



ANÁLISIS FITOQUÍMICO: UNA VISIÓN INTEGRAL DE LOS MÉTODOS DE EXTRACCIÓN DE PRODUCTOS NATURALES.

Dulce Guadalupe Díaz Villagómez, Rolando Efraín Hernández Ramírez, David Cruz Cruz* y Clarisa Villegas Gómez*

División de Ciencias Naturales y Exactas, Departamento de Química, Universidad de Guanajuato, Col. Noria Alta S/N, Guanajuato, Gto. 36050, México.

email: david.cruz@ugto.mx; clarisa.villegas@ugto.mx

Resumen

La fitoquímica es la rama de la química y la botánica que se encarga de estudiar los procesos químicos que se desarrollan en el interior de las plantas y los compuestos (metabolitos o productos naturales) que se sintetizan a partir de estos; dichos compuestos tienen una gran relevancia puesto que son los responsables de la gran variedad de propiedades y usos que se le ha dado a las plantas desde hace cientos de años y que en la actualidad han sido la base para el desarrollo de nuevos fármacos, insecticidas y pesticidas. El presente artículo proporciona un panorama general de las metodologías aplicadas en un laboratorio para llevar a cabo un estudio fitoquímico desde la extracción de los diferentes metabolitos que integran un extracto, hasta la identificación y elucidación estructural de los mismos.

Palabras clave: Química de productos naturales, fitoquímica, metabolitos secundarios, métodos de extracción



Abstract

Phytochemistry is the branch of chemistry and botany that studies the chemical processes that take place inside plants and the compounds (metabolites or natural products) that are synthesized from them; these compounds are of great relevance since they are responsible for the great variety of properties and uses that have been given to plants for hundreds of years and that nowadays have been the basis for the development of new drugs, insecticides and pesticides. This article provides an overview of the methodologies applied in a laboratory to conduct a phytochemical study from the extraction of the different metabolites that make up an extract, to their identification and structural elucidation.

Keywords: Chemistry of natural products, phytochemistry, secondary metabolites, extraction methods.

Introducción

La medicina tradicional involucra el uso de animales, hongos y principalmente plantas con el objetivo de aprovechar sus propiedades terapéuticas las cuales están estrechamente relacionadas a los compuestos químicos (metabolitos) que sintetizan.

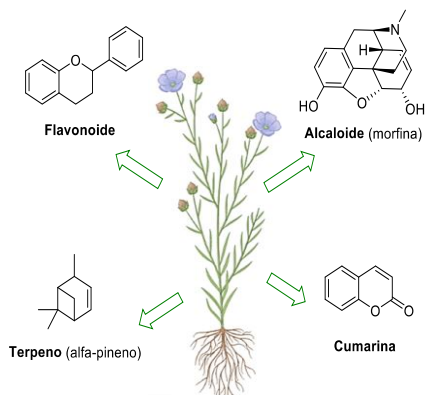


Ilustración 1. Estructuras químicas de algunos metabolitos secundarios sintetizados por las plantas.

Específicamente las plantas producen una gran variedad de metabolitos secundarios (conocidos como “productos naturales”) que incluyen entre otros a los alcaloides, flavonoides, terpenos, aceites esenciales, saponinas, glucósidos, cumarinas; que antes se creía eran productos de desecho, sin embargo, ahora se sabe que cumplen con diversas funciones, principalmente como mecanismo de defensa contra la depredación por animales herbívoros, insectos y algunos microorganismos. Dichos compuestos además de conferirle propiedades medicinales a las plantas, también se ha determinado que pueden presentar propiedades como herbicidas e insecticidas, entre otras (Castillo, 2017). Por lo



que la extracción, aislamiento, análisis y la búsqueda de alguna actividad biológica de los metabolitos, es el principal objeto de estudio de la fitoquímica, que hoy en día ha dado lugar al desarrollo de un gran número de investigaciones enfocadas a la búsqueda de nuevos y potentes fármacos, así como al desarrollo de innovadores insecticidas (Verde-Star, 2016). En el presente artículo se muestra una visión integral de los métodos más utilizados dentro de la fitoquímica, para llevar a cabo la extracción, aislamiento e identificación de productos naturales.

Métodos de extracción

El primer paso para la separación de los productos naturales del organismo en estudio es la extracción, en la cual los métodos más utilizados son los que involucran el uso de solventes orgánicos. En este sentido, la selección del solvente resulta crucial para lograr una eficiente extracción, para ello se debe tener presente diversos factores como lo son la selectividad, la solubilidad, el costo, la viscosidad y la seguridad. Ahora bien, cuando se trabaja con plantas, la elección del solvente también depende del tipo de planta, parte de la planta y evidentemente de la naturaleza de los metabolitos secundarios que contiene (Abubakar, 2020)

En general en la investigación fitoquímica, los solventes no polares como el hexano y el diclorometano se emplean en la extracción de metabolitos igualmente no polares, y los polares como el agua, el metanol y el etanol son usados en la extracción de compuestos polares, es decir se sigue la regla de “*lo similar disuelve a lo similar*”. En la tabla 1, se muestran distintos solventes utilizados en los métodos de extracción, ordenados con relación a una polaridad creciente (Zhang, 2018).

Tabla 1. Solventes comúnmente utilizados en los procesos de extracción.

<i>Solventes</i>	<i>Polaridad</i>
n -Hexano	0.009
Éter de petróleo	0.117
Éter dietílico	0.117
Acetato de etilo	0.228
Cloroformo	0.259
Diclorometano	0.309
Acetona	0.355
n-butanol	0.586
Etanol	0.654
Metanol	0.762
Agua	1.000

Existe una gran variedad de métodos de extracción, los cuales se pueden dividir como convencionales, que son aquellos que involucran el uso de grandes volúmenes de solventes orgánicos y que conllevan un tiempo de extracción largo; entre estos se incluyen a la maceración, infusión, digestión, decocción, percolación y extracción Soxhlet. Por otra parte, los métodos de extracción modernos



brindan ciertas ventajas en la extracción de metabolitos en contraste con los convencionales, como requerir una menor cantidad de solventes, presentar una mayor selectividad y necesitar un tiempo de extracción menor; entre estos podemos encontrar a la extracción asistida por microondas, extracción asistida por ultrasonido, extracción de líquidos a presión (PLE), extracción con fluido supercrítico (SFE), extracción de campo eléctrico pulsado (PEF) y la extracción asistida por enzimas (EAE) (Abubakar, 2020).

La elección apropiada del método de extracción es de suma importancia en el análisis fitoquímico, lo cual depende de diversos factores como lo son: 1) estabilidad del material vegetal al calor, 2) disponibilidad de solventes, 3) costo, 4) duración de la extracción, 5) volumen final requerido, 6) cantidad inicial del material vegetal a tratar y 7) uso previsto del extracto natural a obtener. A continuación, se describen con mayor detalle cada una de estas metodologías de extracción y los factores a considerar si se pretende utilizar (Zhang, 2018).

Métodos convencionales

A. Maceración: Es el método de extracción de elección para material vegetal termosensible. En el cual la parte de la planta en estudio (raíz,

tallos, hojas o semillas) previamente seca y triturada se coloca dentro de un recipiente; en el que posteriormente se adiciona el solvente elegido cubriendo completamente, dejando reposar por al menos tres días y revolviendo continuamente para garantizar una extracción total (Abubakar, 2020).

B. Infusión: Este es un método de extracción parecido a la maceración, idóneo para extraer metabolitos secundarios que son fácilmente solubles en el solvente de elección, así mismo resulta conveniente en la preparación de un extracto fresco antes de su uso. En dicho método igualmente el material vegetal seco y triturado se adiciona en un recipiente; en el cual subsecuentemente se coloca el solvente, ya sea caliente o frío y se mantiene así durante un tiempo corto (Abubakar, 2020).

C. Digestión: Este método es útil para materiales vegetales que son fácilmente solubles en el solvente a ser empleado. Tiene como característica que en el transcurso del proceso de extracción requiere la aplicación de calor moderado, con el propósito de disminuir la viscosidad del solvente utilizado y mejorar la extracción de los productos naturales (Abubakar, 2020).



D. Decocción

Es el método idóneo para la extracción de material vegetal termoestable y soluble en agua. En el cual se procede a realizar una extracción continua en caliente con el objetivo de agilizar el proceso, empleando agua como solvente en un volumen determinado y por un periodo de tiempo corto (Abubakar, 2020).

E. Percolación: Este método requiere el uso de un aparato llamado percolador, el cual es un recipiente de vidrio cónico estrecho y con aberturas en los extremos; en el que el material vegetal previamente tratado (impregnado con el solvente) es introducido por un tiempo de 24 horas, añadiéndose posteriormente más solvente hasta saturación, para enseguida eluir poco a poco hasta obtener el volumen de extracto deseado (Abubakar, 2020).

F. Extracción Soxhlet: Resulta un método útil para material vegetal que contiene impurezas insolubles y que es parcialmente soluble en el solvente a utilizar, sin embargo, no es el adecuado para materiales vegetales termosensibles. Para su aplicación, requiere de un aparato denominado extractor Soxhlet, el cual está compuesto de un matraz de fondo redondo, una cámara de extracción, un tubo de sifón y un condensador en la parte superior. En

el cual el material vegetal previamente seco y triturado se introduce dentro de un saco poroso de papel filtro (dedal), luego el solvente elegido se adiciona y se calienta para promover su evaporación para que así entre en contacto con el material vegetal y se efectúe la extracción, dicho proceso prosigue así varias veces hasta conseguir una extracción total (Abubakar, 2020).

Métodos modernos

A. Extracción asistida por microondas : Se trata de un método innovador y específico para la extracción de compuestos fenólicos y flavonoides. Emplea la radiación de microondas para bombardear un objeto, que puede absorber energía electromagnética y transformarla en calor; subsecuentemente el calor generado promueve el desplazamiento y penetración del solvente utilizado (únicamente se emplean solventes polares) hacia el material vegetal, para conseguir la extracción. Su principal ventaja es que reduce considerablemente la cantidad de solvente y el tiempo de extracción, sin embargo, no es óptimo para la extracción de otros metabolitos como los taninos y las antocianinas debido a que las elevadas temperaturas involucradas durante el proceso ocasionan la degradación de este tipo de compuestos (Abubakar, 2020).



B. Extracción asistida por ultrasonido: Es una metodología utilizada para tratar muestras pequeñas. Requiere la aplicación de energía de sonido a una frecuencia muy elevada, superior a 20 KHz. La muestra previamente seca y triturada se adiciona al solvente seleccionado y se empaqueta en el extractor de ultrasonido, la utilización de una energía tan elevada de sonido apresura la extracción. La principal ventaja de este método es que reduce considerablemente el tiempo y solvente requeridos para una extracción convencional, sin embargo, resulta complicado de reproducir e implica un riesgo en la integridad de los metabolitos, puesto que la energía tan alta que necesita puede promover una degradación en los mismos, al producir radicales libres (Abubakar, 2020).

C. Extracción de líquidos a presión (PLE): Este método involucra la aplicación de una elevada presión durante el proceso de extracción, pues esta ocasiona que los solventes permanezcan en estado líquido superior a su punto de ebullición, lo que da lugar a una elevada solubilidad, así como a una alta penetración del solvente en el material vegetal en estudio, optimizando así el tiempo requerido para una extracción (Abubakar, 2020).

D. Extracción con fluido supercrítico (SFE): Este método emplea como solvente un fluido

supercrítico (SF) en lugar de un solvente orgánico convencional. Un fluido supercrítico es aquel que posee una solubilidad parecida a un líquido y una difusividad parecida a un gas, el cual modifica completamente sus propiedades solvatantes alrededor de sus puntos críticos, esto a causa de sutiles cambios de temperatura y presión. Un ejemplo es el dióxido de carbono supercrítico (S-CO₂) empleado en la extracción de productos naturales termosensibles y no polares (Abubakar, 2020).

E. Extracción de campo eléctrico pulsado (PEF): Es un método que ofrece varias ventajas, principalmente permite aumentar considerablemente el rendimiento de extracción y reduce el tiempo requerido en el proceso, además al no requerir calor reduce la posibilidad de degradación de los metabolitos termosensibles. Su eficacia depende de distintos factores que incluyen la intensidad del campo eléctrico, la entrada de energía específica, el número de pulsos y la temperatura (Abubakar, 2020).

F. Extracción asistida por enzimas (EAE): Se trata de un método que utiliza enzimas como la celulosa, la α -amilasa y la pectinasa para conseguir una acción hidrolítica en los componentes de las células del material vegetal en estudio, es decir actúan sobre su pared y



membrana celular, lo que favorece la liberación de los metabolitos secundarios sintetizados en el interior de las células (Abubakar, 2020).

Aislamiento y purificación de los metabolitos

La separación o aislamiento de los componentes (metabolitos) de un extracto natural puede representar un proceso un tanto largo y, en algunos casos costoso, debido a que a veces es necesario emplear diferentes técnicas de aislamiento para asegurar que el compuesto obtenido sea puro (Colegate, 2007). Las técnicas cromatográficas representan una de las técnicas de aislamiento más rápidas, sencillas y económicas para llevar a cabo el aislamiento de productos naturales, son el eje y la clave de la fitoquímica ya que es gracias a ellas que se pueden obtener compuestos puros para su posterior elucidación estructural y desarrollo de diferentes pruebas objetivo (Marston, 2007).

A. Cromatografía en capa fina (TLC): La cromatografía en capa fina es una técnica que permite separar y conocer el número de compuestos presentes en una mezcla, su utilidad en la extracción de productos naturales radica en que permite conocer la cantidad de compuestos presentes en un extracto y el grado de pureza que presentan (Verde-Star, 2016). Asimismo, al representar un método sencillo,

eficaz, confiable y económico puede ser utilizado en prácticamente cualquier laboratorio, incluso en aquellos que cuentan con ciertas limitaciones (Marston, 2011).

La metodología para realizar el análisis de un extracto natural mediante TLC es el mismo que se sigue para cualquier otro tipo de muestra, se coloca una pequeña cantidad de muestra en el extremo inferior de la placa (aproximadamente a 0.5 cm del borde inferior), luego la placa se coloca en un recipiente de vidrio que contiene el eluyente o fase móvil, que se selecciona de acuerdo con las características de los compuestos que se tenga, y se deja correr por capilaridad. De esta manera se produce la separación y reparto diferencial de los compuestos presentes en la mezcla o extracto (Verde-Star, 2016).

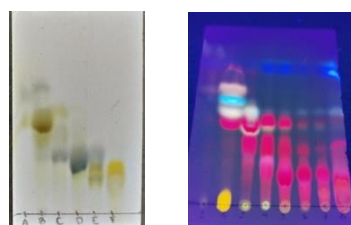


Ilustración 2. Cromatografía en capa fina de las fracciones obtenidas a partir de una columna.

B. TLC preparativa: Tras la obtención del extracto natural y, previo a la realización de una columna cromatográfica para separar los compuestos que integran el extracto, es



necesario llevar a cabo una TLC preparativa para conocer el número de metabolitos o compuestos que integran la muestra de forma general. La realización de esta placa cromatográfica, además de permitirnos conocer la cantidad de compuestos presentes en el extracto, ayuda a seleccionar el eluyente o fase móvil más adecuado para separar con una mejor resolución los metabolitos (Verde-Star, 2016).

Elección del sistema de elución

En el análisis fitoquímico de extractos naturales la fase móvil se emplea de menor a mayor polaridad y en diferentes proporciones, lo que depende de la propia polaridad que presentan los metabolitos que integran el extracto. Normalmente al inicio se emplea una mezcla 95:5 o 9:1 de un solvente de baja polaridad, como hexano, con uno de mediana polaridad en menor proporción. Si en este caso no se observa desplazamiento de los compuestos en la placa se cambia el sistema de elución modificando las proporciones de los solventes o incluso el propio solvente.

El idóneo sistema de elución o fase móvil es aquel que muestre la mejor resolución y separación en la placa cromatográfica (Verde-Star, 2016).

Reveladores

Las placas cromatográficas que hoy se encuentran en el mercado cuentan con un indicador fluorescente que nos permite identificar los compuestos presentes en una mezcla a través de manchas bajo luz UV, sin embargo, en algunas ocasiones los metabolitos no absorben luz UV y su observación requiere de una estrategia diferente. Para esto existen algunos reveladores que al reaccionar con los metabolitos crean productos coloridos (Verde-Star, 2016), en la tabla 2 se muestran algunos de los reveladores más utilizados y el metabolito o grupo funcional que ayudan a identificar.

Tabla 2. Reveladores más utilizados en TLC.

<i>Revelador</i>	<i>Metabolito/grupo funcional que identifica</i>
KMnO ₄	Revelador general
Cloruro de cobalto	
PMA	Alcoholes, alquenos, yoduros de alquilo y compuestos con carbonilo
Dragendorff	Alcaloides
Marquis	
Ehrlich	Compuestos con anillo de furano
Polioloes	Polialcoholes
Azul de metileno-ácido acético-zinc	Quinonas
Hidroxilamina	Sesquiterpenolac-tonas
Vainillina	Aceites esenciales, alcoholes, aminas, aldehídos y cetonas
Nitroanilina	Flavonoides
2,4-dinitrofenilhidracina	Carbonilo
Keller-Killiani	Glicósidos cardiotónicos



C. Cromatografía en columna: La cromatografía en columna junto con la cromatografía en capa fina resulta ser la técnica más utilizada en la separación de productos naturales, sobre todo en la etapa inicial del proceso. La separación mediante cromatografía en columna se basa en la afinidad que presentan los compuestos por la fase estacionaria de la columna incluso cuando se hace pasar la fase móvil a través de ella, los que tengan una menor afinidad se obtendrán primero que los que presentan una afinidad mayor. Una buena separación de los productos naturales se conseguirá siempre y cuando la fase estacionaria y móvil sean las correctas (Bajpai, 2016).

En el caso del análisis fitoquímico se monta primero una columna general a la que se le conoce como “columna preliminar”, con el objetivo de separar la mayor cantidad de metabolitos desde el principio en fracciones. Previo al montaje de esta columna es necesario preparar el punto de aplicación que contenga el extracto natural, para ello se solubiliza el extracto en la menor cantidad de un disolvente previamente seleccionado, se añade un poco de la fase estacionaria (como sílica gel) y se integran los componentes hasta obtener un polvo con consistencia similar a la de la fase

estacionaria. En este punto ya es posible montar la columna teniendo en cuenta que el ancho de esta va en función de la cantidad de extracto que se tenga y el largo, en función del número de compuestos identificados en la TLC preparativa.



Ilustración 3. Preparación del punto de aplicación de una columna cromatográfica.

Una vez montada la columna se recomienda impregnar primero la fase estacionaria con hexano o éter de petróleo, esto para obtener primero los compuestos de baja polaridad, en este momento es cuando se coloca el punto de aplicación con el extracto preparado y se impregna con el mismo disolvente comenzando la elución y recolección en fracciones. Una vez que el solvente de baja polaridad este por llegar a la zona donde se encuentra el extracto, se debe comenzar a adicionar la fase móvil seleccionada mediante la elución de la TLC preparativa (Verde-Star, 2016). Si en algún punto de la elución se observa que las fracciones tienen nulo o muy poco color, se debe realizar un ajuste en las proporciones de la fase móvil aumentando la polaridad, hasta que



finalmente se llegó a la elución de la columna con un solvente polar (Verde-Star, 2016).



Ilustración 4. Columna cromatográfica de un extracto diclorometánico.

El proceso de separación mediante la columna cromatográfica debe seguirse mediante el uso de cromatografía en capa fina, donde las fracciones que presenten manchas similares se unirán formando una sola, se procederá a la eliminación del solvente por evaporación y se realizará el aislamiento e identificación de compuestos empleando ya sea métodos químicos y/o espectroscópicos (Verde-Star, 2016).

Algunas veces tras el análisis de las fracciones de la columna preliminar se determina que es necesario volver a montar una columna cromatográfica que nos permita separar aún más los compuestos que se encuentran en una fracción, para esto se sigue el mismo proceso mencionado con anterioridad.

D. Cristalización: Las fracciones individuales obtenidas a partir de la columna preliminar y de

otras columnas que pudieran realizarse durante el proceso de aislamiento de metabolitos, pueden someterse a procesos de precipitación y cristalización empleando solventes, esto únicamente en caso de obtener un solo compuesto con alguna impureza en la placa cromatográfica o con el objetivo de llevar a cabo la separación de un compuesto por precipitación dejando el resto en solución (Verde-Star, 2016).

Para llevar a cabo la purificación por cristalización es necesario tener en cuenta que factores como la solubilidad y la temperatura pueden afectar los resultados, de tal forma que los disolventes o la mezcla de disolventes elegidos para la cristalización debe cumplir con algunos criterios como: 1) el compuesto a purificar debe ser muy soluble a alta temperatura del solvente; 2) debe ser volátil para eliminarse fácilmente; 3) las impurezas deben ser insolubles en frío y; 4) no debe reaccionar químicamente con el compuesto (Verde-Star, 2016).

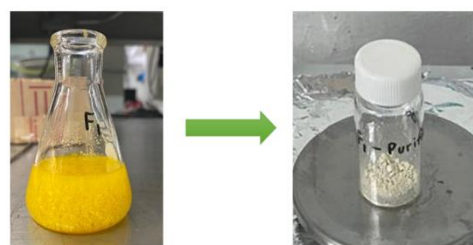


Ilustración 5. Separación y purificación de un metabolito por cristalización (precipitación).



Identificación química y elucidación estructural de los metabolitos

Una vez aislado y purificado cada producto natural a partir de un extracto se prosigue con la identificación química del mismo y su elucidación estructural en base a técnicas espectroscópicas.

A. Métodos químicos cualitativos: Hay una gran variedad de métodos químicos cualitativos para identificar el tipo de producto natural aislado, en la tabla 3 se muestra un resumen de las pruebas colorimétricas más utilizadas para la identificación de metabolitos (Robles, 2016).

Tabla 3. Pruebas cualitativas empleadas para la identificación de metabolitos.

<i>Pruebas colorimétricas</i>		
<i>Prueba</i>	<i>Metabolito/Grupo funcional que identifica</i>	<i>Resultado positivo</i>
TNM (tetranitrometano)	Insaturaciones: doble enlace no terminal (ciclopropanos y compuestos aromáticos)	Color amarillo
Bromo en cloroformo	Insaturaciones	Decoloración en la solución
Permanganato de potasio		Decoloración de la solución o formación de precipitado café
Bicarbonato de sodio	Carboxilo	Desprendimiento de burbujas
2, 4-dinitrofenilhidrazina	Carbonilo	Precipitado amarillo, rojo o naranja
Cloruro férrico	Oxhidrilos fenólicos (taninos)	Coloración verde oscura o negra
Liebermann-Burchard	Esteroles y triterpenos	Color azul o morado → esteroles Color rojo → triterpenos
Saponificación	Saponinas	Formación de espuma abundante (debe permanecer por 1 hora)
Antrona	Hidratos de carbono	Aparición de un anillo azul-verde o violeta
Raymond		Coloración violeta o azul
Tollens		Formación de espejo de plata
Keller-Kiliani		Aparición de una coloración azul tras 1-2 minutos
Hidróxido de sodio	Cumarinas	Coloración amarilla que desaparece al acidular
Ehrlich	Cumarinas (furanocumarinas)	Coloración violeta
Baljet	Sesquiterpenlactonas	Coloración naranja o roja oscura
Mayer	Alcaloides	Formación de precipitado
Scheibler		Precipitado amorfo
Marquis		Coloración rojo púrpura que pasa a violeta y luego a azul
Shinoda	Flavonoides	Color rojo intenso Coloraciones naranjas, verdes y azules indican la presencia de falvonas, flavanonas, flavonoles o xantonas
Trim-Hill	Iridoides	Coloración azul, tojo o violeta
Bomtränger	Naftaquinonas y antraquinonas	Formación de una capa de benceno que al agitar con una solución de KOH se decolora, dejando una coloración rojiza en la solución de KOH.



B. Métodos espectroscópicos: Los métodos espectroscópicos son una herramienta esencial para el análisis fitoquímico, pues brindan información que en complementariedad con los métodos químicos cualitativos permiten elucidar con exactitud la estructura química de los productos naturales aislados, la cual resulta ser un tanto compleja en este tipo de estudios.

Existen varias alternativas a utilizar, cada una ofreciendo información esencial para descifrar la estructura química final, por ejemplo la espectroscopía IR permite identificar los grupos funcionales presentes en el metabolito aislado, la espectroscopía UV indica la presencia de grupos cromóforos en la estructura, y la espectroscopia de RMN ^1H y ^{13}C , que es considerada como el estándar de oro en la elucidación estructural de compuestos orgánicos, permite conseguir la elucidación final de los metabolitos secundarios obtenidos.

En la tabla 4 se muestran algunas de las señales características en la identificación de algunos metabolitos (Verde-Star, 2016).

Tabla 4. Señales de MS en diferentes técnicas espectroscópicas

Metabolito	Infrarrojo (cm^{-1})	Ultravioleta (nm)	RMN (ppm)
Alcaloides	3700-3200 (-OH) 1780-1620 (imino) 1600-1500 (Aromáticos) 900-800 (metoxilos o furano)		7.0-8.0 (aromáticos) 6.0-4 (metiendioxi y metoxilo)
Cumarina	1715-1745 1625-1640 (cromonas) 1160 (benzo- α -pirona)	278 y 310	
Esterol	3650-3590 y 1065 (-OH) 2960-2850 y 1485-1445 (C-H)	283 (dieno homoanular)	3.0-1.0 (CH_3 y CH_2)
Flavanonas	1660-1650	250-300	
Flavonoides	3300-3140	200-270	
Glucósidos cardiotónicos	3460-3200 y 1050-980 (-OH) 2980-2850 (C-H) 1760-1740 (butenólidos) 1725-1715 (cardenólidos)	260-290 (butenólidos) 300 (pentólidos)	
Saponinas	3600-3300 (-OH) 2980-2850 (C-H)	205-210	3.3-3.8 (CHO) 5.2-5.6 (insaturaciones)
Sesquiterpeno lactonas	1770 (saturadas) 1750 (insaturadas)	<200 (saturadas) 205-225 (insaturadas)	

Conclusiones

La extracción, aislamiento e identificación de los productos naturales ha sido de gran



relevancia para diferentes áreas como la farmacéutica y el desarrollo agrícola debido a la actividad biológica que pueden llegar a presentar en estas. El conocimiento en la elección, desarrollo de la metodología de extracción y los factores que pueden afectar el rendimiento y los resultados de esta, son esenciales para llevar a cabo un buen análisis fitoquímico. Pese a la simplicidad que pueden representar algunas de las técnicas empleadas para el estudio y extracción de metabolitos, en la actualidad siguen siendo una herramienta funcional que genera buenos resultados y, que seguramente lo seguirá siendo en los próximos años debido a las ventajas económicas y técnicas que ofrecen.

Referencias

Abubakar, A.R.; Haque, M. (2020) Preparation of Medicinal Plants: Basic Extraction and Fractionation Procedures for Experimental Purposes. *Journal of pharmacy & bioallied sciences*, Vol. 12, no 1, p. 1

Bajpai, V. K.; Majumder, R.; Park, J. G. (2016). Isolation and purification of plant secondary metabolites using column-chromatographic technique. *Bangladesh Journal of Pharmacology*, 11(4), 844-848.

Castillo, G.; Zavala, D.; Carrillo, M. L. (2017). Análisis fitoquímico: Una herramienta para develar el potencial biológico y farmacológico de las plantas. *Tlatemoani: revista académica de investigación*, Vol. 8, N°. 24, 71-86.

Colegate, S. M.; Molyneux, R. J. (2007). *Bioactive Natural Products: Detection, Isolation, and Structural Determination*, Second Edition. CRC Press.

Marston, A. (2007). Role of advances in chromatographic techniques in phytochemistry. *Phytochemistry*, 68(22-24), 2786–2798.

Marston, A. (2011). Thin-layer chromatography with biological detection in phytochemistry. *Journal of Chromatography A*, 1218(19), 2676–2683.

Robles, M. A.; Aguilar, A. J.; Gutiérrez, M.; Rodríguez, F.; Morales, J. A.; Guerrero, P. J.; Madrigal, J. A.; Del Toro, C. L. (2016). Identificación cualitativa de metabolitos secundarios y determinación de la citotoxicidad de extractos de tempisque (*Sideroxylum capiri* PITTIER). *Biotecnia*, Vol. 18 Núm. 3, 3-8.

Verde-Star, M. J.; García-González, S.; Rivas-Morales, C. (2016). Metodología



Naturaleza y Tecnología
Enero Abril 2023
ISSN 2007-672X
Universidad de Guanajuato

científica para el estudio de plantas medicinales. Investigación en plantas de importancia médica. Barcelona, España: OmniaScience. 1-40.

Zhang, Q. W.; Lin, L. G.; Ye, W. C. (2018). Techniques for extraction and isolation of natural products: A comprehensive review. Chinese medicine, 13(1), 1-26