

# COMPUESTOS ACTIVOS EN PLANTAS UTILIZADAS EN LA MEDICINA TRADICIONAL MEXICANA

## ACTIVE COMPOUNDS IN PLANTS USED IN TRADITIONAL MEXICAN MEDICINE

José Ricardo Gil-Rodríguez, María Fernanda Herrera-Rojas, Yareth Mitre-Velasco y  
Claudia Santamaría-Rivas  
Licenciatura en Biotecnología  
Facultad de Ciencias Biológicas  
Benemérita Universidad Autónoma de Puebla  
[girojori@gmail.com](mailto:girojori@gmail.com), [arerreh98@gmail.com](mailto:arerreh98@gmail.com), [yarethmitrev@gmail.com](mailto:yarethmitrev@gmail.com),  
[clauchr@gmail.com](mailto:clauchr@gmail.com)

### Resumen

México es un país que cuenta con una gran diversidad en especies de plantas, de las cuales aproximadamente 3,000 presentan efectos medicinales. Se han utilizado plantas desde la época prehispánica con la finalidad de tratar enfermedades y dolencias en las personas, a lo cual se le conoce como medicina tradicional. Aproximadamente 80% de la población mexicana aún recurre a la herbolaria como tratamiento a enfermedades. Las plantas ejercen efectos curativos debido a los principios activos que acumulan en sus órganos. Entre los principales y más estudiados se encuentran polifenoles, cumarina, flavonoides, lignanos, taninos, quinonas, terpenoides, saponinas y alcaloides. Además, existe otro tipo de compuestos en las plantas que no están considerados como principios activos, pero tienen acciones benéficas para el organismo, como los mucílagos y los aceites esenciales. Se ha estudiado la influencia de los principios activos en enfermedades importantes, como el cáncer, y se han reportado efectos prometedores en el control de esta enfermedad. Por lo anterior, se han generado diversas estrategias de producción a gran escala de los principios activos presentes en las plantas, lo cual representa una cuestión importante para la investigación de nuevos compuestos y

nuevas aplicaciones. Debido a la demanda de nuevos medicamentos de origen natural, se espera que en México se impulse la investigación y se cree una base de datos donde se reporten las plantas medicinales con sus respectivos principios activos, usos y especificaciones para ayudar a la población a tener información confiable sobre la medicina tradicional mexicana.

**Palabras clave:** Medicina tradicional mexicana, plantas medicinales, compuestos activos, herbolaria

### **Abstract**

Mexico is a country with a great diversity of plant species, of which approximately 3,000 have medicinal effects. Plants have been used since pre-Hispanic times to treat people's diseases and ailments, which is known as traditional medicine. Approximately 80% of the Mexican population still uses herbal medicine as a treatment for diseases. Plants have healing effects due to the active compounds that are stored in their organs. Among the main and most studied active substances are polyphenols, coumarins, flavonoids, lignans, tannins, quinones, terpenoids, saponins, and alkaloids. In addition, there are other substances in plants that are not considered as active compounds, but have beneficial actions for the body, such as mucilage and essential oils. The impact of active compounds on serious diseases, such as cancer, has been studied, and promising effects have been reported in the control of this disease. As a consequence, several large-scale production strategies of the active compounds that are present in plants have been designed, and they represent an important issue for the investigation of new compounds and applications. Due to the demand for new medicines from a natural origin, research is expected to be developed in Mexico, as well as a database where medicinal plants are reported with their respective active compounds, uses, and specifications so that the population has access to reliable information on traditional Mexican medicine.

**Key words:** Traditional Mexican medicine, medicinal plants, active compounds, herbal medicine

## Introducción

En México se encuentra el 12% de la diversidad terrestre del planeta y se estima que hay 23,400 plantas vasculares, de las cuales 3,000 tienen efectos medicinales (CONABIO, 2018). Actualmente, se sabe que en el período de la conquista española, tanto la jardinería como la botánica medicinal en México habían alcanzado un alto grado de desarrollo (Nuttall, 1923). En el lenguaje de los nahuas, se incluían varios nombres para diferentes tipos de jardines, muestra de que la botánica desempeñó un papel considerable en aquella sociedad. Moctezuma poseía huertos para flores y hierbas medicinales, donde, según el cronista Cervantes de Salazar, "no permitía que se cultivaran vegetales o frutas, diciendo que no era real cultivar plantas para su utilidad o beneficio" (Arber, 1940).

Según cifras del INEGI, 52.6% de los habitantes en México no tiene acceso a algún tipo de seguridad social ni a instituciones de salud pública, así que este sector se ve obligado a recurrir a alternativas médicas naturales que incluyen, en la mayoría de los casos, plantas medicinales prescritas por "yerberos", ubicando a este sector en el 80% de los mexicanos que recurren a la medicina tradicional (Canales *et al.*, 2006). Esto podría representar un riesgo, ya que sólo un pequeño porcentaje de las especies con uso medicinal potencial ha sido estudiado, pero se desconocen los efectos farmacológicos, fitoquímicos y toxicológicos de la mayoría de las otras especies.

La medicina tradicional se define como un conjunto de conocimientos y prácticas basadas en creencias y experiencias indígenas, sean o no explicables, usados para preservar la salud física y mental (Zhang, 2018). La medicina tradicional ha existido desde las civilizaciones más antiguas y sus prácticas se basan en gran medida en el uso de plantas medicinales, las cuales contienen principios activos que en dosis suficientes producen efectos curativos y ejercen una acción farmacológica (Zhang, 2018).

Desde su origen, el hombre ha mantenido un contacto muy cercano con plantas y animales, pues de ello ha dependido su subsistencia. Esto le ha permitido acumular un extenso acervo de conocimientos de las especies que utiliza. Los indígenas, por su parte, poseían un amplio conocimiento de los vegetales, las yerbas medicinales y la anatomía humana, lo cual les permitió curar las diversas enfermedades que se presentaban (Martínez-Moreno *et al.*, 2006; Revista Intercultural, 2008).

A la curación con yerbas se agregaron minerales obtenidos de la tierra y animales que poseían propiedades curativas. La forma de administrar los medicamentos se hacía mediante cocimientos, maceraciones, emplastos, polvos secos, aceites, etc., muchas veces acompañados de conjuros, mandas, rezos o limpias.

La aplicación de la medicina dependía del tipo de enfermedad que se atendía; es decir, los curanderos se clasificaban por especialidades: médicos, cirujanos, sangradores, parteras, yerberos, hueseros, sobadores, manteadores, adivinadores, etc. (Revista Intercultural, 2008).

## Antecedentes

La medicina tradicional mexicana surge en el México prehispánico, donde se utilizaban las plantas que se tenían a la mano y por diferentes vías de administración como las que se mencionaron anteriormente (Figuras 1 y 2). Sin embargo, tras la conquista española se perdió una gran cantidad de conocimiento mexicana, pero se adquirieron nuevas técnicas que llegaron de España (Cosme, 2008). Con la llegada de los españoles, su afán de conquista y su desconocimiento sobre este tipo de medicina, se prohibieron algunas prácticas de curación por ser consideradas mágicas y supersticiosas, lo que ocasionó la prohibición de curar sin título, situación que provocó que la medicina indígena se practicara ilícitamente. Además, la medicina española introdujo nuevas formas de curación como el uso de la jeringa metálica y la incorporación de plantas como la manzanilla, el romero, la sábila y la albahaca, actualmente utilizadas por comunidades indígenas. Así, la medicina tradicional mexicana actual es una mezcla entre tradiciones prehispánicas y europeas.



**Figuras 1 y 2.** Pinturas de la herbolaria prehispánica

México posee una gran diversidad vegetal y cultural, lo cual ha ocasionado un amplio uso de las plantas, con aproximadamente 7,000 especies útiles de un total de casi 22,000 especies de plantas con flores (Rzedowski, 1992; Caballero y Cortés, 2001). De todas las especies de plantas reportadas en México, sólo 4,500 se han inventariado, lo cual representa un tercio del total de las plantas y, de esta cantidad, sólo 450 se han validado farmacológicamente y 250 especies se comercializan (Cosme, 2008). Mientras tanto, el resto de diversidad biológica del país no se ha estudiado ni documentado.

### **Principios Activos Básicos de las Plantas Medicinales y la Herbolaria Mexicanas**

La herbolaria se basa en el uso de plantas para tratar enfermedades, debido a los principios activos que existen naturalmente en los órganos de algunas de ellas. Se conoce como principio activo aquella sustancia o elemento que tiene la capacidad de interactuar con el organismo humano causando un efecto.

Entre las plantas medicinales y los fármacos hay una diferencia que radica en que las plantas medicinales realizan todo un proceso que ayuda a potenciar o regular la producción y el funcionamiento de un principio activo, razón por la cual generalmente el efecto en el organismo es más amigable y efectivo. Sin embargo, las plantas medicinales no están completamente identificadas.

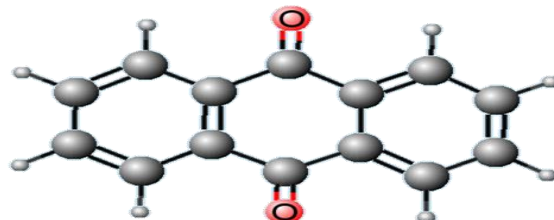
Las sustancias producidas por las plantas se clasifican en dos grupos según su naturaleza:

- Productos derivados del metabolismo primario.
- Productos derivados del metabolismo secundario.

Los productos derivados del metabolismo secundario son de mayor interés, pues son estos los que se consideran principios activos de las plantas medicinales por los efectos que producen, entre los cuales se encuentran efectos antimicrobianos, antiinflamatorios, antioxidantes, antitumorales, antivirales y anticancerígenos. A continuación, hablaremos de los principios activos más importantes en la herbolaria mexicana (Zhang, 2018).

### Compuestos Antraquinónicos

Las antraquinonas son compuestos derivados del antraceno, no sublimables, solubles en agua, mezclas hidroalcohólicas y solventes polares, pero insolubles en disolventes orgánicos apolares. La estructura base de las antraquinonas se presenta en la Figura 3.



**Figura 3.** Estructura base de las antraquinonas (Debenedetti *et al.*, 2014).

Sus propiedades son aprovechadas en el área médica, principalmente como purgantes (Debenedetti *et al.*, 2014). Este compuesto se puede encontrar en el aloe, el ruibarbo, la frángula, la cáscara sagrada y el espino cervical (Figuras 4A-E) (UPM, 2018).



**Figura 4A.** Aloe.



**Figura 4B.** Ruibarbo.



**Figura 4C.** Frángula.



**Figura 4D.** Cás cara Sagrada.



**Figura 4E.** Espino cerval.

### *Compuestos Heterósidos*

Están formados por dos partes, una que contiene un azúcar y otra aglicona. El enlace entre ambas partes es hidrolizable y debe romperse para activar el compuesto (UPM, 2018).

### *Compuestos Cardiotónicos*

Se trata de un grupo de principios activos que actúan sobre el tejido cardíaco. Debido a la delicadeza del corazón, su acción es limitada y no se utiliza como terapia principal. Este grupo es soluble en agua, alcohol y cloroformo dependiendo del heterósido que sea, tiene dos tipos de estructura: las geninas esteroídicas, constituidas por tres piranos, un furano y una lactona (Figura 5), y los azúcares donde la lactona es sustituida por un azúcar (Figura 6) (Benítez, 2018).

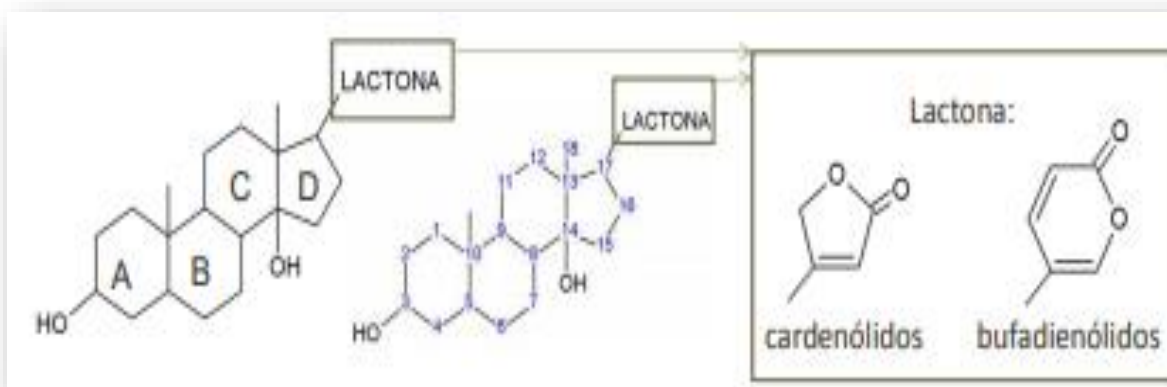


Figura 5. Geninas esteroídicas (Benítez, 2018).

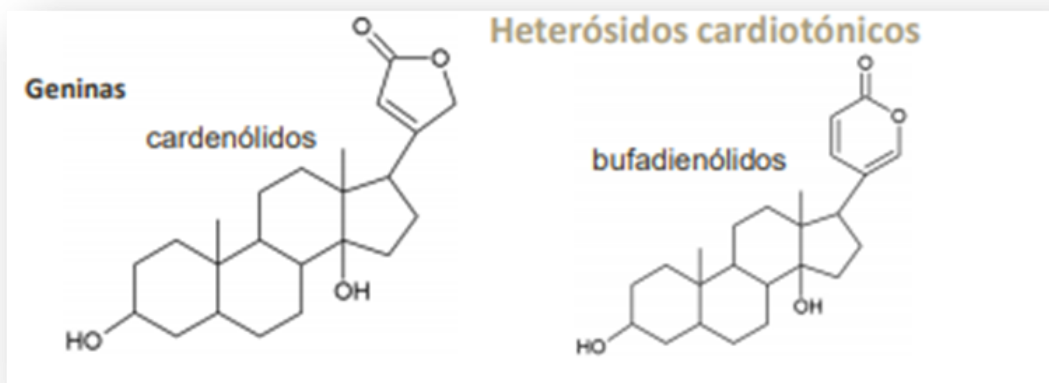


Figura 6. Geninas con azúcares (Benítez, 2018).



Se encuentran principalmente en tres géneros de plantas: *Digitalis*, *Urginea* y *Strophanthus* (Figuras 7A-C) (Berdonces, 1995).



Figura 7A. *Digitalis*.



Figura 7B. *Urginea*.



Figura 7C. *Strophanthus*.

*Compuestos Sulfurados*

Estos compuestos se conforman por un azúcar unido a un grupo azufrado. Tienen propiedades antisépticas, resolutivas y rubefacientes. Contienen una sustancia activa llamada genina y se pueden encontrar en la cebolla, el puerro, el ajo, el nabo, el berro, el rabanillo y la mostaza (Figuras 8A-D) (SaludBio, 2018).



**Figura 8A.** Puerro



**Figura 8B.** Rabanillo.



**Figura 8C.** Berro.



**Figura 8D.** Mostaza.

*Compuestos Cianogénicos*

Los heterósidos cianogénicos se derivan de aminoácidos unidos a un azúcar, los cuales liberan cianuro al hidrolizarse enzimáticamente (Valladolid, 2014). Estos compuestos inhiben la respiración celular, los centros respiratorios y los centros nerviosos bulbares (Berdonces, 1995). Se encuentran principalmente en rosácea, leguminosas, euforbiáceas y gramíneas (Figuras 9A-B) (UPM, 2018).



**Figura 9A.** Euforbiáceas.



**Figura 9B.** Gramíneas.

### *Polifenoles*

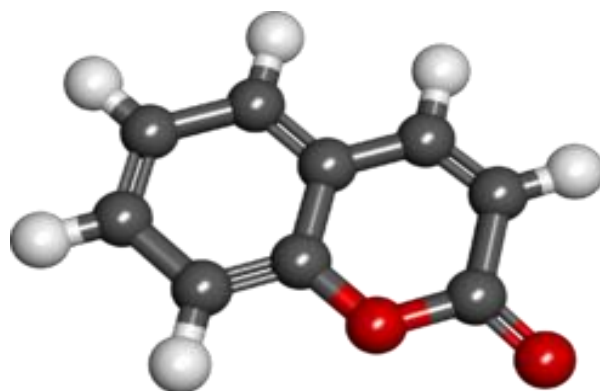
Son sustancias que contienen un grupo aromático y un grupo hidroxilo. En algunas ocasiones se unen a algún azúcar para formar heterósidos, pero también se encuentran de manera libre (UPM, 2018).

### *Ácidos Fenólicos*

Los ácidos fenólicos se derivan de los fenoles y se les atribuyen propiedades antioxidantes, analgésicas y coleréticas. Son abundantes en plantas superiores y helechos y tienen actividad antioxidante en frutas y verduras (Zheng y Wang, 2001). También, tienen estructuras muy variadas.

### *Cumarina*

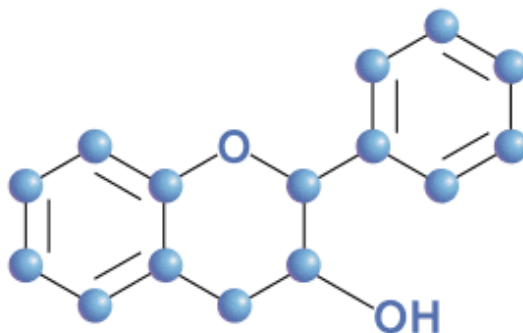
La cumarina es un aromatizante perteneciente a la familia de las benzopironas (Figura 10). Medicinalmente se utiliza por su acción vitamínica, anticoagulante, antiinflamatoria, analgésica, antitumoral, antiosteoporosis y antiasmática (Pereira, 1998). Estos compuestos se pueden encontrar en la genciana, la castaña de indias y el fresno (Paz, 2018).



**Figura 10.** Estructura química de la cumarina (Pereira, 1998).

### Flavonoides

Los flavonoides se caracterizan por tener una estructura química C6-C3-C6 y dos o más anillos aromáticos (Figura 11). Entre más grupos hidroxilos tenga un flavonoide, mayor será su función antioxidante (Shahidi y Naczk, 2004).

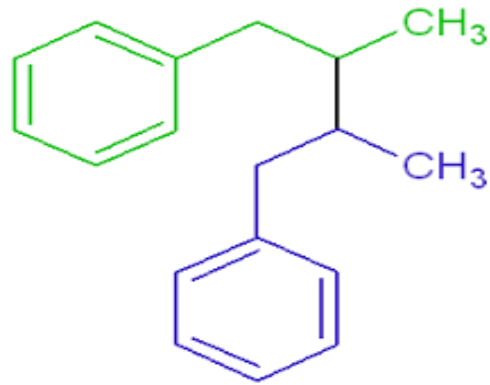


**Figura 11.** Estructura base de los flavonoides (Shahidi y Naczk, 2004).

Los flavonoides de mayor interés farmacológico son las flavonas, flavonoles y flavanonas (UPM, 2018). Estos compuestos suelen darle coloración a las plantas y, medicinalmente, se utilizan para mejorar la circulación, como medio depurativo y como antioxidantes. Regulan el colesterol y tienen propiedades antiinflamatorias, analgésicas y antimicrobianas (Pérez, 2003). Estos compuestos se pueden encontrar en la manzanilla, la aquilea, el regaliz, el cardo, el espino blanco, el arándano y la grosella (UPM, 2018).

### Lignan

Estos compuestos son una subclase de polifenoles que dan origen a muchas estructuras químicas naturales. Tienen un puente de carbono y son biológicamente activos (Sarria, 2005). El término lignano se utiliza para determinar un compuesto formado entre el ácido y el alcohol (Martínez *et al.*, 2000). Se emplea en terapias antitumorales y es muy abundante en el reino vegetal (UPM, 2018).



**Figura 12.** Estructura de un lignano (Sarria, 2005).

*Taninos*

Son compuestos fenólicos que contienen una cantidad importante de grupos hidroxilos (Martínez *et al.*, 2000) y se clasifican en dos grupos: hidrolizables y no hidrolizables.



**Figura 13A.** Té verde.



**Figura 13B.** Tormentilla.

Estos compuestos pueden interactuar con proteínas presentes en la piel, brindándole más resistencia al calor y al ataque de microorganismos. Se utilizan para tratar trastornos del aparato digestivo y poseen propiedades vasoconstrictoras y antioxidantes (Isaza, 2007). Los taninos se pueden encontrar en el té verde, la corteza del roble, el arándano, la zarzamora, la tormentilla y la encina (Figuras 13A-B) (Berdonces, 1995).

### Quinonas

Estos compuestos provienen de la oxidación de los fenoles, son dicetonas y existen varios tipos: parabenzoquinona, naftoquinona, antraciclina, antraquinona y fenantraquinona (UPM, 2018).

### Terpenoides

Estas sustancias se forman a partir de la unión de unidades de isopreno (UPM, 2018). Los terpenoides, o isoprenoides, son sustancias muy abundantes y su biosíntesis es el resultado de la condensación del isopreno (López-Carreras y Alexandrei, 2012). Entre los terpenoides se encuentran las quinonas y las lactonas sesquiterpénicas. Ambos fitoquímicos ayudan a la planta y se han encontrado evidencias de actividad antimicrobiana (Davini, Iavarone, Trogolo, Aureli y Pasolini, 1986), antitumoral (Asche, 2005) y antiinflamatoria (Recio, Giner, Manéz y Ríos, 2000).

### Iridoides

Estos compuestos se derivan del monoterpeno geraniol y son una serie de monoterpenos bicíclicos (Figura 14).

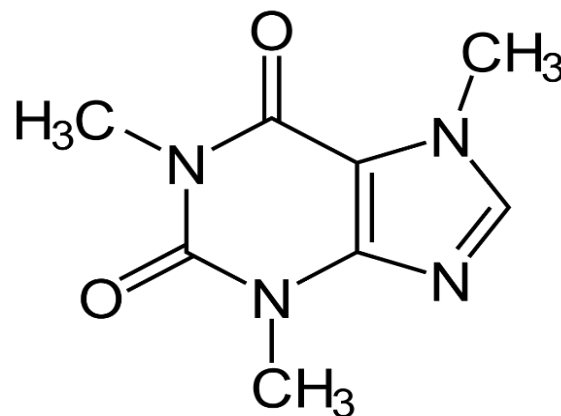


Figura 14. Estructura del iridoide (López *et al.*, 2012).

Los iridoides poseen propiedades que mejoran la función hepática, estimulan la excreción de ácidos biliares y tienen actividad microbiana, antiviral y antiinflamatoria (López *et al.*, 2012). Estos compuestos se pueden encontrar en el olivo, la valeriana, la genciana y el fresno (López *et al.*, 2012).

#### *Lactonas Sesquiterpénicas*

Estos compuestos tienen actividad antibacteriana y antifúngica, pueden llegar a causar dermatitis en la piel y pertenecen a las familias de las compuestas, lauráceas y magnoliáceas (UPM, 2018).

#### *Saponinas*

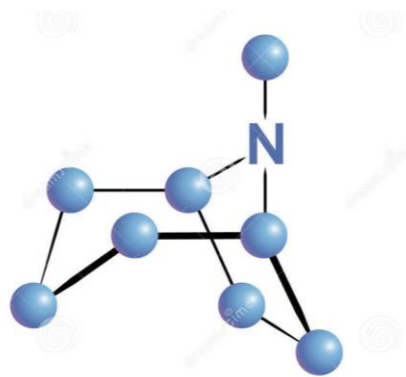
Este término proviene del latín *sapo* (jabón) y se refiere a sustancias triterpénicas y esteroideas con propiedades espumantes (UPM, 2018). Son irritantes sobre el tubo digestivo y poseen actividad hemolítica (Berdonces, 1995). Se utilizan para tratar casos de asma, tos crónica, catarro, bronquitis y detoxificaciones del organismo, tienen acción antiinflamatoria y ayudan a regular el colesterol. Se pueden encontrar en la saponaria, el castaño de indias, el ginseng, la hiedra, la violeta y la margarita (Martínez, 2001).

#### *Alcaloides*

Este es uno de los principios activos más importantes en la herbolaria y la medicina. Son compuestos con nitrógeno, carbono, oxígeno e hidrógeno y con propiedades alcalinas y básicas. Son un grupo variado y heterogéneo en cuanto a su composición y acción. Dentro de este grupo, se encuentran diversas drogas psicotrópicas, analgésicos y tratamientos del sistema circulatorio y respiratorio (Jaramillo-Jaramillo, Jaramillo-Espinoza, D'Armas, Troccoli y Rojas-de Astudillo, 2016).

#### *Derivados del Tropano*

Estos compuestos se derivan del metabolismo de varias familias de plantas tales como *Brassicaceae*, *Solanaceae* y *Erythroxylaceae* (Aecosan, 2016). Su estructura se muestra en la Figura 15. Son antagonistas de la acetilcolina y pueden producir delirio, vértigo, alucinaciones e incluso la muerte (UPM, 2018).



**Figura 15.** Estructura del tropano (Aecosan, 2016).

### *Derivados de la Isoquinoleína*

Estos compuestos tienen efectos sedantes en el sistema nervioso central, producen sensación de euforia y depresión respiratoria y disminuyen el peristaltismo. La morfina pertenece a este grupo de compuestos. Una sobredosis puede causar la muerte (UPM, 2018).

### *Otros Compuestos Activos*

#### *Mucílagos*

Estos compuestos agrupan mezclas de pentosas, hexosas y ácidos urónicos (Berdonces, 1995). Poseen una consistencia gelatinosa, así que actúan principalmente como protectores de mucosas y se utilizan con frecuencia en tratamientos de gripe, bronquitis y enfermedades en la piel. Estos compuestos se pueden encontrar en el lino, la chía, el aloe, la tila y algunas algas (Pérez, 2014).

#### *Principios Amargos*

Poseen estructuras diversas, pero todas convergen en la característica de su sabor amargo (Berdonces, 1995). Hay tres tipos de sustancias amargas: tónicas, aromáticas y agrias. Las primeras ayudan a tonificar el sistema digestivo, las segundas tienen



acciones diversas que están relacionadas con funciones hepáticas, vesicales y antisépticas, y las últimas actúan principalmente sobre el sistema circulatorio. Por su variedad, estos compuestos se pueden obtener de una gran variedad de plantas, como el jengibre, el cardo santo y la alcachofa (Lluís, 1995).

### *Aceites Esenciales*

Son complejos aromáticos concentrados y extraídos de diversas sustancias orgánicas. Debido a su variedad de estructura, origen, propiedades y funciones, resulta difícil establecer generalidades, puesto que se conocen cientos de aceites con propiedades terapéuticas, todas diferentes.

### **Cáncer**

El cáncer es un conjunto de enfermedades asociadas (NIH, 2018). Se trata de una enfermedad compleja que promueve la proliferación e invasión de células cancerígenas en el organismo a través de un ciclo celular hiperactivo y desregulado que ocasiona un incremento de la división celular, pues son células dotadas de un potencial ilimitado de réplica. Además, tienen la capacidad de evadir la expresión o función de genes supresores de tumores, lo que contribuye a una proliferación crónica. Estas células pueden activar y desarrollar la capacidad de invasión de tejidos ajenos al sitio de inicio, lo que se conoce como metástasis (Pérez-Cala, Guerra-Cepena y Rodríguez-Arias, 2012).

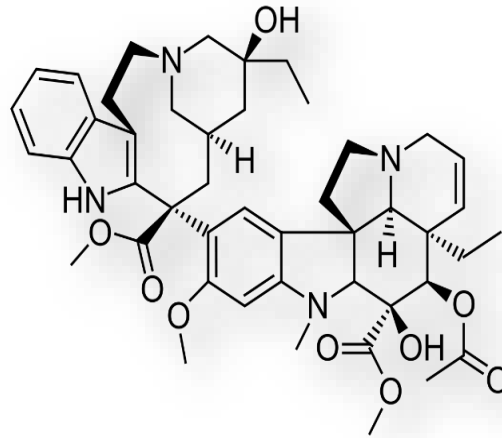
En México, el cáncer es la tercera causa de muerte: 14 de cada 100 decesos se deben a este padecimiento (S.S., 2017). En el año 2013, se registraron 269,332 defunciones de mujeres mexicanas, de las cuales 13.8% (37,361) fueron por tumores malignos (S.S., 2015). Si se mantienen las tendencias actuales, se prevé que el número de muertes en América Latina aumentará aproximadamente 45% para el año 2030. Las tasas de mortalidad son tres veces más altas en América Latina y el Caribe que en Norteamérica, evidenciando enormes situaciones de desigualdad en el sector salud (OPS, 2014).

En un intento por solucionar esta problemática y aprovechar los recursos que la naturaleza nos ofrece, se han logrado identificar plantas con potencial farmacológico contra este padecimiento, generando nuevas investigaciones para conocer más acerca de estos compuestos activos y sus mecanismos de acción.



**Figura 16.** *Catharanthus roseus*.

Los alcaloides son un grupo de compuestos que contienen mayor cantidad de activos anticancerígenos a partir de la planta *Catharanthus roseus* (Figura 16), la cual es originaria de Madagascar, pero se encuentra distribuida en Veracruz y Tabasco. Se aislaron dos compuestos activos, la vinblastina y la vincristina, los cuales son alcaloides capaces de inhibir el ciclo celular en metafase al unirse a los microtúbulos de actina y evitar la formación del aparato de huso acromático. La vinblastina (Figura 17) y la vincristina son los compuestos activos de uno de los medicamentos más importantes para el tratamiento del cáncer; sin embargo, el rendimiento de estos dos compuestos es relativamente bajo, aproximadamente 0.0005% por planta, así que se están buscando nuevas técnicas para lograr un mayor rendimiento (Noble, 1990).



**Figura 17.** Estructura de la vinblastina (Noble, 1990).

El 26-hidroxi-22-oxocolestánico es un compuesto esteroideo derivado de la diosgenina que tiene alta actividad antiproliferativa y apoptótica. Este compuesto ha sido probado con células CaSki. El objetivo principal es la interrupción de la división celular, interviniendo en alguno de los dos puntos importantes de control que se encuentran en las transiciones de G1/S y G2/M, el compuesto induce a la célula a abandonar el ciclo celular en G1 y G2 llevándola a morir (Raju y Mehta, 2009).

Hay otros compuestos cuya simpleza estructural sorprende como el dilapiol, un compuesto encontrado en las raíces del hinojo. El dilapiol induce la producción de especies reactivas de oxígeno, lo que conlleva a la liberación de citocromo C desde la mitocondria para que active la muerte celular aumentando la producción de Cas 3 (Muñoz-Cendales y Cuca-Suárez, 2016).

### **Producción Comercial de Metabolitos**

A través del conocimiento de la etnobotánica y la herbolaria se hicieron investigaciones para averiguar los principios activos presentes en las plantas más conocidas, lo cual dio origen a la rama de la ciencia llamada Fitoquímica (Verde-Star *et al.*, 2016). A partir del conocimiento empírico sobre los beneficios del uso de las plantas con fines terapéuticos surgen los primeros fármacos sintéticos, por ejemplo la aspirina, pues los componentes de la corteza del sauce blanco (*Salix alba*) sirvieron para diseñar su estructura y síntesis.

Los metabolitos primarios y secundarios no se pueden diferenciar con base en su estructura química, molécula precursora u orígenes biosintéticos. En ausencia de una distinción válida entre ambos tipos de metabolitos, se tiene en cuenta su función; por lo tanto, son metabolitos primarios aquéllos que participan en la nutrición y los procesos metabólicos esenciales para la planta, siendo los metabolitos secundarios aquéllos que permiten interacciones ecológicas de la planta con su entorno (Dewick, 2002; Maplestone, Stone y Williams, 1992).

Lo anterior quiere decir que algunos metabolitos secundarios sólo estarán presentes en determinadas especies y pueden presentar alguna función ecológica o actuar como pesticidas naturales. También se pueden sintetizar en respuesta al daño en algún tejido de la planta o actuar como señales de comunicación simbiótica planta-microorganismo. Para el estudio de las plantas medicinales, la metodología a seguir, en general, comprende las siguientes etapas:

- *Estudios Etnobotánicos y Etnofarmacológicos*, los cuales se basan en una investigación bibliográfica exhaustiva para conocer el uso tradicional y los efectos de las plantas dotadas con propiedades medicinales.
- *Estudios de Actividad Biológica*, los cuales comprueban científicamente el uso terapéutico de ensayos que involucran la evaluación *in vitro* o *in vivo*.
- *Estudios Fitoquímicos*, los cuales permiten determinar cualitativamente los principales grupos químicos presentes en la planta por medio de un ensayo biodirigido a partir del cual puede orientarse el fraccionamiento de los extractos.
- *Estudios de Toxicidad y Citotoxicidad*, los cuales evalúan los organismos o las células del posible efecto tóxico de los extractos de las plantas.
- *Desarrollo de productos fitoterapéuticos*, lo cual permite formular fitofármacos para su evaluación clínica con los extractos o compuestos activos.
- *Pruebas de la actividad biológica*, las cuales llevan a cabo un tratamiento inicial que incluye limpiar las impurezas visibles (tierra, insectos, etc.) y secar a la sombra para después obtener los extractos a través de su molienda y evaluar su actividad (Domínguez, 1988).

- *Preparación de extractos*, que a nivel popular muchas veces se lleva a cabo simplemente con la extracción de los principios activos de raíz, hojas, flores y tallos, de acuerdo con los antecedentes encontrados mediante infusión o decocción. En cambio, para analizar las propiedades medicinales de una droga vegetal, en muchos casos se recurre a métodos de extracción más complejos que permitan obtener métodos reproducibles con cuantificación de principios activos. Los métodos de extracción más empleados son (a) maceración en frío o calor, (b) lixiviación, (c) extracción Soxhlet y (d) arrastre por vapor de agua (Verde-Star *et al.*, 2016).
- *Técnicas dirigidas para la obtención de compuestos*, establecidas por Domínguez (1988) con modificaciones de García-González (1992) para el aislamiento de metabolitos secundarios específicos.
- *Métodos de identificación*, a través de los cuales los compuestos puros se someten a diversas pruebas para elucidar la estructura de los alcaloides, las sesquiterpenlactonas, las saponinas y los lígnanos (Lewis, Bernstein, Duncan y Sleight, 2005; Schroeder y Gronquist, 2006; Urban y Separovic, s. f.; Wolfender, Ndjoko y Hostettmann, 2003) a partir de la siguiente metodología:
- Métodos físicos: Punto de fusión, rotación óptica, difracción de rayos X, métodos espectroscópicos, rayo ultravioleta, resonancia magnética nuclear, rayos infrarrojos y espectro de masas.
- Métodos químicos: pruebas colorimétricas.

#### *Estrategias para Incrementar la Producción de Metabolitos Secundarios*

Los metabolitos secundarios son los responsables de las cualidades organolépticas de las plantas alimentarias y ornamentales. Además, tienen aplicaciones comerciales en forma de fármacos, agroquímicos, colorantes, narcóticos, antibióticos, aceites comestibles, biodiesel, esencias, saborizantes, insecticidas, entre otros (Yazaki, 2004; Baser y Dermici, 2006; Luczkiewicz, 2008).

La aplicación de la biotecnología para el aprovechamiento de los metabolitos secundarios vegetales se divide en tres aspectos: (1) la extracción de metabolitos

secundarios directamente de los tejidos de las plantas cultivadas, (2) el uso de cultivos de células y tejidos para su producción y (3) la ingeniería metabólica para incrementar el rendimiento de producción (De la Cruz-Chacón y González-Esquinca, 2009).

### **Investigación y Contexto Actual en México**

A lo largo de la historia de México, la ciencia se ha apoyado en libros y manuscritos redactados en la época de la conquista para investigar y estudiar los principios activos de las plantas medicinales y esclarecer su papel farmacológico. En 1888, se creó el Instituto Nacional de Medicina en México por orden del presidente Porfirio Díaz. En dicho instituto se tuvo el objetivo de incorporar las plantas medicinales en la medicina terapéutica nacional y para el año de 1915 se habían obtenido aproximadamente 1,000 compuestos químicos obtenidos de plantas. En 1975, se creó el IMEPLAM (Instituto Mexicano para el Estudio de Plantas Medicinales) con el objetivo de desarrollar investigaciones multidisciplinarias con plantas utilizadas en el tratamiento de enfermedades comunes en México. Este instituto dio lugar a la conformación del Herbario Medicinal del IMSS, el cual incluye más de 120,000 ejemplares (Domínguez, 2015).

Debido a la demanda de medicamentos naturales sobre fármacos sintéticos, la investigación ha crecido en años recientes, apoyándose en el avance tecnológico en materia de análisis y detección química de compuestos.

Actualmente, según la Organización Mundial de la Salud (OMS), las plantas son utilizadas por 80% de la población mundial. Anualmente se facturan aproximadamente 60,000 dólares por medicamentos naturales, pero no existe una regulación jurídica que controle el uso de estos medicamentos, pues en la mayoría de los casos tanto en México como en el mundo se tiene un conocimiento empírico de la herbolaria (Domínguez, 2015).

Finalmente, es necesario contar con un banco de datos, siempre actualizado y revisado por expertos, que le brinde acceso general a la población con información acerca del uso

de los diferentes compuestos disponibles como el nombre de la planta, el compuesto activo, las funciones y las dosis recomendadas

## Referencias

1. Agents, A., Recio, C., María, R., Máñez, S. y Ríos, J. L. (1994). *H3G1u*, 60, 232-234.
2. Alonso-Castro, A. J., Zapata-Morales, J. R., Ruiz-Padilla, A. J., Solorio-Alvarado, C. R., Rangel-Velázquez, J. E., Cruz-Jiménez, G., ..., Ortiz-Andrade, R. (2017). Use of medicinal plants by health professionals in Mexico. *Journal of Ethnopharmacology*, 198 (Octubre de 2016), 81-86. <https://doi.org/10.1016/j.jep.2016.12.038>.
3. Armando Ernesto Pérez Cala, Eulises Guerra Cepena, O.D.R.A. (2012). El cáncer como respuesta adaptativa. *MEDISAN*, 7(2), 1-25.
4. Asche, C. (2005). Antitumour Quinones. *Mini-Reviews in Medicinal Chemistry*, 5(5), 449-467. <https://doi.org/10.2174/1389557053765556>.
5. Canales, M., Hernández, T., Caballero, J., Romo, A., Durán, Á. y Lira, R. (2006). Análisis cuantitativo del conocimiento tradicional de las plantas medicinales en San Rafael, Coxcatlán, Valle de Tehuacán-Cuicatlán, Puebla, México. *Acta Botánica Mexicana*, 75, 21-43.
6. Carballo, Marta Ana; Cortada, C. M.; Gadano, A. B. (2005). Medicinal Herbs: Risks and Benefits in Their Uses. *Theoria Ciencia, Arte y Humanidades*, 14(2), 95-108.
7. Cavanagh, J., Rance, M., Maplestone, R. A., Stone, M. J., Williams, D. H., Xia, J., ..., Pérez, S. (1999). The evolutionary role of secondary metabolites—A Review\* (Antibiotic resistance; pleiotropic switching; gene clusters; spores; natural products; biosynthesis).

*Journal of Magnetic Resonance* (1969), 115(54), 151-157.

<https://doi.org/10.1039/c7cc03150e>.

8. De la Cruz, I. y González, A. (2009). Biotecnología aplicada a la producción de metabolitos secundarios. *Lacandonia*, 3(2), 59-65.
9. Esquivel-Gutiérrez, E. R., Noriega-Cisneros, R., Bello-González, M. A., Saavedra-Molina, A. y Salgado-Garciglia, R. (2012). Plantas utilizadas en la medicina tradicional mexicana con propiedades antidiabéticas y antihipertensivas. *Biológicas*, 14(1), 45-52.
10. Fernández-Herrera, M. A., López-Muñoz, H., Hernández-Vázquez, J. M. V., López-Dávila, M., Escobar-Sánchez, M. L., Sánchez-Sánchez, L., ..., Sandoval-Ramírez, J. (2010). Synthesis of 26-hydroxy-22-oxocholestanic frameworks from diosgenin and hecogenin and their *in vitro* antiproliferative and apoptotic activity on human cervical cancer CaSki cells. *Bioorganic and Medicinal Chemistry*, 18(7), 2474-2484.  
<https://doi.org/10.1016/j.bmc.2010.02.051>.
11. Hipolito, J. (2007). Taninos O Polifenoles Vegetales. *Scientia et Technica*, 33(33), 13-18. <https://doi.org/0122-1701>.
12. Jaramillo, C., Espinoza, A. J., Armas, H., Troccoli, L. y Rojas, L. (2016). Concentraciones de alcaloides, glucósidos cianogénicos, polifenoles y saponinas en plantas medicinales seleccionadas en Ecuador y su relación con la toxicidad aguda contra *Artemia salina* Carmita. *Biología Tropical*, 64(Septiembre), 1171-1184.
13. López Carreras, N., Miguel, M. y Aleixandre, A. (2012). Propiedades beneficiosas de los terpenos iridoides sobre la salud. *Nutrición Clínica y Dietética Hospitalaria*, 32(3), 81-91.



14. Martínez Moreno D., Alvarado Flores R., Mendoza Cruz M., F. B. P. (2006). Plantas Medicinales de Cuatro Mercados del Estado de Puebla, México. *Boletín de la Sociedad Botánica de México, Sociedad Botánica de México, A. C.*, 79-87.
15. Martínez, A. (2013). Saponinas esteroides. *Universidad de Antioquia*, 8(1), 17-25.
16. Muñoz Cendales, D. R. y Cuca Suárez, L. E. (2016). Compuestos citotóxicos de origen vegetal y su relación con proteínas inhibidoras de apoptosis (IAP). *Revista Colombiana de Cancerología*, 20(3), 124-134. <https://doi.org/10.1016/j.rccan.2015.10.002>.
17. Noble, R. L. (1990). The discovery of the vinca alkaloids—Chemotherapeutic agents against cancer. *Biochemistry and Cell Biology*, 68(12), 1344-1351. <https://doi.org/10.1139/o90-197>.
18. Plantas medicinales silvestres y/o naturalizadas en la península de Araya, Estado Sucre, Venezuela | Wild and/or naturalized medicinal plants in the Araya Peninsula of Sucre State, Venezuela. (2017). *Saber*, 29(0), 326-339.
19. Plants, M. (n. d.). Principios activos farmacéuticos de las plantas medicinales, 42-48.
20. Raju, J. y Mehta, R. (2009). Cancer chemopreventive and therapeutic effects of diosgenin, a food saponin. *Nutrition and Cancer*, 61(1), 27-35. <https://doi.org/10.1080/01635580802357352>.
21. Rivas-Morales, C., Oranday-Cárdenas, M. A. y Verde-Star, M. J. (2016). *Investigación en plantas de importancia médica*. <https://doi.org/10.3926/oms.313>.
22. Soto Vásquez, M. R. (2012). Actividad antinociceptiva y antibacteriana de los alcaloides totales de dos especies de la familia Solanaceae. *Revista Cubana de Plantas Medicinales*, 19(4), 361-373. Recuperado de [http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1028-47962014000400008](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1028-47962014000400008).

23. Trueba, G. P. (2003). Los flavonoides: Antioxidantes o prooxidantes. *Revista Cubana de Investigaciones Biomédicas*, 22(1), 48-57.
24. Zabala, M., Angarita, M., Aguirre, A., Restrepo, J. y Montoya, C. (2009). Strategies for the Improvement of Secondary Metabolites Production in Plan Cell. *Rev. Fac. Nat.. Agr*, 62(1), 4881-4895.