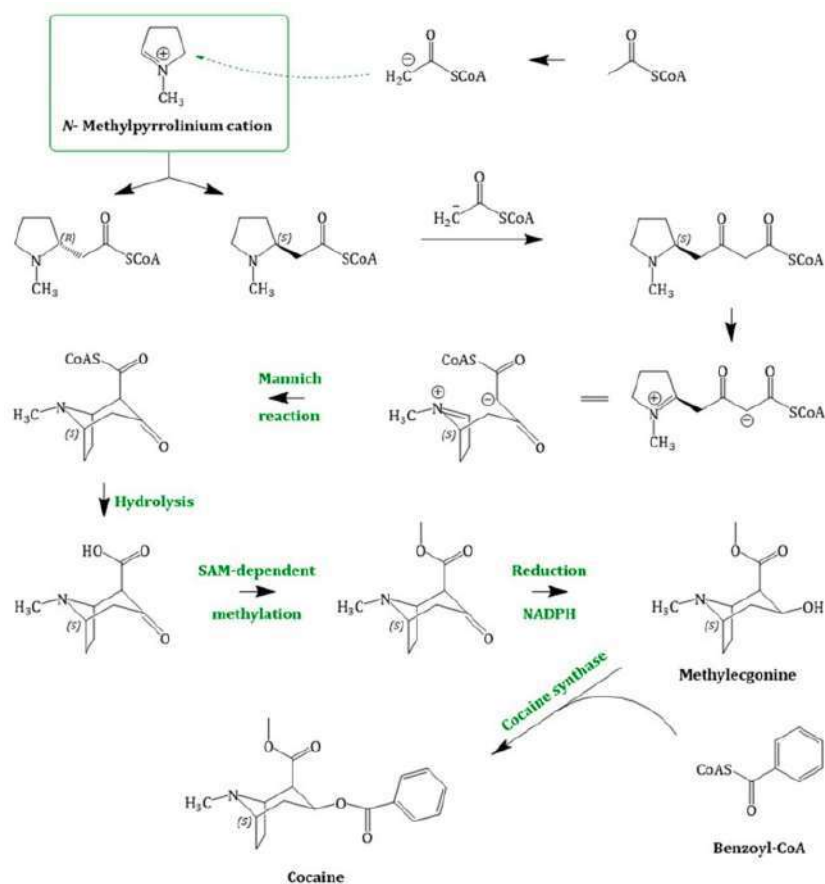
Biosíntesis de alcaloides tropánicos

Pasos conjuntos de la biosíntesis temprana de TA; ACD = arginina descarboxilasa; AIH = agmatina deiminasa; OCD = ornitina descarboxilasa; CPA = N -carbamoilputrescina amidasa; PMT = putrescina N -metiltransferasa; SPDS = espermidina sintasa; SMS = espermina sintasa; MPO = N -metilputres



Biosíntesis de escopolamina

Biosíntesis de escopolamina, a partir del catión N - metilpirrolinio; PYKS = policétido sintasa; CYP82M3 = enzima citocromo P450; TR-I/II = tropinona reductasa I/II; litorina sintasa (secuencia no conocida); littorine mutasa/monooxigenasa (CYP8oF1); (* 1) = mecanismo propuesto de reordenamiento litoral; H6H = hiosciamina 6β-hidroxilasa.



Pruebas de identificación

La mayoría de los alcaloides son sólidos incoloros, cristalinos y no volátiles. Insolubles en agua, sin embargo, son bastante solubles en disolventes orgánicos como etanol, éter, benceno, cloroformo, entre otros (Bharati, 2019).

Al momento de recibir una muestra, esta debe ser examinada de manera minuciosa anotando las características físicas. Si la muestra se encuentra en forma sólida es necesario pesar los gramos de la misma, en cambio si es líquida debe medirse el

volumen (mL), además de ser agitada y filtrada. De igual forma la muestra puede encontrarse en polvo, quien debe mezclarse cuidadosamente con el fin de tener una muestra representativa antes de aplicar cualquier reacción (Zaldaña, 1998).

Para la determinación de alcaloides se utiliza distintas reacciones de reconocimiento especiales. A continuación, se enlistan los métodos a seguir para la identificación de los mismos.

Método volumétrico

Objetivo: Determinar el contenido total de alcaloides

Realizar una extracción partiendo de 20 g de polvo de hojas, siguiendo la técnica de Van Itallie. Una vez recristalizados los alcaloides con diferentes solventes, se debe disolver en 5 ml. de alcohol etílico. Añadir rojo de metilo como indicador y titular con ácido clorhídrico. (Espinell & Guzmán, 2017)

Método cromatográfico

Cromatografía T.LC.

Es una técnica empleada a menudo para la separación e identificación de drogas fabricadas de manera ilícita. (Avedaño & Sangama, 2017)

Objetivo: Empleado para identificar cualitativamente los alcaloides

Equipo y reactivos: Tarro de cristal sin tapa, placa de Sílica gel, standard reactivo, acetona: agua: amoníaco (90:7:3) y un tubo capilar.

Procedimiento: Preparar la fase móvil y colocarla en el frasco de vidrio, taparla y dejar en reposo durante 45 minutos.

Aplicar la muestra y el estándar con ayuda del tubo capilar en la placa de gel de sílice. Colocar la placa dentro del frasco hasta que el disolvente alcance $\frac{3}{4}$ partes de la placa. Sacarla y luego pulverizarla. (Servicio Nacional de Medicina Legal y Ciencias Forenses , 2017)

Cromatografía de gases (GC) con detección de ionización de llama (GC-FID)

Es el método prioritario para trabajos analíticos de rutina. El equipo usado es el cromatógrafo de gases con columna capilar de pequeño calibre, en el cual se utilizan columnas de diámetro interno que oscilan entre 0,2 y 0,32 milímetros.

Procedimiento: Se inicia con la preparación de la solución que ha de actuar como patrón interno en donde se debe disolver clorhidrato de isopropilcocaína hasta conseguir una concentración de 1,0 mg/mL. Es necesario también elaborar una solución patrón, para esto se necesita pesar 20 mg del alcaloide y colocarlo en un matraz Erlenmeyer de 50 mL. Añadir 5 mL de la solución patrón interno y 20 mL de cloroformo que contenga 50 µL de dietilamina. Dejar reposar la solución durante cinco minutos e inyectar 1 o 2 µl de la solución en el cromatógrafo de gases. (UNODC, 2012)

Método químico

Tabla 1

Principales reactivos alcaloides

Pruebas químicas	Identificación	Reacción
Mayer	Presenta un precipitado de color amarillo o blanco en solución alcalina	$2KI + HgCl_2 \rightarrow 2KCl + HgI_2$ $HgI_2 + 2KCl \rightarrow K_2[HgI_4]$

Dragendorff	Se muestra a través de una coloración anaranjada	$KI + NH_3 \rightarrow H_3I_3 + K_3N$
Wagner	Formación de precipitados de color marrón	$KI + H_2O \rightarrow KOH + I_2 + H_2$
H_2SO_4 diluido	Presenta coloraciones pardas	$H_2SO_4 + H_2O \rightarrow HSO_4 + H_3O^+$

Prueba de Mayer

Expuesta por el químico Julius Robert Von Meyer (1814-1878). Esta prueba detecta alcaloides en una muestra dada de productos naturales. Como se puede observar en la tabla 1, la reacción entre el reactivo Meyer y el alcaloide produce un enlace covalente, razón por la cual se da un precipitado con esas tonalidades.

Equipos y reactivos: Tubos de ensayo, gradilla, yoduro de potasio, cloruro de mercurio, agua destilada y muestra de la planta.

Procedimiento: Colocar 1 mL del extracto vegetal en un tubo de ensayo. Añadir 1 mL de solución de yoduro mercurio potásico (reactivo de Meyer) al tubo de ensayo. Finalmente, agitar suavemente para mezclar correctamente (Analista de Laboratorio, 2022).

Prueba de Drangendorff

Procedimiento: mezclar 8 g de nitrato de bismuto pentahidratado en 20 ml de ácido nítrico al 30 % con una solución de 27.2 g de yoduro de potasio en 50 ml de agua. Dejar en reposo por 24 horas, posteriormente decantarlo y aforar a 100 ml. La presencia de alcaloides se detecta por la formación de un precipitado naranja rojizo cuando se le adiciona este reactivo a una solución ácida de alcaloides como se ha mencionado en la tabla 1 (Coy, Parra, & Cuca, 2014).

Prueba de Wagner

Procedimiento: Para esta prueba se debe proceder a colocar 2 a 3 gotas en cada una de las muestras a detectar presencia de alcaloides. Las muestras se presentan retenidas en tubos de ensayo. Al agregar el reactivo de Wagner, se debe observar la presencia de opalescencia de la muestra acompañado de un precipitado de color marrón. Esto demuestra la presencia de alcaloides.

Reacción con H_2SO_4 diluido

Procedimiento: Agregar un máximo de 3 gotas a la muestra, la cual, en contacto con el ácido, presentará coloraciones pardas rojizas en las paredes del tubo de ensayo. Esto denota un positivo para alcaloides, a su vez que se debe observar la intensidad de la misma, ya que puede existir una presencia alta o baja del metabolito.

9. Técnicas de caracterización

Los métodos empleados para la identificación y determinación estructural de los alcaloides han cambiado considerablemente desde el aislamiento de los primeros ejemplares en la mitad del siglo pasado. En un inicio se manejaban técnicas de química húmeda (transformaciones químicas con el fin de preparar derivados o reacciones de degradación). Sin embargo, la llegada de los métodos de análisis instrumental sustituyó dichas técnicas.

De manera general los métodos para la determinación e identificación de las estructuras de un producto natural se muestran en la siguiente tabla.

Tabla 2. *Técnicas de determinación e identificación de las estructuras de un producto natural*

Quimiotaxonomía	Tipo de alcaloide
Espectro Ultravioleta (UV)	Grupos cromóforos
Espectrometría de masas	Peso molecular y fragmentos conocidos
(¹H-RMN)	Forma de la molécula
Espectro Infrarrojo	Grupos funcionales

Espectroscopía Ultravioleta (UV)

Los resultados de la espectroscopía UV se rigen a las características de estructura, naturaleza, número, tipo y posición de los sustituyentes del alcaloide. Existen grupos de alcaloides que aun careciendo de grupos cromóforos no absorben en esta región, es el caso de alcaloides derivados de aminoácidos alifáticos y algunos del metabolismo terpénico. Habitualmente los alcaloides cuyos átomos poseen electrones solitarios, dobles o triples, enlaces aislados absorben poca intensidad en la región de 150 a 200 nm, esto significa que el ultravioleta es lejano; en caso de existir una conjugación de estos grupos, los máximos de absorción se mueven hacia la región visible e incrementan la intensidad de absorción (Arango, 2008).

De acuerdo con el trabajo realizado por (Monsalve & Castro, 2022) enfocado en el ‘ ‘Aislamiento y elucidación estructural de un alcaloide de la resina de *Maquira coriacea* (Karsten)’ ‘ se identifica en el espectro longitudes de onda de 226 nm como máximo y 260 como mínimo. Este espectro al ser comparado con el UV visible teórico de una bencilisoquinoleína y bisbencilisoquinoleínas, se han hallado longitudes de onda

máximos entre 225-280 nm, y mínimos entre 250-260 nm. Estos resultados indican que la estructura del alcaloide aislado podría tratarse de uno de estos compuestos.

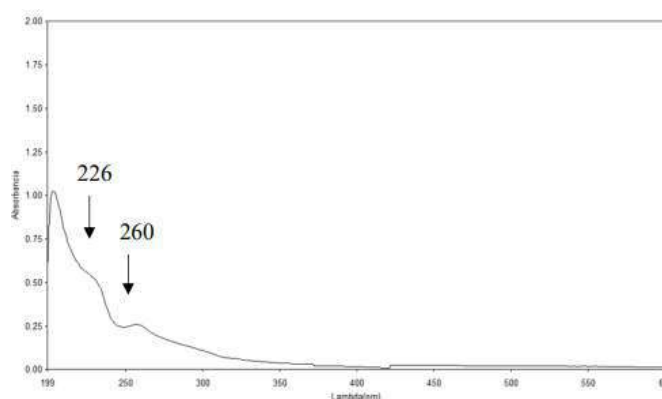


Figura 7. Espectro UV del compuesto de bencilisoquinoleína
Fuente: (Monsalve & Castro, 2022)

Espectroscopía de Infrarrojo (IR)

Si bien esta técnica no brinda información que permita identificar la estructura molecular del alcaloide, proporciona datos sobre la presencia de grupos sustituyentes. Las absorciones más beneficiosas se presentan en la región 3200 y 3700 cm^{-1} para grupos OH, entre 3650 y 3500 cm^{-1} para fenoles, en el caso de alcoholes entre 3200 y 3500 cm^{-1} , las aminas se presentan en la región 3200 y 3400 cm^{-1} y finalmente, los grupos carbonilo a 1620 y 1780 cm^{-1} . (UNODC, 2012)

El trabajo que presenta (Mejía & Gómez, 2013) en "Evaluación comparativa del rendimiento en la obtención de alcaloides totales para los frutos verdes y rojos del *Solanum pseudocapsicum* L." se realizó una superposición de bandas de espectro relacionadas con la toma del compuesto

precipitado de partida y el compuesto hidrolizado. Lo que se observa son las remarcadas deformaciones que se presentan en torno a los 3400 cm^{-1} y 1600 cm^{-1} , señales típicas correspondientes al grupo funcional de las aminas ($\text{C}=\text{N}$). Además, que se evidencia que, la preparación de los compuestos antes de ser llevados al análisis resulta en la resolución del espectro generado.

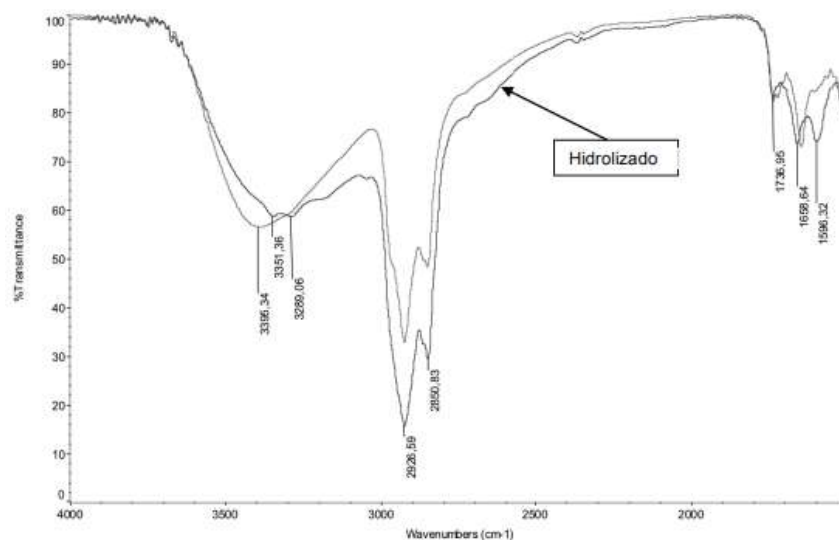


Figura 8. Espectro IR del compuesto de *Solanum pseudocapsicum* L, hidrolizado y precipitado.

Fuente: (Mejía & Gómez, 2013).

Actividad óptica

La mayor parte de los alcaloides tiene actividad ótica, esto quiere decir que poseen poder rotatorio, siendo las estructuras levóginas mucho más activas en comparación con las

dextrógiras. El instrumento mediante el cual se mide esta propiedad se denomina polarímetro (Palacios, 2022).

Para (Patiño, 2010), con su trabajo "Aislamiento y caracterización de alcaloides presentes en 2 especies del género *Zanthoxylum* (Rutaceae), síntesis de análogos del Benzofenantridínicos y evaluación de actividad antifúngica y antibacterial" presenta la determinación óptica del compuesto de Z-29, el cual fue aislado del CH₃CL-EtOH el cual fue $[\alpha]_D^{20} 40,2^\circ$ (c 0,28, CHCl₃), esta representa al compuesto 2S-1-(3'-acetil-2'-hidroxi-4',6'-dimetoxibencil)pirrolidín-2-carboxílico.

Para la obtención del mismo, se parte de una condensación de sus precursores de xanthoxylina y L-N-metilprolina.



Figura. Rotación óptica del compuesto Z-29 aislado de CH₃-Cl-EtOH

Fuente: (Patiño, 2010)

Espectroscopía de RMN de protón (¹H-RMN)

La forma de la molecular que tienen los alcaloides se conoce gracias a esta espectroscopía. Son importantes en particular tres regiones del espectro, protones aromáticos ubicados en la

región 6.70 y 7.40 ppm, la de grupos metilo que se encuentran ligados a heteroátomos entre 3.20 y 4.10 ppm dependiendo de C o N y la posición del carbono aromático.

Los solventes juegan un papel muy importante en esta técnica pues brindan un aporte complementario para determinar la posición de los grupos funcionales OH y OCH₃, mediante la medición de diferencias en el desplazamiento químico entre espectros (Arango, 2008).

(Patiño, 2010), en su trabajo ‘ ‘Aislamiento y caracterización de alcaloides presentes en 2 especies del género *Zanthoxylum* (Rutaceae), síntesis de análogos del Benzofenantridínicos y evaluación de actividad antifúngica y antibacterial’ ’, realiza el aislamiento de la molécula Z-29 a partir del CH₃CL-EtOH, llevando a una técnica de caracterización por RMN-H, encontrando lo siguiente: En el espectro se puede observar bandas características del compuesto, los cuales son señales representativas de los compuestos presentes. Podemos observar la señal de 2,60 (s, 3H), la cuál es típica del grupo metilo enlazada al grupo carbonilo en el compuesto del acetilo (CH₃CO-), a su vez, se observa también la señal en 3,93 (s, 3H) y 3,98 (s, 3H), las cuales son representativas del grupo metoxi enlazadas a un anillo aromático. Se destacan señales en 3,85 (dd, J = 9,2; 3,7, 1H), representativa en los grupos metino, unida a un grupo metileno (-XCHCH₂-); 4,24 (s, 2H) típica en los grupos metileno que se encuentran en enlace a un heteroátomo (-CH₂X); 5,99 (s, 1H) y 5,99 (s, 1H) correspondientes a un C aromático y a un grupo del ácido carboxílico respectivamente.

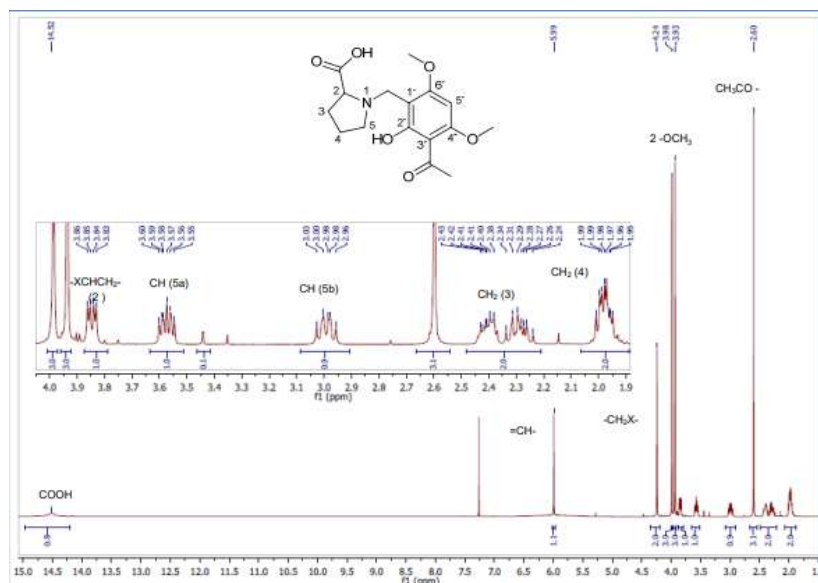


Figura. Espectro RMN-H del compuesto Z-29 asilado de $\text{CH}_3\text{-Cl-EtOH}$

Fuente: (Patiño, 2010)

Espectro de Masas (EM)

La variedad estructural que presentan los alcaloides obstaculiza la interpretación de los espectros de masas. De manera general las masas moleculares de los alcaloides dependen del número de nitrógenos, entonces si estos son impares si la masa también lo será y si este es par la masa de igual forma lo será. La señal del pico molecular es generalmente intensa, a menos que no existan insaturaciones como en el caso de los alcaloides alifáticos (Avedaño & Sangama, 2017).

En la investigación realizada por (Bergoñón, 1994) en '' Aislamiento y caracterización química de alcaloides del tipo

Amaryllidaceae. Producción de galatamina por cultivos ‘‘in vitro’’ de *Narcissus confusus* se aisló y caracterizó a varios tipos de alcaloides del tipo de los homolicorina, entre ellos se aislaron al 8-O-dimetilholicorina, quien al analizarse por el espectro de masas se identificó picos entorno a los 301 m/z de baja intensidad, quienes son típicos de los alcaloides del tipo homolicorinas. En este caso, al tener bajas intensidades, se es posible realizar un ajuste de denominado retro-Diels-Alder, quien corrige el pico denotado anteriormente a 109 m/z.

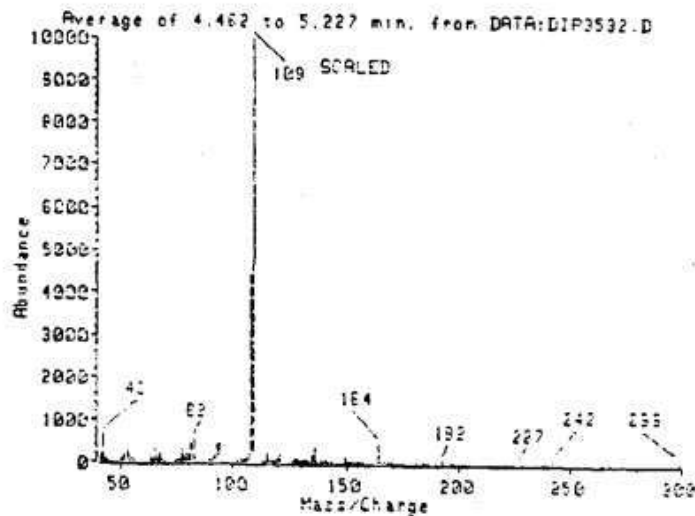


Figura. Espectro de masas de alcaloides de tipo homolicorina 8-O-dimetilholicorina
Fuente: (Monsalve & Castro, 2022)

Investigaciones recientes

10.1. Actividad anticancerígena

Esta actividad no es nueva fuente de investigación, no obstante, el estudio de (Zhang et al., 2019) indican un desarrollo importante sobre el avance en salud en medicina natural. Específicamente indican que la berberina es un compuesto natural que se encuentra en varias plantas medicinales como la uva de oregón y sello de oro, entre otros; la cual ha sido objeto de investigación por sus propiedades farmacológicas y sus efectos potenciales sobre la inhibición del crecimiento tumoral. El estudio examina la actividad anticancerígena de la berberina y sus derivados, así como los mecanismos moleculares que subyacen a su eficacia. Se exploran varias vías de señalización celular y procesos biológicos involucrados en la inhibición del crecimiento y la proliferación de células cancerosas. Además, el artículo analiza los posibles desafíos y oportunidades para el uso clínico de estos compuestos en el tratamiento del cáncer.

Actividad neuropsiquiátrica

Los alcaloides superan la barrera hematoencefálica del cuerpo humano, por lo que tienen la capacidad de actuar en el sistema nervioso central de esta manera, su mecanismo de acción ha sido precursor de efectos neuropsiquiátricos. Un ejemplo claro son las benzodiazepinas, sin embargo, estos alcaloides generan adicción. En contexto, El estudio de (Lowe et al., 2021) se enfoca en la psilocibina y su impacto en el cerebro, particularmente en su interacción con los receptores de serotonina. Esta interacción desencadena una serie de efectos psicodélicos, incluyendo cambios en la percepción, el estado de ánimo y la cognición. Los mecanismos de acción de la

psilocibina son investigados en profundidad, destacando su influencia en las redes neuronales y los circuitos cerebrales involucrados en la conciencia y la regulación emocional. Adicionalmente, se examina el potencial terapéutico de la psilocibina en trastornos mentales como la depresión, la ansiedad, el trastorno por estrés postraumático y la adicción. Se presentan los hallazgos de ensayos clínicos y estudios relevantes que exploran los efectos terapéuticos de la psilocibina, junto con los posibles mecanismos subyacentes a dichos efectos.

Poder analgésico mediante especificación

Es otra actividad conocida de los alcaloides, pero, actualmente, se refina esta actividad mediante la liberación específica de ciertos alcaloides para que alcance una alta eficiencia de analgesia. El trabajo de (Bhardwaj et al., 2002) con el complemento de (Tripathi et al., 2022) tuvo como objetivo examinar cómo la piperina puede afectar la absorción y distribución de diversos fármacos en el organismo al interactuar con los transportadores de medicamentos presentes en las membranas celulares. Esta interacción tiene el potencial de aumentar la absorción y disponibilidad de los medicamentos, lo que puede conducir a una mayor eficacia terapéutica. La piperina ha demostrado tener propiedades inhibitorias sobre ciertos transportadores de fármacos, lo que puede retardar su eliminación y aumentar su concentración en el cuerpo. Esto puede ser mejorado para mejorar la eficacia de ciertos medicamentos, especialmente aquellos que tienen una baja biodisponibilidad o que tienden a ser rápidamente metabolizados o eliminados.

Actividad nematostática

Es la capacidad de una sustancia o compuesto para inhibir el crecimiento, la reproducción o la actividad de los nemátodos. Los nematodos, también conocidos como gusanos redondos, son una clase de organismos parásitos que pueden afectar a plantas, animales y humanos. Con esta inferencia, se menciona que los alcaloides poseen la capacidad de ser plaguicidas naturales. El estudio de (Coqueiro et al., 2023) indica que se seleccionaron diecinueve extractos de especies de plantas previamente encontradas en Brasil con el objetivo de evaluar su actividad contra el nematodo *Meloidogyne incognita*. Entre estos extractos, se desactivó una destacada actividad nematostática en los extractos de *Pterogyne nitens*. Debido a los resultados prometedores obtenidos con la fracción alcaloide, se infiere que los tres compuestos exhibieron una actividad similar a la fracción alcaloide, demostrando su potencial como agentes nematostáticos (Coqueiro et al., 2023).

Conclusiones

Los alcaloides son los metabolitos secundarios más conocidos en el medio local, sus fuentes de extracción abarcan un sin número de especies; principalmente en el reino vegetal como la belladona, estramonio, amapola del opio, coca, kath, tabaco café; y, en el reino fungi como los hongos de moscas y el hongo mágico, los cuales poseen una alta carga de alcaloides capaces de provocar efectos alucinógenos en el ser funcional.

La actividad anticancerígena es de investigación constante, en donde, la berberina y sus derivados se involucran en la inhibición del crecimiento y la proliferación de células cancerosas, la psilocibina destaca en su influencia en las redes neuronales y los circuitos cerebrales involucrados en la

conciencia y la regulación emocional. la piperina tiene el potencial de aumentar la absorción y disponibilidad de los medicamentos y los extractos de *Piperoglyne nitens* exhibieron una actividad similar a la fracción alcaloide, demostrando su potencial como agentes nematostáticos.

Bibliografía

- Analista de Laboratorio. (16 de Noviembre de 2022). *Prueba de Mayer para alcaloides: Procedimiento, Mecanismo, Resultados, Usos*. Obtenido de Ciencia y datos. org: <https://cienciaydatos.org/quimica/bioquimica/prueba-de-mayer-para-alcaloides-procedimiento-mecanismo-resultados-usos/>
- Arango, G. J. (2008). Métodos generales para determinar alcaloides . En G. J. Arango, *Alcaloides y compuestos nitrogenados* (pág. 17). Medellín : Universidad de Antioquía .
- Avedaño, O., & Sangama, M. (2017). “Aislamiento e identificación de alcaloides de la corteza de tronco y corteza de la raíz de remo Caspi”. Obtenido de https://repositorio.unapiquitos.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12737/4819/Oscar_Tesis_Titulo_2017.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Bergoñón, S. (Junio de 1994). *Aislamiento y caracterización química de alcaloides del tipo Amaryllidaceae. Producción de galatamina por cultivos ‘‘in vitro’’ de Narcissus confusus*. Obtenido de Universidad de Barcelona : https://www.tdx.cat/bitstream/handle/10803/2629/01.SBF_1de2.pdf
- Bharati, D. (2019). *Detection of alkaloids | Plants*. Obtenido de Biology Discussion : <https://www.biologydiscussion.com/plants/detection-of-alkaloids-plants/57192>
- Bruneton, J. (2017). Alcaloides . En *Farmacognosia. Fitoquímica plantas medicinales* (págs. 768-769). Acribia, S.A.

- Coy, C., Parra, J., & Cuca, L. (2014). Dragendorff. En C. Coy, J. Parra, & L. Cuca, *Caracterización química del aceite esencial e identificación preliminar de metabolitos secundarios en hojas de la especie raputia heptaphylla (rutaceae)* (pág. 5).
- Espinel, G., & Guzmán, I. (2017). Determinación cuantitativa de alcaloides . En *Separación y determinación de los alcaloides de Erythroxylum coca variedad novogranatensis por métodos cromatográficos* (pág. 107).
- Mejía, L., & Gómez, R. (2013). *Evaluación comparativa del rendimiento en la obtención de alcaloides totales para los frutos verdes y rojos del Solanum pseudocapsicum L.* Obtenido de Universidad de los Andes Colombia.
- Monsalve, L., & Castro, N. (26 de Noviembre de 2022). *Aislamiento y elucidación estructural de un alcaloide de la resina de Maquira coriacea (Karsten)*. Obtenido de Universidad Nacional Mayor de san Marcos Lima, Perú.
- Palacios, M. I. (2022). *Alcaloides*. Obtenido de UNIVERSIDAD CATOLICA “LOS ÁNGELES DE CHIMBOTE”:
http://files.uladech.edu.pe/docente/32924394/Farmacognosia_y_Fitoquimica/Sesion_14/TEMA_14.pdf
- Patiño, O. (2010). *Aislamiento y caracterización de alcaloides presentes en 2 especies del género Zanthoxylum (Rutaceae), síntesis de análogos del Benzofenantridínicos y evaluación de actividad antifúngica y antibacterial* . Obtenido de Universidad Nacional de Colombia Bogota.
- Servicio Nacional de Medicina Legal y Ciencias Forenses . (Octubre de 2017). *Instrucivo para la determinación de alcaloides o drogas alcalinas en muestras biológicas*.

Obtenido de https://www.cienciasforenses.gob.ec/wp-content/uploads/2019/07/8_Alcaloides_drogas_alcalinas.pdf

UNODC. (2012). *Métodos recomendados para la identificación y el análisis de cocaína en materiales incautados*. Obtenido de UNODC: https://www.unodc.org/documents/scientific/Cocaine_S.pdf

Zaldaña, K. (1998). III-Parte práctica. *"Métodos Prácticos para el Reconocimiento de Alcaloides. Barbitúricos y Otros Productos Sintéticos"*. El Salvador.

Ademiluyi, A. O., Ogunsuyi, O. B., & Oboh, G. (2016). Alkaloid extracts from Jimson weed (*Datura stramonium* L.) modulate purinergic enzymes in rat brain. *NeuroToxicology*, 56, 107–117. <https://doi.org/10.1016/J.NEURO.2016.06.012>

Bhardwaj, R. K., Glaeser, H., Becquemont, L., Klotz, U., Gupta, S. K., & Fromm, M. F. (2002). Piperine, a major constituent of black pepper, inhibits human P-glycoprotein and CYP3A4. *The Journal of Pharmacology and Experimental Therapeutics*, 302(2), 645–650. <https://doi.org/10.1124/JPET.102.034728>

Bruneton, Jean., & Fernández-Galiano, E. (2001). *Plantas tóxicas: vegetales peligrosos para el hombre y los animales*. https://books.google.com/books/about/Plantas_t%C3%B3xicas.html?hl=es&id=9YMEAAAACAAJ

- Coqueiro, A., Fernandes, D. C., Danuello, A., Regasini, L. O., Cardoso-Lopes, E. M., Young, M. C. M., Brandão Torres, L. M., Campos, V. P., Silva, D. H. S., da Silva Bolzani, V., & de Oliveira, D. F. (2023). Nematostatic activity of isoprenylated guanidine alkaloids from *Pterogyne nitens* and their interaction with acetylcholinesterase. *Experimental Parasitology*, 250, 108542.
<https://doi.org/10.1016/J.EXPPARA.2023.108542>
- Groothuis, K. E., & Levy, R. M. (2009). Intracerebroventricular Opioid Administration for Chronic Pain. *Neuromodulation*, 1, 491–496.
<https://doi.org/10.1016/B978-0-12-374248-3.00038-0>
- Hao, D. C., Gu, X.-J., & Xiao, P. G. (2015). Phytochemical and biological research of Papaver pharmaceutical resources. *Medicinal Plants*, 217–251.
<https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100085-4.00006-2>
- Lowe, H., Toyang, N., Steele, B., Valentine, H., Grant, J., Ali, A., Ngwa, W., & Gordon, L. (2021). The Therapeutic Potential of Psilocybin. *Molecules*, 26(10).
<https://doi.org/10.3390/MOLECULES26102948>
- Presti, D. E. (2012). Drugs, the Brain, and Behavior. *Encyclopedia of Human Behavior: Second Edition*, 724–731.
<https://doi.org/10.1016/B978-0-12-375000-6.00138-5>
- Prusakov, P. A. (2014). Belladonna Alkaloids. *Encyclopedia of Toxicology: Third Edition*, 399–401.

<https://doi.org/10.1016/B978-0-12-386454-3.00246-3>

Sun, B., Tian, Y. X., Zhang, F., Chen, Q., Zhang, Y., Luo, Y., Wang, X. R., Lin, F. C., Yang, J., & Tang, H. R. (2018). Variations of Alkaloid Accumulation and Gene Transcription in *Nicotiana tabacum*. *Biomolecules*, 8(4). <https://doi.org/10.3390/BIOM8040114>

Tripathi, A. K., Ray, A. K., & Mishra, S. K. (2022). Molecular and pharmacological aspects of piperine as a potential molecule for disease prevention and management: evidence from clinical trials. *Beni-Suef University Journal of Basic and Applied Sciences*, 11(1), 16. <https://doi.org/10.1186/S43088-022-00196-1>

Vega-Villasante, F., Ruiz-González, L. E., Guerrero-Galván, S. R., & Guzmán-Dávalos, L. (2013). Evaluación de la toxicidad de *Psilocybe cubensis* (Agaricales, Basidiomycota) sobre *Artemia franciscana* (Crustacea, Anostraca). *Revista Iberoamericana de Micología*, 30(1), 54–56. <https://doi.org/10.1016/J.RIAM.2012.06.001>

Wabe, N. T. (2011). Chemistry, Pharmacology, and Toxicology of Khat (*Catha Edulis* Forsk): A Review. *Addiction & Health*, 3(3–4), 137. [/pmc/articles/PMC3905534/](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/PMC3905534/)

Wink, M. (2016). Alkaloids: Properties and Determination. *Encyclopedia of Food and Health*, 97–105. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-384947-2.00019-2>

Zhang, C., Sheng, J., Li, G., Zhao, L., Wang, Y., Yang, W., Yao, X., Sun, L., Zhang, Z., & Cui, R. (2019). Effects of Berberine and Its Derivatives on Cancer: A Systems Pharmacology Review. *Frontiers in Pharmacology*, 10. <https://doi.org/10.3389/FPHAR.2019.01461>

Atanasov, A. G., Waltenberger, B., Pferschy-Wenzig, E. M., Linder, T., Wawrosch, C., Uhrin, P., Temml, V., Wang, L., Schwaiger, S., Heiss, E. H., Rollinger, J. M., Schuster, D., Breuss, J. M., Bochkov, V., Mihovilovic, M. D., Kopp, B., Bauer, R., Dirsch, V. M., & Stuppner, H. (2015). Discovery and resupply of pharmacologically active plant-derived natural products: A review. In *Biotechnology Advances* (Vol. 33, Issue 8, pp. 1582–1614). Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2015.08.001>

Barbosa, L. (2012). *Selecting Medicinal Plants for Development of Phytomedicine and Use in Primary Health Care*. www.intechopen.com

Cordell, G. A., & Choi, T. (2010). *ALKALOIDS AND THEIR BIOSYNTHESIS*.

Costa Sena, A. E., Costa da Silva, K. L., & Marques, R. (2019). *Análise experimental de Humirianthera ampla: testando positividade para alcaloides* (Issue 1). <http://revistas.ufac.br/revista/index.php/SciNat/index>

Gonzalez Chavarro, C. F., Cabezas Gutiérrez, M., Pulido Blanco, V. C., & Celis Ruiz, X. M. (2020).

- Amaryllidaceae: fuente potencial de alcaloides. Actividades biológicas y farmacológicas. *Ciencia y Agricultura*, 17(3), 78–94. <https://doi.org/10.19053/01228420.v17.n3.2020.11379>
- Henrich, C. J., & Beutler, J. A. (2013). Matching the power of high throughput screening to the chemical diversity of natural products. *Natural Product Reports*, 30(10), 1284–1298. <https://doi.org/10.1039/c3np70052f>
- Martinez, A., Gloria, M., Valencia, A., Nora, P., & Mesa, J. U. M. (2008). *UNIVERSIDAD DE ANTIOQUIA FACULTAD DE QUÍMICA FARMACÉUTICA DEPARTAMENTO DE FARMACIA MANUAL DE PRÁCTICAS DE LABORATORIO DE FARMACOGNOSIA Y FITOQUÍMICA 200 8 Recopilado y revisado por.*
- Moreno Rodríguez, A., Robles Camargo, J., & Bello García, F. (2008). Actividad in vitro de la mezcla de alcaloides de *Ervatamia coronaria* (Jacq) Staff. Apocynaceae sobre amastigotes de *Leishmania braziliensis*. *Revista Brasileira de Farmacognosia*, 18(3), 350–356.
- Adamski, Z., Blythe, L. L., Milella, L., & Bufo, S. A. (2020). Biological Activities of Alkaloids: From Toxicology to Pharmacology. *Toxins*, 12(4), 210. <https://doi.org/10.3390/TOXINS12040210>
- Ain, Q. U., Khan, H., Mubarak, M. S., & Pervaiz, A. (2016). Plant alkaloids as antiplatelet agent: Drugs of the future in the light of recent developments. *Frontiers in*

- Pharmacology*, 7(SEP), 209446.
<https://doi.org/10.3389/FPHAR.2016.00292/BIBTEX>
- Alkaloids, P. (2006). *The Alkaloids Chemistry and Biology*. iii.
[https://doi.org/10.1016/s1099-4831\(06\)63009-5](https://doi.org/10.1016/s1099-4831(06)63009-5)
- Belder, D., Clothier, M. F., Kornis, G. I., Lee, B. H., Michel, S.,
 Ripperger, H., Smith, M. B., Stockigt, J., Tillicquin, ois,
 Unger, M., & Wipf, P. (n.d.). *Contributors*.
- Brahmachari, G. (2011). Bioactive natural products:
 Opportunities and challenges in medicinal chemistry. In
*Bioactive Natural Products: Opportunities and
 Challenges in Medicinal Chemistry*.
<https://doi.org/10.1142/8033>
- Cordell, G. A. (2015). Introduction. In *Alkaloids*.
<https://doi.org/10.1016/b978-0-12-417302-6.00017-9>
- Fa, M., Sa, U. F. De, Dra, B., Federal, U., & Sa, D. (2009). *The
 alkaloids Chemistry and Biology*. iii.
[https://doi.org/10.1016/s1099-4831\(09\)06708-x](https://doi.org/10.1016/s1099-4831(09)06708-x)
- HARBORNE, J. B. (1982). The Biosynthesis of Secondary
 Metabolites. In *Biochemical Society Transactions* (Vol.
 10, Issue 5). <https://doi.org/10.1042/bst0100434>
- Kerr, R. G. (1993). Natural products—A laboratory guide. In
Organic Geochemistry (Vol. 20, Issue 1).
[https://doi.org/10.1016/0146-6380\(93\)90089-t](https://doi.org/10.1016/0146-6380(93)90089-t)
- Shen, B., Davis, E., & Croteau, R. (n.d.). *Ben Shen*.
- Soepenbergh, O., Sparreboom, A., & Verweij, J. (2003). Clinical
 Studies of Camptothecin and Derivatives. *Alkaloids:
 Chemistry and Biology*, 60(C), 1–50.

[https://doi.org/10.1016/S0099-9598\(03\)60001-5](https://doi.org/10.1016/S0099-9598(03)60001-5)

Subramanaya, S. (2007). Pii: B978-0-444-52736-3.50000-3.

Analista de Laboratorio. (16 de Noviembre de 2022). *Prueba de Mayer para alcaloides: Procedimiento, Mecanismo, Resultados, Usos*. Obtenido de Ciencia y datos. org: <https://cienciaydatos.org/quimica/bioquimica/prueba-de-mayer-para-alcaloides-procedimiento-mecanismo-resultados-usos/>

Arango, G. J. (2008). Métodos generales para determinar alcaloides . En G. J. Arango, *Alcaloides y compuestos nitrogenados* (pág. 17). Medellín : Universidad de Antioquía .

Avedaño, O., & Sangama, M. (2017). “Aislamiento e identificación de alcaloides de la corteza de tronco y corteza de la raíz de remo Caspi”. Obtenido de https://repositorio.unapiquitos.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12737/4819/Oscar_Tesis_Titulo_2017.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Bharati, D. (2019). *Detection of alkaloids | Plants*. Obtenido de Biology Discussion : <https://www.biologydiscussion.com/plants/detection-of-alkaloids-plants/57192>

Bruneton, J. (2017). Alcaloides . En *Farmacognosia. Fitoquímica plantas medicinales* (págs. 768-769). Acribia, S.A.

Coy, C., Parra, J., & Cuca, L. (2014). Dragendorff. En C. Coy, J. Parra, & L. Cuca, *Caracterización química del aceite esencial e identificación preliminar de metabolitos secundarios en hojas de la especie raputia heptaphylla (rutaceae)* (pág. 5).

- Espinel, G., & Guzmán, I. (2017). Determinación cuantitativa de alcaloides . En *Separación y determinación de los alcaloides de Erythroxylum coca variedad novogranatensis por métodos cromatográficos* (pág. 107).
- Palacios, M. I. (2022). *Alcaloides*. Obtenido de UNIVERSIDAD CATOLICA “LOS ÁNGELES DE CHIMBOTE”:
http://files.uladech.edu.pe/docente/32924394/Farmacognosia_y_Fitoquimica/Sesion_14/TEMA_14.pdf
- Servicio Nacional de Medicina Legal y Ciencias Forenses . (Octubre de 2017). *Instrucivo para la determinación de alcaloides o drogas alcalinas en muestras biológicas*. Obtenido de https://www.cienciasforenses.gob.ec/wp-content/uploads/2019/07/8_Alcaloides_drogas_alcalinas.pdf
- UNODC. (2012). *Métodos recomendados para la identificación y el análisis de cocaína en materiales incautados*. Obtenido de UNODC:
https://www.unodc.org/documents/scientific/Cocaine_S.pdf
- Zaldaña, K. (1998). III-Parte práctica. "*Métodos Prácticos para el Reconocimiento de Alcaloides. Barbitúricos y Otros Productos Sintéticos*". El Salvador.

CAPÍTULO 6

TANINOS

El término tanino se aplica ampliamente a un complejo de grandes biomoléculas de naturaleza polifenólica que tienen suficientes hidroxilos y otros grupos adecuados como los carboxilos para formar complejos fuertes con varias macromoléculas (Das et al., 2020), también conocidos como metabolitos secundarios con un peso molecular comprendido entre 500 y 30.000 Da (Falcão & Araújo, 2018).

Los taninos poseen diversas propiedades fisicoquímicas, que incluyen (Cheynier, 2012):

- **Solubilidad:** Los taninos pueden tener diferentes grados de solubilidad en agua y otros disolventes, lo que depende de su estructura química y tamaño molecular. Algunos taninos son solubles en agua, mientras que otros son insolubles.
- **pH y carga:** Los taninos pueden exhibir diferentes comportamientos en función del pH del medio. En medios ácidos, pueden estar predominantemente en forma de ácido, mientras que en medios alcalinos pueden presentar carga negativa debido a la ionización de los grupos funcionales presentes en su estructura.
- **Capacidad de formar complejos:** Los taninos tienen la capacidad de formar complejos con metales y otras moléculas, lo que puede influir en su estabilidad y propiedades antioxidantes.
- **Interacción con proteínas:** Los taninos pueden interactuar con proteínas, formando complejos y precipitándolas. Esta propiedad está relacionada con su

capacidad astringente y su aplicación en el curtido de cuero.

- Color y capacidad de absorción de luz: Los taninos pueden contribuir al color de los alimentos, bebidas y productos naturales debido a su capacidad para absorber y reflejar ciertas longitudes de onda de luz.

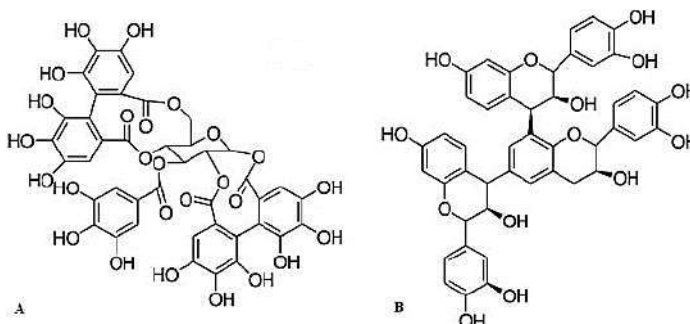
Además, son compuestos químicos no cristalizables cuyas soluciones acuosas son coloidales, para su identificación se pueden precipitar con gelatina, albúmina y alcaloides en solución, con las sales férricas dan coloraciones negro-azuladas o verdosas, producen un color rojo intenso con ferricianuro de potasio y amoníaco, al precipitar con las proteínas en solución se vuelven resistentes a las enzimas proteolíticas (Álvarez & Lock de Ugaz, 1992), también forman complejos con metales pesados como el plomo, mercurio, bismuto, cobre, etc. Por lo que pueden ser utilizados en la medicina como un antídoto a la intoxicación por metales pesados. Por otro lado, han sido utilizados en la medicina tradicional y han mostrado diversas propiedades medicinales (Scalbert & Williamson, 2000). Algunas de las propiedades de los taninos en la medicina incluyen:

- Actividad antiinflamatoria: Los taninos pueden tener efectos antiinflamatorios al reducir la inflamación y aliviar los síntomas asociados.
- Actividad antioxidante: Los taninos tienen propiedades antioxidantes y pueden proteger contra el daño oxidativo en el cuerpo, lo que puede contribuir a la prevención de enfermedades crónicas.

- Efectos antimicrobianos: Algunos taninos tienen actividad antimicrobiana y pueden ser efectivos contra bacterias, hongos y otros microorganismos.
- Acción astringente: Los taninos tienen una acción astringente, lo que significa que pueden contraer los tejidos y reducir la secreción de fluidos, lo que puede ser útil en el tratamiento de diarreas y heridas.
- Efectos gastroprotectores: Los taninos pueden ayudar a proteger la mucosa gástrica y reducir los síntomas de la gastritis y las úlceras.

Los taninos pueden clasificarse en 2 grandes grupos, taninos hidrolizables y condensados (**Fig. 1.**).

Figura. 1. Estructura de taninos (A) hidrolizables y (B) condensados.

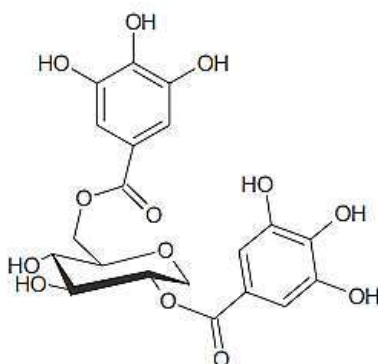


Fuente: (Das et al., 2020).

Los taninos hidrolizables comprenden los poliésteres de ácido gálico y ácido hexahidroxidifenico, que se conocen como galotaninos y elagitaninos, respectivamente. Por otro lado, los taninos condensados están constituidos por oligómeros y polímeros que contienen núcleos de flavan-3-ol, conocidos también como proantocianidinas.

Galotaninos: son polímeros formados por la unión de unidades galloilo a unidades de poliol derivadas principalmente de la D-glucosa. Los polioles son ampliamente distribuidos y pueden tener sus grupos hidroxilo parcial o totalmente sustituidos por unidades de galloilo. En los meta-dipéptidos, los residuos de galloilo están esterificados tanto con el residuo de poliol como con una o más unidades de galloilo, que se enlazan en la metaposición en relación con los grupos carboxilo de las unidades de galloilo. La unión de polioles a grupos cinamoilo o cumaroilo es poco común en los galotaninos.

Figura. 2. Estructura de Galotanio. Acertanino (6-digaloil-1,5-anhidro-Dglucitol).



Fuente: (Sieniawska & Baj, 2017)

Elagitaninos: El grupo HHDP (Hidroxihidroxidifenil) es una unidad distintiva presente en todos los elagitaninos y se forma como resultado de la primera etapa de la oxidación biogénica de los grupos galloilo. Esta unidad HHDP puede ser modificada al unirse uno o dos grupos galloilo adicionales a través de enlaces CO o CC, lo que genera diferentes variaciones del grupo HHDP.

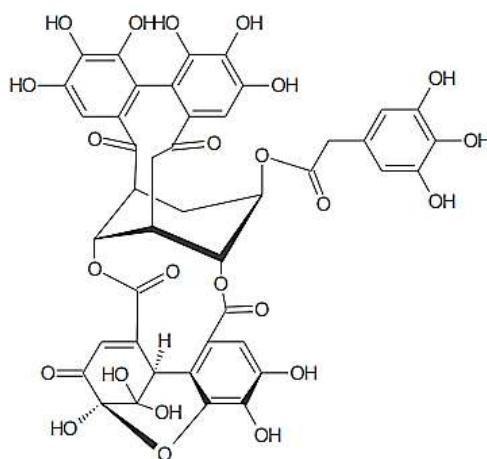
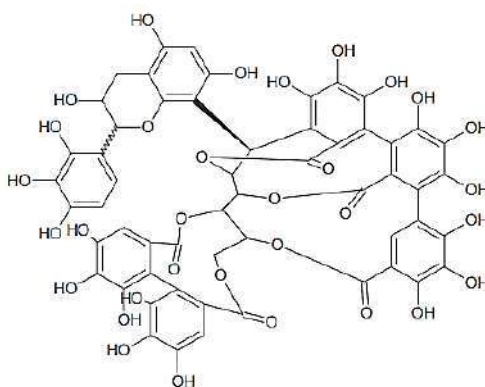


Figura. 3. Estructura de Elagitanino. Geraniin dehydroellagitannin.

Fuente: (Sieniawska & Baj, 2017)

Los taninos complejos: son aquellos en los que una unidad de catequina se une de manera glucosídica a una unidad de galotanino o elagitanino. En otras palabras, los taninos complejos son el resultado de la unión de una catequina a un galotanino o elagitanino a través de un enlace glucosídico.

Figura. 4. Estructura de tanino complejo. Acutissimin A.

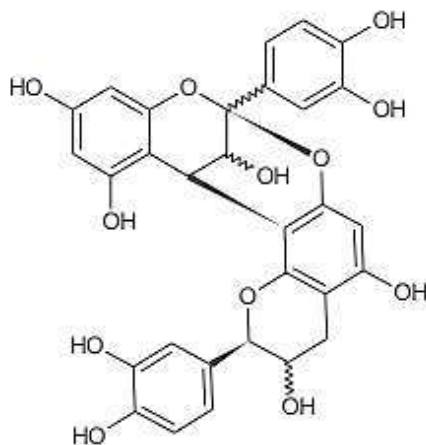


Fuente: (Sieniawska & Baj, 2017)

Las proantocianidinas (taninos condensados): se forman mediante la unión del C-4 de una catequina (un tipo de flavan-3-ol) con el C-8 o C-6 de la siguiente catequina monomérica.

Figura. 5. Estructura de una proantocianidina.

Proanthocyanidin A1 [epicatechin-(4 β 8,2 β O 7)-catechin.

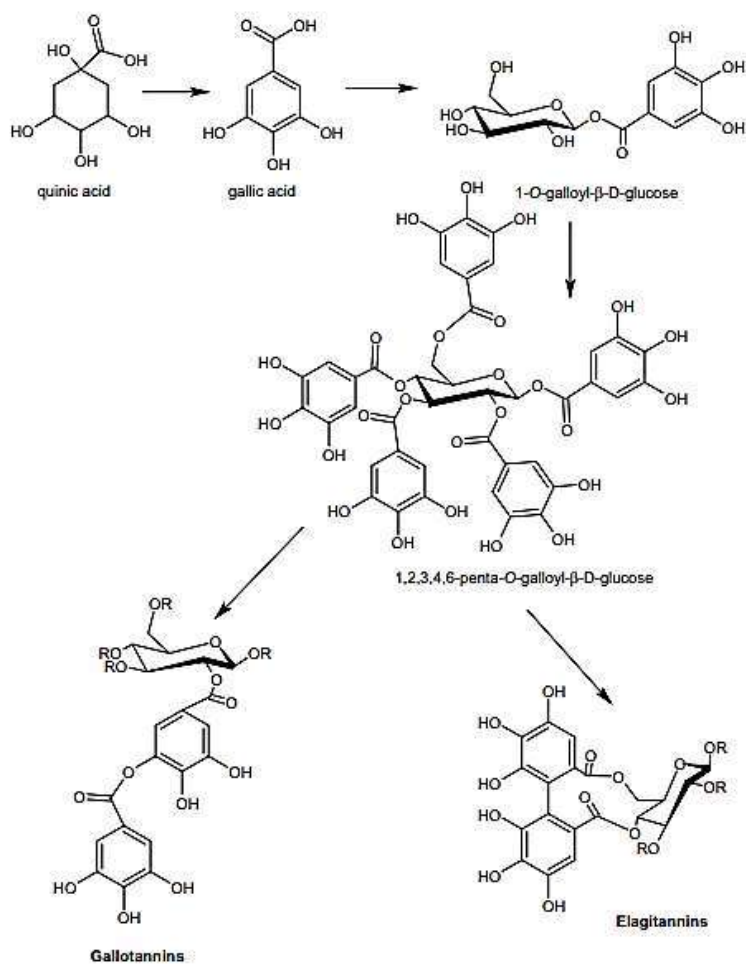


Fuente: (Sieniawska & Baj, 2017)

BIOSÍNTESIS

Existen dos rutas principales de biosíntesis que generan taninos con distintos niveles de complejidad estructural.

Figura. 6. Ruta biosintética de los taninos hidrolizables (Sieniawska & Baj, 2017).

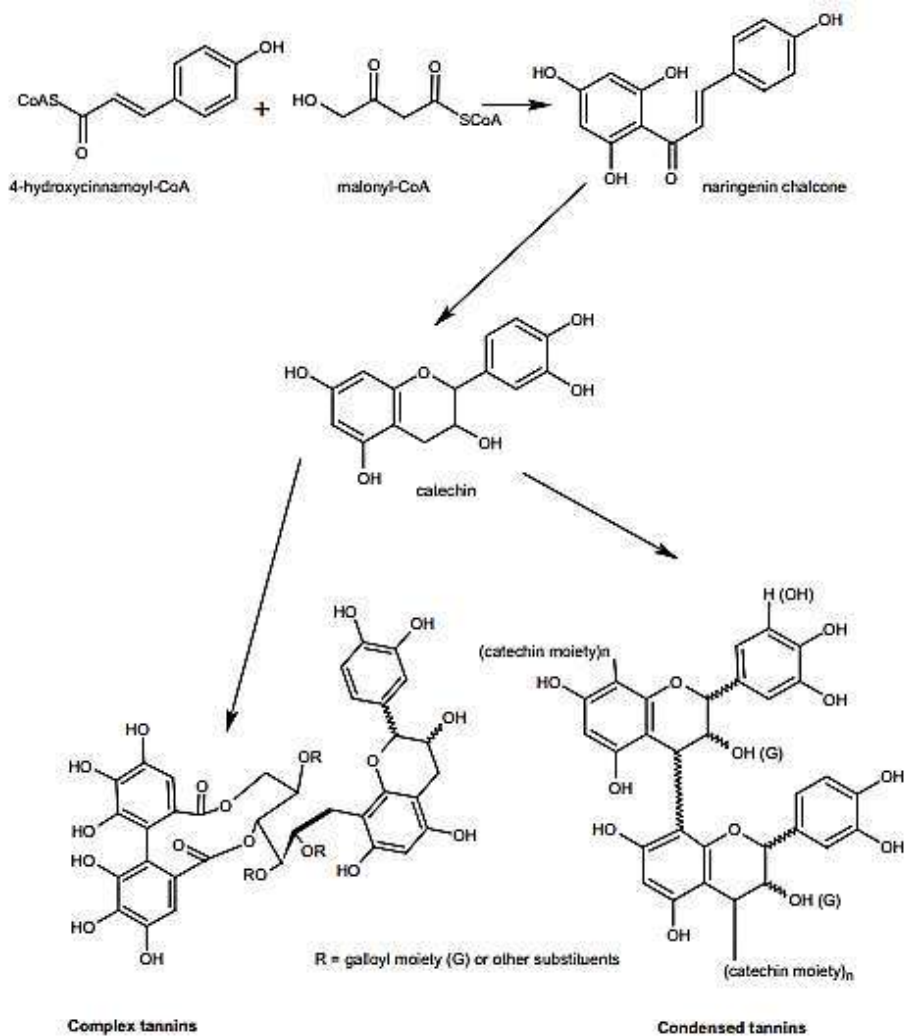


En la Fig.6. se puede apreciar la ruta biosintética de los taninos hidrolizables que consta de tres pasos, la cual se deriva del ácido quínico produciendo ácido gálico, se utiliza una unidad

galol para realizar la formación del 1-galolil- β -D-glucosa, el cual es un intermediario básico y es un metabolito clave para realizar la biosíntesis de los taninos hidrolizables (TH).

1. En el primer paso, la 1-galolil- β -D-glucosa desempeña un papel dual como aceptor de acilo y donador de acilo, lo que resulta en la formación de digalolilglucosas, trigalolilglucosas y, finalmente, pentagalolilglucosa (los productos son derivados "simples" de galolilglucosa). El 2,3,4,6-tetra-O-galolil-D-glucopiranos (TGG) y la 1,2,3,4,6-penta-O-galolil- β -D-glucopiranos (β -PGG), presentes en muchas familias de plantas, son intermediarios cruciales en la biosíntesis de la mayoría de los polifenoles hidrolizables de las plantas.
2. En el segundo paso, la galolilación de la pentagalolilglucosa continúa para generar derivados de hexa-, hepta-, octa-, etc.-galolilglucosa, y forma un enlace éster entre dos grupos galol (galo-taninos o metabolitos depsídicos).
3. El tercer paso se realiza mediante oxidación, lo que produce enlaces C-C entre residuos galol convenientemente orientados de moléculas glucogalol, formando unidades de hexahidroxidifenoil (HHDP) (elagitaninos) (Sieniawska & Baj, 2017).

Figura. 7. Ruta biosintética de taninos complejos y condensados (Sieniawska & Baj, 2017).



En la Fig.6. se encuentra la segunda ruta biosintética, en la cual se produce una condensación entre el p-cumaroil-CoA con malonil CoA, se obtiene una chalcona, la cual será precursora de naringenina y posteriormente flavan-3-oles. Se produce en 2 pasos.

1. El primer paso en este proceso es la glucosilación de una unidad de catequina hacia una unidad de gallo-tanino o elagitanino (ambos taninos complejos).
2. El segundo paso implica la oligomerización de estas unidades de catequina mediante la unión del C-4 de una unidad de catequina con el C-8 o el C-6 de la siguiente unidad de catequina (taninos condensados).

METODOS MAS UTILIZADOS POR LA EXTRACCIÓN DE TANINOS

Los taninos han tenido en la actualidad una gran importancia debido a sus diversas aplicaciones en la vida diaria y a nivel industrial por lo que existen diferentes métodos de extracción de taninos, debemos tener en cuenta que depende de la geografía en donde se encuentra la planta, origen biológico, especie, población y edad(Ortega et al., 2007). Los taninos han tenido un gran impulso, pero debido a la naturaleza heterogénea de los taninos su proceso de extracción sigue siendo un gran desafío, los procesos de extracción no es uno en específico y estos procedimientos son muy diversos(Fernández, 2007).

En el proceso de extracción de los taninos estos tienen diversos tipos de impurezas incluidos minerales, estíbenos y azúcares.

Método de aprovechamiento:

Corteza y raíces. – la corteza suele despegarse de los árboles, esta debe comúnmente ser cortada en una longitud de 1.20 m, esta posteriormente va a ser apilonada y posteriormente esta se seca al aire libre para su posterior comercialización. En el secado de la corteza se lo coloca la capa interior de la corteza cortada o también llamada carne al sol y al viento poniéndole derecha contra el tronco o también sobre

el suelo y así se evita el moho, esto se conlleva en varios días, posteriormente se la lleva a unas cintas o fajillas de madera para que no esté en contacto con el suelo, luego otra vez la pone la cara exterior de la corteza y se mantiene bajo secado de 1 a 3 meses y así evitar que el nivel de humedad no supere el 20%.

Frutas, hojas y ramas: la obtención de los taninos de las hojas, frutas y ramas empieza con la recolección de estas, esto se lo realiza por medio de corte directo y recolección, aquí se debe ser muy cuidadoso, en el caso de las frutas la fase de madurez justa, es decir cuando la riqueza del tanino llega al máximo. De igual manera la corteza y las raíces el material de esta debe ser protegida contra la acción lixiviativa de la lluvia y debe estar libre de la contaminación(INF-2002-039, n.d.).

TECNICAS DE CARACTERIZACION DE TANINOS

Estudio y caracterización de los polifenoles provenientes de los residuos de la exploración forestal del nogal.

En el artículo de Serrano, C. (2020) se lleva a cabo el análisis de los taninos presentes en los extractos acuosos de los subproductos del nogal utilizando cromatografía líquida de alta resolución (HPLC) con una metodología de separación en fase reversa. Para ello, se utiliza una columna de Waters tipo XBridge Fenilo de 3.5µm con dimensiones de 4.6 mm x 150 mm.

La preparación de las muestras implica disolver el polvo de cada subproducto en agua de calidad mili-Q en una proporción de 1/10 y agitar mecánicamente durante 10 minutos para asegurar una extracción adecuada. Posteriormente, las soluciones se filtran dos veces utilizando filtros de distintos tamaños de poro. Primero se utiliza un filtro de papel y luego

uno de nylon con un poro de 0.45 μ m y un diámetro de 13 mm para evitar la contaminación de la columna cromatográfica.

En cuanto a la captura de los cromatogramas, se utiliza una longitud de onda de 271.1 nm, considerada óptima para obtener información sobre los taninos hidrolizables y los condensados presentes en las muestras.

La identificación de los diferentes tipos de taninos se realiza comparando los espectros UV de los picos en el cromatograma con una librería digital. Los cromóforos de los polifenoles catequínicos, galotaninos y elagitaninos presentan diferencias que permiten clasificar cada polifenol encontrado en la muestra en uno de estos grupos, aunque no se disponga de información completa sobre su estructura o peso molecular.

Es importante tener en cuenta que una identificación completa de una molécula requiere una coincidencia exacta en el tiempo de retención y el espectro cromatográfico con los compuestos ya presentes en la librería digital. Se reconoce que la librería digital utilizada podría estar desactualizada y que los tiempos de retención pueden variar dependiendo de la columna utilizada en la identificación.

En cuanto a las condiciones cromatográficas, se emplea una fase móvil polar compuesta por agua con un 0.1% de ácido fórmico como fase móvil A, y acetonitrilo con un 0.1% de ácido fórmico como fase móvil B, en una proporción de 95% / 5%. El flujo de la fase móvil se mantiene constante a 1,000 mL/min, mientras que la temperatura de la columna se establece en 35°C.

En relación con los tiempos programados para cada muestra, se realiza una calibración inicial de 15 minutos, seguida del tiempo de análisis de la muestra que es de 34.50 minutos.

Posteriormente, se realiza una limpieza con acetona durante 20 minutos antes de inyectar la siguiente muestra (1).

Caracterización, mediante espectrometría de masas de alta resolución MALDI/FT-ICR, de taninos hidrolizables de la tara (*Caesalpinia spinosa*)

En un estudio realizado por Dávalos, et al. (2017), se utilizó un espectrómetro de masas de ultra alta resolución FT-ICR con fuente de ionización por MALDI para caracterizar los taninos hidrolizables extraídos de la tara en polvo. Identificando que los taninos hidrolizables extraídos de la tara en polvo consisten principalmente en estructuras oligoméricas galo-quínicas, formadas por una cadena de residuos de ésteres gálicos (dépsidos) unidos al ácido quínico.

La extracción de los taninos se realizó a partir de las vainas de tara seca pulverizada, utilizando una disolución del 80% (v/v) de acetona/agua. Esta disolución se mantuvo a 40 °C durante 24 horas y luego se centrifugó a 1500 rpm durante cinco minutos.

El espectrómetro de masas FT-ICR utilizado en el estudio es de ultra alta resolución y cuenta con un campo magnético permanente de 7.0 T generado por una bobina superconductora. La fuente de ionización por MALDI emplea un láser Nd:YAG con una longitud de onda de 355 nm. Esta técnica permite detectar masas en un rango de 300 a 10,000 Da y opera en modo catiónico en condiciones de ultra-alto vacío. Es importante mencionar que el FT-ICR es uno de los espectrómetros de masas más precisos y sensibles, con una resolución aproximada de 10⁶. En este estudio, no fue necesario utilizar técnicas cromatográficas o de separación previas debido a la alta precisión del FT-ICR. Para calibrar los

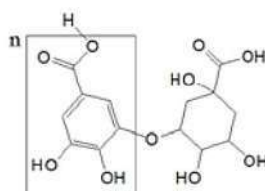
registros de masas, se utilizaron picos conocidos de malto-oligosacáridos de cerveza comercial.

En cuanto a los detalles computacionales, se empleó el método del Funcional de Densidad (DFT) de Truhlar, MO5-2X, con bases 6-311++G(d,p) para optimizar la geometría de los conformeros de los ácidos quínico y gálico, así como de sus derivados galo-quínicos. Los cálculos se realizaron utilizando el paquete Gaussian 09.

En este estudio, se identificaron y analizaron las especies detectadas a través del análisis de las señales registradas en el espectrómetro FT-ICR. Se observaron series de picos equidistantes de 152 Da, que corresponden a estructuras oligoméricas del tipo $(C_7H_{12}O_6)(C_7H_4O_4)_n$. Estas estructuras están asociadas a cationes de potasio y sodio, y se forman mediante enlaces de éster entre residuos de ácido gálico y ácido quínico.

El análisis computacional utilizando la teoría DFT permitió dilucidar la naturaleza de las especies identificadas y proporcionó información sobre las estructuras y la estabilidad de los diferentes isómeros y conformeros de los taninos hidrolizables de tara (2).

Figura 8. Estructura de taninos hidrolizables, de polvo de tara, formada por una cadena de dépsidos *n*-gálico (recuadro) unido, vía enlace éster, al ácido quínico en su posición meta C(5).



Extracción y caracterización de los taninos condensados del duramen de la madera de la parota



Diagrama 1. Procedimiento para la extracción y caracterización de los taninos condensados del duramen de *E. cyclocarpum*.

Las técnicas utilizadas para la caracterización de los taninos incluyeron el análisis de espectroscopía de infrarrojo (FTIR) y resonancia magnética nuclear (RMN) de protones (^1H) y carbono-13 (^{13}C).

En el caso de la espectroscopía de infrarrojo, se utilizó un equipo FTIR marca Thermo Scientific, modelo Nicolet iS5, para analizar la región del espectro infrarrojo que va desde los 4000 hasta los 550 cm^{-1} de la muestra. Los espectros de los taninos condensados obtenidos fueron comparados con los espectros de taninos comerciales de quebracho (*Schinopsis lorentzii*). A través de la interpretación de los espectros, se identificaron diferentes grupos funcionales presentes en las muestras de taninos, como grupos -OH aromáticos y alifáticos, enlaces -CH₂- metileno, vibraciones de tensión del C=C del anillo aromático, alcohol primario C-OH en un anillo aromático, flexión aromática de -CH, y vibración de tensión de un C-O alifático. Además, se observó que no había diferencias significativas en los espectros de los taninos condensados secados a diferentes temperaturas, lo que indicó que la degradación térmica de las muestras era despreciable.

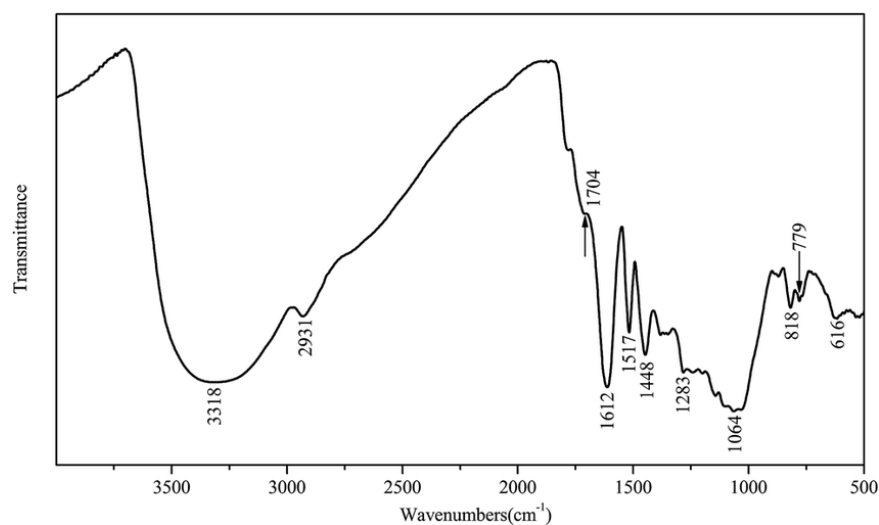
Tabla 1. Frecuencias experimentales FTIR de los taninos condensados.

<i>Frecuencias experimentales</i> <i>cm⁻¹</i>	<i>Grupo</i>	<i>Posición aproximada</i> <i>cm⁻¹</i>
3332	-OH vs	3500-3200
2918, 2848	-CH ₂ vs	3000-2840
1606, 1505 y 1450	C=C vs	1600, 1500 y 1450
1282	Ar C-OH vs	1275-1150
1217	C-O-C vs as	1275-1200

1111	C-H δ	1210-1100
1029	CH-OH (alifático)	1125-1000

Por debajo de 900 cm^{-1} se atribuyen vibraciones de deformación fura del plano C-H

Figura. 9. Espectro FT-IR del tanino de alerce (Tanino condensado).

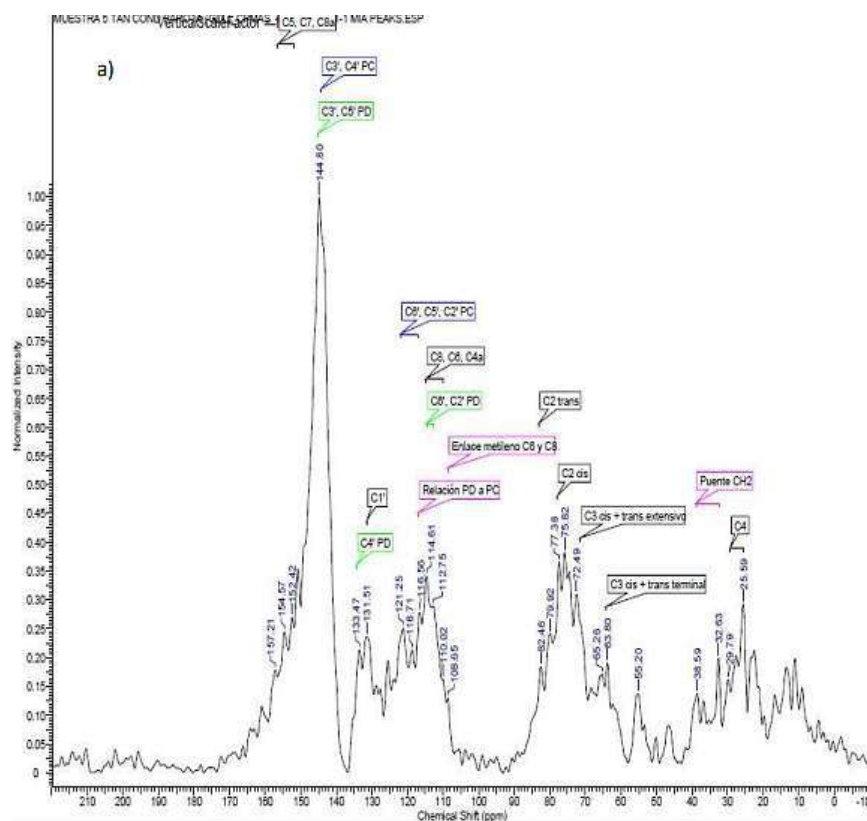


Fuente: (Zhang et al., 2017)

En cuanto a la resonancia magnética nuclear (RMN), se utilizaron dos resonadores para realizar espectroscopías de RMN de sólidos y líquidos. Para el RMN de líquidos, se empleó una frecuencia de 199 MHz para ^1H y 75 MHz para ^{13}C . Se disolvió una muestra de 20 mg en 0.7 mL de agua deuterada (D_2O) y se colocó en un tubo de RMN. Para el RMN de sólidos, se llevó a cabo un experimento de espectroscopía de estado sólido llamado CP-MAS ^{13}C (Cross Polarization – Magic Angle Spinning), utilizando una muestra de 50 mg a una frecuencia del núcleo de ^{13}C de 150 MHz. A partir de los espectros obtenidos, se identificaron las señales correspondientes a los

carbonos ubicados en los anillos aromáticos de los taninos. Estas señales se encontraron en el rango de desplazamiento químico (δ) de aproximadamente 90-160 ppm. Además, se detectaron señales específicas que indicaron la presencia de monómeros de catequina y galocatequina, que son los constituyentes de las proantocianidinas conocidas como procianidinas (PC) y prodelfinidinas (PD), respectivamente. La proporción de PC sobre PD se determinó mediante la intensidad de las señales en los espectros de RMN (3).

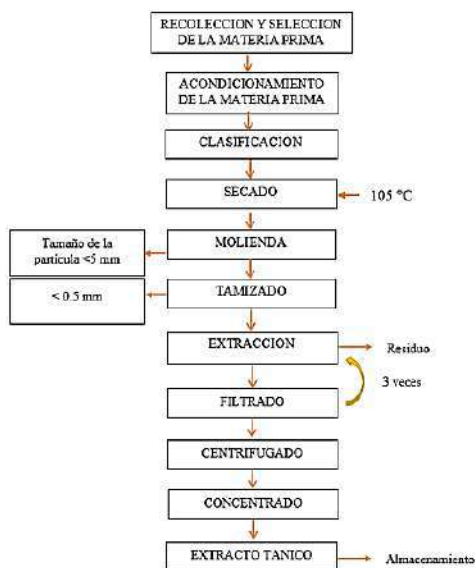
Figura 10. Gráficas de los espectros de RMN CP-MAS ^{13}C de los taninos de parota extraídos con etanol 50%.



**EXTRACCIÓN DE TANINOS A ESCALA DE
LABORATORIO A PARTIR DE SEMILLAS DE UVA
DEL VALLE CENTRAL DE TARIJA**

La metodología empleada para la extracción de taninos de las semillas de uva se realizó mediante el método de extracción sólido-líquido. Se recolectaron las semillas de uva en la provincia de Cercado, Tarija, Bolivia, y se separaron de los orujos fermentados. Luego, se estrujaron manualmente y se separaron del resto de los sólidos mediante tamizado. Las semillas se secaron a 105 °C durante 3 horas, se molieron en un molinillo eléctrico y se tamizaron para obtener el tamaño de partícula requerido. Los taninos se extrajeron mediante maceración dinámica con alcohol al 70% y 96% como solvente. La mezcla se calentó entre 55 °C y 65 °C durante 120 a 180 minutos. El extracto se filtró y se sometió a centrifugación para separar los sólidos y la grasa. Posteriormente, se evaporó el solvente etanol del extracto líquido utilizando un rotaevaporador a 2000 rpm por 10 minutos, se realiza el mismo proceso para la evaporación del solvente a 45 °C y 45 rpm. El extracto tánico concentrado se recolectó en botellas de vidrio ámbar y se almacenó a bajas temperaturas para su protección y análisis posterior.

Diagrama. 2.- Diagrama de flujo de la extracción de



taninos en las semillas de uvas.

MÉTODOS DE CARACTERIZACIÓN

Prueba Cloruro férrico FeCl_3

La aplicación de la prueba del Cloruro Férrico (FeCl_3) reveló la presencia de taninos en el extracto filtrado. Al agregar el cloruro férrico a la muestra, se observó una coloración verde-grisácea, lo que indica la presencia de taninos del tipo condensado (catecol). Esta coloración característica confirma la presencia de taninos en el extracto analizado.

Prueba Ácido Clorhídrico HCl

La realización de la prueba del Ácido Clorhídrico (HCl) proporcionó resultados reveladores. En el caso del extracto sin filtrar, se observó una coloración rojo-vino al aplicar el ácido clorhídrico, lo cual indica la presencia de taninos en la muestra. Por otro lado, en el extracto filtrado, se obtuvo una

coloración rojo-naranja al realizar la prueba. Estas coloraciones son indicativas de la presencia de taninos en ambos extractos, pero con matices distintos en cuanto a la tonalidad.

Prueba Gelatina enológica

La realización de la prueba de la Gelatina Enológica reveló resultados significativos. En el tubo de ensayo A, correspondiente al extracto sin filtrar, se observó la formación de un precipitado de color blanco-café. Por otro lado, en el tubo de ensayo B, que contiene el extracto filtrado, se obtuvo un precipitado de color blanco. Estas formaciones de precipitados indican claramente la presencia de taninos en ambos extractos analizados.

Prueba Gelatina enológica-Cloruro de Sodio (NaCl)

La prueba de la Gelatina Enológica-Cloruro de Sodio (NaCl) brindó resultados complementarios y reveladores. En el tubo de ensayo C, que contiene el extracto filtrado, se formó un precipitado de color blanco, similar a la prueba anterior. Sin embargo, se observó que la cantidad de precipitado fue mayor en comparación con la prueba de la Gelatina Enológica solamente. Esto sugiere una mayor concentración de taninos presentes en el extracto filtrado.

Prueba Acetato de plomo-Ácido acético

La realización de la prueba del Acetato de Plomo-Ácido Acético arrojó resultados relevantes. En el extracto sin filtrar, se observó la formación de un precipitado de color blanco-café. Esta coloración característica indica la presencia de taninos condensados tipo catequicos flabataninos en el extracto analizado. La formación de este precipitado proporciona evidencia adicional y confirma la presencia de taninos en la muestra.

Tabla. 2. Pruebas de identificación de taninos.

Reactivo	Tipo de tanino	Identificación	Imagen
Cloruro Férrico (FeCl_3)	Taninos condensados catecol	Cambio de coloración a verde-grisáceo	
Ácido Clorhídrico (HCl)	Flobafenos rojos o rojo catéquico	Cambio de coloración a rojo-vino	
Gelatina Enológica	Tanino	Formación de un precipitado	
Gelatina Enológica-cloruro de sodio (NaCl)	Tanino catéquico	Formación de un precipitado	

Acetato de plomo-Ácido acético	Tanino	Formación de un precipitado	
--------------------------------	--------	-----------------------------	--

EXTRACCIÓN DE TANINOS DE LA CORTEZA DE PINUS SPP TRATADA TÉRMICAMENTE – APLICACIÓN COMO ADHESIVO

La metodología empleada comienza con una mezcla de la corteza de Pinus spp. Las cortezas se fragmentan en dimensiones comerciales de 2 cm × 2 cm. Se diseñó un experimento para la extracción de taninos, como se muestra en la tabla 1, donde se describen los métodos utilizados para la termomodificación de la corteza y la evaluación de los compuestos tánicos.

Tabla 3. Tratamientos térmicos aplicados a los residuos de corteza de Pinus spp.

Tratamiento	Condiciones térmicas de las cortezas
1	Corteza sin tratamiento térmico (testigo)
2	Corteza a 60 °C en proceso seco durante 50 h
3	Corteza a 120 °C a vapor durante 10 h
4	Corteza adherida al tronco y sometida a 120 °C a vapor durante 10 h

Fuente: (Gonçalves et al., 2021).

Las cortezas se secaron y trituraron con un molino martillo para obtener el tamaño de partícula de 0.8 mm, el material residual se mezcla y se separa con tamices de 0.42 y 0.25 mm,

posteriormente las partículas se almacenan en condiciones controladas de 25°C y 65% de humedad relativa.

Se usa agua destilada y una proporción de 5% en relación con la masa seca de la corteza con sales de sulfito de sodio (Na_2SO_3) y carbonato de sodio (Na_2CO_3), para mejorar la extracción de taninos de esta. Para la extracción se usa un equipo de reflujo con matraz volumétrico y un condensador por un tiempo de 2 horas, la cual contiene una relación corteza/licor de 1:15 (p/v), 10 g de corteza y 5 % de sal en 150 mL de agua destilada, posteriormente se usa un filtro de vidrio sinterizado con una placa porosa número 2 (Gonçalves et al., 2021) colocado sobre un recipiente vacío para filtrar la solución, haciendo uso del número de Stiasny (NS) y la reactividad ultravioleta se determinarán los contenidos de taninos y demás sustancias extraíbles. Para determinar la cantidad de polifenoles reactivos del licor se toma una alícuota de 50 mL del extracto filtrado y se usa el índice de Stiasny, añadiendo 4 mL de formaldehído (37%) y 1 mL de ácido clorhídrico (HCl). La solución obtenida se mantiene en una manta térmica sobre reflujo durante 30 min.

Para determinar la reactividad se emplea un espectrofotómetro UV de 280 nm, en el cual se diluirá una alícuota de 1 mL del extracto filtrado en 200 mL de agua destilada. Para calcular la reactividad de los taninos se usa la relación entre las diferencias de la absorción del extracto antes y después de la reacción de “Stiasny” (Ec. 1).

$$RUV = \frac{(A_a \times \text{diluido}) - (A_d \times \text{diluido})}{A_a} \times 100 \quad (1)$$

donde:

RUV: reactividad ultravioleta

Aa: absorción antes de la adición de formaldehído y ácido clorhídrico

Ad: absorción después de la adición de formaldehído y ácido clorhídrico

Se toma 25mL de extracto, para posteriormente llevar a un secado a $103^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ hasta alcanzar una masa constante. La diferencia de masa antes y después del secado se utiliza para determinar el contenido de extractivos totales. Se aplica el método de Stiasny, que es un método analítico utilizado para determinar el contenido de taninos en una muestra. El número de Stiasny se multiplica por el contenido de extractivos totales para obtener el porcentaje de taninos, al restar el contenido de taninos del contenido de extractivos totales, se obtiene la cantidad de otras sustancias extraíbles presentes en la muestra.

Tabla. 4. Valores medios del contenido de extractivos, taninos y no taninos, número de Stiasny y reactividad por el método ultravioleta.

Método de extracción		Contenido de extractivos (%)	Número de Stiasny (SN)	Tanino (%)	No Tanino (%)	Reactividad UV
Corteza sin tratamiento térmico (testigo)	Agua	4,27	22,47	0,96	3,31	91,63
	Na ₂ CO ₃	18,09	72,75	13,16	4,93	90,28
	5%	15,51	69,47	10,77	4,74	94,04
	Na ₂ SO ₃ 5%					
Corteza a 60°C proceso	Agua	4,04	17,98	0,73	3,31	79,66
	Na ₂ CO ₃	18,79	67,41	12,67	6,12	96,56
	5%	14,06	63,62	8,94	5,11	95,56

seco por 50 h	Na_2SO_3 5%					
Corteza a 120 °C a vapor por 10 h	Agua	4,97	12,74	0,63	4,33	58,33
	Na_2CO_3 5%	17,60	63,94	11,25	6,35	94,18
	Na_2SO_3 5%	14,69	57,82	8,50	6,20	91,64
Corteza adherida al tronco a 120 °C a vapor por 10 h	Agua	4,38	78,29	3,43	0,95	91,80
	Na_2CO_3 5%	20,56	83,67	17,21	3,36	97,37
	Na_2SO_3 5%	20,55	89,37	18,36	2,19	96,83

Fuente: (Gonçalves et al., 2021).

Tabla. 5. Valores medios del contenido de sólidos, densidad y tiempo de formación de gel de los adhesivos.

Adhesivos / Dilución en agua destilada	Contenido de sólidos (%)	Densidad (g/cm³)	Tiempo de gel (min)
Acacia mearnsii comercial a 45%	39,98 b*	9,09 b	6'18" b
Mezcla de corteza de pino / Na_2CO_3 a 23%	19,16 a	8,74 b	0'46" a
Mezcla de corteza de pino /	43,53 b	7,56 a	1'05" a

Na₂SO₃ 45%	a			
---	----------	--	--	--

Fuente: (Gonçalves et al., 2021).

El uso de vapor a 120 °C durante 10 horas directamente en los troncos con corteza tuvo una eficacia baja en la eliminación de extractos tánicos. Sin embargo, la eficiencia fue diferente para las cortezas fragmentadas sometidas al tratamiento de vapor a 120 °C durante 10 horas.

Al añadir un 5% de carbonato de sodio, se obtuvieron mayores rendimientos en los contenidos de extractivos, taninos y sustancias extraíbles (no taninos). Sin embargo, el extracto acuoso resultante mostró propiedades alcalinas, mayor viscosidad y un tiempo de formación de gel más corto.

Por otro lado, la adición de un 5% de sulfito de sodio demostró eficiencia en la eliminación de extractos tánicos, además de proporcionar un adhesivo con menor viscosidad, carácter ácido y mayor contenido de sólidos.

APLICACIONES DE LOS TANINOS

Tanino en enología: Los taninos enológicos se extraen de la agallas, o de una madera rica en taninos estos pueden ser: castaños, robles, maderas exóticas o también pepitas de uvas, ya que los taninos están conformados por una mezcla de glucósidos ya sea de ácido gálico (galotaninos) o de la dilactona, ácido elágico (elagitaninos) estos a su vez son taninos hidrolizables (Paissoni et al., 2022), esta clase de taninos son productos naturales comerciales estas están autorizadas por la Organización Internacional de la Vigne et du Vin (OIV), aquí debemos tener en cuenta que los taninos hidrolizables dan estructura y sabor a los vinos carentes de textura y sabor, los taninos que provienen de los robles otorgan

un olor y sabor a los mejores vinos del mundo, también se forman de una mezcla de proantocianidinas que son taninos condensados, también se utilizan para facilitar la clarificación de vinos y mostos.

Los taninos enológicos varían en el color de amarillo pálido a marrón rojizo a un sabor astringente, esta clase de taninos son muy apreciados en la fabricación de vinos especialmente el vino tinto, según estudios se señala puede contribuir a mejorar el potencial de envejecimiento.



Figura. 11. *Taninos en el vino.*

TANINOS EN LA COSMETOLOGÍA

Los taninos son muy utilizados en la cosmetología debido a su alta capacidad antioxidante este se obtiene en plantas como la salvia, el té, orégano, en uvas, arándanos, etc. Estos son muy utilizados para el cuidado de nuestra piel sobre todo al nivel exterior para el uso o tratamiento espinillas, grasa y granos, estos a su vez previenen el envejecimiento e incluso estudios señalan que previene enfermedades degenerativas. Los taninos y el ácido elágico neutralizan a los radicales libres (Castaño Amores & Hernández Benavides, 2018).

Actualmente se aplican los taninos en la vinoterapia, pero también los encontramos en cremas otro tratamiento de belleza por taninos es la chocoterapia (Singh & Kumar, n.d.).

Figura. 12. Taninos en la cosmetología.

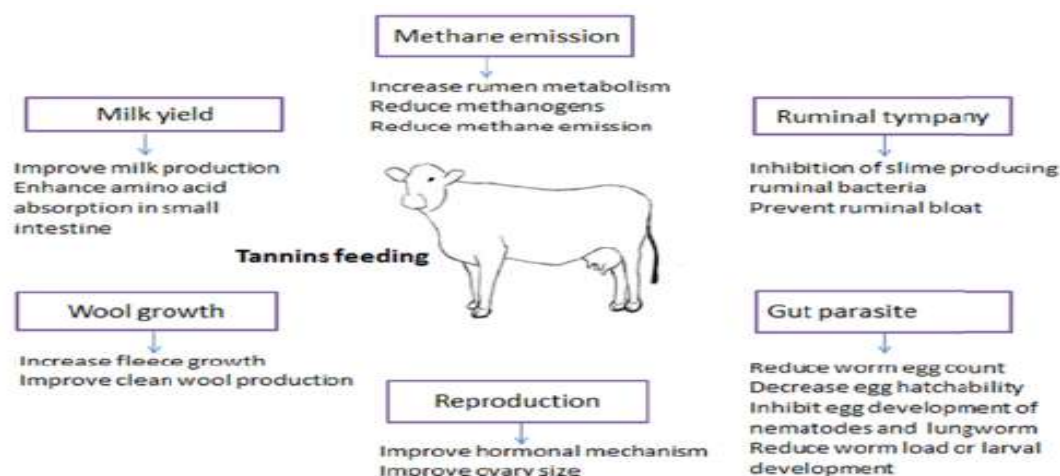


TANINOS EN LA ALIMENTACIÓN ANIMAL

Se utiliza como promotor de crecimiento natural para complementar la dieta de los animales de granja, ayudando a reequilibrar el microbiota intestinal y potenciar el sistema inmunitario. Eso significa reducir el uso de antibióticos y otros medicamentos y mejorar la calidad de vida de los animales. Este cambio tiene efectos beneficiosos en toda la cadena alimentaria, se agregan a las dietas de animales monogástricos (pollos, gallinas, conejos y cerdos) y rumiantes (vacas de carne, vacas lecheras, cabras y ovejas), a los que aportan muchos beneficios: tienen un efecto positivo en el sistema inmunitario, además son utilizados en la dieta de los animales de granja como promotores naturales del crecimiento, ayudando a reequilibrar el microbiota intestinal y fortalecer el sistema inmunológico así se evita el uso de medicamentos y antibióticos y así se mejora la calidad del ganado (Nel,

2018). En la actualidad estudios han demostrado que los forrajales a base de taninos tienen características anti hinchazón y antihelmínticas que mejora la calidad de la carne y de los productos lácteos además esta ayuda a la composición de ácido grasos y estado antioxidante de los rumiantes tal y como se muestra en la figura 2 (Jerónimo et al., n.d.).

Figura. 13. Taninos en la alimentación animal.



APLICACIÓN FARMACEUTICA DE LOS TANINOS

Los taninos se utilizan puros en los productos farmacéuticos actuales, excepto el ácido tánico y el tannalbin. Pycnogenol es un extracto patentado de taninos ampliamente utilizado, pero la mayoría de las aplicaciones medicinales se basan en los extractos de plantas crudas ricas en taninos (Pizzi, 2021).

Pycnogenol

Pycnogenol es una mezcla específica patentada de procianidinas extraídas de la corteza del pino, *Pinus pinaster* Aiton, se toma para tratar problemas de circulación, alergias, asma, zumbidos en los oídos, alta presión arterial, dolor muscular, dolor, osteoartritis, diabetes, trastorno por déficit de atención con hiperactividad (TDAH), una enfermedad del sistema reproductivo femenino llamado endometriosis, síntomas de la menopausia, períodos menstruales dolorosos, disfunción eréctil y una enfermedad ocular llamada retinopatía. Además, se utiliza para prevenir trastornos del corazón y de los vasos sanguíneos, incluidos accidentes cerebrovasculares, enfermedades y venas varicosas. Pycnogenol se emplea para retardar el proceso de envejecimiento, mantener una piel sana, mejorar la actividad física resistencia y mejorar la fertilidad masculina (J. Alvarez, n.d.).

CURTIEMBRE

La aplicación más antigua de los taninos es la estabilización de la proteína de las pieles de los animales contra la putrefacción, sin embargo, no todos los taninos son útiles, solo los que posean un peso molecular inferior a los 3000 Da, debido a que las moléculas grandes no pueden penetrar en la estructura de la fibra de la piel y tienden a ser insolubles en agua (Falcão & Araújo, 2018).

Los taninos se utilizan como agentes de curtido en el proceso de curtido vegetal, donde los taninos naturales extraídos de fuentes vegetales con maceración, infusión o extractos se utilizan para transformar la piel en cuero resistente, flexible y duradero, debido a estabilización del colágeno en la piel, que

es la principal proteína estructural, se logra mediante la formación de enlaces químicos entre el colágeno y los taninos presentes en los materiales vegetales. La cantidad de taninos que se absorben e incorporan a la matriz de fibras de colágeno varía entre el 15% y el 40% en peso seco de las pieles, dependiendo del tipo de cuero que se esté produciendo, ayudan a mejorar la estabilidad dimensional del cuero, reducir su encogimiento y aumentar su resistencia al desgarrar y la abrasión, también pueden contribuir a la fijación del color en el cuero, mejorando su capacidad para retener tintes y pigmentos. Finalmente, algunos taninos tienen propiedades antimicrobianas, lo que ayuda a prevenir el crecimiento de bacterias y hongos en el cuero.

Figura. 14. Curtido vegetal.



Fuente: [Consorzio Vera Pelle Italiana Conciata al Vegetale](#)

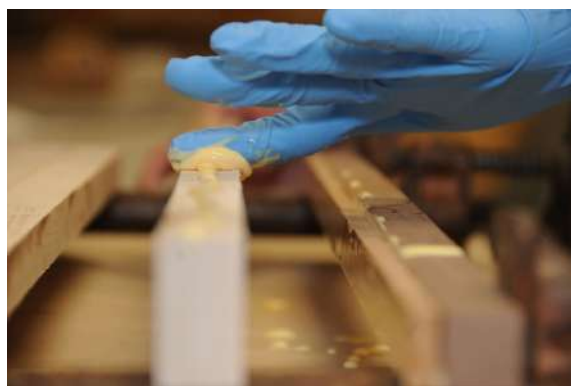
ADHESIVOS

Los taninos también se utilizan como adhesivos en diversas aplicaciones. Su capacidad para formar complejos con las

proteínas y otros compuestos debido a su estructura química polifenólica. Esta interacción ocurre a través de enlaces químicos, como los enlaces de hidrógeno y las interacciones electrostáticas, entre los grupos funcionales de los taninos y los residuos de aminoácidos y reaccionar con las proteínas mediante procesos de condensación y polimerización, lo que lleva a la formación de una red tridimensional de enlaces químicos entre los taninos y las proteínas. Estas reacciones químicas permiten que los taninos se adhieran a las superficies de los materiales y proporcionen una unión fuerte y duradera. Por lo que se convierte en un material adhesivo naturalmente efectivo.

Los taninos se utilizan en la fabricación de adhesivos para paneles de madera contrachapada, tableros de partículas y otros productos de madera. Estos adhesivos a base de taninos proporcionan una unión fuerte y duradera entre las piezas de madera. En la industria del papel los taninos se utilizan en la fabricación de adhesivos para el encolado y la laminación de papel, mejorando la resistencia y la durabilidad de los productos de papel (Pizzi & Kashmiri L, 2017).

Figura. 15. Contrachapado de madera.



Fuente: Greemap

TAXONOMÍA Y FUENTES NATURALES DE TANINOS

Tabla. 5. Fuentes naturales de taninos.

<i>Planta</i>	<i>Información</i>	<i>Parte que contiene taninos</i>	<i>Tipo de tanino</i>
Roble 	Nombre Científico: Quercus robur. Orden: Fagales Familia: Boraginaceae Género: Quercus	La corteza y la madera	Abundancia de elagitaninos. -Vescalagina -Castalagina -Grandinina -Roburina E (Arroyo, 2013).
Castaño 	Nombre Científico: Castanea sativa. Orden: Fagales Familia: Fagaceae Género: Castanea	La corteza, la madera y las vainas.	Taninos glucosídicos fácilmente hidrolizables (Silvateam, 2023).
Acacia negra	Nombre Científico:	La corteza, la madera y las vainas.	Extracto posee un mínimo de

	Acacia Mearnsii Orden: Fabales Familia: Fabaceae Género: Acacia		72% de taninos condensados (Dekel Dyes, 2023).
Mimosa 	Nombre Científico: Mimosa quadrivalvis Orden: Fabales Familia: Fabaceae Género: Mimosa	La corteza, la madera, las vainas y las hojas.	Taninos de la clase de los flavonoides, llamados catequinas y proantocianidinas (Hourdebaigt, Iade, Le Rose, & Damonte, 2007).
Vides 	Nombre Científico: Vitis acerifolia Orden: Vitales Familia: Vitaceae Género: Vitis	Presentes en tallos, la piel y semillas de la fruta.	Taninos condensados como las proantocianidinas constituidas por flavonoides que bajo hidrólisis ácida liberan

			antocianinas (Silvateam, 2023).
Sorgo 	Nombre Científico: Sorghum spp. Orden: Poales Familia: Poaceae Género: Sorghum	Cáscara y partes externas del grano.	Taninos del ácido elágico y protoantocianidinas (Nogueira, 2011).
Quebracho 	Nombre Científico: Schinopsis lorentzii Orden: Sapindales Familia: Anacardiaceae Género: Schinopsis	Madera.	Taninos condensados como las profisetinidinas (Silvateam, 2023).

CONCLUSIÓN

Tras realizar una revisión bibliográfica existente acerca de los metabolitos secundarios denominados taninos, se puede concluir que son compuestos de gran interés en diversas áreas de la industria textil, cosmetológica y farmacéutica, considerando que existen diferentes tipos de taninos, los

cuales se encuentran presentes en diversas fuentes naturales, en plantas como el roble, la acacia, la vid, el sorgo, entre otras. Los taninos son compuestos polifenólicos que se encuentran en gran variedad de plantas y tienen una amplia gama de propiedades y beneficios para la salud, por lo que su aplicación en diversos ámbitos resulta muy factible, ya sea como agentes antioxidantes, fabricación de tintes, aditivo en productos cosméticos y farmacéuticos o aplicarlos en la curtiembre de cueros de la industria textil con el fin de evitar los colorantes inorgánicos. La extracción de estos compuestos se lo realiza a partir de prácticamente de toda la planta, ya sea a partir de la corteza, raíz, frutas, semillas, hojas o ramas dependiendo de la planta analizada y su respectiva aplicación planteada. Sin embargo, se considera que el consumo en exceso de los taninos en exceso puede tener efectos negativos, como lo es la interferencia con la absorción de nutrientes esenciales y la inhibición de enzimas digestivas. Por lo tanto, es importante consumir taninos de forma equilibrada y moderada, reconociendo sus potenciales efectos tanto positivos como negativos para la salud. Se recalca que las investigaciones de estos compuestos resultan muy relevantes con el fin de aprovecharlos de mejor manera en las diversas áreas de interés, buscando alternativas y soluciones a grandes problemáticas existentes como lo son la contaminación medioambiental y las enfermedades existentes, garantizando de esa manera la salud y el bienestar de las personas y de las futuras generaciones.

BIBLIOGRAFÍA

- Alvarez, C., & Lock de Ugaz, O. (1992). TANINOS. *Revista de Química.*, 6.
- Alvarez, J. (n.d.). *Efecto despigmentante del extracto de Pino Marino Francés (Pycnogenol®) en pacientes con hipercromía facial Resumen Effect of extract of depigmenting French Marine Pine (Pycnogenol®) in patients with facial hyperchromia.*
- Castaño Amores, C., & Hernández Benavides, P. J. (2018). Activos antioxidantes en la formulación de productos cosméticos antienviejecimiento. *Ars Pharmaceutica (Internet)*, 59(2).
<https://doi.org/10.30827/ars.v59i2.7218>
- Cheynier, V. (2012). Phenolic compounds: from plants to foods. *Phytochemistry Reviews*, 11(2–3), 153–177.
<https://doi.org/10.1007/s11101-012-9242-8>
- Das, A. K., Islam, Md. N., Faruk, Md. O., Ashaduzzaman, Md., & Dungani, R. (2020). Review on tannins: Extraction processes, applications and possibilities. *South African Journal of Botany*, 135, 58–70.
<https://doi.org/10.1016/j.sajb.2020.08.008>
- Falcão, L., & Araújo, M. E. M. (2018). Vegetable tannins used in the manufacture of historic leathers. In *Molecules* (Vol. 23, Issue 5). MDPI AG.
<https://doi.org/10.3390/molecules23051081>
- Fernández, K. (2007). *Caracterización de Taninos.*
<https://www.politecnica.pucrs.br/laboratorios/taninos/restrito/caracterizacion-taninos.pdf>

Gonçalves, F. G., Chaves, I. L. S., Vargas Fassarella, M., Brito, A. S., da Silva, É. S. G., López, Y. M., & de Oliveira, R. E. G. (2021). Tannin extraction from heat-treated pinus spp bark - Application as an adhesive. *Madera y Bosques*, 27(1). <https://doi.org/10.21829/myb.2021.2712041>

Hipolito, J., & Martinez, I. (2007). *Taninos o polifenoles vegetales PRODUCTOS NATURALES Y ACTIVIDAD BIOLÓGICA IN VITRO DE GÉNERO MERIANIA (MELASTOMATACEAE) View project Hydrolysable Tannins from Colombian Melastomataceae View project*.
<https://www.researchgate.net/publication/26543888>

INF-2002-039. (n.d.). Retrieved June 28, 2023, from <https://digi.usac.edu.gt/bvirtual/informes/puidi/INF-2002-039.pdf>

Jerónimo, E., Pinheiro, C., Lamy, E., Teresa Dentinho, M., Sales-Baptista, E., Lopes, O., & Capela Silva, F. (n.d.). *Tannins in Ruminant Nutrition_Impact on Animal Performance and Quality of Edible Products (author's proof)*.

Makkar, H. P. S. (2003). *Quantification of Tannins in Tree and Shrub Foliage*. Springer Netherlands.
<https://doi.org/10.1007/978-94-017-0273-7>

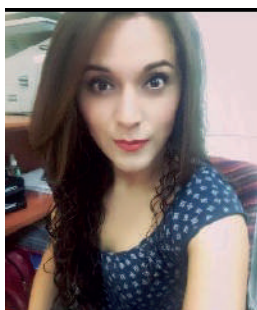
Nel, A. P. (2018). Tannins and anthocyanins: From their origin to wine analysis - A review. In *South African Journal of Enology and Viticulture* (Vol. 39, Issue 1, pp. 1–20). South African Society for Enology and Viticulture.
<https://doi.org/10.21548/39-1-1503>

- Ortega, C. H., González, Y. ;, & Mosquera, D. M. (2007). Universidad de Oriente. *Revista Cubana de Química*, XIX(2), 52–54.
<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=443543707007>
- Paissoni, M. A., Bitelli, G., Vilanova, M., Montanini, C., Río Segade, S., Rolle, L., & Giacosa, S. (2022). Relative impact of oenological tannins in model solutions and red wine according to phenolic, antioxidant, and sensory traits. *Food Research International*, 157. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2022.111203>
- Pizzi, A. (2021). Tannins medical / pharmacological and related applications: A critical review. *Sustainable Chemistry and Pharmacy*, 22. <https://doi.org/10.1016/j.scp.2021.100481>
- Pizzi, A., & Kashmiri L, M. (2017). *Handbook of Adhesive Technology, Third Edition* (A. Pizzi & Kashmiri Mittal, Eds.). CRC Press. <https://doi.org/10.1201/9781315120942>
- Scalbert, A., & Williamson, G. (2000). Dietary Intake and Bioavailability of Polyphenols. *The Journal of Nutrition*, 130(8), 2073S-2085S. <https://doi.org/10.1093/jn/130.8.2073S>
- Shirmohammadli, Y., Efhamisisi, D., & Pizzi, A. (2018). Tannins as a sustainable raw material for green chemistry: A review. *Industrial Crops and Products*, 126, 316–332. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2018.10.034>
- Sieniawska, E., & Baj, T. (2017). Tannins. In *Pharmacognosy: Fundamentals, Applications and Strategy* (pp. 199–

232). Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-802104-0.00010-X>

Singh, A. P., & Kumar, S. (n.d.). *Applications of Tannins in Industry*. www.intechopen.com

Zhang, A., Li, J., Zhang, S., Mu, Y., Zhang, W., & Li, J. (2017). Characterization and acid-catalysed depolymerization of condensed tannins derived from larch bark. *RSC Advances*, 7(56), 35135–35146. <https://doi.org/10.1039/C7RA03410E>



Ing. Linda Flores Fiallos. MsC, PhD(c)

Ingeniera Química
Máster Universitario en Química Orgánica
Doctorado en Química – Universidad de Granada. España
Docente investigador del grupo de investigación GIADE Grupo de Investigación de Ambiente y Desarrollo
Docente Ocasional – Escuela Superior Politécnica de Chimborazo



BQF. Adriana Isabel Rodríguez Basantes. Mgs.

Bioquímica Farmacéutica
Magister en Sistemas Agroindustriales
Docente Ocasional – Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.
Gerente Aseguramiento de Calidad SIMAA Cia Ltda.



Dra. Adriana Monserrath Monge Moreno, PhD(c)

Doctora en Química y Farmacia.
Diplomado Superior en Desarrollo Local y Salud.
Especialista en Gerencia y Planificación Estratégica en Salud.
Magister en Gerencia de Salud para el Desarrollo Local.
Magister en Bioquímica Clínica.
Doctorado (c) en Ciencias de la Salud – Universidad del Zulia – Maracaibo República Bolivariana de Venezuela.
Docente Ocasional – Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.
Líder Laboratorio de Diagnóstico Clínico A&G- LAB.

ISBN: 978-9942-33-730-6



compAs
Grupo de capacitación e investigación pedagógica



@grupocompas.ec
compasacademico@icloud.com