

TRABAJO DE FIN DE GRADO
SUSTANCIAS BIOACTIVAS EN PLANTAS;
UTILIDAD MEDICINAL

Grado en Farmacia



Trabajo de fin de grado realizado por
Brayan Josué López Gamboa

bajo la supervisión del profesor
Guillermo González Hernández

Julio 2023

ÍNDICE

RESUMEN	3
ABSTRACT	4
1 INTRODUCCIÓN	5
2 OBJETIVOS	7
2.1 GENERAL.....	7
2.2 ESPECÍFICOS.....	7
3 METODOLOGÍA	8
4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN	9
4.1 COMPUESTOS FENÓLICOS, SIKIMATOS, ACETATOS.....	9
4.1.1 <i>Biosíntesis</i>	9
4.1.2 <i>Métodos de análisis químico</i>	10
4.1.3 <i>Tipos de compuestos fenólicos</i>	11
4.1.3.1 Fenoles simples.....	11
4.1.3.2 Ácidos fenólicos.....	11
4.1.3.2.1 Derivados del ácido cafeico.....	11
4.1.3.3 Flavonoides.....	12
4.1.3.4 Taninos.....	13
4.1.3.5 Quinonas y derivados antracénicos.....	13
4.1.3.6 Lignanos y cumarinas.....	14
4.2 TERPENOS.....	15
4.2.1 <i>Biosíntesis</i>	15
4.2.2 <i>Métodos de análisis químico</i>	15
4.2.3 <i>Tipos de terpenos</i>	16
4.2.3.1 Monoterpenos.....	16
4.2.3.1.1 Monoterpenos regulares acíclicos.....	16
4.2.3.1.2 Monoterpenos regulares cíclicos.....	17
4.2.3.2 Sesquiterpenos.....	17
4.2.3.3 Lactonas sesquiterpénicas.....	18
4.2.3.4 Diterpenos.....	18
4.2.3.5 Hidrocarburos terpénicos.....	19
4.3 ALCALOIDES.....	20
4.3.1 <i>Biosíntesis</i>	20
4.3.2 <i>Métodos de análisis químico</i>	20
4.3.3 <i>Tipos de alcaloides</i>	21
4.3.3.1 Derivados de ornitina y lisina.....	21
4.3.3.1.1 Alcaloides piridínicos y piperidínicos.....	21
4.3.3.2 Derivados de fenilalanina y tirosina.....	21
4.3.3.2.1 Alcaloides feniletílamínicos.....	21
4.3.3.2.2 Alcaloides isoquinoleínicos.....	22
4.3.3.3 Derivados del triptófano.....	23
4.3.3.3.1 Alcaloides quinoleínicos.....	23
4.3.3.3.2 Alcaloides indólicos.....	24
4.3.3.4 Alcaloides de origen diverso.....	24
4.3.3.4.1 Imidazólicos y bases xánticas.....	24
5 CONCLUSIÓN	26
6 BIBLIOGRAFÍA	27

RESUMEN

Las sustancias bioactivas son compuestos químicos naturales que se encuentran tanto en animales como en plantas. Estas tienen un papel importante en la protección y en el crecimiento del vegetal.

Algunos ejemplos presentes en los grupos más importantes son los compuestos fenólicos procedentes del romero que tienen poder diurético, por otro lado, alcaloides como la cafeína pueden tener efectos estimulantes y por último, los terpenoides como el limoneno, que se encuentran en aceites esenciales y tienen efectos antimicrobianos y antivirales.

Buena parte de estas sustancias se obtienen de distintas partes de las plantas, para luego ser estudiadas mediante distintos métodos de análisis químico para así conocer las distintas propiedades que nos puedan aportar, las cuales son beneficiosas para la salud, tales como poder antioxidante, antiinflamatorio, antimicrobiano, analgésico y anticancerígeno, entre otras.

Luego de estudiar sus propiedades, se busca la forma en la que estas sustancias puedan ser aprovechadas para contribuir con la salud por medio de la industria farmacéutica, las cuales en los últimos años han demostrado jugar un papel amplio e importante, siendo fundamental en algunas terapias para ciertos pacientes.

ABSTRACT

Bioactive substances are natural chemical compounds found in both animals and plants. These have an important role in the protection and in the growth of the plant.

Some examples present in the most important groups are the phenolic compounds from rosemary, that have diuretic power, on the other hand, alkaloids such as caffeine can have stimulating effects and finally terpenoids such as limonene, which are found in essential oils and have antimicrobial and antiviral effects.

A good part of these substances are obtained from different parts of plants, to be studied later using different methods of chemical analysis to know the different properties that they can provide us, rich are beneficial to health, such as antioxidant, anti-inflammatory, antimicrobial, analgesic and anticancer, among others.

After studying their properties, how these substances can be used to contribute to health through the pharmaceutical industry is sought, which in recent years has shown to play a broad and important role, being essential in some therapies for certain patients.

1 INTRODUCCIÓN

Las plantas han sido fuentes inagotables de sustancias bioactivas utilizadas en la medicina tradicional y moderna (1).

Estas sustancias, como los alcaloides, terpenos y fenoles, han capturado la atención de los investigadores debido a su amplio espectro de propiedades medicinales. Su presencia en diversas especies vegetales ha llevado al descubrimiento y desarrollo de numerosos fármacos y compuestos terapéuticos (2).

Los alcaloides son una clase de sustancias bioactivas que se encuentran comúnmente en plantas y que poseen propiedades farmacológicas significativas. Estos compuestos nitrogenados se caracterizan por su capacidad para interactuar con receptores específicos en el cuerpo humano, lo que les confiere un potencial terapéutico diverso. Algunos alcaloides ampliamente conocidos son la morfina, la quinina, la codeína y la cafeína. Estas sustancias se han utilizado durante siglos para tratar dolencias como el dolor, la fiebre y enfermedades infecciosas (3).

Por otro lado, los terpenos constituyen una amplia clase de compuestos bioactivos presentes en muchas plantas, incluyendo hierbas, especias y árboles. Estos metabolitos secundarios son responsables de los aromas y sabores distintivos de muchas especies vegetales. Los terpenos también exhiben propiedades medicinales y se han utilizado en la fabricación de productos farmacéuticos y cosméticos. Algunos ejemplos notables de terpenos son el mentol, el limoneno y el carvacrol. Estas sustancias han demostrado poseer propiedades antibacterianas, antiinflamatorias, antioxidantes y anticancerígenas (4).

Los fenoles son otra clase de compuestos bioactivos que se encuentran en una amplia variedad de plantas. Estas moléculas orgánicas se caracterizan por la presencia de uno o más grupos hidroxilo (-OH) unidos a un anillo aromático.

Estos han sido reconocidos por sus propiedades antioxidantes y por su capacidad para neutralizar los radicales libres, lo que contribuye a su actividad medicinal. Algunos fenoles notables incluyen el resveratrol, el ácido elágico y la curcumina. Estas sustancias han sido objeto de numerosos estudios debido a su potencial para combatir enfermedades crónicas, como el cáncer, las enfermedades cardiovasculares y las enfermedades neurodegenerativas (5).

En este trabajo se explicará la clasificación de las sustancias bioactivas, dando ejemplos de ellas, los métodos de análisis químico por los cuales se han descrito las estructuras de estas, de donde se extraen o de donde se obtienen las distintas sustancias y su actividad medicinal en el cuerpo humano, así como también la forma farmacéutica en la que podemos encontrarlas.

2 OBJETIVOS

2.1 General

- Conocer la actividad medicinal de sustancias bioactivas en distintas plantas.

2.2 Específicos

- Establecer una noción básica de la clasificación de algunas sustancias bioactivas con interés medicinal.
- Explicar los métodos de análisis llevados a cabo según las sustancias para conocer la estructura de estas y las propiedades que poseen.
- Conocer la utilidad medicinal que tienen las sustancias bioactivas.
- Analizar las formas farmacéuticas en las que podemos encontrar las distintas sustancias bioactivas estudiadas.

3 METODOLOGÍA

Las fuentes de información utilizadas en la elaboración del presente trabajo han sido: buscadores científicos y/o páginas webs tales como: PubMed, NCBI, Google Scholar, Scielo, el PuntoQ que es un recurso habilitado por la Universidad de La Laguna (ULL), artículos de divulgación, trabajos de fin de master o de doctorado y libros como Fitoterapia: vademecum de prescripción 4ª edición de los editores, Bernat Vanaclotcha y Salvador Cañigüeral publicado en el año 2003 o Farmacognosia: fitoquímica, plantas medicinales de Jean Bruneton publicado en 2001.

Se emplearon palabras claves como: sustancias bioactivas, alcaloides, fenoles, terpenos, plantas medicinales, actividad farmacológica, forma farmacéutica, biosíntesis.

La búsqueda se realizó en español y en inglés preferentemente, teniendo como criterio de exclusión aquellos artículos a los que no se tuviera acceso de manera gratuita y como criterio de inclusión se intentó seleccionar revisiones que, en su mayoría, fueran publicadas recientemente.

4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Compuestos fenólicos, sikimatos, acetatos

4.1.1 Biosíntesis

En vegetales sigue la ruta del ácido shikímico y la del acetato-malonato para conseguir la biotransformación.

Por un lado, siguiendo la ruta del shikimato se pueden producir diversos ácidos aromáticos que asientan la base de posteriores compuestos más funcionalizados, por otro lado, si se procede con la ruta del acetato-malonato se formarán fenoles simples (3), (6).

- Ruta del ácido shikímico (Figura 1)

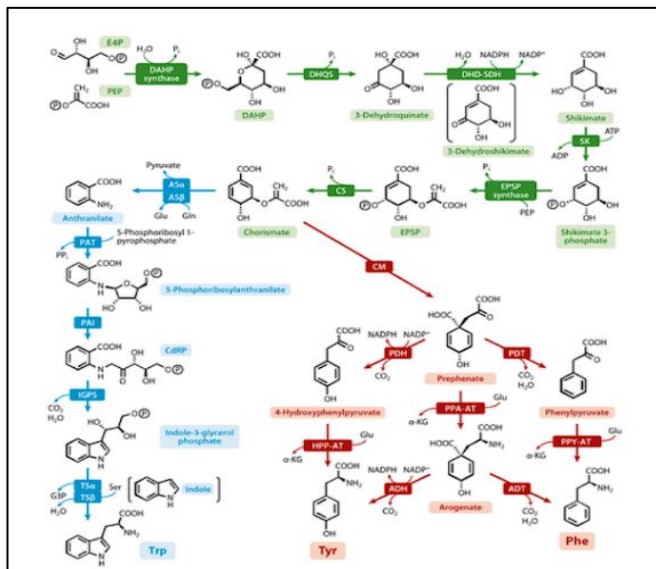


Figura 1. Maeda, H., & Dudareva, N. (2012). The Shikimate Pathway and Aromatic Amino Acid Biosynthesis in Plants.

A partir del corismato se origina el triptófano (Trp), ocurren seis reacciones enzimáticas en esta ruta, en cuanto a la fenilalanina (Phe) y la tirosina (Tyr), estas son formadas a partir de tres reacciones en las rutas de arogenato o fenilpiruvato/4-hidroxifenilpiruvato (7). (Figura 2).

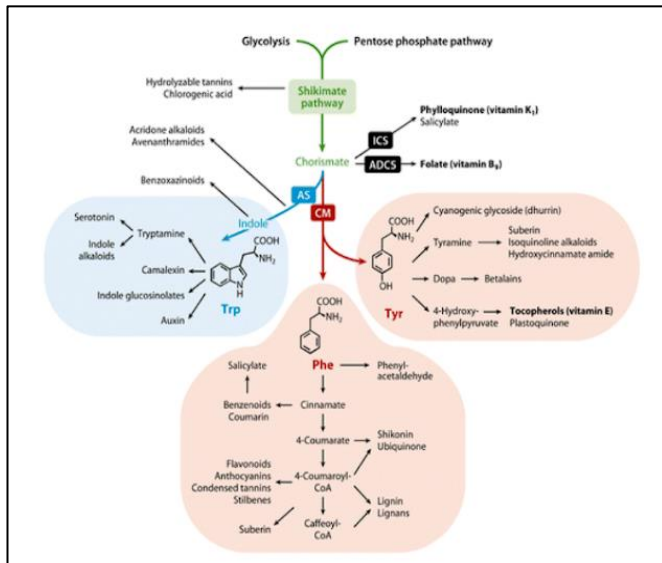


Figura 2. Maeda, H., & Dudareva, N. (2012). The Shikimate Pathway and Aromatic Amino Acid Biosynthesis in Plants.

4.1.2 Métodos de análisis químico

Ha supuesto un reto para los científicos lograr perfeccionar el estudio de estos compuestos, para ello ha sido imprescindible el uso de diversas técnicas analíticas que permitieran la identificación y cuantificación.

1. Resonancia magnética nuclear de carbono e hidrógeno (^1H RMN, ^{13}C RMN).
2. Cromatografía de gases acoplada a detectores selectivos de masas.
3. Cromatografía líquida de alta eficiencia (HPLC) y sus variantes (6).

4.1.3 Tipos de compuestos fenólicos

4.1.3.1 Fenoles simples

- Parte de la planta con actividad vegetal

Se pueden extraer de la gayuba, ya sea de la hoja desecada, entera o fragmentada (3).

- Estructura del compuesto

Heterósidos hidroquinónicos como arbutósido (5-16%), metil arbutósido (4%), hidroquinona (0,3%).

- Bioactividad

La hidrólisis de la arbutina en el intestino libera hidroquinona, esta llega al hígado para conjugarse con derivados glucurónidos y ésteres de sulfato para posteriormente eliminarse en orina, liberando parcialmente la hidroquinona y ejercer sus efectos. Es importante tener una orina alcalina para que se produzca el efecto correctamente.

- Aplicaciones según su forma farmacéutica

Se toma como infusión hirviendo una cucharada de postre de hojas de gayuba por taza de agua, y se toman tres tazas a lo largo del día. También se presenta en polvo, pastillas y tintura.

Ambas presentaciones sirven para tratar infecciones en el tracto urinario como cistitis, uretritis, prostatitis y vaginitis (8).

4.1.3.2 Ácidos fenólicos

4.1.3.2.1 Derivados del ácido cafeico

- Parte de la planta con actividad vegetal

A partir del Romero, se extraen aceites esenciales de la sumidad florida desecada, también de su hoja radical, entera o reducida (3).

- **Estructura del compuesto**

En cuanto a los compuestos fenólicos se encuentran representados por flavonoides y ácidos fenólicos.

- **Bioactividad**

Se trata de una droga colerética y diurética. El ácido rosmarínico es antiinflamatorio, inhibe la activación del factor C3 del complemento.

En cuanto a la actividad antioxidante observamos que, en comparación con los antioxidantes sintéticos utilizados en la actualidad, los derivados del ácido caféico tienen una gran eficacia.

- **Aplicaciones según su forma farmacéutica**

Se suele consumir en forma de té, gotas concentradas o en cápsulas (3).

4.1.3.3 Flavonoides

- **Parte de la planta con actividad vegetal**

Se encuentran en vegetales, plantas como el cardo y frutas como arándanos.

- **Estructura del compuesto**

Los flavonoides tienen en su estructura química distintos grupos hidroxilos fenólicos que comparten un esqueleto común pero que a su vez permite varios patrones de sustitución y variaciones en su anillo, lo que hace que exista una gran variedad de flavonoides (5).

- **Bioactividad**

Son utilizados como antioxidantes, antifúngicos y bactericidas, también son beneficiosos en la quimioterapia antiviral y contra el virus de la hepatitis C (VHC).

- **Aplicaciones según su forma farmacéutica**

Su principal uso es en bebidas como extracto de té verde o de extracto de saúco, también podemos encontrarlos en forma de cápsulas (9).

4.1.3.4 Taninos

- **Parte de la planta con actividad vegetal**

Están presentes en frutas como las uvas o manzanas, verduras como las espinacas, cereales y semillas.

- **Estructura del compuesto**

Son polifenólicos hidrosolubles que pueden formar sales con alcaloides y precipitar proteínas (10).

- **Bioactividad**

Actúan mediante la desnaturalización de proteínas, lo que les proporciona propiedades astringentes, antimutagénicas y antivirales. Por ello tienen la capacidad de curtir la piel (11).

- **Aplicaciones según su forma farmacéutica**

Además de consumir directamente las frutas o las verduras, los taninos pueden ser aplicados mediante solución para uso cutáneo para que ejerzan sus propiedades astringentes, antisépticas y queratoplásticas (12).

4.1.3.5 Quinonas y derivados antracénicos

- **Parte de la planta con actividad vegetal**

Estas están ampliamente distribuidas entre microorganismos, insectos y en diversas partes de plantas como en sus hojas, tallos, madera y frutos. Un ejemplo de este grupo es la aloína, procedente del acíbar (zumo desecado de las hojas) siendo un compuesto natural y el ingrediente principal del Aloe vera (10).

- **Estructura del compuesto**

Son compuestos aromáticos con 2 grupos cetona insaturadas.

- **Bioactividad**

Se pueden utilizar como laxantes, absorbiéndose en el intestino grueso a nivel del colon, como complemento de afecciones circulatorias, urticarias, varices o para la cicatrización (13).

- **Aplicaciones según su forma farmacéutica**

Un gran ejemplo de una quinona puede ser la vitamina K, la cual juega un papel importante en la coagulación sanguínea y la podemos encontrar en formas de grajeas (5).

4.1.3.6 Lignanos y cumarinas

- **Parte de la planta con actividad vegetal**

Se puede encontrar en semillas como la linaza, raíces, hojas y flores de plantas como la calabaza o el ajonjolí (14).

- **Estructura del compuesto**

Se forman a partir de la dimerización oxidativa de dos o más unidades de fenilpropanoides.

- **Bioactividad**

Actúan como antiinflamatorios inhibiendo a la COX-1 y COX-2 (Ciclooxigenasas), mejoran los síntomas de la menopausia y osteoporosis, sirven como anticoagulantes y disminuyen el riesgo de enfermedades cardíacas (15).

- **Aplicaciones según su forma farmacéutica**

Un ejemplo muy típico en la industria farmacéutica es la warfarina, que es un derivado cumarínico utilizado como anticoagulante, lo encontramos en forma de comprimidos (14).

4.2 Terpenos

4.2.1 Biosíntesis

Vía del mevalonato:

En la etapa inicial ocurre una condensación de Claisen precedida por dos enzimas que catalizan la reacción, posteriormente tras múltiples fosforilaciones la molécula adquiere un grupo pirofosfato que permite la descarboxilación y obtención del pirofosfato de isopentenilo (IPP). Una vez formado el IPP ocurre el acoplamiento cabeza-cola de las unidades isoprénicas (Figura 3)

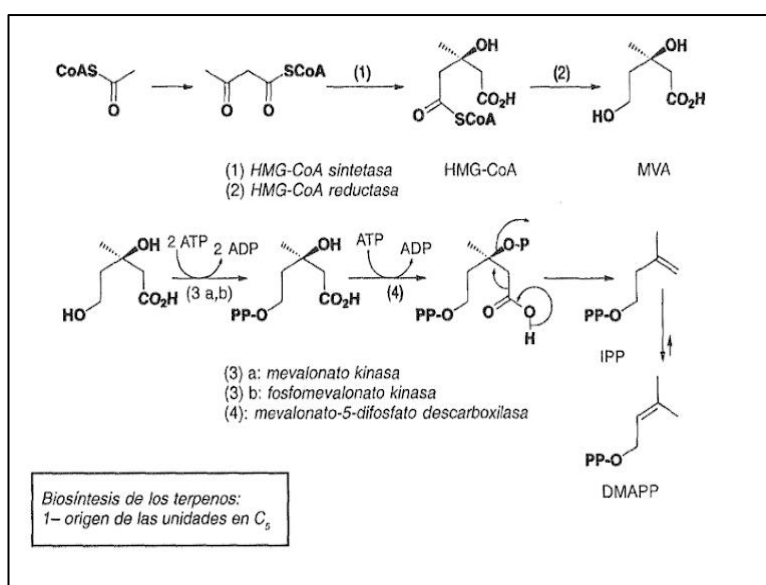


Figura 3. Bruneton, J. (2001). Farmacognosia, fitoquímica, plantas medicinales.

4.2.2 Métodos de análisis químico

Se han utilizado métodos cromatográficos como infrarrojos (IR) y resonancia magnética nuclear de carbono e hidrógeno para determinar las estructuras del compuesto.

Métodos cromatográficos revelados con luz ultravioleta para visualizar los metabolitos secundarios (16).

4.2.3 Tipos de terpenos

4.2.3.1 Monoterpenos

Los terpenos son hidrocarburos. De los aceites esenciales provienen fenilpropanoides y otros compuestos aromáticos o alifáticos de tipo volátil (hidrocarburos, alcoholes, aldehídos, cetonas, etc.). Se caracterizan por ser hidrófobos y volátiles, se pueden obtener por destilación con arrastre de vapor de agua (17).

4.2.3.1.1 *Monoterpenos regulares acíclicos*

- **Parte de la planta con actividad vegetal**

Es extraído de aceites esenciales de plantas como el tomillo, cannabis, perejil, mangos o coníferas por pirólisis del β -pineno.

- **Estructura del compuesto**

Es un monoterpeno acíclico que contiene tres dobles enlaces altamente reactivos (18).

- **Bioactividad**

Tiene efectos significativos como antiinflamatorio inhibiendo a las prostaglandinas, antioxidante, sedante, analgésico, antibiótico y antiséptico (19).

La inhalación de aceite esencial de Cannabis sativa, rico en mirceno, mejoró la actividad nerviosa y alivió el estrés y la ansiedad. Indujo una sensación de relajación, energía, tranquilidad y un aumento del estado de ánimo. También ha mostrado tener propiedades anticonvulsivas (20), (21).

- **Aplicaciones según su forma farmacéutica**

Mediante su polimerización se puede obtener látex para hacer adhesivos, se puede beber en forma de infusiones hechas con las hojas para conciliar el sueño, comer directamente la fruta o hervir las hojas de la planta y aplicarlas sobre la zona inflamada para que ejerza su actividad antiinflamatoria (22).

4.2.3.1.2 Monoterpenos regulares cíclicos

- **Parte de la planta con actividad vegetal**

El limoneno proveniente de los frutos de Citrus medica se puede extraer por destilación o procesos pirolíticos y tiene numerosas aplicaciones en la industria. La destilación simple o a vapor de las cáscaras es uno de los métodos naturales para obtenerlo (23).

- **Estructura del compuesto**

Pueden tener un único anillo, dos o tres, lo que hará que la molécula sea más o menos volátil (4).

- **Bioactividad**

Tienen propiedades antisépticas y se utilizan sobre todo para el acné o en champús, se han utilizado contra el reflujo gastroesofágico y como ansiolítico.

- **Aplicaciones según su forma farmacéutica**

Lo encontramos como suplementos disponibles en forma de gotas concentradas o cápsulas (24).

4.2.3.2 Sesquiterpenos

- **Parte de la planta con actividad vegetal**

Se encuentran en aceites esenciales de plantas no vasculares y de hongos (25).

- **Estructura del compuesto**

Sesquiterpenos: tres unidades de isopreno, cuya fórmula química es C₁₅H₂₄. Son más estables y grandes que los monoterpenos (4).

- **Bioactividad**

Son ampliamente utilizadas como antibióticos de origen fúngico o como garrapaticidas (25), (26). Coadyuvante en la terapia de irritaciones menores de la piel y mucosa en la zona genital y anal.

- **Aplicaciones según su forma farmacéutica**

Se aplica en forma líquida sobre la piel (27).

4.2.3.3 Lactonas sesquiterpénicas

- **Parte de la planta con actividad vegetal**

Proviene de los brotes y raíces de distintas plantas.

- **Estructura del compuesto**

Un ejemplo de este grupo sería la artemisinina, que es un metabolito producido a partir de la *Artemisia annua* que contiene lactonas sesquiterpénicas (28).

- **Bioactividad**

Actúa principalmente contra el paludismo, como antimicrobiano y antifúngico (29).

- **Aplicaciones según su forma farmacéutica**

Están presentes en potentes fármacos antipalúdicos en forma de polvo y disolvente para solución inyectable para tratar la malaria o como antimicrobiano y antifúngico, siendo eficaces contra el virus del sida en los seres humanos (30).

4.2.3.4 Diterpenos

Los diterpenos tienen muchos beneficios terapéuticos, como antitumorales, citotóxicos y antiinflamatorios. Están presentes en fármacos anticancerígenos como el taxol.

- **Parte de la planta con actividad vegetal**

Las tanshinonas son una clase de diterpenos que se aíslan de raíces o rizomas secos de una hierba de la medicina tradicional china llamada *Salvia miltiorrhiza* (28).

- **Estructura del compuesto**

Son compuestos de 20 átomos de carbono, que suelen tener insaturaciones y grupos hidroxilo en su estructura (25).

- **Bioactividad**

Esta hierba se ha utilizado en muchos países asiáticos para soluciones preventivas y terapéuticas para muchas enfermedades como las cardiopatías, las enfermedades vasculares y la artritis. También pueden reducir la inflamación y aumentar la respuesta inmunitaria (28).

- **Aplicaciones según su forma farmacéutica**

Se pueden encontrar en supositorios infantiles (1), en medicamentos de quimioterapia como el taxol® y en cápsulas como antihipertensivos o antiagregantes plaquetarios (31).

4.2.3.5 Hidrocarburos terpénicos

- **Parte de la planta con actividad vegetal**

El α -pineno y β -pineno se encuentra ampliamente distribuido en el aceite esencial de muchas plantas, algunos ejemplos son el *Pinus sp.* (pino), *Salvia sp.* (salvia) o *Rosmarinus officinalis* (romero) (32).

- **Estructura del compuesto**

Son dos isómeros activos bicíclicos con 10 átomos de carbono, que a su vez, cada isómero tiene su enantiómero (33).

- **Bioactividad**

Esta hierba es ampliamente utilizada en la medicina tradicional china debido a sus propiedades hematopoyéticas y antiinflamatorias. Se evaluaron las

propiedades anticoagulantes in vitro mediante ensayos de tiempo de trombina (TT) y agregación de plaquetas.

Se concluyó que los derivados de α -pineno prolongaron ligeramente el tiempo de trombina y previnieron de manera significativa la agregación plaquetaria (32).

- **Aplicaciones según su forma farmacéutica**

Se aplica en forma de linimentos, soluciones alcohólicas, pomadas, formando parte de fórmulas para la descongestión nasal y en preparados para trastornos cardiovasculares (34).

4.3 Alcaloides

4.3.1 Biosíntesis

Se trata del grupo con mayor interés de estudio debido a sus propiedades medicinales. Son sustancias orgánicas de carácter básico y complejas en cuanto a su estructura.

Su origen sintético se encuentra en los aminoácidos, a excepción de los alcaloides esteroídicos o los diterpénicos. Debido a su complejidad química y la presencia de múltiples carbonos asimétricos, el estudio de sus vías de biosíntesis ha sido complicado y en algunos casos no se han podido dilucidar (10).

4.3.2 Métodos de análisis químico

Se han utilizado métodos volumétricos como reacciones ácido-base, métodos cromatográficos como cromatografía líquida en papel y capa fina o cromatografía de gases (35).

4.3.3 Tipos de alcaloides

4.3.3.1 Derivados de ornitina y lisina

4.3.3.1.1 *Alcaloides piridínicos y piperidínicos*

- **Parte de la planta con actividad vegetal**

La piperina es un alcaloide que se encuentra en la capa externa del fruto de la pimienta negra (36).

- **Estructura del compuesto**

Los alcaloides piperidínicos presentan como núcleo a la piperidina, además de estar sustituido por una cadena alifática según el alcaloide.

Un ejemplo sería la piperina encontrada en *Piper nigrum* (Piperaceae) (37).

- **Bioactividad**

Los estudios realizados en humanos han demostrado que si la piperina se administra junto a otros fármacos estos aumentan su eficacia y permanencia en el plasma. Se utilizó vasicina y esparteína como fármacos de prueba, y estos aumentaron sus niveles en sangre un 100 % y un 233 % respectivamente cuando se aplicaron junto con piperina.

- **Aplicaciones según su forma farmacéutica**

Se consume como complemento alimenticio en cápsulas (38).

4.3.3.2 Derivados de fenilalanina y tirosina

4.3.3.2.1 *Alcaloides feniletílamínicos*

- **Parte de la planta con actividad vegetal**

Son extraídos de sumidades de la efedra (10).

- **Estructura del compuesto**

El clorhidrato de efedrina, comúnmente conocido como efedrina posee una ramificación con una amina secundaria y un grupo hidroxilo unido a un benceno, siendo su nomenclatura (1R, 2S)-1-fenil-2- metilaminopropan-1-ol (39).

- **Bioactividad**

Posee acción simpaticomimética, es broncodilatador, estimula el centro respiratorio bulbar y reduce la contractibilidad de la vejiga. Atraviesa la BHE pero se metaboliza poco por lo que su acción es más duradera que la adrenalina. Su efecto psicoestimulante aumenta la capacidad de concentración y reduce la sensación de fatiga y sueño (10).

- **Aplicaciones según su forma farmacéutica**

Se utiliza como gotas nasales, jarabes para el tratamiento del asma y resfriado y por vía parenteral (39).

4.3.3.2.2 Alcaloides isoquinoleínicos

- **Parte de la planta con actividad vegetal**

Se puede obtener de la corteza y flores de las plantas (40).

- **Estructura del compuesto**

Se trata de derivados de la isoquinoleína cuya síntesis ocurre cuando el aminoácido aromático se descarboxila y se otro aminoácido desaminado (cetoácido o aldehído), varios de ellos o una sola unidad.

Los bencil-isoquinoleínicos son los de mayor relevancia, siendo la papaverina un buen representante (10).

El opio es una mezcla compleja de sustancias obtenidas de la adormidera mencionada anteriormente, que es el látex que exuda la planta al cortarla, siendo la morfina el principal alcaloide del opio (41).

Compuestos como la morfina son representativos de este grupo de alcaloides, la cual tiene 17 átomos de carbono en forma de varios ciclos unidos con un metil y dos grupos hidroxilos como radicales (42).

- **Bioactividad**

En cuanto a su actividad cardiovascular, decir que estimuló directamente la frecuencia sinusal y la contractilidad auricular en una preparación auricular aislada de corazón de perro, demostrando efectos cronotrópicos e inotrópicos positivos (43).

- **Aplicaciones según su forma farmacéutica**

Existen en forma de solución oral, comprimidos, cápsulas retard y en preparados inyectables para vía subcutánea, intramuscular, intravenosa, epidural e intratecal (42).

4.3.3.3 Derivados del triptófano

4.3.3.3.1 *Alcaloides quinoleínicos*

- **Parte de la planta con actividad vegetal**

Son alcaloides que se encuentran en el peyote o en el Haba del Calabar o nuez de Eseré, *Physostigma venenosum*.

- **Estructura del compuesto**

El triptófano es el precursor de estos alcaloides, que con su descarboxilación se convierte en triptamina, a la cual se le unen otras unidades de mevalonato, acetato y aldehídos, formando moléculas grandes de caros ciclos unidos con varios radicales, grupos carboxílicos y aminas unidas a la molécula.

- **Bioactividad**

Son inhibidores de la enzima colinesterasa (37).

- **Aplicaciones según su forma farmacéutica**

Se consume como complemento alimenticio en forma de cápsulas (44).

4.3.3.2 Alcaloides indólicos

- **Parte de la planta con actividad vegetal**

La Vincapervinca es un ejemplo de plantas que contienen alcaloides indólicos, estos se extraen de las sumidades aéreas de la *Vinca minor L* (45).

- **Estructura del compuesto**

Posee 21 átomos de carbono con varios ciclos unidos, con grupos hidroxilo, cetonas, ésteres y moléculas de nitrógeno incluidas en su estructura (46).

- **Bioactividad**

Se utiliza como estimulante del apetito, analgésica, relajante muscular, cicatrizante y galactófuga (45).

- **Aplicaciones según su forma farmacéutica**

Se puede consumir en forma de cápsulas duras (47).

4.3.3.4 Alcaloides de origen diverso

4.3.3.4.1 Imidazólicos y bases xánticas

- **Parte de la planta con actividad vegetal**

Se encuentra en varias plantas como el café, granos de cacao, hojas de té, bayas de guaraná y la nuez de cola, aunque en la actualidad también se puede fabricar sintéticamente.

- **Estructura del compuesto**

Es un alcaloide del grupo de las xantinas que posee 3 metiles (1,3,7-trimetilxantina) (48).

- **Bioactividad**

Es un estimulante del sistema nervioso central (SNC).

- **Aplicaciones según su forma farmacéutica**

Se puede beber mediante el café, refrescos o distintos téis o comerse en forma de chocolate. Su principal uso terapéutico es como broncodilatador en patologías respiratorias, también reduce la sensación de cansancio, mantiene el estado de vigilia y reduce la fatiga (49).

5 CONCLUSIÓN

En conclusión, el estudio de las sustancias bioactivas en las plantas ha revelado su amplia utilidad medicinal a lo largo de muchos años. Estos compuestos han demostrado poseer una gran variedad de propiedades terapéuticas, lo que los convierte en importantes fuentes de principios activos para el desarrollo de nuevos medicamentos o alternativas a otras terapias.

Los fenoles han mostrado efectos antioxidantes, antiinflamatorios y antimicrobianos, lo que los convierte en agentes potenciales para combatir enfermedades cardiovasculares y neurodegenerativas.

Los terpenos, por su parte, exhiben propiedades antimicrobianas, anticancerígenas, antiinflamatorias y analgésicas, lo que los convierte en compuestos prometedores para el tratamiento de infecciones, enfermedades tumorales y trastornos inflamatorios.

Los alcaloides han mostrado propiedades analgésicas, antimicrobianas y antineoplásicas. Además, algunos son utilizados en la industria farmacéutica como analgésicos, antidepresivos, antipsicóticos y agentes antiparasitarios.

La investigación continua sobre estas sustancias bioactivas ha revelado la importancia de la diversidad de plantas y la necesidad de explorar la flora de diferentes regiones para descubrir nuevas especies con compuestos medicinales potenciales. Además, la aplicación de técnicas avanzadas de extracción y purificación de estos compuestos ha permitido su estudio más detallado y su posterior utilización en tratamientos médicos.

Todas estas sustancias bioactivas presentes en plantas representan una valiosa fuente de compuestos medicinales con diversas propiedades terapéuticas. Su investigación y utilización en la medicina moderna pueden contribuir al desarrollo de nuevos fármacos y terapias para el tratamiento de enfermedades, mejorando así la salud y el bienestar de las personas.

6 BIBLIOGRAFÍA

1. Gámez Lechuga M. Terpenos en supositorios infantiles. *Offarm*. 1 de diciembre de 2011 [Internet]. [citado 22 de junio de 2023];30(6):73. Disponible en: <https://www.elsevier.es/es-revista-offarm-4-articulo-terpenos-supositorios-infantiles-X0212047X11622858>
2. Olayiwola A. Las plantas medicinales: un tesoro que no debemos desperdiciar [Internet]. [citado 22 de junio de 2023]. Disponible en: https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/47707/WHF_1993_14_4_p390?sequence=1
3. Bruneton J. *Farmacognosia. Fitoquímica. Plantas Medicinales*. 2ª ed. [Internet]. [citado 22 de junio de 2023]. Disponible en: https://tejadarossi.files.wordpress.com/2017/01/farmacognosia_bruneton.pdf
4. Benito Navarro A, De La Cruz Tito F. Actividad antioxidante y antimicrobiana in vitro de los extractos de *Schkuhria pinnata* y *Baccharis latifolia* [Internet]. [citado 22 de junio de 2023]. Disponible en: http://cybertesis.unmsm.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12672/10695/Benito_na.pdf?sequence=3&isAllowed=y
5. Fuertes Ruitón C, Roque Alcarraz M, Tristan Vidalón M. Flavonoides y Alcaloides de *Lupinus Ballianus*. Diciembre 1998 [Internet]. [citado 23 de junio de 2023]. Disponible en: https://sisbib.unmsm.edu.pe/bvrevistas/ciencia/v01_n2/flavonoides.htm
6. Martín Gordo DA. Los Compuestos Fenólicos, un acercamiento a su biosíntesis, síntesis y actividad biológica. *Rev Investig Agrar Ambient* [Internet]. 2018 [citado el 27 de junio de 2023];9(1):81–104. Disponible en: <https://hemeroteca.unad.edu.co/index.php/riaa/article/view/1968>

7. Maeda H, Dudareva N. The shikimate pathway and aromatic amino Acid biosynthesis in plants. *Annu Rev Plant Biol* [Internet]. 2012;63(1):73–105.

Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1146/annurev-arplant-042811-105439>

8. Torres AH. Gayuba (“*Arctostaphylos uva-ursi*”), “La planta eficaz para combatir infecciones de orina”. *Rehaldá: Revista del Centro de Estudios de la Comunidad de Albarracín* [Internet]. 2008 [citado el 27 de junio de 2023];(7):61–6. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=2603014>

9. Badshah SL, Faisal S, Muhammad A, Poulson BG, Emwas AH, Jaremko M. Antiviral activities of flavonoids. *Biomed Pharmacother* [Internet]. 2021 [citado el 27 de junio de 2023];140(111596):111596. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.biopha.2021.111596>

10. Vanaclocha B, Cañigüeral S. *Fitoterapia, Vademécum de Prescripción*. 4ª edición. Masson; 2003. 1.091.

11. Melo LFM de, Aquino-Martins VG de Q, Silva AP da, Oliveira Rocha HA, Scortecchi KC. Biological and pharmacological aspects of tannins and potential biotechnological applications. *Food Chem* [Internet]. 2023;414(135645):135645. Disponible en:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0308814623002625>

12. *fn_2003_po_013.pdf* [Internet]. [citado 22 de junio de 2023]. Disponible en: https://www.aemps.gob.es/formulario-nacional/monografias/preparados-oficinales/fn_2003_po_013.pdf?x66381

13. *Quinonas en Investigaciones Biomedicas* [Internet]. *Wakolatinamerica.com*. [citado el 27 de junio de 2023]. Disponible en: <https://www.wakolatinamerica.com/blog-reactivos/noticias-wako/post/quinonas-en-investigaciones-biomedicas/>

14. Fenoles simples, cumarinas lignanos y su aplicación terapéutica - TECH U [Internet]. [citado 22 de junio de 2023]. Disponible en:

<https://www.techtitute.com/farmacia/blog/fenoles-simples-cumarinas-lignanosa-aplicacion-terapeutica>

15. Barker D. Lignans. *Molecules* [Internet]. 2019 [citado el 27 de junio de 2023];24(7):1424. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.3390/molecules24071424>.

16. Rios MY, Aguilar Guadarrama AB. Alcaloides indólicos, terpenos, esteroides y flavonoides de las hojas de *Hamelia patens* Jacquin (Rubiaceae). *Rev Cuba Plantas Med.* abril de 2006;11(1):0-0.

17. Hidrocarburos monoterpénicos regulares [Internet]. [citado 22 de junio de 2023]. Disponible en: <https://riunet.upv.es/handle/10251/146320>

18. Repositorio CIQA: Identificador inválido [Internet]. [citado 22 de junio de 2023]. Disponible en: <https://ciqa.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1025/602/1/Tesis%20MTP%20Angel%20Pablo%20Morales%2011%20Ene%202019.pdf>

19. Mirceno [Internet]. Un mundo ecosostenible. *ecosostenibile*; 2023 [citado el 27 de junio de 2023]. Disponible en: <https://antropocene.it/es/2023/01/23/mirceno/>

20. Surendran S, Qassadi F, Surendran G, Lilley D, Heinrich M. Myrcene-What Are the Potential Health Benefits of This Flavouring and Aroma Agent? *Front Nutr* [Internet]. 2021 [citado 22 de junio de 2023];8. Disponible en: <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fnut.2021.699666>

21. Karim N, Abdelhalim H, Gavande N, Khan I, Khan H. Natural products as an emerging therapeutic alternative in the treatment of neurological disorders. *Evid Based Complement Alternat Med* [Internet]. 2018 [citado el 27 de junio de 2023];2018:3056847. Disponible en: <https://www.hindawi.com/journals/ecam/2018/3056847/>

22. Los terpenos [Internet]. Fundacion-canna.es. [citado el 27 de junio de 2023]. Disponible en: <https://www.fundacion-canna.es/los-terpenos>

23. Chhikara N, Kour R, Jaglan S, Gupta P, Gat Y, Panghal A. Citrus medica: nutritional, phytochemical composition and health benefits - a review. *Food Funct.* [Internet]. 2018 [citado el 27 de junio de 2023];9(4):1978–92. Disponible en: <https://pubs.rsc.org/en/content/articlelanding/2018/fo/c7fo02035j>

24. Andarcia D. Limoneno: usos, propiedades y precauciones [Internet]. *Mejor con Salud.* 2021 [citado el 27 de junio de 2023]. Disponible en: <https://mejorconsalud.as.com/limoneno-usos-propiedades-precauciones/>

25. ucm-t26240.pdf [Internet]. [citado 22 de junio de 2023]. Disponible en: <https://webs.ucm.es/BUCM/tesis/bio/ucm-t26240.pdf>

26. Uso de sesquiterpenos eremofilanos como garrapaticidas [Internet]. *Ucm.es.* [citado el 27 de junio de 2023]. Disponible en: <https://www.ucm.es/otri/uso-de-sesquiterpenos-eremofilanos-como-garrapaticidas>

27. Gómez ER. Medicamentos a base de plantas en el tratamiento de afecciones dermatológicas. [Internet]. [citado el 27 de junio de 2023]. Disponible en: <https://eprints.ucm.es/id/eprint/49615/1/ESTHER%20REDONDO%20GOMEZ.pdf>

28. Cox-Georgian D, Ramadoss N, Dona C, Basu C. Therapeutic and medicinal uses of terpenes. En: *Medicinal Plants.* Cham: Springer International Publishing; 2019. p. 333–59.

29. Artilés NZ de. La artemisina y sus derivados: una nueva arma contra las infecciones por *Plasmodium falciparum*. *Rev Fund José María Vargas.* 1989;22-5.

30. artesunate-amivas-epar-product-information_es.pdf [Internet]. [citado 22 de junio de 2023]. Disponible en:
https://www.ema.europa.eu/en/documents/product-information/artesunate-amivas-epar-product-information_es.pdf

31. Bonkanka Tabarez CX. cp282.pdf [Internet]. [citado 22 de junio de 2023]. Disponible en:
<https://riull.ull.es/xmlui/bitstream/handle/915/21047/cp282.pdf?sequence=1>

32. Silva ACR da, Lopes PM, Azevedo MMB de, Costa DCM, Alviano CS, Alviano DS. Biological Activities of α -Pinene and β -Pinene Enantiomers. *Molecules*. junio de 2012;17(6):6305-16.

33. Rivas da Silva AC, Lopes PM, Barros de Azevedo MM, Costa DCM, Alviano CS, Alviano DS. Biological activities of α -pinene and β -pinene enantiomers. *Molecules* [Internet]. 2012 [citado el 27 de junio de 2023];17(6):6305–16. Disponible en: <https://www.mdpi.com/1420-3049/17/6/6305>

34. fa1574db90ca01e7.pdf [Internet]. [citado 23 de junio de 2023]. Disponible en:
<https://formulasmagistrales.acofarma.com/idb/descarga/3/fa1574db90ca01e7.pdf>

35. Fernández Alonso M, Pachuca Cerdá F. Análisis rápido de alcaloides relacionados con el ácido trópico por cromatografía gas-líquido. *Ars Pharm* [Internet]. 1986 [citado el 27 de junio de 2023];27(3):325–33. Disponible en: <https://revistaseug.ugr.es/index.php/ars/article/view/25528>

36. INF-2002-041.pdf [Internet]. [citado 22 de junio de 2023]. Disponible en:
<https://digi.usac.edu.gt/bvirtual/informes/puidi/INF-2002-041.pdf>

37. Ringuelet S, Viña S. Productos Naturales Vegetales [Internet]. Edu.ar. [citado el 27 de junio de 2023]. Disponible en:
<http://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/27885/RINGUELET.pdf?sequence=1#page=21>

38. Stojanović-Radić Z, Pejčić M, Dimitrijević M, et al. Piperine-A major principle of black pepper: A review of its bioactivity and studies. *Appl Sci (Basel)* [Internet]. 2019 [citado el 27 de junio de 2023];9(20):4270. Disponible en: <https://www.mdpi.com/2076-3417/9/20/4270>

39. Benítez N, Cordoví JM, Zamora R, Cabrera P, De la Paz N, Fernández M. Estabilidad de gotas nasales de efedrina. *Rev Colomb Cienc Quím Farm* [Internet]. 2015 [citado el 27 de junio de 2023];44(2):236–48. Disponible en: http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0034-74182015000200008

40. Calle J, Pinzón R, Ospina LF, Medina NC, Carrión A, Bautista E. Alcaloides Isoquinolínicos de la corteza y flores de *Erythrina Fusca Loureiro*. *Rev Colomb Cienc Quím-Farm*. 1 de enero de 1997;26(1):39-42. Disponible en: <https://revistas.unal.edu.co/index.php/rccquifa/article/view/56456>

41. Villegas ZC. Opio y sus alcaloides. *Revista del Instituto Médico Sucre* [Internet]. 2013 [citado el 27 de junio de 2023];78(140/141):69–74. Disponible en: <http://revistas.usfx.bo/index.php/ims/article/view/246>

42. La Morfina [Internet]. *Newwhiteblog*. 2011 [citado 22 de junio de 2023]. Disponible en: <https://thenewwhite.wordpress.com/el-opio/la-morfina/>

43. Ashrafi S, Alam S, Sultana A, et al. Papaverine: A miraculous alkaloid from opium and its multimedicinal application. *Molecules* [Internet]. 2023 [citado el 27 de junio de 2023];28(7):3149. Disponible en: <https://www.mdpi.com/1420-3049/28/7/3149>

44. Farré Rovira R, Martín Bermudo F, Cameán Fernández AM, et al. Informe del Comité Científico de la Agencia Española de Seguridad Alimentaria y Nutrición (AESAN) sobre condiciones de uso de determinadas sustancias distintas de vitaminas, minerales y plantas para ser empleadas en complementos alimenticios [Internet]; [consultado el 27 de junio de 2023]. Disponible en:

https://www.aesan.gob.es/AECOSAN/docs/documentos/seguridad_alimentaria/evaluacion_riesgos/informes_comite/COMPLEMENTOS_1.pdf

45. Sarenet SA. Vincapervinca [Internet]. Fitoterapia.net. [citado el 27 de junio de 2023]. Disponible en:

<https://www.fitoterapia.net/vademecum/plantas/vincapervinca.html>

46. Vincamina [Internet]. Un mundo ecosostenible. ecosostenible; 2023 [citado el 27 de junio de 2023]. Disponible en:

<https://antropocene.it/es/2023/02/06/vincamina-2/>

47. 54852_ft.pdf [Internet]. [citado 23 de junio de 2023]. Disponible en: https://cima.aemps.es/cima/pdfs/es/ft/54852/54852_ft.pdf

48. Turnbull D, Rodricks J, Mariano G, Chowdhury F. Caffeine and cardiovascular health. Regul Toxicol Pharmacol [Internet]. 2017;89:165–85. Disponible en:

Disponible en:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0273230017302210>

49. Pardo Lozano R, Alvarez García Y, Barral Tafalla D, Farré Albaladejo M. Cafeína: un nutriente, un fármaco, o una droga de abuso. Adicciones [Internet]. 2007 [citado el 27 de junio de 2023];19(3):225. Disponible en:

<http://www.adicciones.es/index.php/adicciones/article/view/303>