



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES
CUAUTITLÁN

**“MONOGRAFÍA SOBRE ANTECEDENTES DE
LOS PRODUCTOS NATURALES EN MÉXICO,
GENERALIDADES DE TERPENOIDES,
HEMITERPENOS Y MONOTERPENOS”
MANUALES 1, 2, 3 Y 4 DE UNA SERIE DE 13 SOBRE
PRODUCTOS NATURALES**

T E S I S

**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:
QUÍMICA FARMACÉUTICA BIÓLOGA**

P R E S E N T A:

SILVIA SAUCEDO DIMAS

**Asesores : DR. RENÉ MIRANDA RUVALCABA
M. en C. BENJAMÍN VELASCO BEJARANO**

Cuautillán Izcalli, Estado de México

2002

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

PAGINACIÓN DISCONTINUA



FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLAN
 UNIDAD DE LA ADMINISTRACION ESCOLAR
 DEPARTAMENTO DE EXAMENES PROFESIONALES

ASUNTO: VOTOS APROBATORIOS

F. A. M.
 FACULTAD DE ESTUDIOS
 SUPERIORES CUAUTITLAN



Departamento de
 Exámenes Profesionales

DR. JUAN ANTONIO MONTARAZ CRESPO
 DIRECTOR DE LA FES CUAUTITLAN
 P R E S E N T E

ATN: Q. Ma. del Carmen García Mijares
 Jefe del Departamento de Exámenes
 Profesionales de la FES Cuautitlán

Con base en el art. 28 del Reglamento General de Exámenes, nos permitimos comunicar a usted que revisamos la TESIS:

"Monografía sobre antecedentes de los productos naturales en México,
Generalidades de los terpenoides, Hemiterpenos y Monoterpenos" Manuales
1, 2, 3, y 4 de una serie de 13 sobre productos naturales.

que presenta la pasante: Silvia Saucedo Dimas
 con número de cuenta: 8737858-6 para obtener el título de:
Química Farmacéutica Bióloga

Considerando que dicho trabajo reúne los requisitos necesarios para ser discutido en el EXAMEN PROFESIONAL correspondiente, otorgamos nuestro VOTO APROBATORIO.

ATENTAMENTE

"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"

Cuautitlán Izcalli, Méx. a 22 de Enero de 2002

| | | |
|------------------|-----------------------------------------|-------------------------------|
| PRESIDENTE | <u>Dr. Guillermo Penieres Carrillo</u> | |
| VOCAL | <u>Q. Mario A. Morales Delgado</u> | <u>Mario A. Morales D.</u> |
| SECRETARIO | <u>Q.F.B. Benjamín Velasco Bejarano</u> | <u>Béjar</u> |
| PRIMER SUPLENTE | <u>Q. José G. García Estrada</u> | <u>Jose G.</u> |
| SEGUNDO SUPLENTE | <u>Q.F.B. Alberto Ramírez Murcia</u> | <u>Alberto Ramirez Murcia</u> |

Agradecimientos

**A Dios,
por esta oportunidad.**

**A mi mamá, Leticia Dimas,
por todo su apoyo siempre. Realmente no hay palabras para
decir cuánto te agradezco.**

**A mi papá, Salvador Saucedo,
por su ejemplo.**

**A mis hijitos, Montse y David,
por la paciencia que tuvieron mientras su mamá estudiaba.**

**A mi amigo y asesor Benjamín Velasco,
tanto por los momentos gratos como por los difíciles que
vivimos a lo largo de los años de estudio y en la realización de
este trabajo.**

**A la sección de Química Orgánica de la FES Cuautitlán, en
especial al Dr. René Miranda,
por su paciencia y apoyo.**

**A mis jefes, compañeros y amigos en Eli Lilly,
por su apoyo en todo momento durante la realización de este
trabajo.**

**A Raymundo Garduño,
por su apoyo técnico.**

A todos los que hicieron posible este trabajo.

Dedicatorias

**A mis amados hijos, Montse y David,
por ser la razón de mi alegría.**

A mi mamá, Leticia Dimas.

A mi papá, Salvador Saucedo.

**A mis hermanos, Ricardo y Rocío,
por compartir la vida.**

**A mi amiga Ana María Arriola,
por ser un ejemplo de vida.**

**A todos mis compañeros y maestros durante todos los años de
estudio.**

ÍNDICE

| | |
|-------------------------------------------------------------------|------------|
| • GLOSARIO | i |
| • INTRODUCCIÓN | iii |
| • OBJETIVOS | vii |
| | |
| • ANTECEDENTES DE LOS PRODUCTOS NATURALES EN MÉXICO | 1 |
| • ÉPOCA PREHISPÁNICA | 2 |
| • ÉPOCA COLONIAL | 7 |
| • ÉPOCA ACTUAL | 13 |
| • PRESENTE Y FUTURO DE LA INVESTIGACIÓN EN PRODUCTOS NATURALES | 16 |
| • ETNOBOTÁNICA Y HERBOLARIA | 25 |

| | |
|--------------------------------------------|----|
| • GENERALIDADES DE TERPENOIDES | 27 |
| • BIOGÉNESIS DE LOS PRODUCTOS NATURALES | 28 |
| • TERPENOIDES | 30 |
| • INTRODUCCIÓN | 30 |
| • BIOGÉNESIS | 31 |
| • CLASIFICACIÓN | 34 |
| | |
| • HEMITERPENOS | 45 |
| • INTRODUCCIÓN | 46 |
| • NOMENCLATURA Y ESTRUCTURAS FUNDAMENTALES | 47 |
| • BIOGÉNESIS | 49 |
| • HEMITERPENOS DE INTERÉS Y SU APLICACIÓN | 51 |
| | |
| • MONOTERPENOS | 53 |
| • INTRODUCCIÓN | 54 |
| • NOMENCLATURA Y ESTRUCTURAS FUNDAMENTALES | 55 |
| • CLASIFICACIÓN | 60 |
| • BIOGÉNESIS | 65 |
| • MONOTERPENOS DE INTERÉS Y SU APLICACIÓN | 69 |

| | |
|----------------|----|
| ♦ CONCLUSIONES | 78 |
| ♦ REFERENCIAS | 80 |

GLOSARIO

| | |
|--------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------|
| IUPAC | Acrónimo en el idioma Inglés para UIQPA (International Union of Pure and Applied Chemistry) |
| PAPIME | Programas de Apoyo a Proyectos Institucionales para el Mejoramiento de la Enseñanza |
| INEGI | Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática |
| FES-C | Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán |
| <i>ent</i> | Prefijo que refiere a la inversión de la configuración de una molécula con respecto a otra |
| AMV | Ácido mevalónico |
| <i>iso</i> | Descriptor empleado para referirse a regioisomería en 2 |
| α y β | Descriptores estereoquímicos para configuración |
| <i>nor</i> y <i>homo</i> | Prefijos utilizados para indicar decremento o incremento de un átomo de carbono |
| OPP | Pirofosfato |
| $[\alpha]_D^{25}$ | Rotación específica a 25° y radiación de la línea D del sodio |
| SEP | Secretaría de Educación Pública |
| UNAM | Universidad Nacional Autónoma de México |
| UIQPA | Unión Internacional de Química Pura y Aplicada |
| SQO | Sección de Química Orgánica |
| PPI | Pirofosfato de isopentenilo |

| | |
|-------------|------------------------------------------------------|
| PPN | Pirofosfato de nerilo |
| <i>seco</i> | Prefijo utilizado para indicar escisión de un enlace |
| PPGL | Pirofosfato de Geranil-linalol |
| PPGG | Pirofosfato de Geranilgeranilo |
| PPG | Pirofosfato de geranilo |
| vg | Verbigracia |

INTRODUCCIÓN

La asignatura de Productos Naturales que se imparte en la FES-Cuautitlán, para la carrera de Químico Farmacéutico Biólogo, consta de 8 créditos de los cuales 4 corresponden a teoría y 4 a trabajo de laboratorio; es de carácter obligatorio y se ubica en el 5° semestre de esta licenciatura; al respecto, los objetivos generales que establece el programa de estudios son “conocer los aspectos más relevantes, como la biogénesis, clasificación, nomenclatura, propiedades, importancia y aplicaciones, de los principales grupos de metabolitos secundarios, a través del empleo de las fuentes de información especializadas en el área”. Esta misma está ubicada a partir del séptimo semestre del Plan de Estudios de la Carrera de Química, clasificada como obligatoria de elección, tiene asignados 10 créditos, de los cuales 6 corresponden a clases teóricas y 4 a trabajo de laboratorio.

La importancia de esta asignatura en ambos planes de estudios radica no sólo en la parte formativa de los estudiantes en esta área, sino también por su vinculación en el campo profesional, el cual es tan amplio como importante por sus numerosas aplicaciones en diversas áreas de la actividad productiva como son la industria de los colorantes, textil, cosméticos, alimentaria y en el campo de la medicina; es en esta última, y como consecuencia del avance impresionante que ha tenido la Química, que parecía haberse asegurado la síntesis de principios activos utilizándolos en la fabricación de medicamentos sin requerir de los productos naturales, ya que algunos de estos compuestos tanto de origen vegetal como animal presentan acción terapéutica definida; sin

embargo, con la detección de nuevas enfermedades se ha impulsado la investigación para la búsqueda nuevas sustancias de origen natural como alternativas terapéuticas.

Por otro lado, es conveniente mencionar que en la impartición de los cursos de Productos Naturales en la FES-C se han presentado algunos problemas que van en detrimento de su comprensión y aprovechamiento por parte de los estudiantes que cursan la asignatura, esto por que es notoria la falta de material didáctico para satisfacer las necesidades del curso y porque el acervo bibliográfico en idioma Español existente en nuestro país, y en particular en la biblioteca de nuestra Facultad, es mínimo.

A pesar de que los temas que abarca la materia han sido objeto de estudio y análisis en publicaciones nacionales y extranjeras, es relativamente fácil disponer de libros y artículos principalmente en idioma Inglés, que tratan temas muy particulares, vg, alcaloides, terpenoides y flavonoides, entre otros, pero muy pocos cubren de manera conjunta y sencilla los temas del programa de estudio y menos en idioma Español. Por lo anterior, para cubrir satisfactoriamente con los objetivos de la materia, la SQO de la FES-C, ha implementado un proyecto para el mejoramiento de su enseñanza en donde una las metas es generar una serie de manuales que contemplen los aspectos teóricos, clásicos, de esta área de la Química.

En este proyecto, un grupo de profesores de la sección de Química Orgánica encargada de impartir esta asignatura y dada la experiencia adquirida a través del intercambio académico con otras Instituciones de Educación Superior de la República Mexicana, a quienes se les ha brindado apoyo impartiendo el curso

de Productos Naturales en el marco de los programas de superación para su personal docente*, se decidió llevar a cabo la elaboración de esta serie de manuales en idioma Español, que como se mencionó, contengan cada uno de ellos los temas indicados en el programa de estudios correspondiente; cabe resaltar que esta propuesta es una de las metas del proyecto PAPIME-MI208999 del cual el cDr. Gabriel Arturo Arroyo Razo, el Dr. René Miranda Rubalcava y el M en C. Benjamín Velasco Bejarano son responsable, corresponsable y participante, respectivamente.

Además, es necesario dejar claro que, este trabajo de tesis conjunta, a través de una revisión bibliohemerográfica, información sobre antecedentes de los productos naturales en México, generalidades de terpenoides, hemiterpenos y monoterpenos, presentados en cuatro de trece manuales, cuyo contenido se estructura uniforme y lógicamente para su adecuada comprensión (Introducción, Nomenclatura y Estructuras Fundamentales, Clasificación, Biogénesis y Compuestos de Interés y su Aplicación).

Finalmente, se consideró apropiado generar material de apoyo audiovisual (acetatos, transparencias y presentación para proyector digital) sobre cada tema.

A continuación, y sólo como complemento, se mencionan los 13 temas que se contemplan en el total de los manuales.

* Instituto Tecnológico de Oaxaca, Facultad de Química de la Universidad Autónoma de Baja California y Escuela de ciencia Química de Campeche

| Serie de manuales sobre Productos Naturales |
|----------------------------------------------------|
| Antecedentes de los Productos Naturales en México |
| Generalidades de terpenoides |
| Hemiterpenos |
| Monoterpenos |
| Sesquiterpenos |
| Diterpenos |
| Sesterterpenos |
| Triterpenos |
| Tetraterpenos |
| Politerpenos |
| Flavonoides |
| Alcaloides |
| Iridoides |

Es necesario enfatizar que estos manuales no pretenden sustituir las clases teórico-prácticas, sino ser un apoyo y complemento de éstas, razón por la cual no se considero necesario hacer extensos la parte de introducción, interés y aplicaciones, sino dar énfasis a las partes de biogénesis, nomenclatura y estructuras fundamentales, así como clasificación.

OBJETIVOS

GENERAL

Realizar una investigación bibliohemerográfica para elaborar cuatro de trece manuales sobre temas comunes de la materia de Productos Naturales que formarán una serie utilizada como material de apoyo didáctico y de consulta para estudiantes de esta asignatura y profesores interesados en estos temas.

PARTICULARES

- Realizar una revisión bibliohemerográfica sobre antecedentes sobre Productos Naturales en México, Generalidades sobre Terpenoides, Hemiterpenos y Monoterpenos.
- Generar cuatro manuales que contemplen: biogénesis, nomenclatura, clasificación, propiedades y aplicaciones para los terpenoides mencionados.
- Disponer en nuestro idioma la información básica de acuerdo al programa vigente del curso de Productos Naturales de las carreras de Químico Farmacéutico Biólogo, Química y Química Industrial.

***ANTECEDENTES DE LOS
PRODUCTOS NATURALES
EN MÉXICO***

ANTECEDENTES DE LOS PRODUCTOS NATURALES EN MÉXICO

ÉPOCA PREHISPÁNICA

En México, antes de la llegada de los españoles, las culturas que poblaron hace 1500 años el altiplano mexicano comenzaron a reunir información sobre distintas plantas existentes en su entorno, probando sus virtudes, así como agrupándolas según sus propiedades curativas intuyendo algunos remedios. Para tal efecto, usaban plantas medicinales de formas variadas tales como infusiones, ungüentos, emplastos, entre otros; a estas prácticas curativas se les atribuía un trasfondo sobrenatural, mágico y religioso. La herbolaria era la base de las experiencias curativas de los indígenas prehispánicos, llegando a ocupar una posición privilegiada en la sociedad aquellos que se dedicaban a su estudio y práctica; por ejemplo, en el famoso mural de Tepantitla encontrado en Teotihuacan, se pueden apreciar escenas en donde se encuentra un médico herbolario teotihuacano haciendo uso de hierbas y arbustos. Así Fray Bernardino de Sahagún mencionó acerca de los toltecas:

"... sabían y conocían las cualidades y virtudes de hierbas, sabían las que eran de provecho y las que eran dañinas y mortíferas y las que eran simples; y por la gran experiencia que tenían en ellas dejaron señaladas y conocidas las que ahora se usan para curar, porque también eran médicos y especialmente los primeros de este arte que llamaban axomoco, cipactonal, tlaltetecuín, xochicauauca, los cuales fueron tan hábiles en conocer las hierbas que ellos fueron los primeros inventores de la medicina aún los primeros médicos herbolarios..."

Los antiguos mexicanos sintieron un profundo amor por las plantas, lo que se tradujo en la creación de jardines magníficos. Como prototipos de jardín, podemos mencionar el jardín real de Tetcutzingo, en las proximidades de

Texcoco, que según dice Fernando Alva Ixtlizochitl habían “plantadas diversidad de flores y árboles de toda suerte, peregrinos y traídos de partes remotas”, tanto en los jardines fundados por Nezahualcoytl en sus palacios como en territorios gobernados por él, o los más antiguos de Techotlalatzli.

Moctezuma Ilhuicamina ya cerca del fin de su vida en 1467 decide fundar un jardín en Huaxtepec, hoy Oaxtepec, con tal motivo envía mensajeros a diversas regiones para traer una serie de árboles, flores ornamentales y otros tipos de plantas que trasladaron con raíces y envueltas en petates para plantarlos en sitios preparados previamente para ellas en Huaxtepec. Este jardín tuvo posteriormente una gran importancia en los estudios de la clasificación y uso de las plantas mexicanas en la época colonial.

El gran imperio Mexica tardó aproximadamente 100 años en llegar a su esplendor máximo; para él todo lo que los rodeaba, animales, plantas, objetos, etc., tenían una razón de existir, no dejaron planta comestible alguna sin nombre en el valle de Anáhuac, así como tampoco ninguna planta medicinal o tóxica dejó de ser estudiada y clasificada. En consecuencia, los antiguos mexicanos tuvieron la idea elemental de diversas funciones del organismo; comprendieron algunas, por sus signos exteriores y otras sin necesidad de que hubiese manifestaciones externas. Así, en Tenochtitlán existió un jardín botánico donde se estudiaban y cultivaban gran variedad de plantas, árboles y flores existentes en todo el imperio Mexica; por ende, había lugares perfectamente conocidos y reconocidos donde se podían conseguir toda clase de remedios, raíces, yerbas medicinales, animales vivos y carne de ellos, como por ejemplo la carne de *ocelotl* y la cola de tlacuache (tlacuatzin), minerales,

como el azufre (tlequisquistlalli), el diamante, el mercurio (iztacteocuitlatl), etc., a esos lugares se les conocía como *panamacoyan* o *tianguiztle*.

Muchos de los padecimientos humanos eran tratados con plantas cuyas propiedades medicinales se conocían; por ejemplo, el tabaco (*Nicotina tabacum*) que se consideraba planta maravillosa, se aplicaba contra ciertos dolores, en las penas morales y para ahuyentar la fatiga; el achiote (*Bixa orellana*), era empleado para tratar la lepra; el jugo de manzanillo (*Hipomane mancinella*), era utilizado para envenenar la punta de sus flechas. A su vez, el tamarindo y el xoaxin se utilizaban como purgante; entre los eméticos catárticos se utilizaba la hierba del zorrillo (*Croton vulpimun*), la raíz de pipitzahoac y el polvo de corteza de chatalhil. También, se conocían algunos hongos alucinógenos y la mariguana (*Cannabis indica*).



Morteros utilizados en la época prehispánica

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN



Utensilios comunes en una casa de la época prehispánica

Los emplastos eran preparados con diferentes animales como la iguana o *tlapatli*; la vibora o *coatl*. Los remedios de uso más común eran regularmente preparados con hojas o *izuatl*, flores conocidas como *xochia* o *cuaponcayotl*, frutos como *xochicualli*, aceites tales como el de *chian* o *chia*, el de *octl* (obtenido de la destilación del alquitrán y aceite de abeto) y resinas naturales entre las que encontramos la de *tlapatl* extraída de la higuera, la *tezcalama* que se usaba como resina aromática, las gomo-resinas, la *animé* y la *tacamaca*.

La trementina y el bálsamo negro se empleaban muy comúnmente en la preparación de diferentes remedios.



Especímenes vegetales en proceso de secado

La riqueza de la flora mexicana se utilizó ampliamente antes y después de la llegada de los españoles a México, dando origen a lo que hoy conocemos como medicina tradicional mexicana, llamada también mágica o popular, que expresa creencias y actitudes que tiene un pueblo sobre la salud y la enfermedad. Desde esta óptica, se interpretan fenómenos como la vida, la muerte, la salud y la enfermedad, como una parte de la visión que tiene cada pueblo sobre el cosmos. Es conveniente aclarar que el término de plantas medicinales no es sinónimo de medicina tradicional, ya que ésta emplea además otras terapéuticas.

ÉPOCA COLONIAL

Con la llegada de los españoles a México y la caída del imperio mexica en 1521, se llevó a cabo la disgregación de muchas culturas indígenas. Sin embargo, los conquistadores apreciaban los remedios de los pueblos que habían conquistado, llegando incluso a utilizarlos para aliviar sus males.



Panorámica del Mercado de Tlatelolco (1)

De tal forma que, el mejor homenaje que la medicina antigua mexicana recibió, emanó de la pluma de Hernán Cortés, al pedirle al Rey Carlos V que no permitiera ingresar médicos españoles a la Nueva España, dado que la destreza y conocimiento de los médicos aztecas los hacían innecesarios.

Con la imposición de la religión católica, muchos indígenas se convirtieron a la nueva religión reinante en la llamada Nueva España, así fue que se pudieron transmitir conocimientos de las plantas medicinales y su aplicación para la cura de diferentes males; más tarde, los misioneros recogieron con sumo cuidado los remedios de los indígenas para aplicarlos dentro de los conventos y hospitales.



Panorámica del Mercado de Tlatelolco (2)



Panorámica del Mercado de Tlatelolco (3)

Las maravillas de la medicina indígena llegaron a conocerse por el Virrey Francisco de Mendoza hijo, quien instó al médico mexicana Martín de la Cruz en 1552 a generar un tratado amplio sobre las hierbas medicinales empleadas por los indios que se tituló "*Libellus Medicinabilis Indorum Herbis*" el cual contiene la descripción de 251 plantas de las cuales 185 se hallan magníficamente ilustradas. El indio xochimilca Juan Badiano tradujo esta obra al latín, este documento hace la defensa de su cultura frente al Rey Carlos V, demostrándole con esto que no eran "bárbaros ignorantes"; dicho manuscrito se conoce como Códice Badiano, el cual pasó desapercibido hasta 1929 cuando fue rescatado de las bibliotecas de Vaticano y de Windsor. A partir de

entonces, ha sido objeto de muchas publicaciones extranjeras y estudios de comparación con plantas y sustancias activas conocidas actualmente. Como resultado de esto, se ha encontrado que algunas especies que figuran en la obra manuscrita ya están extintas. La primera publicación mexicana de dicho Códice se logró en 1964, acompañada con información acerca de los conocimientos náhuas en medicina humana sobre odontología, fisiología, zoología y botánica, además de las descripciones hechas por Bernardino de Sahagún y por Francisco Hernández; de las plantas que aparecen en el Códice Badiano, impreso por el IMSS, sólo 15 coinciden con las citadas con Sahagún.



Página del Códice Badiano

Entre los años 1578 y 1581, se conforman las Relaciones Geográficas de las Indias, en las que se encontraba información acerca de la plantas medicinales y de medicina tradicional.

Magnífica es la obra escrita por Fray Bernardino Sahagun que titula "Historia General de la Cosas de Nueva España" y que no llega a conocerse hasta el siglo XIX. Bernardino de Sahagun registra datos sobre la herbolaria médica mexicana desde 1457, para lo que selecciona a sus informadores entre los ancianos que conocían las tradiciones y reúne en el colegio de Santa Cruz de Tlatelolco a ocho médicos indios que hacen los escritos que, más tarde, le sirven para redactar el Capitulo sobre "De las hierbas medicinales" de su obra monumental. Un ejemplo es la receta común al Códice Sahagún y al Badiano, que recomienda para la cabeza con sarna el tratamiento siguiente: *se deberá lavar con orina, después se pondrá en ella una mezcla de raíces trituradas de huitzilil, tezonpahlli, tequammeitl y tetzmixochitl, con corteza de copalcuahuil y atayaxocotl (Scabiosum caput urina lauavitur; deinde radices huitzilil, tezonpahlli, tequammeitl, tetzmixochitl cum corticibus copalcuahitl et atoyaxocotl simul intritae capiti apponnetur).*¹

Existen otras publicaciones importantes realizadas en el México Colonial que comprenden descripciones de la flora terapéutica, así como enfermedades conocidas desde entonces, acompañadas por los remedios utilizados en cada caso. Al respecto, se pueden citar las compilaciones hechas por Ricardo Ossado, "El Judío" y Francisco Hernández. Del siglo XIX, es interesante la reseña que hace de la flora mexicana el naturista Jesús Galindo y Villa.

En la época colonial se desarrolló notablemente la industria de la cochinilla (*Dactylopius coccus* y *D. Indicus*), de la cual se extrae un colorante rojo que fue uno de los principales artículos de exportación de la Nueva España. Asimismo, el jitomate (*Lycopersicum esculentum*) y el chile (*Capsicum annuum* y *C. Frutescens*), llegaron a ser especies muy valiosas, que desde entonces, son patrimonio de la humanidad, lo mismo sucede con el cacao (*Theobroma cacao*), el aguacate (*Persea americana*) y plantas ornamentales como la nochebuena (*Euphorbia pulcherrima*) y la dalia (*Dahlia excelsa*).

La medicina tradicional indígena, así como sus preparaciones, se continuaron practicando secretamente, aun cuando ya se utilizaba en la Nueva España la medicina Europea.

Pese al edicto que se expidió en febrero de 1769, en el que se prohibía el uso de este tipo de prácticas curativas con al intención de desterrar idolatrías y supersticiones entre otras cosas, los indígenas no las abandonaron por completo.



Replica de fachada de pirámide de Teotihuacan

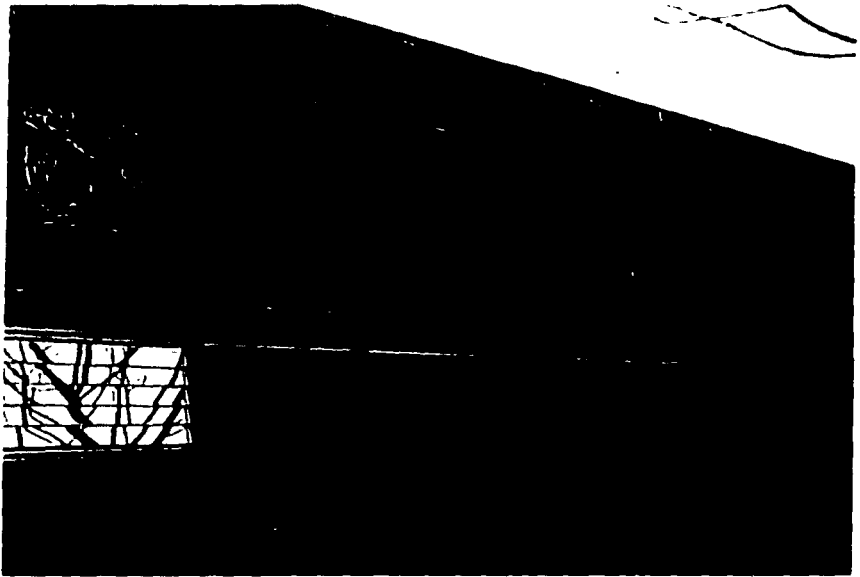
ÉPOCA ACTUAL.

En épocas pasadas, se conocieron las propiedades de drogas de origen vegetal y animal; sin embargo, no se conocían sus principios activos. En realidad, el conocimiento de principios activos es bastante reciente; comenzó luego del descubrimiento de Lavoasier quien midió las proporciones de carbono, hidrógeno y oxígeno en materiales orgánicos; sin embargo, las herramientas con las que contaba el químico en ese tiempo eran aun limitadas.

La aplicación de métodos espectroscópicos modernos en el estudio de drogas usadas en la época prehispánica ha conducido a interesantes investigaciones como son el aislamiento y la determinación de la estructura de varios principios activos. Así, por ejemplo, el alcanfor, una sustancia ampliamente conocida y usada desde la antigüedad, se estudió durante 60 años para determinar su estructura correcta; ahora bastan unos cuantos minutos y una adecuada preparación para lograr su identificación.

En la época actual destacan los siguientes estudios en el campo de los Productos Naturales en México:

- En la década de los años 40, el estudio de las esteroides.
- En la década de los años 50, el estudio de los triterpenos pentacíclicos.
- De 1960 a la fecha las lactonas sesquiterpénicas, así como múltiples diterpenos.
- De 1965 a la fecha, los sesterterpenos.



Unidad de investigación en plantas medicinales IQ-UNAM

Los estudios recientes han llevado a la conclusión de que ciertas plantas no tienen las virtudes curativas que se le atribuían, puesto que han fracasado al someterlas a la experimentación clínica.

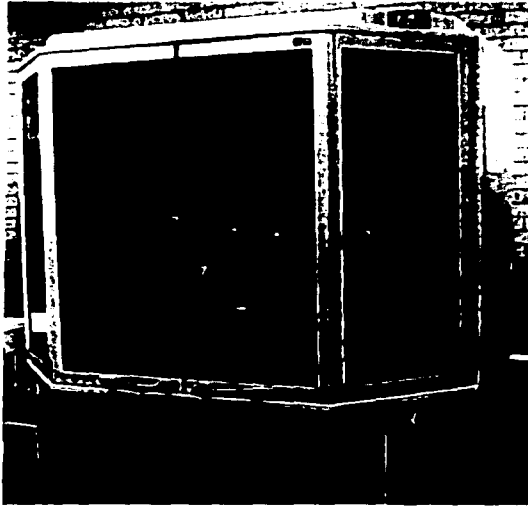
Estos fracasos se deben probablemente a que no se ha identificado exactamente las plantas que los indígenas prehispánicos empleaban, y a que estos remedios no se han aplicado en la forma como ellos lo hacían, pues un medicamento que los indios empleaban con un buen éxito por la vía oral, se ha pretendido que tenga la misma eficacia por vía intravenosa. En otras ocasiones, al experimentar con determinados animales, se ha encontrado que

tal planta no es tóxica a ciertas dosis, y luego se ha generalizado, siendo así que una misma planta puede tener diferentes efectos en distintos organismos.

PRESENTE Y FUTURO DE LA INVESTIGACIÓN EN PRODUCTOS NATURALES.

Según datos de la Organización Mundial de la Salud, más del 80% de la población del planeta depende del uso de plantas silvestres para la atención de enfermedades. El empleo de plantas con fines medicinales es probablemente tan antiguo como el hombre mismo. Tanto en los países pobres, donde la fitoterapia constituye prácticamente la forma de tratamiento más económica y arraigada en la cultura popular, como en los altamente industrializados, las plantas son fuente de obtención de medicamentos. Desde hace muchos años, los productos naturales han sido una fuente muy rica de productos bioactivos prototipo para la obtención de fármacos con actividad biológica de gran potencia y baja toxicidad.

En la actualidad, la investigación fitoquímica se ve apoyada por diversas técnicas espectroscópicas, como son, Resonancia magnética nuclear de hidrógeno y carbono 13, Espectrometría de masas, Rayos X e Infrarrojo. Que facilitan la elucidación y caracterización estructural de los metabolitos secundarios. Es importante mencionar que nuestro país cuenta con infraestructura moderna para realizar estudios en este aspecto.



Difractómetro de Rayos X



Espectrómetro de masas

Las casi 260 mil especies de plantas conocidas por la ciencia, es decir, aquellas que han sido colectadas, catalogadas, nominadas científicamente y depositadas en algún herbario del mundo, son fundamentalmente desconocidas desde cualquier otro punto de vista. En otras palabras, sus características fisiológicas, químicas, sus requerimientos ecológicos, se conocen tan sólo un uno o dos por ciento.



Magneto de un espectro de Resonancia Magnética Nuclear

La lista de compuestos químicos vegetales, que ofrecen respuesta casi milagrosa a severos problemas de salud pública, es muy larga. Está en esa lista el muy conocido y referido ejemplo de la quinina que salvó a cientos de miles de vidas en la primer mitad del siglo pasado y que ahora, sintetizada, mantiene libre de la malaria a muchas zonas extratropicales; o la salicina, base del compuesto activo de la aspirina, aislada de los sauces europeos, quizá el medicamento universalmente más administrado e ingerido en el mundo; o el taxol, alcaloide extraído de una especie de *Taxus* del noroeste de los Estados Unidos, que ha sido exitosamente usado en el tratamiento del cáncer ovárico.

El peso que tiene la investigación de los Productos Naturales en México y en el mundo es considerable; en nuestro país esto es debido en parte a la gran riqueza y biodiversidad vegetal, así como por los antecedentes de la medicina prehispánica y de la herbolaria. Los estudios que se realizan comúnmente, se enfocan tanto a la investigación básica como a la investigación aplicada. Predominan los trabajos sobre terpenos, siendo más de la mitad de ellos sobre lactonas sesquiterpénicas. Otro campo que últimamente ha cobrado importancia para los investigadores es el uso de las plantas medicinales en los actuales pueblos indígenas en nuestro país. Según fuentes del INEGI, INI y la SEP, existen 56 etnias registradas (Tabla 1), determinadas conforme a criterios lingüísticos. Por distribución, podríamos encontrar más de 70 pueblos indígenas, de los cuales 18 no cuentan con registros de estudios de botánica medicinal y medicina tradicional.



Aislamiento de metabolitos secundarios en el laboratorio

Los investigadores se han dado a la tarea de recopilar los conocimientos sobre etnobotánica que poseen los pueblos indígenas de nuestro país. El modo en que han realizado esta labor, es visitando directamente al médico indígena y observando su trabajo. Estas investigaciones se han llevado a cabo por etnobotánicos ayudados de traductores, dibujantes y botánicos. Los resultados de este trabajo se han publicado en obras como: *Atlas de las Plantas de la Medicina Tradicional en México y Flora Medicinal Indígena de México*; otras obras relacionadas con el tema son: *La Medicina Tradicional de los Pueblos Indígenas de México, Bibliografía comentada de la medicina Tradicional Mexicana, Flora Medicinal Mexicana I, Plantas indígenas y La Medicina Tradicional en México*.

Tabla 1- Pueblos indígenas y número de estudios sobre plantas medicinales y medicina tradicional.

| Nombre | No. de estudios |
|------------------|-----------------|
| Amusgo | 9 |
| Chatino | 5 |
| Chichimeca-Jonás | 5 |
| Chinanteco | 21 |
| Chocho | 1 |
| Chocho-Popoluca | 1 |
| Chol | 5 |
| Chontal | 17 |
| Cochimi | 1 |
| Cora | 6 |
| Cucapá | 2 |
| Cuicateco | 5 |
| Eudeve | 1 |
| Guarijío | 3 |
| Huave | 15 |
| Huichol | 36 |
| Ixcateco | 2 |
| Kikapú | 3 |
| Kiliwa | 2 |
| Kumiai | 1 |
| Lacandón | 12 |
| Mame | 6 |
| Matlatzinca | 5 |
| Maya | 119 |
| Mayo | 11 |
| Mazahua | 22 |
| Mazateco | 28 |
| Mixe | 30 |

| Nombre | No. de estudios |
|---------------|-----------------|
| Mixe-Popoloca | 1 |
| Mixteco | 20 |
| Motozintleco | 2 |
| Nahua | 261 |
| Opata | 2 |
| Otomí | 52 |
| Pai-Pai | 2 |
| Pame | 7 |
| Pápago | 8 |
| Pima | 12 |
| Popoloca | 5 |
| Popoloca | 14 |
| Púrhepacha | 66 |
| Seri | 6 |
| Tarahumara | 33 |
| Tének | 10 |
| Tepehua | 11 |
| Tepehuana | 15 |
| Tlapaneco | 5 |
| Tojolabal | 9 |
| Totonaco | 28 |
| Triqui | 6 |
| Tzeltal | 50 |
| Tzotzil | 66 |
| Yaqui | 21 |
| Zapoteco | 37 |
| Zoque | 20 |

La mayoría de los investigadores etnobotánicos mencionan en la introducción de sus libros que su tarea principal es conocer las plantas y cómo es que un

pueblo las utiliza, pero son muy pocos los casos en que se investiga en un laboratorio si los componentes de las plantas son farmacológicamente activos o si tienen reacciones secundarias indeseables. Muchas de las plantas que actualmente se utilizan ya se encontraban en documentos como el Códice Badiano, el de Sahagún e incluso el de Fray Juan de Navarro.

La investigación mexicana en Productos Naturales es cada vez más activa y nuevos grupos continúan sumándose a esta actividad en muy diversas Instituciones. A continuación, en la Tabla 2, se presentan las instituciones que más activamente han participado en el desarrollo de este campo de la Química.

Tabla 2-Instituciones donde comúnmente se realiza investigación en Productos Naturales en México.

| |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1- Universidad Nacional Autónoma de México |
| 1.1 Instituto de Química |
| 1.2 Facultad de Química |
| 1.3 Instituto de Investigaciones Biomédicas |
| 1.4 Instituto de Ciencias del Mar y Limnología |
| 1.5 Facultad de Medicina |
| 1.6 Instituto de Biología |
| 1.7 Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán |
| 1.8 Facultad de Estudios Superiores Zaragoza |
| 1.9 Facultad de Ciencias |
| 2- Instituto Politécnico Nacional |
| 2.1 Centro de Investigación de Estudios Avanzados (Departamento de Química y Departamento de Genética) |
| 2.2 Escuela Nacional de Ciencias Biológicas |

Tabla 2-Instituciones donde comúnmente se realiza investigación en Productos Naturales en México, *continuación*.

| |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 3- Instituto Tecnológico de Estudios Superiores Monterrey |
| 4- Centro de Estudios Económicos y Sociológicos del Tercer Mundo (Coordinación Plantas Medicinales) |
| 5- Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo 5.1 Instituto de Investigaciones Químico biológicas |
| 6- Instituto Tecnológico del Estado de Guanajuato (Ubicada en Celaya) |
| 7- Universidad Autónoma de Guadalajara (Departamento de Química) |
| 8- Universidad Autónoma del Estado de Morelos 8.1 Facultad de Ciencias Químicas e Industriales |
| 9- Instituciones no Educativas 9.1 Centro de Investigaciones de Química Aplicada de Saltillo 9.2 Instituto Mexicano de Estudios de Plantas Medicinales |

Tabla 3- Revistas especializadas en Productos Naturales.

| Nombre de la revista | Nacionalidad |
|-----------------------------------------------------|--------------------------|
| <i>American Journal of Clinical Medicine</i> | Medicina/ Estados Unidos |
| <i>Antoine Lecuw Journal of Microbiology</i> | Biología/ Estados Unidos |
| <i>Australian Journal of Chemistry</i> | Química/ Holanda |
| <i>Biochemical Society Transactions</i> | Bioquímica/ Gran Bretaña |
| <i>Biochimica et Biophysica Acta</i> | Bioquímica/ Australia |
| <i>Biochimica Biophysic Research Communications</i> | Biología/ Estados Unidos |
| <i>Bulletin of Marine Science</i> | Biología/ Estados Unidos |

Tabla 3- Revistas especializadas en Productos Naturales. *Continuación*

| Nombre de la revista | Nacionalidad |
|---------------------------------------------------|----------------------------|
| <i>Carbohydrate Research</i> | Bioquímica/ Holanda |
| <i>Chemical Industry</i> | Química/ Gran Bretaña |
| <i>Experientia</i> | Multidisciplinaria/ Suiza |
| <i>Experimental Mycology</i> | Biología/ Estados Unidos |
| <i>Fitoterapia</i> | Biología /Italia |
| <i>Journal of American Oil Chemists Society</i> | Química/ Estados Unidos |
| <i>Journal of Biological Chemistry</i> | Bioquímica/ Estados Unidos |
| <i>Journal of Crude Drug Research</i> | Medicina/ Holanda |
| <i>Journal of Natural Products (Llodia)</i> | Biología/ Estados Unidos |
| <i>Journal of Thermal Analysis</i> | Química/ Estados Unidos |
| <i>Journal of Agricultural and Food Chemistry</i> | Alimentos/ Estados Unidos |
| <i>Journal of The American Chemical Society</i> | Química/ Estados Unidos |
| <i>Journal of Organic Chemistry</i> | Química/ Estados Unidos |
| <i>Organic Mass Spectrometric</i> | Química/ Gran Bretaña |
| <i>Phytochemistry</i> | Bioquímica/ Gran Bretaña |
| <i>Planta Medica</i> | Biología/ Alemania |
| <i>Polymer</i> | Química/ Gran Bretaña |
| <i>Revista Latinoamerica de Química</i> | Química/ México |
| <i>Revista de la Sociedad Química México</i> | Química/ México |
| <i>Synthetic Communications</i> | Química/ Estados Unidos |
| <i>Revista de la Sociedad Química Chilena</i> | Química/ Estados Unidos |
| <i>Termochimica Acta</i> | Física/ Holanda |
| <i>Tetrahedron Letters</i> | Química/ Gran Bretaña |
| <i>Tetrahedron</i> | Biología/ Estados Unidos |
| <i>Zucker</i> | Agricultura/ Alemania |

ETNOBOTÁNICA Y HERBOLARIA

La historia de la herbolaria medicinal en México se originó varios siglos antes de la conquista. Esto se sabe por los documentos indígenas ya mencionados, así como por los testimonios de los conquistadores y de las investigaciones arqueológicas.

La herbolaria medicinal es el oficio de la recolección de plantas medicinales para su posterior uso de acuerdo a la experiencia empírica adquirida a través de varias generaciones. Además, es un ejemplo de la asombrosa vinculación del hombre con su hábitat y con el mundo sobrenatural. Su conocimiento viene de la convivencia y la comunión con la naturaleza; es místico, pero es también fruto de la observación, experimentación y aplicación eficaz.

El siglo XIX se distingue por tres tipos de trabajos sobre herbolaria medicinal: los ensayos sobre materia médica, las Farmacopeas y las primeras historias acerca de la medicina. La herbolaria medicinal de hoy consta de un gran acervo vegetal formado a través de los años, que combina recursos mayoritariamente mesoamericanos y mediterráneos y que ahora ha comenzado a prestigiarse como recurso útil para la salud.

El uso de la herbolaria es una constante en las culturas médicas de todos los tiempos. A través de los siglos, ha variado el grado de precisión de este conocimiento, interpretación o quizá la forma mediante la cual se aplica el recurso herbolario, pero la persistencia en el uso está determinada por el

beneficio que proporciona, llegando hoy en día, a convertirse en una disciplina científica llamada etnobotánica.

En los últimos años, ha recibido gran impulso el estudio de las plantas medicinales, tratando de aislar sustancias activas, sobre todo alcaloides. Algunas de las familias vegetales en las que se han encontrado este tipo de sustancias son principalmente Amarilidaceas, Apocinaceas, Compuestas, Ranunculaceas y Solanaceas.

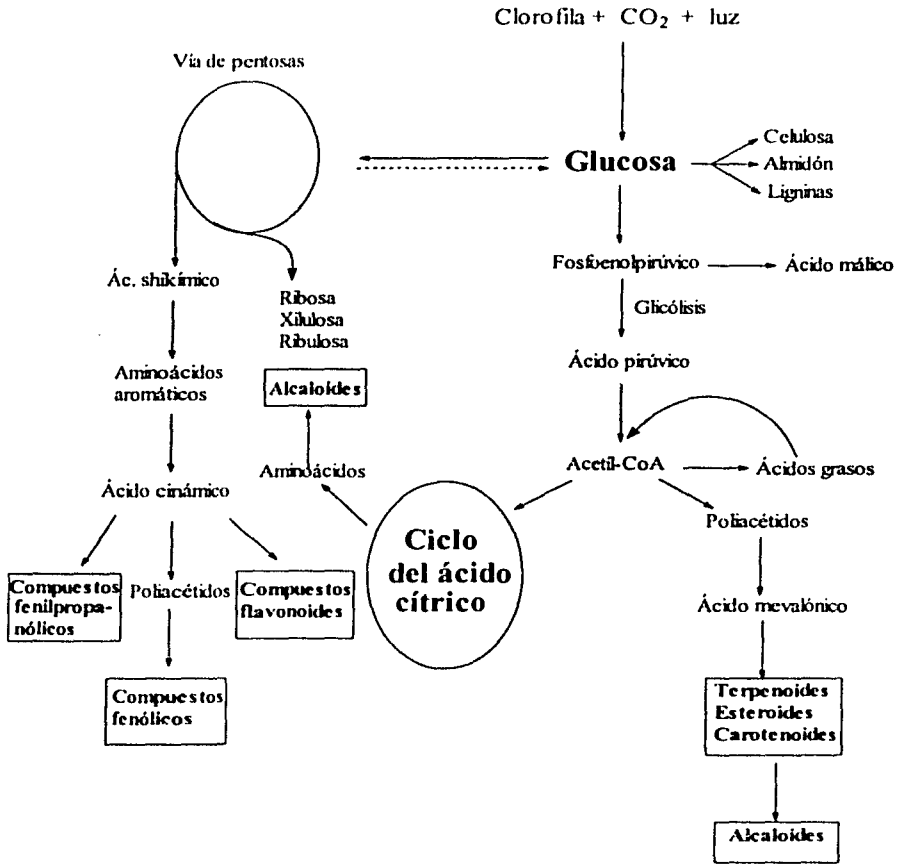
En el Simposio de Etnobotánica de 1982, organizado por el INAH, el Dr. Alfredo Barrera define la Etnobotánica como el campo interdisciplinario que comprende el estudio e interpretación del conocimiento, significado cultural, manejo y usos tradicionales de los elementos de la flora. En pocas palabras, el principal objeto de la Etnobotánica es el estudio de las sabidurías botánicas tradicionales. El Dr. Barrera enfatizó que debían dirigirse esfuerzos alrededor del punto fundamental que es la significación o valor cultural de las plantas en una determinada comunidad humana.

La tarea del etnobotánico en México es detectar los principios activos de las plantas medicinales que pueden ser útiles para curar enfermedades que azoten a nuestro país, y de esta manera, facilitar la terapéutica haciéndola accesible a quien la necesite.

***GENERALIDADES
DE
TERPENOIDES***

BIOGÉNESIS DE PRODUCTOS NATURALES

Los productos naturales son compuestos obtenidos de un pequeño grupo de especies botánicas a los que usualmente no se les asigna ninguna importancia biológica. Sin embargo, conforme aprendemos más sobre su formación (biosíntesis) a partir de simples compuestos (productos del metabolismo primario) comunes a todas las especies, es posible explicar su existencia. Algunos de éstos son hormonas, otros son utilizados como sustancias las cuales permiten a las plantas sobrevivir y algunos más, como ya previamente se ha mencionado, fungen como materiales de desecho. Entre los metabolitos secundarios podemos citar a los alcaloides, terpenos, iridoides, flavonoides, entre otros. A continuación, se presenta de manera esquemática la ruta biogenética sugerida para metabolitos primarios y secundarios, en donde se puede observar el lugar que ocupan cada uno de ellos dentro de la economía celular de la planta (Esquema 1).



Esquema 1.- Ruta biogénica general propuesta para los metabolitos primarios y secundarios.

TERPENOIDES

INTRODUCCIÓN

Los terpenos constituyen un conjunto amplio de metabolitos secundarios típicos de los vegetales; éstos se encuentran almacenados en cantidades relativamente grandes en ciertas plantas, por lo que presentan interés taxonómico. De igual manera, en los animales marinos (*celenterados*, *esporangios*, etc.) no es rara la presencia de sesquiterpenos y diterpenos de estructura variada. Asimismo, tampoco es difícil encontrar feromonas monoterpénicas contenidas en algunos insectos. También, no debe omitirse el hecho de que múltiples derivados oxigenados de los terpenoides son utilizados como materia prima en perfumería y que algunos de ellos también se usan en la industria como aromatizantes y saborizantes.

Muchos terpenoides se han aislado de forma pura y otros se encuentran formando mezclas con otras sustancias, tales como glicósidos, ésteres de ácidos orgánicos y, en otros casos, con algunas proteínas. Los miembros más sencillos de esta clase de entidades químicas, es decir los que contienen entre diez y quince carbonos, suelen ser obtenidos de plantas frescas y secas empleando la técnica de arrastre por vapor. A su vez, los terpenoides con más de veinte átomos de carbono, generalmente son aislados por extracción con disolventes orgánicos, y purificados por recristalización, destilación y/o métodos cromatográficos.

BIOGÉNESIS

La estructura del isopreno es una entidad hipotética en la naturaleza dado que no se ha encontrado en forma libre. El propio isopreno, como tal, no interviene en la biogénesis de los terpenoides. La molécula de isopreno se ha utilizado para generar una regla usada para clasificar a los terpenoides (regla isoprénica). Esta regla, tiene la ventaja de ilustrar objetivamente la unidad biosintética de este grupo de metabolitos secundarios y de dar cuenta de su existencia, según el número de unidades que intervienen. Si bien las estructuras hemiterpénicas no existen en la naturaleza en forma aislada, por el contrario es frecuente encontrar la unidad isoprénica en diferentes moléculas naturales, lo cual es debido posiblemente a la enorme reactividad que presenta este intermediario biosintético.

La diversidad de las estructuras terpénicas naturales hace que sea difícil, o al menos comprometido, cualquier intento de generalización. Por ello, se deben considerar únicamente el estudio de los mecanismos particulares que justifiquen los esqueletos a medida que se conoce la estructura de los mismos. Dado lo anterior, se ha propuesto que la unidad biogénica equivalente a la del isopreno es la del ácido (3R)- mevalónico (Figura 1).

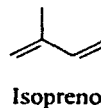
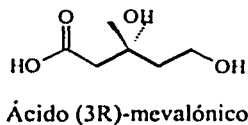


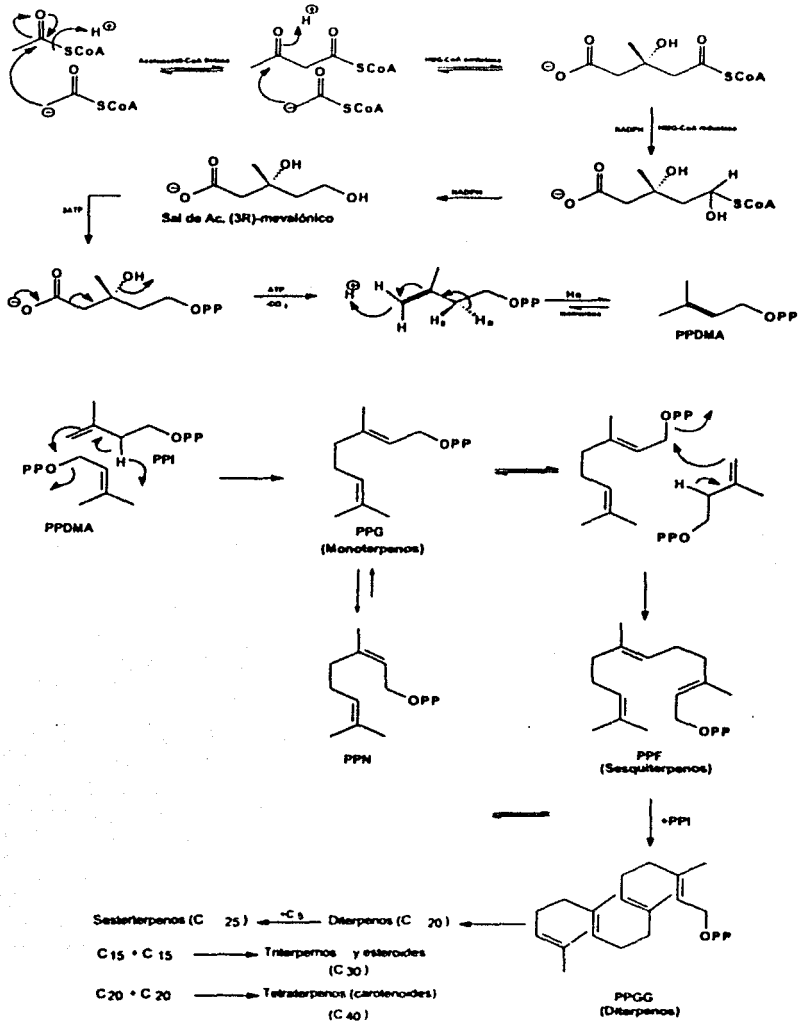
Figura 1

Es decir, la biogénesis de las estructuras terpenoides se ha sugerido que procede por la vía del ácido mevalónico. En esta vía, se suceden una serie de reacciones químicas orientadas a la formación del pirofosfato de isopentenilo (PPI), conocido como isopreno activo.

La biosíntesis del ácido mevalónico inicia al condensarse dos moléculas de acetil coenzima A (acetil CoA) en la que se involucra la enzima acetil CoA tiolasa, resultando una estructura con cuatro átomos de carbono; posteriormente, esta estructura reacciona con una molécula más de Acetil CoA, interviniendo la enzima 3-hidroxi-3-metil-glutaril-CoA (HMG-CoA) sintetasa, con lo cual, hasta el momento se ha generado una molécula con seis átomos de carbono que, posteriormente, es reducida vía tioacetal dando origen a la sal del ácido (3R)-mevalónico, ((3R)-AMV). Cabe señalar que solamente el estereoisómero R del ácido mevalónico es el implicado en la biogénesis de los terpenoides.

El (3R)-AMV es fosforilado, descarboxilado y, finalmente deshidratado generando el pirofosfato de isopentilo (PPI). Este compuesto se isomeriza por medio de la adición y eliminación de un protón del medio enzimático, generando el pirofosfato de dimetilalilo (PPDMA). Ambas moléculas coexisten en equilibrio en una relación 7:93 PPI: PPDMA y se conocen como isopreno activo. Al respecto de lo anterior, en el Esquema 1 se presenta de forma esquemática la ruta biogénica sugerida para los terpenoides.

Esquema 1.- Ruta biogénica sugerida para los terpenoides.



TESIS CON FALLA DE ORIGEN

En términos generales, la existencia de los terpenoides está condicionada por la secuencias de tres reacciones fundamentales:

- 1) Formación del isopreno activo a partir del ácido mevalónico.
- 2) Acoplamiento cabeza-cola de las unidades C_5 , lo que explica la existencia de mono, di, sesqui sester, y politerpenos.
- 3) Acoplamiento cola-cola de unidades C_{15} o C_{20} , dando origen, de esta manera, a la formación de triterpenos, esteroides y carotenos.

CLASIFICACIÓN

Los terpenoides, estrictamente hablando, son hidrocarburos acíclicos y cíclicos cuyas formas moleculares son múltiplos de la fórmula condensada C_5H_8 . Generalmente, se extiende tal definición para incluir derivados, tanto naturales como sintéticos, que tienen el mismo esqueleto del hidrocarburo terpénico fundamental, llamado isopreno ó 2-metil-1,3-butadieno (Figura 2), los cuales son etiquetados como terpenoides. Al respecto, es necesario mencionar que el acoplamiento de varias unidades de isopreno dan como consecuencia origen a una gran variedad de terpenoides, esta consideración recibe el nombre de regla biogenética del isopreno.

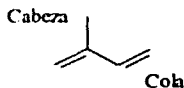


Figura 2

La regla biogenética del isopreno contribuye al planteamiento de la biogénesis de los monoterpenos, así como del caucho y otros muchos metabolitos como los triterpenos de constitución más compleja.

Las moléculas pertenecientes a este tipo de metabolitos se han organizado de acuerdo al número de unidades de isopreno presentes en su estructura, coincidiendo con la regla biogenética del isopreno, la cual, fue propuesta por Ruzicka en 1953. En la Tabla 1 se ilustra la clasificación aceptada de los terpenoides. Para una mayor objetividad se presentan algunos ejemplos de metabolitos incluidos en cada grupo.

Tabla 1. - Clasificación de los terpenoides, de acuerdo a la regla del isopreno.

| GRUPO | C | UI | FC | EJEMPLOS |
|-----------------------|------|-----|----------------|-----------------------------------------------------------------------------------|
| Hemiterpenos | 5 | 1 | C_5H_8 | Ácido Angélico. |
| Monoterpenos | 10 | 2 | $C_{10}H_{16}$ | Mentol, Citral, Carbomentol, Alcanfor. |
| Sesquiterpenos | 15 | 3 | $C_{15}H_{24}$ | Tropolonas, Germaeranólidas, Glaucólidas, Lipiferólida, Ácido Abscisico. |
| Diterpenos | 20 | 4 | $C_{20}H_{32}$ | Giberelinas, Acido Resínico, Vitamina A, Horminona. |
| Sesterterpenos | 25 | 5 | $C_{25}H_{40}$ | Ácido Gascárdico, Ofiobolina G, Cerorubenol. |
| Triterpenos | 30 | 6 | $C_{30}H_{48}$ | Argentatina, Colesterol, Fitosteroles, Escualeno, saponinas, Lupeol. |
| Tetraterpenos | 40 | 8 | $C_{40}H_{64}$ | Carotenoides (vg. β - carotenos). |
| Politerpenos | (5)n | n>8 | $(C_5H_8)_n$ | Caucho. |

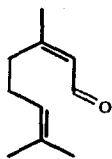
C Número de átomos de carbono.

UI Número de unidades isoprenicas.

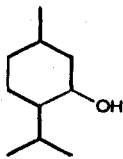
FC Fórmula condensada.

A continuación, en el Esquema 2 se ejemplifica la regla del isopreno, la cual establece que el esqueleto hidrocarbonado de los terpenos está compuesto de unidades isoprenicas, las cuales están unidas en un arreglo regular cabeza-cola e irregular cola-cola o cabeza-cabeza.

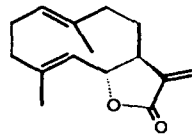
Esquema 2. - Ejemplos de la aplicación de la regla del isopreno.



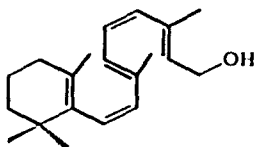
Citral



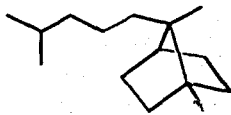
Mentol



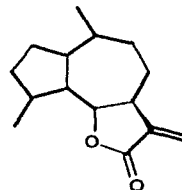
Germacranólida



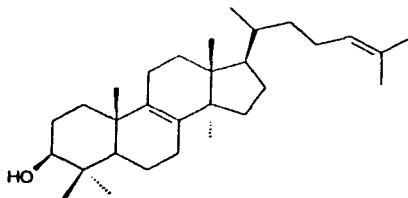
Vitamina A



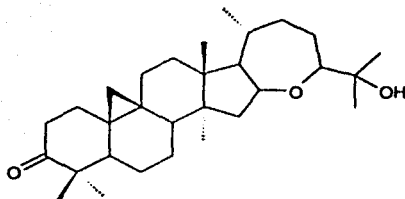
Alcanforano



Guaianólida



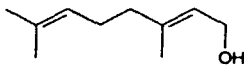
Lanosterol



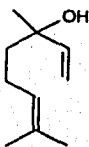
Argentatina B

Asimismo, los terpenoides también suelen ser clasificados de acuerdo a la estructura que presentan, como acíclicos, monocíclicos, bicíclicos, tricíclicos, etc., tal y como a continuación se ejemplifica mediante diversas moléculas representativas de dicha clasificación.

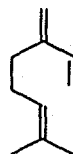
Acíclicos



Geraniol

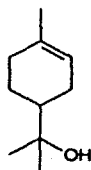


Linalol

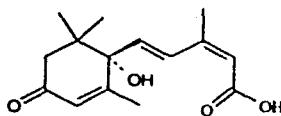


β -mirceño

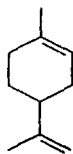
Monocíclicos



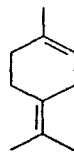
α -Terpineol



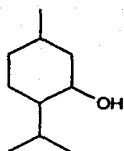
Ácido Abscisico



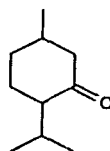
Limoneno



Terpinoleno

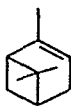


Mentol

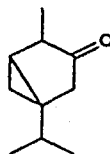


Mentona

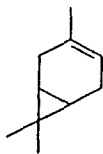
Bicíclicos



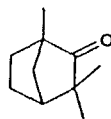
α -Pinoeno



Tujona



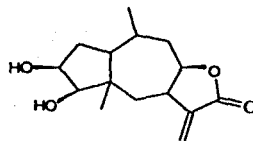
Δ -Careno



Fencano

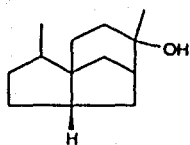


Alcanfor

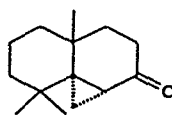


Cumanina

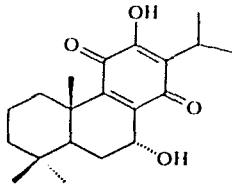
Tricíclicos



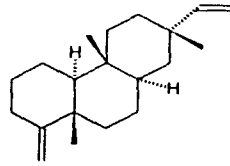
Cedrol



Mayurona

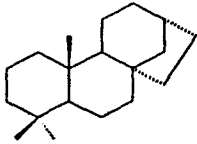


Horminona

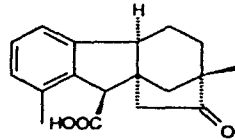


Dolabradieno

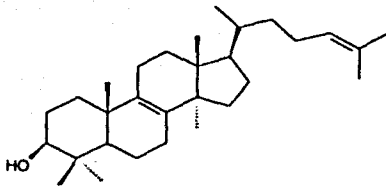
Tetracíclicos



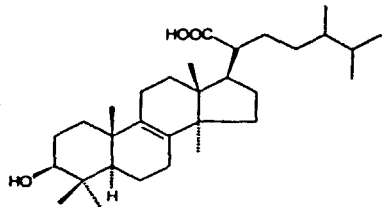
Karano



Ácido giberélico

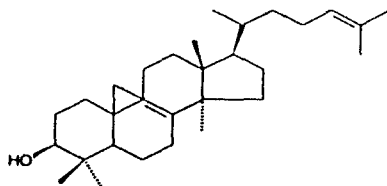


Lanosterol

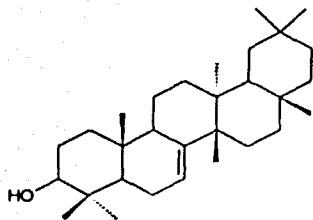


Ácido sufurénico

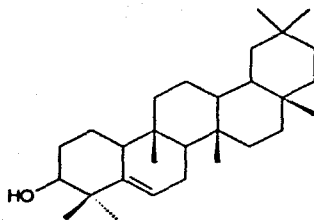
Pentacíclicos



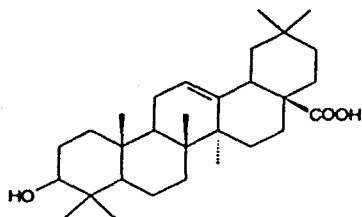
Cicloartenol



Multifluorenol

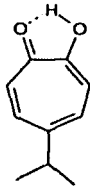


Glutinol

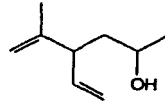


Ácido oleanóico

Irregulares



γ -Tujaplicina



Liranol

HEMITERPENOS

HEMITERPENOS

INTRODUCCIÓN

Los hemiterpenos son la forma más simple de los terpenoides, ya que sólo cuentan con una unidad de isopreno. Las estructuras hemiterpénicas son muy escasas en la naturaleza, la mayoría de las veces no se encuentran en forma aislada.

Relativamente son pocos los hemiterpenos verdaderos que son producidos en la naturaleza con pirofosfato de isopentenilo (PPI).

El isopreno, que es en sí el compuesto más representativo de los hemiterpenos, es un compuesto volátil, que es liberado por algunas especies de plantas especialmente por árboles.

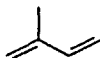
NOMENCLATURA Y ESTRUCTURAS FUNDAMENTALES

La forma de nombrar a los hemiterpenos se basa principalmente en el empleo de un esqueleto fundamental, Esquema 1, complementado con las reglas mencionadas a continuación.

- 1- Reconocer primeramente la estructura fundamental, y modificar la terminación (*ano*) de acuerdo a las funcionalidades presentes, como esta establecido por la UIQPA, para la nomenclatura sustitutiva.
2. - Indicar los sustituyentes con la numeración sugerida para cada estructura fundamental.
3. - Identificar y nombrar los sustituyentes, asignándoles, como es clásico, la posición en que se encuentran.
4. - El nombre es uno solo, excepto cuando se establecen genéricos como ácido u otros.
5. - Cuando dos o más sustituyentes son idénticos, sus nombres se agrupan en uno solo, precedidos de prefijos multiplicativos (di, tri, tetra, etc.), los cuales han de ir precedidos de los indicadores numerales de posición, utilizando de manera apropiada comas y guiones para separarlos.
6. - Finalmente, es necesario mencionar que cuando se tiene una estructura a la cual le hace falta uno o más carbonos con respecto a la estructura fundamental, se indica la posición seguida de los multiplicativos nor, dinor, trinor, etc.; por el contrario, cuando ésta

presenta carbonos de más se indican esas posiciones segundas del multiplicativo homo, dihomo, trihomo etc.

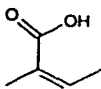
Esquema 1- Esqueletos básicos de hemiterpenos.



Isopreno

Los hemiterpenos son compuestos orgánicos que presentan una estructura de cinco átomos de carbono. A continuación, en el esquema 2 se muestran algunos ejemplos.

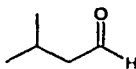
Esquema 2- Ejemplos de nomenclatura en hemiterpenos.



Ácido angélico

ó

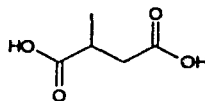
Ácido 2-Metil-2(Z)-
butenoico



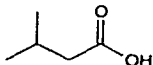
Isovaleraldehído

ó

3-Metilbutanal



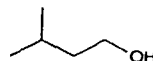
Ácido 2-
Metilbutanodioico



Ácido isovalérico

ó

Ácido 3-Metilbutanóico



Alcohol isoamílico

ó

3-Metil-1-butanol

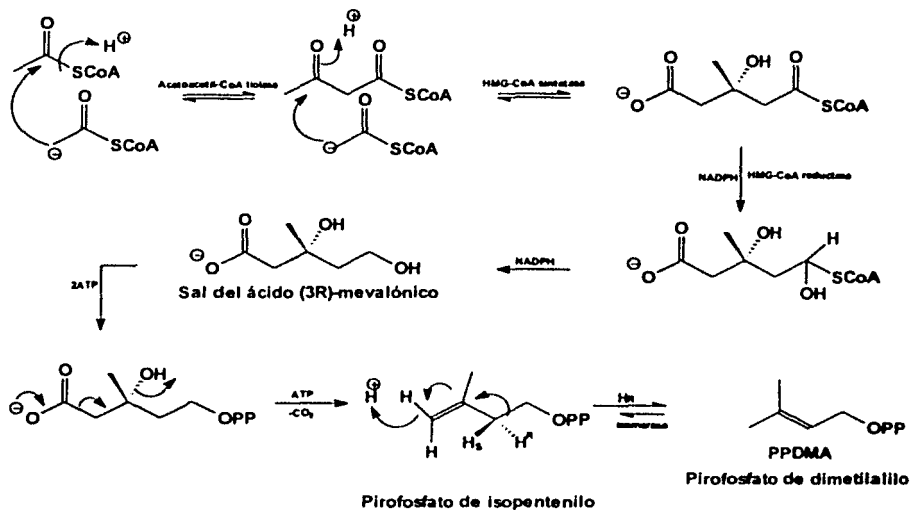
BIOGÉNESIS

El hemiterpeno natural más importante es el isopreno, el cual se ha detectado en las emisiones que ocurren de forma natural en cinco especies de árboles; la emisión de estas sustancias ocurren unos pocos minutos antes de que amanezca.

Estudios relacionados con este tipo de sustancias sugieren que la molécula mencionada es preferentemente formada por productos de fotosíntesis. Las plantas captan el CO_2 e integran el carbono por medio de la fotosíntesis a la economía celular. Al parecer, éste es el sustrato preferido para la biosíntesis del isopreno; la alta concentración de CO_2 inhibe la emisión de isopreno. Se ha sugerido que es en los cloroplastos donde se lleva a cabo esta serie de reacciones bioquímicas. Es importante señalar que el ácido mevalónico es el producto principal de la fotosíntesis en plantas con una concentración atmosférica de CO_2 .

Los hemiterpenos tienen un precursor biogénico que es el pirofosfato de isopentenilo (PPI), el cual es biosintetizado como se mencionó anteriormente a partir del ácido mevalónico. En el Esquema 3, se presenta de forma esquemática la serie de reacciones sugeridas para formar PPI a partir de acetil coenzima A.

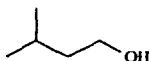
Es importante mencionar que el esqueleto de los hemiterpenos es sintetizado por la vía del ácido mevalónico.



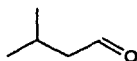
Esquema 3- Biogénesis sugerida para la molécula de PPI.

HEMITERPENOS DE INTERÉS Y SU APLICACIÓN

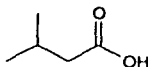
Alcohol isoamílico: 3-Metil-1-butanol, ($C_5H_{12}O$, p.m. 88 g/mol). Líquido de olor desagradable y sabor repulsivo, poco soluble en agua, miscible en etanol, éter etílico, benceno y cloroformo. Se usa como disolvente para grasas, alcaloides y resinas, así como para determinar grasas en leche.



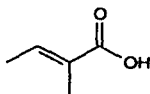
Isovaleraldehído: 3-Metilbutanal ($C_5H_{10}O$, p.m. 86 g/mol). Se encuentra en la naranja y en el limón, pimienta, eucalipto. Se obtiene por oxidación del alcohol isoamilo. Es empleado como saborizante artificial y componente de esencia para perfumes.



Ácido isovalérico: Ácido 3-Metilbutanoico ($C_5H_{10}O_2$, p.m. 102 g/mol). Se encuentra en el tabaco y el aceite de lúpulo. Es empleado en la industria de saborizantes, perfumes, así como en la síntesis de sedantes.



Ácido tiglico: Ácido -2-Metil-2(E)-butenóico. ($C_5H_8O_2$, p.m. 100 g/mol) Es el isómero geométrico estable del ácido angélico. Utilizado en perfumería y como agente saborizante. En forma de ácido libre se ha empleado para romper emulsiones.



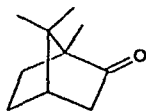
Sin embargo, es necesario mencionar que aunque cualquier componente con un esqueleto apropiado C_5 puede ser considerado formalmente como isoprenoide, muchos de los encontrados en la naturaleza no son biogénicamente isoprenoides, o sea derivados del ácido 3R-mevalónico.

MONOTERPENOS

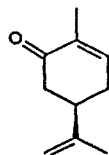
MONOTERPENOS

INTRODUCCIÓN

Los monoterpenos son metabolitos secundarios que están ampliamente distribuidos en la naturaleza, principalmente en las plantas superiores, donde de manera general se encuentran como componentes de resinas y aceites esenciales; la mayoría de ellos suelen presentarse en formas funcionalizadas (aldehídos, cetonas, ésteres y alcoholes libres o glucosídicos, entre otros). Se ha propuesto que dichas moléculas tienen como precursor biogénico al pirofosfato de geranilo (PPG), el cual presenta en su estructura diez átomos de carbono. Algunos de los usos que se les ha dado a los monoterpenos han sido como saborizantes, aromatizantes, entre otros.



Alcanfor



(-)-Carvona

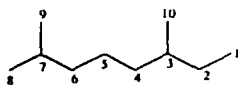
NOMENCLATURA Y ESTRUCTURAS FUNDAMENTALES

La forma de nombrar a los monoterpenos se basa principalmente en el empleo de un esqueleto fundamental, de los indicados en el Esquema 1, complementando con las reglas mencionadas a continuación:

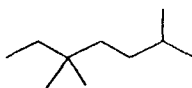
1. - Reconocer primeramente la estructura fundamental, y modificar la terminación (*ano*) de acuerdo a las funcionalidades presentes, como esta establecido por la UIQPA, para la nomenclatura sustitutiva.
2. - Indicar los sustituyentes con la numeración sugerida para cada estructura fundamental.
3. - Identificar y nombrar los sustituyentes, asignándoles, como es clásico, la posición en que se encuentran.
4. - El nombre es uno solo, excepto cuando se establecen genéricos como ácido u otros.
5. - Cuando dos o más sustituyentes son idénticos, sus nombres se agrupan en uno solo, precedidos de prefijos multiplicativos (di, tri, tetra, etc.) los cuales han de ir precedidos de los indicadores numerales de posición, utilizando de manera apropiada comas y guiones para separarlos.
6. - Finalmente, es necesario mencionar que cuando se tiene una estructura a la cual le hace falta uno o más carbonos con respecto a la estructura fundamental, se indica la posición seguida de los multiplicativos nor, dinor, trinor, etc.; por el contrario, cuando ésta presenta carbonos de más se indican esas posiciones seguidas del multiplicativo homo, dihomo, trihomo etc.

Con relación a los puntos (1-6), en el Esquema 1 se presentan las estructuras monoterpénicas fundamentales, así como la numeración sugerida para cada átomo de carbono, además de su nombre sistematizado (UIQPA) y en el Esquema 2, se presentan algunos ejemplos resueltos.

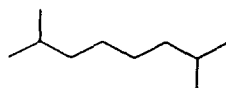
Esquema 1. - Esqueletos fundamentales de monoterpenos



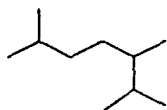
2,6-dimetil-octano
Monoterpeno acíclico
regular



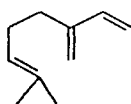
2,5,5-Trimetilheptano
Monoterpeno acíclico
irregular



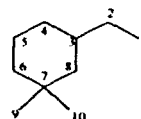
2,7-Dimetil-octano
Monoterpeno acíclico
irregular



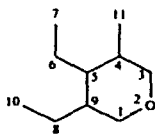
2,3,6-Trimetil-heptano
Monoterpeno acíclico
irregular



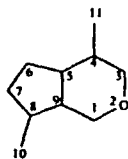
Mirceno



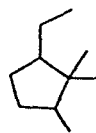
Octadano



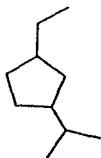
Secoiridoide



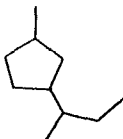
Iridoide



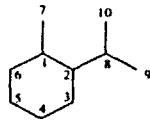
1,1,5-trimetil-2-etil-
ciclopentano



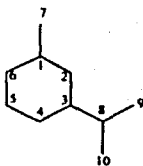
1-Isopropil-3-etil-ciclopentano



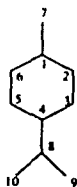
1-[1-metilpropil]-3-metil-ciclopentano



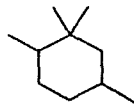
o-Mentano



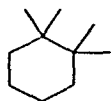
m-Mentano



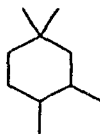
p-Mentano



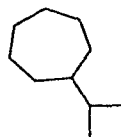
1,1,2,5-tetrametil-ciclohexano



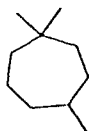
1,1,2,2-tetrametil-ciclohexano



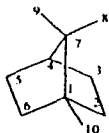
1,1,3,4-tetrametil-ciclohexano



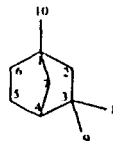
1-Isopropil-cicloheptano



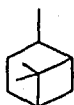
1,1,4-Trimetil-
cicloheptano



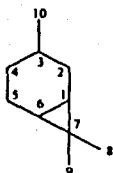
Camfano



Fencano



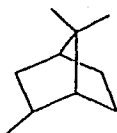
Pinano



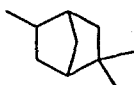
Carano



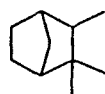
Tujano



Monoterpenoide
bicíclico



Monoterpenoide
bicíclico



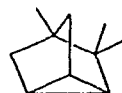
Monoterpenoide bicíclico



Monoterpenoide
bicíclico

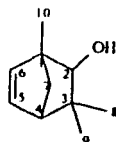


Triciclano

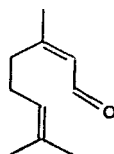


Isociclano

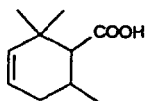
Esquema 2. - Ejemplos resueltos de nomenclatura de monoterpenos



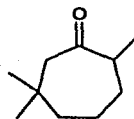
2-Hidroxi-5-fencaeno



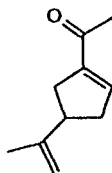
3,7-Dimetil-2,6-octadienal



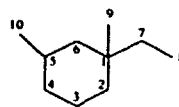
Ácido 2,2,6-Trimetilciclohex-3-eno-carboxílico



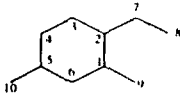
2,6,6-Trimetilcicloheptanona



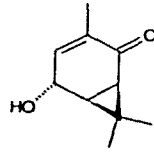
1-Acetil-4-isopropenilciclopenteno



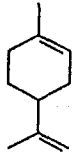
1-Etil-1,3-dimetilciclohexano



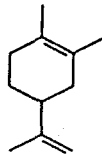
1-Etil-2,4-dimetilciclohexano



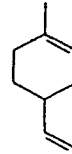
5-hidroxi-3-en-2-ona



Limoneno



2-homo-limoneno



8-nor-limoneno

CLASIFICACIÓN

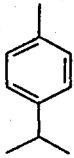
Los esqueletos típicos de los monoterpenos incluyen sistemas acíclicos, monocíclicos y bicíclicos. En particular, los monoterpenos monocíclicos se dividen en dos grupos amplios: el del *p*-cimeno y el del *m*-cimeno. A su vez, los monoterpenos bicíclicos comprenden cinco grupos generales, tujano, pinano, carano, camfano y fencano.

La forma de clasificar a los monoterpenos, está dada principalmente mediante la conectividad presente en cada uno de ellos, es decir si son acíclicos, monocíclicos y bicíclicos, con respecto a al cadena carbonada como se muestra a continuación.

Acíclicos :

- Mirceno
- Ocimeno
- Citral
- Geranial y neral
- Geraniol y nerol
- Linalol
- Citronerol

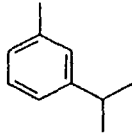
Monocíclicos :



Grupo *p*-Cimeno

- Limoneno y dipenteno
- Terpinoleno
- α -Terpinoleno
- β y γ Terpinenos
- α -Felandrano
- β -Felandrano
- Carvomentona
- Carvona
- Dihidrocarbena
- Carvonacetona
- Diosfenol
- Carvomentol
- Carveol
- Dihidrocarveol
- Perialdehído
- Pelandral
- Mentona
- Diperitona
- α y β Terpineol

- Dihidro- α -terpineol
- Mentol
- Piperitol
- Isopulegol
- Ascaridol

Monocíclicos: continuaciónGrupo *m*-Cimeno

Silvestrena

Carvestrena

Bicíclicos:

Grupo tujano

 α - Tujano

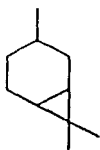
Sabineno

Tujilalcohol

Sabinol

Umbelulona

Bicíclicos : *continuación*



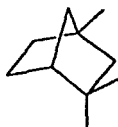
Grupo Carano

3-careno
4-careno
Carona



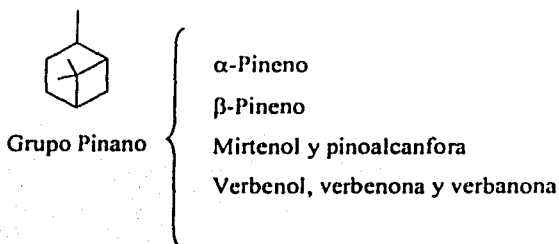
Grupo Camfano

Alcanfor



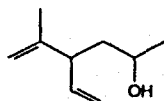
Grupo Fencano

Fencona
Fencanol

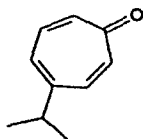
Bicíclicos : *continuación*

En el caso de los monoterpenos cíclicos, éstos suelen presentarse como anillos de 4, 5 y 6 miembros que inclusive contienen al sistema del gem-dimetilciclohexano. Existen algunos monoterpenos que no cumplen con la regla del isopreno, a los cuales se ha llamado irregulares, tal es el caso del Lirato, la Nezukona y la Actinidina. (Esquema 3)

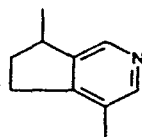
Esquema 3. - Esqueletos de monoterpenos irregulares.



Lirato



Nezukona

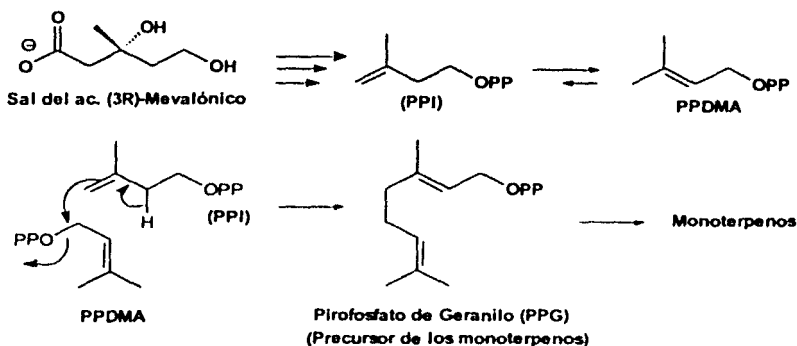


Actinidina

BIOGÉNESIS

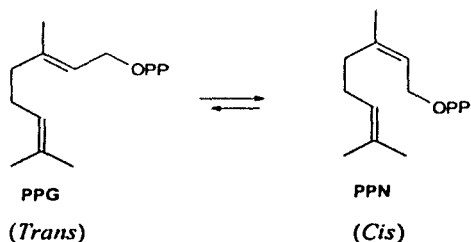
La biogénesis de los monoterpenos se sugiere a partir del PPG. El uso de los átomos de carbono marcados en el ácido acético y ácido mevalónico, ha dado la estabilidad a la propuesta de ruta de biogénesis para terpenoides en general.

A continuación, de manera simplificada en el Esquema 4 se presenta gráficamente la biogénesis de los monoterpenos, indicando solamente las estructuras más importantes, involucradas en este proceso.



Esquema 4. - Ruta biogénica simplificada de los monoterpenos.

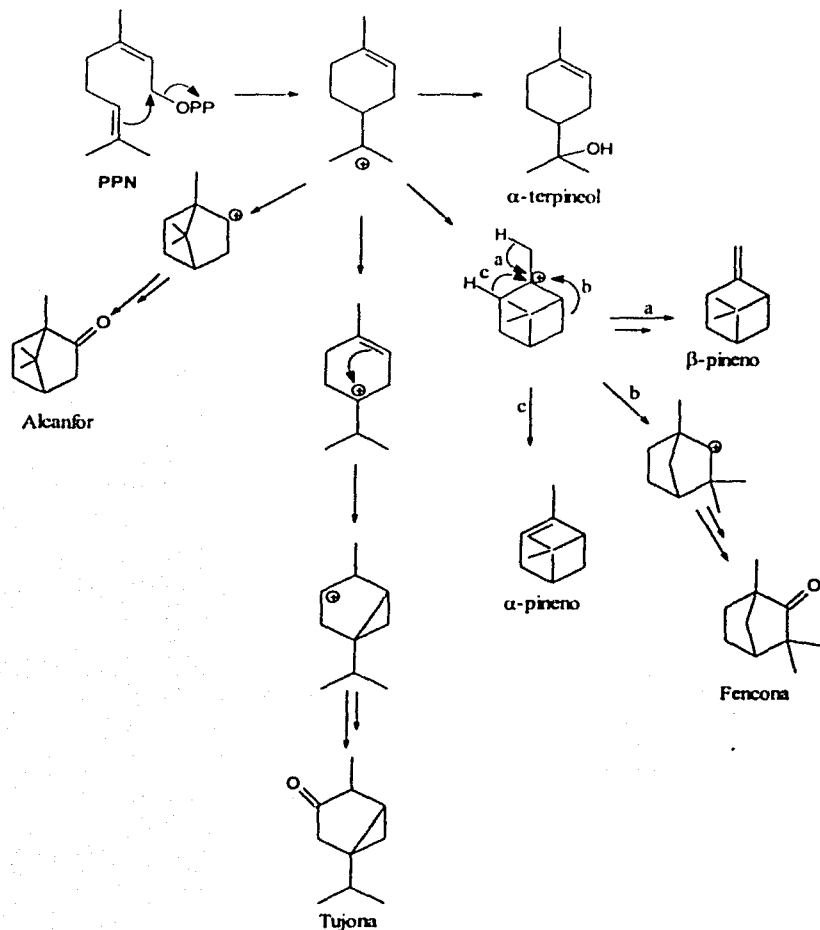
El pirofosfato de geranilo (PPG), precursor biogénico sugerido para la biogénesis de los monoterpenos, se encuentra en equilibrio con su isómero el pirofosfato de nerilo (PPN), (Esquema 5)



Esquema 5.- Equilibrio entre los isómeros PPG y PPN

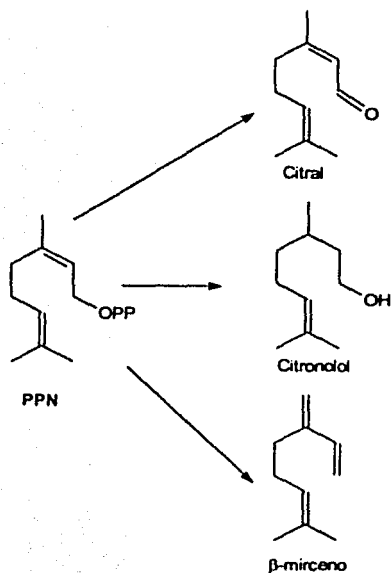
El ácido mevalónico es el precursor biogénico del pirofosfato de isopentenilo (Esquema 5). La unión de una molécula de PPI con PPDM genera a su vez una nueva molécula con 10 átomos de carbono conocida como pirofosfato de geranilo, PPG, éste es reconocido como precursor de los monoterpenos. Es importante hacer notar que la unión de estas moléculas es cabeza-cola.

Se ha sugerido que la ciclización interna del PPN genera monoterpenos monocíclicos y bicíclicos, por medio de un intermediario catiónico. A continuación, se muestran la serie de reacciones propuestas para generar monoterpenos monocíclicos y bicíclicos (Esquema 6).



Esquema 6.- Relación biogénica de los monoterpenos monocíclicos y bicíclicos.

El PPN es la base estructural de muchos y variados monoterpenos acíclicos. En el Esquema 7 se muestran algunos monoterpenos que tienen estructura hidrocarbonada semejante a la del PPN.



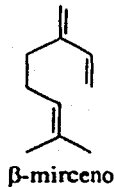
Esquema 7.- Relación biogénica entre el PPN y algunos monoterpenos acíclicos.

MONOTERPENOS DE INTERÉS Y SU APLICACIÓN

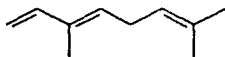
Este tipo de metabolitos se encuentran mezclados con otras sustancias formando parte de aceites esenciales de plantas. Comúnmente, se obtienen por medio de destilación por arrastre de vapor, algunos otros son aislados por maceración. Los monoterpenos han tenido un amplio uso debido al aroma que algunos de ellos presentan, tal es el caso del aceite esencial de menta que es usado como saborizante y aromatizante de pastilla de menta, enjuague bucal, chocolates, etc. A continuación, se describen algunos de los usos que se les han dado a los monoterpenos.

β-Mirceno: ($C_{10}H_{16}$)(p.m.136 g/mol) Fue aislado en 1895, del aceite del laurel, tiene un punto de ebullición de 166–168 °, ópticamente inactivo, presenta tres insaturaciones.

Se utiliza en la medicina popular como analgésico. En algunos estudios se le han atribuido propiedades antinociceptivas.



Ocimeno: ($C_{10}H_{17}$) (p.m. 137 g/mol) Enklaar fundamentó que el ocimeno es mejor representado como una mezcla de dos hidrocarburos.



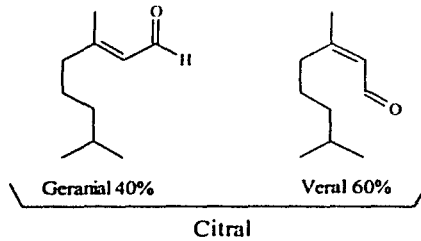
trans- β -Ocimeno

Se encuentra en el aceite esencial del *Ocimum basilicum* Linn, su punto de ebullición es de 81°, es menos estable que el mirceno. Insoluble en agua, soluble en alcohol, cloroformo y éter.

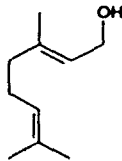
Se usa en perfumería como aromatizante y en licorería como aditivo para aperitivos, se le atribuyen cualidades estomacales y antiespasmódicas

Citral: ($C_{10}H_{16}O$) (p.m. 152 g/mol) Es un constituyente de muchos aceites esenciales y el mejor terpeno extraído del aceite de hojas de limón. Punto de ebullición 92-93°. Comúnmente, es conocido como Geranial (citral- α) y veral (citral- β) ópticamente activo. Se usa en infusión ya que es espasmolítica y carminativa. También tiene efecto sedante y favorece el sueño. Por vía externa

tiene acción antiséptica, antifúngica y antivírica. Es emenagogo y, por tanto, es útil en la regulación de los trastornos menstruales.

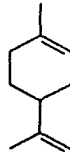


Geraniol: ($C_{10}H_{18}O$), (p.m.154 g/mol) Es un alcohol primario insaturado, presente en aceite de geranio y otros aceites esenciales, pero también se encuentra como éster y éste como glucósido; destila a 220–230 °. Se usa en la industria farmacéutica para jarabes, pomadas, elixires bucales, tiene también uso es perfumería.



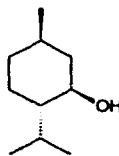
Geraniol

Limoneno: ($C_{10}H_{16}$) (p.m.136 g/ mol) Está distribuido en las formas (+) y (-) en aceites esenciales (limón, naranja, alcaravea y bergamont), es ópticamente activo. En cambio, los dipentenos son ópticamente inactivos, su punto de ebullición es de 176 °. Se utiliza en farmacia, alimentación, cosmética y perfumería.



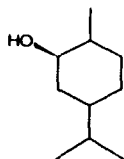
Limoneno

Mentol: El mentol, ($C_{10}H_{20}O$) (p.m.156 g/ mol) es conocido desde hace 2000 años como constituyente de aceite de menta. Punto de fusión 41-43° y punto de ebullición 212°. Se utiliza en la industria farmacéutica incorporándose a preparados como jarabes para el tratamiento de las vías respiratorias. Se utiliza como corrector del sabor de productos farmacéuticos. En uso externo alivia los dolores musculares y reumáticos.



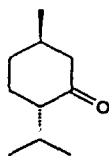
Mentol

Carvomentol: ($C_{10}H_{20}O$) (p.m.156 g/mol) Se manifiesta en la naturaleza, se obtiene a partir de la reducción de la carvomentona.



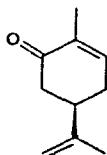
Carvomentol

Mentona: ($C_{10}H_{18}O$) (p.m.154 g/mol) La mentona es una cetona saturada, se presenta en el aceite de menta, su punto de ebullición es de 204–212 °; ésta es un líquido con olor a menta. Sus usos son parecidos a los del mentol.

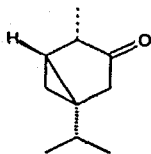


Mentona

(-)-Carvona: ($C_{10}H_{14}O$) (p.m.150 g/ mol) El principal constituyente del aceite esencial de la menta verde, la cual destila a 230° . Se le atribuye actividad antibacteriana contra gram positivos y fungicida.

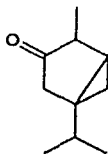


α -Tujano: El α - Tujano ($C_{10}H_{16}O$) (p.m. 152 g/ mol) fue aislado de los aceites esenciales de tuja, es ópticamente activo y destila entre $151 - 152^{\circ}$.

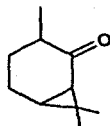


Tujona: La tujona ($C_{10}H_{16}O$) (p.m.152 g/ mol) Está presente en varios aceites esenciales, particularmente el de sage y tuja, su punto de ebullición es de 201-202°. Es ópticamente activo (+).

Se utiliza en la industria licorera como aromatizante.



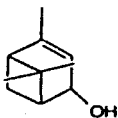
Carona: ($C_{10}H_{16}O$) (p.m.152 g/mol) Es obtenida por deshidrobromación del hidrobromuro de dihidrocarvona.



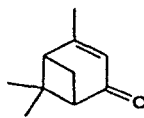
α -Pino: ($C_{10}H_{16}$) (p.m.136 g/ mol) El término *pino* fue dado por Wallace a la fracción de turpentina. Su punto de ebullición es de 155 - 165 °. El α -pino es obtenido de la fracción de aceite de turpentina por destilación fraccionada. Se usa en la manufactura de alcanfor insecticida, base para perfume, también como aromatizante de pino.



Verbenol, ($C_{10}H_{16}O$) (p.m.152 g/mol) **Verbenona** ($C_{10}H_{14}O$) (p.m. 150 g/mol): Estos dos compuestos suelen encontrarse como productos intermedarios en la síntesis total del α -pino. Punto de fusión 6.5 ° y punto de ebullición 102-105°.

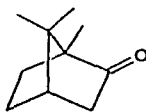


Verbenol

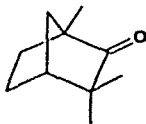


Verbenona

Alcanfor: ($C_{10}H_{16}O$) (p.m.152 g/ mol) El alcanfor es una cetona de un monoterpeno bicíclico, se encuentra como constituyente del aceite de alcanfor, sólido cristalino, su punto de ebullición es de 204° , su punto de fusión es de 179.75° . Se usa como preservativo farmacéutico y cosmético, así como plastificador de ésteres de celulosa.



(d)-Fencona: ($C_{10}H_{16}O$) (p.m.152 g/ mol) Es el miembro más importante del grupo del fencano, de los monoterpenos bicíclicos. Se le encuentra en aceites esenciales de *Lavándula stoechas*, con formas ópticamente activas. Su punto de ebullición es de $192 - 193^{\circ}$, el punto de fusión es de 6.1° . Se usa para dar olor a alimentos y perfumes.



CONCLUSIONES

CONCLUSIONES

- El trabajo debe contribuir al mejoramiento del proceso enseñanza aprendizaje de los Productos Naturales.
- La estructura de los manuales permite abordar de forma sencilla los temas más relevantes que el estudiante debe conocer, como son la biogénesis, nomenclatura, clasificación, propiedades y algunos usos de este grupo de sustancias.
- Los manuales abordan los temas con una secuencia lógica y el adecuado grado de dificultad para favorecer su comprensión.
- El material aquí presentado sintetiza la información por tema de cada grupo de compuestos que se encuentran en la literatura especializada de diversas fuentes de información primarias y secundarias.
- Contribuye como apoyo didáctico a los docentes interesados en esta área de la química y futuros docentes de la misma.

REFERENCIAS

REFERENCIAS

- 1.- V. Islas, J. Sánchez, *Breve Historia de la Farmacia en México y en el Mundo*, AFM, México D.F. (1992).
- 2.- T. Geissman, D. Crout, *Organic Chemistry of Secondary Plant Metabolism*, Freeman, Cooper and Company, San Francisco, (1969).
- 3.- J. Mann, *Secondary Metabolism*, Oxford University Press, Oxford, (1980).
- 4.- Romo de Vivar, *Productos Naturales de la Flora Mexicana*, Ed. Limusa, México D.F. (1985).
- 5.- P. Williams, M. Stone, P. Hauck, S. Arman, *J. Nat Prod.*, 52, 1189, (1989).
- 6.- X. Lozoya, *La herbolaria en México*, Tercer milenio, México D.F. (1998).
- 7.- V.C. Runeckles, T. J. Mabry, *Terpenoids: Structure, biogenesis and distribution*, Academic Press, New York, (1973).
- 8.- T.W. Goodwin, *Aspects of Terpenoid Chemistry and Biochemistry*, Academic Press, New York, (1971).
- 9.- *Flora Medicinal Indígena de México I*, Instituto Nacional Indigenista, México D.F. (1994).
- 10.- M. Martínez, *Las Plantas Medicinales de México*, 4ed. Ediciones Botas México D.F. (1959).

- 11.- F. Lara, C. Márquez, *Plantas Medicinales de México*, UNAM, México DF (1996).
- 12.- Márquez, F. Lara, B. Esquivel, R. Mata, *Plantas Medicinales de México*, UNAM, México D.F. (1999).
- 13.- J.D. Connolly, R.A. Hill, *Dictionary of Terpenoids*, Vol. 1, Chapman & Hall, Cambridge (1991).
- 14.- E. Cane, *Natural Products Chemistry*, Vol. 2, Ed. Pegamon, (1999).
- 15.- W. Evans, G. Trease, *Farmacognosia*, Ed. Continental, (1984).
- 16.- X. Domínguez, *Métodos de Investigación Fitoquímica*, Ed. Limusa, México D.F. (1979).
- 17.- K. Nakanishi, *Natural Products Chemistry*, Academic Press Inc., Vol. I y II, Japón, (1974).
- 18.- Growers, W. Fenical, *J. Nat. Prod.*, **53**, 222, (1990).
- 19.- T. Konoshima, M. Takasaki, M. Kozuca, T. Nagao, H. Okabe, N. Irino, T. Nakasumi, H. Tokuda, H. Nishino, *Biol. Pharm. Bull.*, **18**, 284, (1995).
- 20.- J. Paterson, *J. Org. Chem.*, **55**, 5528, (1990).
- 21.- R. Mata, F. Calzada, *J. Nat. Prod.*, **53**, 1212, (1990).
- 22.- L. Ruzika, *Experientia*, **9**, 357, (1953).
- 23.- L. Ruzila, L. Balas, *Helv. Chim. Acta*, **6**, 667, (1923).
- 24.- L.F. Fieser, W.P. Campbell, *J. Am. Chem. Soc.*, **60**, 159, (1938).
- 25.- F. Bohlmann, K. R. Gupta, R. Harold, M.K. Robert, *Phytochemistry*, **20**, 275, (1981).
- 26.- Eiichikitazawa, O. Akira, *Phytochemistry*, **20**, 287, (1981).
- 27.- T. Konishi, M. Azuna, R. Itoga, S. Kiyosawa, Y. Fujiwara, Y. Shimada, *Chem. Pharm. Bull.*, **44**, 229, (1996).