



Aceites Esenciales





ACEITES ESENCIALES

Primera edición: Octubre 2009

ISBN: 978-958-44-5944-2

Autor: Elena E. Stashenko

Universidad Industrial de Santander
Centro Nacional de Investigaciones para la
Agroindustrialización de Especies Vegetales
Aromáticas y Medicinales Tropicales - CENIVAM

Diseño e Impresión:
División de Publicaciones UIS - Tel. 6348418.
Cra. 27 calle 9, Ciudad Universitaria
Bucaramanga - Santander

Queda prohibida la reproducción parcial o total
de este documento por cualquier medio escrito
o visual, sin previa autorización de la autora.

Diseño de Portada: www.loviuuu.com/wedesignyouenjoy.

Aceites Esenciales



INDICE

	Pag.
CAPÍTULO I - Generalidades	11
CAPÍTULO II - Biodiversidad y Biocomercio	37
CAPÍTULO III - Aspectos económicos y sociales	53
CAPÍTULO IV - Propiedades y Caracterización	85
CAPÍTULO V - CENIVAM	125



DEDICATORIA

A mi mamá y a mi papá, no saben cómo os amo y extraño todos los días y cuánto me hubiera gustado, entre los primeros, entregaros este pequeño trabajo.

A mis maestros de colegio y profesores de universidad en Moscú, sobre sus enseñanzas construyo diariamente mi trabajo y mi vida profesional. A muchos de ustedes, no pude o no alcancé decirles gracias: que este pequeño libro sea en reconocimiento a su labor, su vida y la dedicación, que cada día logro entender más y apreciar.

A Juliana y Laura, mis hijas, por enseñarme a ver el mundo con una mirada más optimista y disolver un poco esta -tan rusa-, melancolía. A todos mis queridos alumnos y estudiantes en Colombia.

Aceites Esenciales



SOBRE LA AUTORA



Elena E. Stashenko, Química, Ph.D., es egresada de la Universidad *Druzhbi Narodov* de Moscú (Rusia), con doctorado de la misma universidad en el área de análisis instrumental (Cromatografía y Espectrometría de Masas). Ha realizado estancias post-doctorales en las Universidades de California (Davis, los Estados Unidos), Braunschweig (Alemania), Québec (Canadá) y en el *Royal Melbourne Institute of Technology* (Australia). Conferencista invitada en congresos internacionales, miembro del Comité Editorial de revistas internacionales, Miembro Correspondiente de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, miembro de la Junta Directiva de la Asociación Colombiana para el Avance de la Ciencia (A.C.A.C.), miembro del Comité Latinoamericano de Cromatografía (COLACRO). Por más de 20 años, es docente en la Escuela de Química, Facultad de Ciencias, de la Universidad Industrial de Santander (UIS, Bucaramanga). Actualmente es profesora *Titular Laureada* de la UIS y Directora y Representante Legal del Centro Nacional de Investigaciones para la Agroindustrialización de Especies Vegetales Aromáticas y Medicinales Tropicales (CENIVAM). Fundadora y conferencista de

la *Escuela Nacional de Cromatografía* en la UIS. Ha sido Coordinadora de Postgrado en Química, Directora de Investigaciones de la Facultad de Ciencias de la UIS, miembro de Consejos Nacionales de Ciencias Básicas y, actualmente, de Biotecnología en Colciencias. Ha dirigido más de 150 tesis de pregrado, Maestría y Doctorado en Química. Ha publicado alrededor de 200 artículos científicos en revistas indexadas internacionales y nacionales y en memorias de congresos y simposios científicos internacionales. Fue galardonada con Premios Nacionales al Mérito Científico en la categoría de “*Investigador de Excelencia*” (A.C.A.C., Bucaramanga, Santander, 1999 y Bogotá, 2001), Medalla COLACRO (XCOLACRO, São Carlos, Brasil, 2004), Premio Académico “*Frontier Award: Chemistry for Life*” (Sociedad Europea de Ciencias de Separación, Copenhague, Dinamarca, 2006), *Premio Nacional de Química* en el Área de Química Analítica (Asociación Química Colombiana, ASQUIMCO, Bogotá, 2001), *Premio Nacional de Fitoquímica* (VI Congreso Nacional de Fitoquímica, Medellín, 1997), entre otras distinciones, recibidas por sus trabajos en congresos nacionales e internacionales.

Aceites Esenciales



PREFACIO

Desde hace más de veinte años, entre nostálgicos recuerdos de mi tierra, momentos agradables y lindas sorpresas, vividos en Colombia, un país complejo, lleno de añoranzas y júbilos, luchas y fracasos, con tantas caras distintas, diversas culturas y tradiciones, sigo diariamente maravillada por sus colores y fragancias, sabores y ritmos y una cantidad impresionante de nombres e historias fabulosos, que rodean toda esta riqueza sin parangón, “técnicamente” llamada BIODIVERSIDAD. En mi colegio, en Rusia, había conocido y memorizado casi todos los nombres de árboles y plantas que crecían en Moscú y sus vecindades rurales; empero, entiendo ahora, que ello no fue ninguna hazaña, puesto que las especies vegetales a aprender no eran muchas, en comparación con miles y miles que se encuentran aquí en Colombia, uno de los países con mayor biodiversidad en el planeta. Y, lo de los colores, ni hablar, pues, en Rusia continental el invierno es blanco y frío, el verano es verde y caliente y, de pronto, el otoño regala, por un ratito, más variedad de tonalidades, entre rojos, dorados y púrpura y, luego, antes de nevar, grises monótonos y con lluvia. En Colombia, al contrario, durante todo el año, sin tregua, me envuelve un mar de colores intensos y vivos, con matices imposibles

de llamar por sus nombres (no alcanzan las palabras), una explosión de formas, una cantidad de olores y sabores, que generan emociones y saturan la memoria con tantos nombres e historias. La mente se esfuerza para albergar toda esta información sobre centenares de hierbas y arbustos, árboles y flores, frutas y semillas y sus usos muy diversos. Todo esto es la BIODIVERSIDAD, que es el único tesoro -hasta ahora- no arrebatado por la globalización unificadora que camina por el planeta.

A pesar de lo llamativo, lo único y tan exclusivo como suena la BIODIVERSIDAD, es más que todo, una inmensa responsabilidad, es un deber de los científicos hacer su inventario y su estudio, que son las bases necesarias para trazar las estrategias para su conservación y el posible aprovechamiento sostenible a través de la elaboración de productos únicos, novedosos y que sean para beneficio del país de donde se originaron. Esta tarea no es muy fácil, pero es un reto científico y ciudadano y un compromiso grande.

Otra sorpresa para mí fue descubrir que Colombia, país megadiverso, es un importador neto de esencias naturales que se aíslan de plantas aromáticas. Las industrias



de alimentos, fabricantes de productos de limpieza, aseo e higiene personal, cosméticos y fitofármacos, entre muchos otros, consumen esencias importadas en cantidades apreciables; más de 500 toneladas métricas de aceites esenciales se compran en el país cada año. Las importaciones de aromas y esencias naturales a Colombia contrastan mucho con su trayectoria y gran experiencia agro-industrial, con una variedad de microclimas y varios pisos térmicos, plenitud de especies vegetales cultivables en diferentes suelos y con varias cosechas al año, con el hecho de que el país dispone de las condiciones agro-ecológicas aptas para el cultivo de plantas aromáticas y su destilación. Las experiencias de Brasil, Argentina, México y Guatemala en el continente latinoamericano son ejemplos claros, junto con el inmenso potencial que representan en el mercado internacional de aceites esenciales, otros países en vía de desarrollo rápido, como la India, Indonesia, Singapur y Egipto, entre otros. Colombia podría figurar entre ellos.

Desde hace más de veinte años, nuestro grupo de investigación, Centro de Investigación en Biomoléculas (CIBIMOL) de la Universidad Industrial de Santander (UIS), asumió el reto de contribuir al estudio de la biodiversidad colombiana, en particular, sobre las plantas aromáticas y aceites esenciales, mezclas de sustancias fragantes con una gran diversidad química y con propiedades biológicas aprovechables en numerosos productos como agentes naturales antimicrobianos, antioxidantes o diferentes biorreguladores. Con el apoyo financiero de Colciencias, hace cinco años, fue creado el Centro Nacional de

Investigaciones para la Agroindustrialización de Especies Vegetales Aromáticas y Medicinales Tropicales (CENIVAM), formado por 11 grupos de investigación de cinco universidades públicas, a saber: Universidad Industrial de Santander (UIS), Universidad de Antioquia, Universidad de Cartagena, Universidades Tecnológicas del Chocó y de Pereira.

Más de 150 investigadores, entre ellos, químicos, médicos, biólogos, bacteriólogos, botánicos, microbiólogos, ingenieros químicos, mecánicos e industriales, economistas, entre otros, unieron sus esfuerzos para estudiar el tema de plantas aromáticas colombianas y productos de su destilación, aceites esenciales y derivados químicos, sus transformaciones, obtención y propiedades biológicas, todo ello, para crear una base científico-técnica sólida que permita fomentar en el país la industria de aceites esenciales y productos afines.

Ya se ha recorrido un largo camino, desde el laboratorio hasta los primeros proyectos agrícolas piloto que se desarrollan en los Municipios de Socorro y Sucre (Departamento de Santander). Sin embargo, entre muchas actividades científicas y las del desarrollo tecnológico, los aspectos relacionados con la educación y la capacitación siempre han ocupado un lugar importante entre todas nuestras actividades. En el Complejo Agroindustrial piloto de la Cadena productiva de plantas aromáticas, medicinales y condimentarias, aceites esenciales y productos afines (CENIVAM-UIS, Bucaramanga), permanentemente se dictan cursos y talleres

Aceites Esenciales



prácticos sobre plantas aromáticas y aceites esenciales para cultivadores, pequeños empresarios y para el público en general. Esta actividad, en particular, me ha impulsado a escribir una guía general sobre los aceites esenciales, que permite ampliar la información que se da en estos talleres e incluye diversos aspectos relacionados con plantas aromáticas y los productos de su destilación, *i.e.*, aceites esenciales. La presente monografía, por supuesto, no aspira a atender absolutamente todos los aspectos del cultivo y la destilación de plantas aromáticas, pero busca dar al lector una idea general sobre la industria de aceites esenciales.

La monografía consta de cinco capítulos, distribuidos así: *Capítulo I* sobre las generalidades y propiedades de aceites esenciales, características de plantas aromáticas y su destilación; el *Capítulo II* incluye aspectos relacionados con la Biodiversidad y el Biocomercio, mientras que el *Capítulo III*, analiza resumidamente los aspectos económicos y sociales relacionados con la industria y los mercados de aceites esenciales mundial y colombiano; el *Capítulo IV* es mucho más técnico, especializado, y contiene información sobre las propiedades y la caracterización física y química de los aceites esenciales, el control de su calidad y los avances instrumentales para el análisis de esencias; y, por último, el *Capítulo V* se dedica al CENIVAM y su trabajo llevado a cabo durante el período 2005-2009, como parte de la experiencia científico-técnica necesaria para el estudio y el fomento de la cadena productiva de plantas aromáticas y aceites esenciales en Colombia.

Este trabajo no sería posible sin la ayuda, la colaboración y el apoyo técnico y moral que he recibido de muchas personas, colegas, amigos, varias organizaciones, y, por supuesto, de mis alumnos, estudiantes de las universidades y participantes de los cursos de capacitación y talleres. Quiero agradecer a la Universidad Industrial de Santander, “mi pequeña y diversa Colombia”, a Colciencias, por su decisivo apoyo económico para desarrollar el Proyecto CENIVAM, a todos y cada uno de los estudiantes, mis compañeros y amigos, que hicieron sus tesis de pre-grado, Maestría o Doctorado en nuestro grupo de investigación, a todos los profesores, personal de apoyo y administrativo, a todos los investigadores que forman parte del CENIVAM, les quiero dar un sincero abrazo y muchas gracias. A Amanda Lucía Mora, por su amistad, a Martha Cervantes, por mantenernos informados y ayudarnos en la Vigilancia Tecnológica y Prospección, a la empresa Khymós S.A., que gracias a su trabajo, nuestros equipos analíticos gozan de “buena salud”, a Diego Camilo Durán (Camilo “CENIVAM”), asistente administrativo del Centro; y un profundo, el más sincero agradecimiento a Jairo René Martínez, por todo su apoyo, amistad y cariño y una inmensa ayuda, por siempre, muchas gracias.

Elena E. Stashenko



CAPÍTULO I

Generalidades



GENERALIDADES

Los *metabolitos primarios* (proteínas, lípidos, azúcares, etc.) en las plantas son vitales para que la planta crezca, se multiplique y viva, mientras para que ella *sobreviva* se necesitan los *metabolitos secundarios*. Estos últimos son moléculas de bajo y mediano peso molecular, generados en la planta por varias rutas biosintéticas; pertenecen a diferentes clases de sustancias químicas, e.g., alcoholes, ácidos, ésteres, fenoles y terpenos, entre muchas otras. A algunos de ellos, les caracterizan un olor típico y una alta volatilidad. A ciencia cierta y con los detalles experimentales requeridos, todavía no se conocen todos los papeles que juegan los metabolitos secundarios en las plantas, porque ellos cumplen varias funciones y operan a través de diversos mecanismos. Son agentes de defensa química de las plantas [1,2], actúan contra depredadores, insectos, microorganismos (bacterias, virus, hongos), en general, contra diferentes tipos de plaga; también son remedios vegetales endógenos, e.g., exudaciones de tipo balsámico, que la planta segrega cuando está lesionada, experimenta un estrés o está infectada. Muchas de estas sustancias son repelentes de insectos, mientras que otras, al revés, los atraen. Algunos compuestos son antialimentarios (*antifeeding agents*), o sea, quitan a los depredadores y herbívoros las ganas o el apetito para tragar la planta. Las sustancias volátiles de las plantas, que atraen distintos insectos benévolos, son necesarias para su polinización y la reproducción. Varios

compuestos volátiles participan en el proceso de la respiración de la planta, ayudan a regular en ella la humedad y cumplen, entre otras, diversas funciones fisiológicas, lo que es objeto de numerosos estudios científicos.

Las plantas se comunican entre sí, “se quieren” o se repelen, lo que incide sobre la velocidad de su crecimiento, propagación, abundancia de biomasa producida, resistencia a las enfermedades, entre otros factores. Así como la gente se comunica a través de las palabras, las plantas emiten mensajes moleculares, que se “leen” y se interpretan por otras plantas o por los insectos. Desde antaño, se ha observado empíricamente esta cualidad en las plantas, que cuando se siembran juntas pueden crecer bien o deficientemente. Por ejemplo, el ajeno, la ruda y el paico, entre otras, poseen “antipatía” hacia la mayoría de plantas aromáticas “dulces”, que crecen en su vecindad. Contrario a esto, se conoce muy bien un sinergismo, en los cultivos intercalados de maíz con frijol, trigo o cebada con alverja, entre muchas otras combinaciones. Diversas propiedades de los metabolitos secundarios de las plantas se han aprovechado en medicina popular para hacer remedios caseros, también en agricultura, como biorreguladores moleculares de diferente índole, por ejemplo, como *bioinsecticidas*.

Entre muchos metabolitos secundarios aislados de las plantas, se destacan algunos, muy especiales, de amplio uso en diversas ramas



de la industria, medicina y en muchos productos empleados en la vida cotidiana. Esta clase de sustancias recibe el nombre de *aceite esencial*, *aceite volátil*, *aceite etéreo* o *esencia*. Numerosas sustancias forman parte de la esencia, que es una mezcla compleja de compuestos volátiles y de naturaleza química muy diversa [3-6]. Lo que más la caracteriza y destaca es su olor, generalmente agradable, intenso, que evoca la fragancia de la planta, o de la fruta o de la madera, de la cual proviene. La esencia puede recordar el olor, por ejemplo, de una hierba recién cortada, o de vainilla, dulce y empalagosa, entre otros acordes aromáticos que posee un aceite esencial, formado por una compleja gama de sustancias volátiles con diferentes notas fragantes y distintos umbrales sensoriales para su percepción.

Aislados de flores (rosa, azahar, lirio, ylang-ylang), semillas (coriandro, cilantro, anís, cardamomo), hojas y tallos (albahaca, tomillo, menta, lavanda, orégano), corteza (canela), madera (pino, sándalo), raíces (valeriana, vetiver) y rizomas (jengibre, cúrcuma), los aceites esenciales pueden considerarse *el alma de la planta*, su espíritu, que la caracteriza y destaca, evoca y hace memorizar en el tiempo; los aceites, generalmente, producen una sensación placentera, sobre todo, cuando están diluidos [7]. Encontramos su mención en jeroglíficos egipcios, manuscritos chinos, escrituras de sacerdotes de la Edad Media y de alquimistas, sus usos no solo eran mágico-religiosos sino también curativos. Algunos frascos sellados se encontraron en la tumba de Tutankamon, en Egipto, y contenían un ungüento, cuyo análisis reveló la presencia de *frankincense* (árbol de incienso, *Boswellia thu-*

rifera) y de la esencia de nardo índico (*Nardostachys jatamansi*). Éste, tal vez, fue el hallazgo de un perfume más antiguo elaborado hace más de 3300 años. La literatura Ayurvédica revela que en la India desde ya hace más de 2000 años se empleaban esencias para curar diferentes enfermedades [8]. Los griegos antiguos y los romanos usaban esencias y extractos de plantas con fines cosméticos y para baños, que tomaban varias veces al día, aromatizaban con esencias su cabello, cuerpo y hasta la cama, para tener un sueño placentero, o como afrodisíacos. El verdadero despliegue del uso de aceites esenciales en diferentes productos y por sí solos, así como su elaboración industrial, empezaron en Francia, a finales del siglo XVII. El conocimiento obtenido por los árabes en la Edad Media sobre cómo destilar el alcohol fue el éxito para la posterior elaboración de perfumes en su forma moderna de presentación y uso, puesto que un perfume es una mezcla de agua, alcohol y aceites esenciales, junto con algunos aditivos (antioxidantes, fijadores, colorantes, etc.) [9,10].

Los aceites esenciales o volátiles -“*la quinta esencia*”, como los solían llamar los griegos en la Antigüedad-, se producen en cantidades apreciables (0.5–6%) en las llamadas plantas “aromáticas”, aquellas, que generalmente son hierbas o arbustos, poseen un fuerte y característico olor o fragancia y a menudo son atractores de insectos [11]. Algunos ejemplos de plantas aromáticas se pueden ver en la Figura 1-1, donde aparecen canela, limonaria, geranio y patchouli; todas ellas son exógenas [3], o sea, introducidas a Colombia y algunas son ya bien adaptadas y cultivadas como ornamentales (*e.g.*, geranio) en el país.



Figura 1-1. Algunas plantas aromáticas tropicales de interés económico. **A.** Árbol de canelo (*Cinnamomum verum*, sin. *C. zeylanicum*, Fam. Lauraceae). **B.** Limonaria (*Cymbopogon flexuosus*, Fam. Gramineae). **C.** Geranio (*Pelargonium graveolens*, Fam. Geraniaceae). **D.** Patchouli (*Pogostemon cablin*, Fam. Labiatae). Complejo Agroindustrial Piloto, CENIVAM, Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga. (Fotos: Elena E. Stashenko).

Los aceites esenciales en las plantas pueden encontrarse en las diferentes *células oleíferas* (jengibre, cúrcuma, vainilla), en los *canales secretorios* (pino, artemisia, anís, angélica), estar presente en las *glándulas* (cítricos, eucaliptos) o en los *tricomas* (muchas plantas de las familias Labiadas, Asteráceas, Solanáceas, Geraniáceas). El material vegetal (planta aromática), al ser sometido al vapor de agua, libera una mezcla odorífera líquida (aceite esencial) de una gran variedad de sustancias volátiles, que recuerdan el olor, en forma muy

concentrada, de la misma planta. Esta mezcla puede tener desde 50 hasta más de 300 sustancias químicas y está compuesta por hidrocarburos terpénicos, sus derivados oxigenados, alcoholes, aldehídos y cetonas, así como por éteres, ésteres, compuestos fenólicos, fenilpropanoides y otros derivados [12].

El olor de esta mezcla es fuerte, penetrante, pero si una pequeña alícuota del aceite se incorpora a una solución hidroalcohólica (agua y alcohol al 20–60%), la fragancia se



Aceites Esenciales

torna deliciosa y forma por sí sola un *perfume*. El nombre “*aceite*” viene de la textura del líquido, que al tocarlo se siente grasoso, aceitoso, pero con la particularidad de que al evaporarse, no deja ninguna huella, ni mancha, solo tenue fragancia y un recuerdo sensorial agradable. Nada que ver con aceites vegetales o de cocina (aceites de palma, soya, girasol, oliva), formados por triglicéridos (ésteres de glicerol y diversos ácidos grasos), que son muy poco volátiles, pesados y dejan la mancha grasosa sobre cualquier superficie de contacto, son fácilmente oxidables, mientras que los aceites esenciales, al contrario, se usan como mezclas antioxidantes en diferentes productos terminados (jabones, cremas, etc.).

Los aceites esenciales se pueden obtener de material vegetal por tres principales métodos [13-16] (Figura 1-2), a saber:

1. *Arrastre con vapor*. Este proceso se lleva a cabo con un vapor seco sobrecalentado, generado usualmente por una caldera o calderín, que penetra el material vegetal a presión más alta que la atmosférica, la corriente de vapor rompe las células o canales oleíferos en la planta y arrastra la mezcla volátil, que se condensa luego de atravesar un refrigerante. Generalmente los aceites son más livianos que el agua y muy poco solubles en ella; por ende, pueden ser separados por decantación. La excepción la presenta el aceite de clavo, que es más pesado que el agua y se recoge debajo de ella. El método de arrastre con vapor se usa para extraer aceites de rizomas, raíces, semillas (vetiver, valeriana, jengibre, anís, cardamomo, etc.) y de hojas secas o fermentadas de algunas plantas (*e.g.*, patchouli);

2. *Destilación con agua-vapor*: en este sistema de extracción se emplea un vapor húmedo, proveniente del agua en ebullición, que traspasa el material vegetal suspendido encima y apoyado sobre una malla. La mayoría de plantas herbáceas se destilan por este método.

3. *Hidrodestilación* es un proceso cuando el material vegetal se sumerge directamente al agua, que se calienta a hervor. Este método se usa para la destilación del material vegetal delicado, por ejemplo, flores (*e.g.*, ylang-ylang, rosas).

En la Figura 1-3 aparece un destilador móvil con capacidad de 150 kg de material vegetal, construido en el Centro de Investigación de Excelencia, CENIVAM-UIS, para la extracción de aceites esenciales por los métodos de agua-vapor e hidrodestilación.



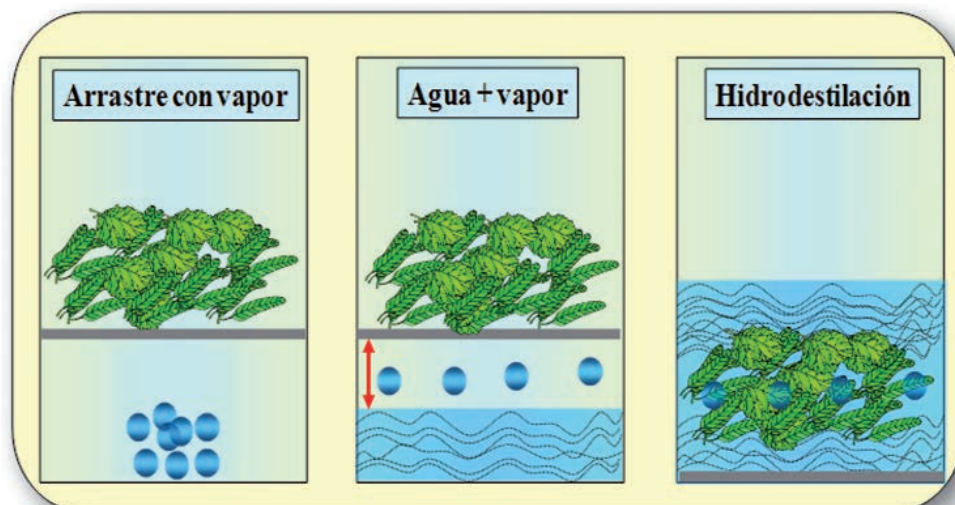


Figura 1-2. Obtención de aceites esenciales por *arrastre con vapor* (fuente externa de vapor, e.g., caldera); *Destilación con agua-vapor* (vapor húmedo obtenido por calentamiento del agua hasta su vigorosa ebullición) e *hidrodestilación* (calentamiento del agua con el material vegetal sumergido, generalmente muy delicado, por ejemplo, flores).

Figura 1-3. Destilador de aceites esenciales móvil con capacidad para 150 kg de material vegetal. Diseñado en el Centro de Investigación de Excelencia CENIVAM (UIS, Bucaramanga) para la extracción de aceites esenciales por destilación con agua-vapor e hidrodestilación. 1. Cuerpo del destilador donde se depositan el agua y, en una canasta, el material vegetal; 2. Quemador de gas para calentar el agua; 3. Cuello de *ganso* (o *cisne*); 4. Condensador, sistema de enfriamiento tipo radiador; 5. Cilindro con gas; 6. Plataforma para la ubicación y transporte del destilador. (Foto: Elena E. Stashenko)



Los aceites esenciales de la cáscara de cítricos (naranja, mandarina, lima) se obtienen también por prensado en frío o por raspado de sus cáscaras. Las mezclas obtenidas por los métodos mencionados reciben el nombre de “aceites esenciales”; otros productos, ais-

lados por maceración en diferentes solventes o con fluido supercrítico (CO_2) se llaman, generalmente, “extractos”, y no “aceites”; entre ellos, figuran *concretos* -obtenidos por extracción con hidrocarburos de las plantas aromáticas o, más frecuentemente, de flores-, y *ab-*



solutos, que se separan de los concretos por la acción de alcohol [3,11].

La mayoría de los aceites esenciales son líquidos, fluidos, y de color amarillo-claro. Hay sorpresas, por ejemplo, la de la esencia de manzanilla, que debido a la presencia de hidrocarburos azulénicos, posee un color azul. Algunos productos naturales odoríferos obtenidos de ciertas plantas, son similares en su composición química a la de los aceites esenciales y también evocan el olor de la planta. Sin embargo, tienen una consistencia bastante viscosa, tienden a polimerizarse (solidificarse) y reciben los nombres de bálsamos y oleorresinas o resinoides. Ejemplos de los primeros son los bálsamos de copaiba (*Copaifera officinalis*, Fam. Leguminosas, hábitat: Brasil, Colombia, Venezuela, Antillas), de Perú (*Myroxylon balsamiferum*, Fam. Leguminosas, planta originaria de América Central, Salvador y Brasil) o bálsamo de Tolú (*Myroxylon toluifera*, Fam. Leguminosas, originaria de América Central), y de los segundos, las oleorresinas de páprika y de pimienta, muy apreciadas en la industria de alimentos para fabricar condimentos y diferentes salsas [3,17,18]. Las oleorresinas y los resinoides se aíslan por extracción con disolventes. Muchos bálsamos se obtienen directamente de los troncos de árboles (por perforación, o por arrastre con vapor, de su corteza), por ejemplo, los bálsamos de árboles de *Copaifera sp.*, o de algunas especies de *Ocotea sp.*, que emanan un líquido viscoso a través de un orificio que se perfora en el tronco del árbol, de una manera similar a la del proceso de extracción del látex, por escisión profunda de la corteza de *Hevea sp.* [3].

Las sustancias volátiles, producto del metabolismo secundario de las plantas, que forman parte de aceites esenciales, se distribuyen por toda la planta, pero se concentran, a menudo, de manera no uniforme, solo en una de sus partes, por ejemplo, en flores, corteza, semillas, rizomas o raíces, pero más frecuentemente en hojas y tallos. Por ejemplo, los cítricos dan tres tipos de aceites, a saber: de las cáscaras se destila el *aceite esencial*, de las flores el *aceite de nerolí* o *azahar* (de flores también se pueden obtener concreto y absoluto con disolventes), y de las hojas jóvenes y frescas, de ramas recién cortadas, se aísla el llamado aceite esencial de *petit-grain* [3,19].

De planta a planta, el rendimiento de un aceite cambia mucho, puede variar desde 0.01% en flores de jazmín y rosa hasta el 4-6% en semillas de cilantro, anís o coriandro. En promedio, las plantas aromáticas herbáceas poseen de 0.5 a 2% del aceite esencial. El rendimiento del aceite es una característica transcendental desde el punto de vista económico y de rentabilidad del proceso de su obtención; pero, existe otra propiedad, no menos importante, que es la calidad organoléptica del aceite, su apreciación sensorial -a menudo subjetiva-, o sea, a qué sabe la esencia, si es agradable o no, bienoliente, interesante, novedosa e inusual, sirve o no para su posterior incorporación a diversos productos comerciales [20-22].

Las *plantas aromáticas* -aquellas que generan esencias en cantidades apreciables-, pertenecen también al grupo de las llamadas *plantas medicinales*. Sus componentes, solos o en combinación, exhiben una o varias actividades biológicas, *e.g.*, antibacteriana, antiviral,



antifúngica, entre otras [23-29]. Casi todas las plantas aromáticas son *medicinales*, empero, no todas las especies medicinales son aromáticas, o sea, sus principios activos son diferentes, *e.g.*, alcaloides, glucósidos, saponinas, flavonoides, compuestos proteicos, polifenoles, entre muchos otros [30-34]. Muchas plantas medicinales no poseen olores o fragancias, a menudo no contienen aceites en cantidades extraíbles. Los preparados farmacológicos a partir de plantas medicinales se obtienen en forma de *tinturas*, *decocciones* o en *cápsulas* que contienen material seco, picado, a la vez que el efecto “medicinal” de una planta aromática se logra cuando se toma su *infusión* [35,36].

Los aceites esenciales obtenidos de plantas aromáticas, están formados en su mayoría por hidrocarburos *terpénicos* o *terpenos* (monoterpenos, $C_{10}H_{16}$, y sesquiterpenos, $C_{15}H_{24}$) y sus derivados oxigenados (alcoholes, aldehídos, cetonas y, menos frecuentemente, ácidos), que juntos se llaman *terpenoides* [37]. En numerosos estudios se confirmó la variada actividad biológica de terpenoides como agentes quimiopreventivos, principios activos y coadyuvantes en el tratamiento de arterosclerosis, trombosis y como un vehículo para facilitar la penetración transdérmica de muchas drogas de aplicación tópica [36]. Los aceites esenciales o sus componentes son agentes antibacterianos, antifúngicos, exhiben propiedades antidiabéticas y antivirales [29,38-40]. La clave del éxito en el uso de algunos aceites esenciales para eliminar bacterias, *e.g.*, *Staphylococcus aureus*, *E.coli*, resistentes a los antibióticos tradicionales y varios hongos patógenos, está relacionada con la composición muy compleja de los aceites,

que son mezclas *multicomponente* formadas por sustancias con actividad biológica diversa, potenciada a menudo precisamente gracias a esta combinación única de varios componentes, que ejercen un notorio sinergismo [29]. Es muy importante el uso de aceites esenciales como calmantes, tranquilizantes o, al contrario, estimulantes, en general, como agentes que benévolamente actúan sobre el estado de ánimo de las personas, su rendimiento físico, humor. Esto se aprovecha en aromaterapia, fisioterapia, en distintos centros de salud, SPA; los aceites son ampliamente usados en sanatorios, balnearios y otros sitios de descanso y recuperación de la salud [35,36,41-44].

El abanico tan amplio de aplicaciones que encuentran los aceites esenciales en diferentes sectores y ramas de la industria es verdaderamente impresionante. Son tres sectores principales, entre ellos, figuran las industrias de *alimentos*, *farmacéutica* y de *sabores & fragancias*, productos de aseo y sector cosmético, que utilizan aceites esenciales en grandes cantidades (Tabla 1-1) [45]. Después de las industrias del petróleo y farmacéutica, la industria de sabores y fragancias, perfumes, cosméticos y productos de aseo, ocupa el tercer lugar en la macroeconomía, en cuanto al tamaño de capital y recursos económicos que mueve, la fuerza laboral y la estructura para investigación, desarrollo e innovación, que involucra [46].

La industria de aceites esenciales está estrechamente relacionada no sólo con el sector productivo y tecnológico –destilación, refinación y transformación–, sino con el desarrollo agrícola, el establecimiento y el manejo de



Aceites Esenciales

cultivos industriales de plantas aromáticas, materia prima para la obtención de aceites [6,11,13,19,47-51]. En promedio, de mil kilogramos de la masa vegetal se obtienen alrededor de diez kilogramos del aceite esencial (ca. 1%), lo que indica la necesidad de *cultivos extensos*, i.e., varias hectáreas sembradas con plantas aromáticas (de 10.000 a 40.000 plantas/ha), para llegar a la obtención de 500 – 1000 kg del aceite por año. Sin embargo, algunos aceites costosos o exóticos, tal vez, con una demanda menor en su cantidad, po-

drían requerir menores áreas de siembra. En regiones tropicales muchas plantas se pueden cultivar intercaladas, por ejemplo, combinadas con caucho, cacao o café, yuca o frutales; además se obtiene una ventaja competitiva sin parangón, que es la posibilidad de varias cosechas (de 2 a 4) al año [52,53].



Tabla 1-1. Principales sectores y ramas de industrias donde se utilizan aceites esenciales y productos derivados.

Sectores	Ramas	Aceites esenciales
Industria cosmética y de productos de aseo	Higiene personal Jabones y detergentes Productos de belleza Perfumes y afines Dentífricos	Cítricos Eucalipto y derivados Mentas, lavandas Rosa, patchouli Romero, salvia
Industria de alimentos	Bebidas tipo <i>Cola</i> Dulces, confitería Salsas, enlatados Bebidas alcohólicas Tabaco, aromatizantes	Cítricos Anís, hinojo, coriandro Oleorresinas, <i>flavours</i> Vainilla, especias Mentas
Industria farmacéutica	Fitocosméticos Cosmecéuticos Homeopatía Aromaterapia Fitofármacos	Cítricos Limonaria, citronela Eucalipto y derivados Lavanda, romero, salvia Geranio, mentas

El material vegetal, después de su destilación (Figura 1-4), puede ser usado como importante ingrediente para la fabricación de abonos orgánicos y compostaje, para la elaboración de combustibles (*pellets* de material vegetal seco mezclado con carbón) para calderas y como fuente celulósica para la obtención del alcohol u otros productos de interés industrial. El agua, después de la destilación (el

llamado *hidrolato*), puede servir para riegos o, a través del sistema de cohobación, puede ser reutilizada en el mismo sistema de destilación [15]. Algunos hidrolatos (rosa, *petit-grain*, ylang-ylang), como sub-productos de la destilación de aceites, se pueden emplear en baños o *jacuzzis*, como agua para aromatización y para la limpieza.



Figura 1-4. Residuos vegetales descargados del alambique después de la extracción del aceite esencial de hinojo (*Foeniculum vulgare*, Fam. Apiaceae). Planta de extracción de aceites esenciales, Budapest, Hungría. (Foto: Elena E. Stashenko).



Los aceites esenciales se usan como ingredientes en pastas dentífricas, champús, cremas, aceites para masajes, perfumes, lociones, como aromatizantes, en múltiples productos de aseo, de higiene personal, como desinfectantes, o desodorantes. Los aceites encuentran aplicación en las industrias tabacalera, textil y de pinturas; como saborizantes en una gran variedad de productos alimenticios, salsas, confitería, bebidas alcohólicas, gaseosas, entre otros [11,14,17,18,45]. Los aceites en los preparados farmacéuticos se emplean tanto como aromatizantes y enmascaradores de olores, como fijadores y principios activos, entre otros. En algunas industrias, los aceites se utilizan en calidad de disolventes biodegradables (aceites de cítricos, pino, trementina, bálsamos), limpiadores, aditivos, componentes en artículos de limpieza. Es importante la aplicación de aceites esenciales en agricultura, como ingredientes en mezclas de biorreguladores, bioinsecticidas y, en general, como aleloquímicos.

Los aceites esenciales, aislados de plantas aromáticas por métodos físicos, son mezclas muy complejas, volátiles, de acentuado y característico olor, con composición química muy variable. Almacenados correctamente (temperatura baja, oscuridad y ausencia de oxígeno), los aceites esenciales son productos muy estables y pueden ser guardados por años. Es más, algunos aceites pueden tener valor comercial más alto después de su almacenamiento por dos o más años. La composición química de un aceite condiciona su aplicación como aromatizante, saborizante, fijador o como una mezcla funcional, por ejemplo, con propiedades antimicrobianas o antioxidantes, para la incorporación a diferentes productos terminados. De la composición, entre otros factores, dependen el precio del aceite en el mercado y su uso final en una de las ramas de la industria mencionadas (Véase Tabla 1-1).

La composición química de un aceite depende del tipo de planta, su variedad, híbrido o quimiotipo, de condiciones agro-ecológicas y del lugar de su cultivo, tratamiento post-cosecha



que se hace, y del tipo y duración del proceso de extracción, entre otros muchos factores [54]. Aceites esenciales de diferente origen geográfico pueden tener diferente demanda y muy variado precio en el mercado, en función de sus características organolépticas y de composición química, pero también de la “historia” o de la “reputación” del productor del aceite y de la confianza, que ha ganado. Los precios de aceites provenientes de plantas de cultivos orgánicos son considerablemente más altos que los de los aceites obtenidos de plantas de cultivos convencionales, para los cuales se usan fertilizantes y plaguicidas de origen sintético [55].

Un aceite esencial puede ser “atractivo” para su producción y comercialización por diferentes razones [11, 45], entre las que figuran las siguientes:

(1) porque posee propiedades organolépticas excepcionales que pueden ser aprovechadas en diferentes productos finales, *e.g.*, perfumes, cremas, como aditivo y aromatizante y saborizante en alimentos;

(2) porque su producción es altamente rentable y el rendimiento en la planta es alto, y porque puede reemplazar aceites más costosos; por ejemplo, el aceite de *Litsea cubeba*, producido en China y rico en citral (80%), puede reemplazar otras especies, de producción de biomasa menor, o de más lento crecimiento, o porque poseen citral en menor proporción, o contienen aceites mucho más costosos, entre otros factores;

(3) porque es un aceite con propiedades biológicas interesantes, *e.g.*, exhibe alta actividad

antioxidante, antibacteriana o antifúngica, lo que puede ser aprovechado para su uso en diferentes formulaciones de productos finales, farmacéuticos, de aseo personal, cosméticos, como conservante, entre otros;

(4) porque posee un componente mayoritario en alta concentración (>75%), que puede ser aislado (*e.g.*, pineno, citral, linalool, estragol, anetol, timol, etc.) y utilizado como reactivo de partida en la síntesis orgánica fina, para obtener nuevas moléculas aromatizantes, saborizantes o agentes farmacológicos, entre otros.

Debido a la gran importancia de los aceites esenciales, existe numerosa literatura general [3,13,14] y especializada [4-6,17,18,45,56] relacionada con su producción [15,45–49], usos [6,7,13,20,28,29,35,57], la química y propiedades de estos productos naturales [7,10,12, 22,34,41].

Varias revistas especializadas publican artículos relacionados con la obtención, composición y actividad biológica de aceites esenciales; entre ellas, se pueden mencionar las siguientes: *Journal of Essential Oil Research* (JEOR), *Journal of Essential Oil Bearing Plants* (JEOBP), *Flavour and Fragrance Journal*, *The International Journal of Essential Oil Therapeutics* (IJEOT), *Perfumer & Flavorist* (P&F), *Journal of Medicinal and Aromatic Plant Sciences*. Las revistas internacionales *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, *Phytochemistry*, *Journal of Natural Products*, *Natural Product Communications*, *Planta Medica*, *Journal of Medicinal Plant Research*, *Journal of Medicinal & Spice Plants*, *Journal of Ethnopharmacology*, *Journal of Herbs, Spices and*



Medicinal Plants, Journal of Spices and Aromatic Crops, Chemistry & Biodiversity, entre otras, publican, junto con otros temas relacionados, estudios sobre las plantas aromáticas, medicinales y condimentarias, aceites esenciales y su composición química, propiedades y usos. El número tan alto de revistas dedicadas a las plantas medicinales, aromáticas y condimentarias y a los derivados obtenidos de ellas (e.g., aceites esenciales) indica un alto interés, la importancia del tema y su actualidad.

En la Figura 1-5, aparece la estadística de publicaciones sobre aceites esenciales en diferentes revistas durante los años 1980 – 2009: la revista especializada JEOR, editada por *Allured Publishing*, presenta mayor número de artículos, seguida de *Flavour and Fragrance Journal* y *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, de las editoriales Wiley y ACS, respectivamente.

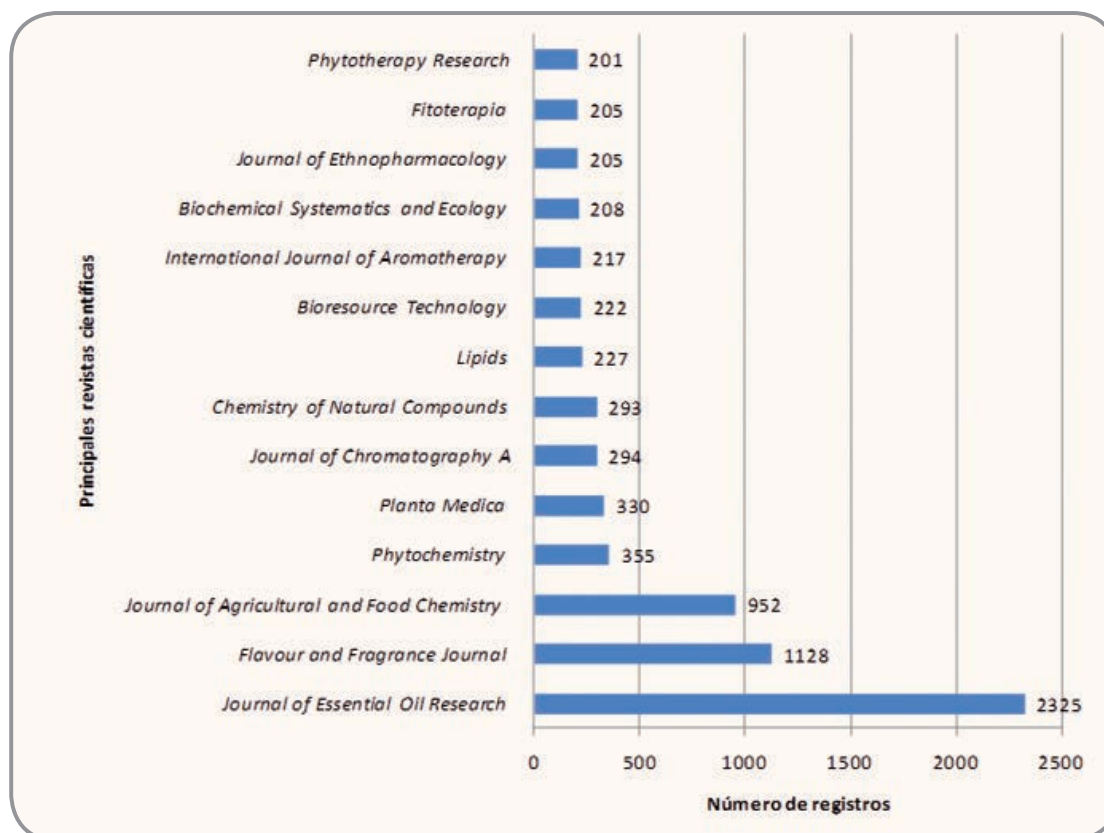


Figura 1-5. Número de artículos sobre aceites esenciales, publicados en diferentes revistas científicas durante el periodo de 1980 – 2009. Base de datos: *Scopus* (Elsevier, B.V., 2009), período de consulta: 1980 – 2009. Ecuación de búsqueda: *Title, abstract*; palabras clave: “*Essential oil*” OR “*Volatile oil*” OR “*Plant oil*”. Fecha de consulta: 21 de agosto de 2009. (Colaboración: Martha Cervantes, Qca, M.Sc., Vigía del CENIVAM).



Aceites Esenciales

La producción científica relacionada con aceites esenciales se encuentra en constante aumento. En la Figura 1-6 se resume la información, extraída de la base de datos *Scopus*

(*Elsevier*), sobre el número de artículos dedicados al estudio de aceites esenciales (palabra clave usada “*Essential oil*”) durante los años 1980-2008.

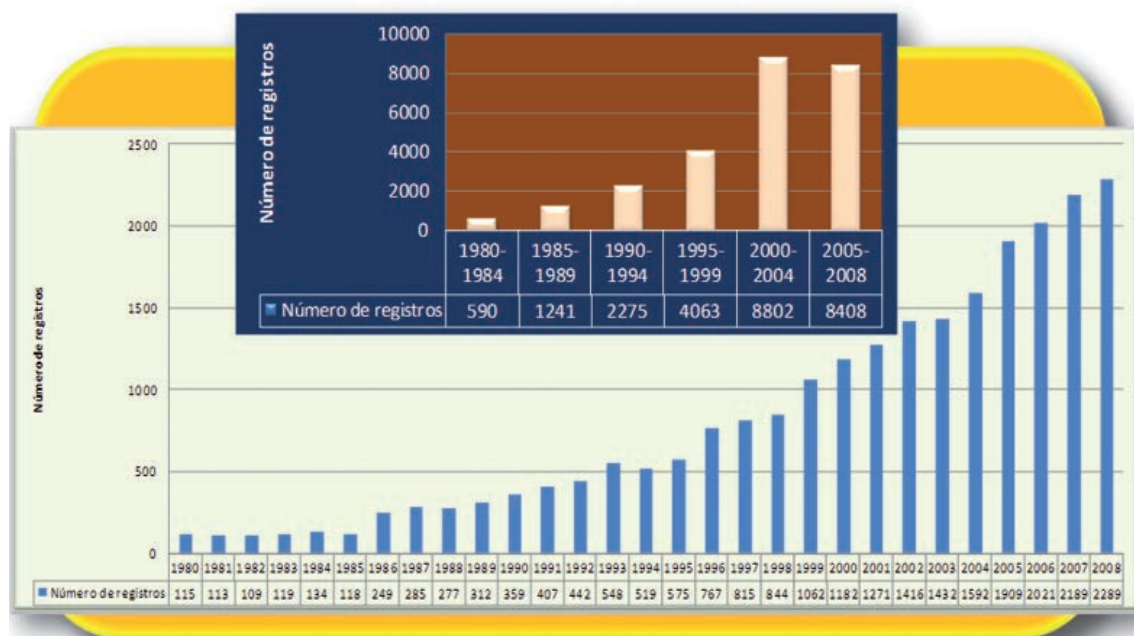


Figura 1-6. Número de publicaciones científicas sobre aceites esenciales realizadas en los años 1980-2008. Base de datos *Scopus* (*Elsevier*, B.V., 2009), palabras clave: “*Essential oil*”; Ecuación de búsqueda: *Article, title, abstract*. Fecha de consulta: 21 de agosto de 2009. (Colaboración: Martha Cervantes, Qca, M.Sc., Vigía del CENIVAM).

Según los datos presentados en la Figura 1-6, en los últimos 30 años se observa un aumento exponencial del número de publicaciones sobre aceites esenciales, básicamente, en las áreas de agricultura y ciencias biológicas, química y medicina, entre las 3 primeras áreas. Los investigadores de los EE.UU, Brasil, Italia, India, Turquía e Irán son los que publicaron más en los últimos 40 años sobre aceites esenciales y sus diversas propiedades y aplicaciones.

La producción industrial de aceites esenciales en el mundo está concentrada en algunos paí-

ses—generalmente aquellos en vía de desarrollo—, o en algunas regiones, donde por razones históricas (Francia) o climáticas (países mediterráneos), se estableció la agro-industria de aceites volátiles. En la Figura 1-7 aparecen en el mapa del mundo gráficamente (puntos amarillos) indicados los sitios donde tradicionalmente han existido o se hallan actualmente los centros de cultivo de plantas aromáticas y la capacidad instalada para la destilación de aceites. Los centros de producción de aceites esenciales en la actualidad, donde se destilan más de 60% de los aceites, se ubican en los países en vía de desarrollo rápido *i.e.*, China,



India, Indonesia, Egipto, Turquía, México y Brasil, junto con otros *ca.* 20 países en vía de desarrollo (Madagascar, Vietnam, Guatemala, Sri Lanka, Marruecos, Irán, entre otros) [38, 45,48,50,51,55]. A estos países los unen su larga tradición agrícola y alto potencial agro-industrial, una población grande y la mano de obra relativamente barata. Sin embargo, los

países en vía de desarrollo rápido (México, Brasil, China, India, otros) poseen también un nivel de avances tecnológicos relativamente alto, lo que permite garantizar la obtención de aceites esenciales y sus derivados de muy buena calidad. En estos países existen también centros de investigación tecnológica y de innovación dedicados exclusivamente al estu-

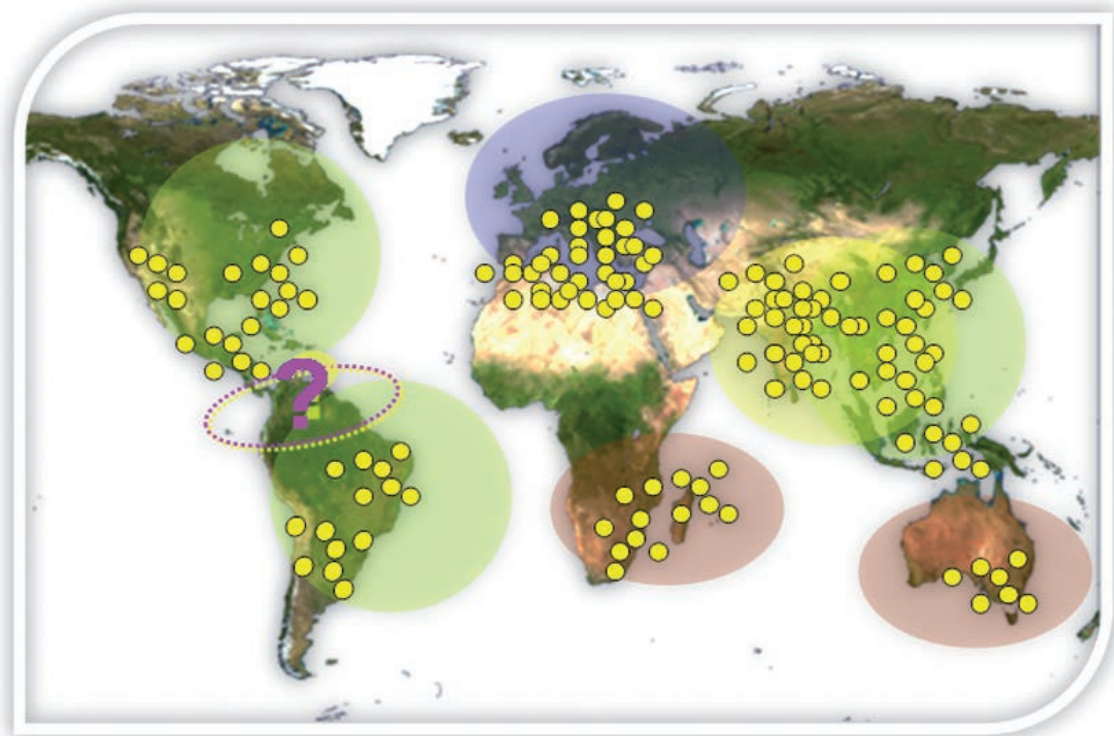


Figura 1-7. Distribución de regiones y áreas de cultivo de plantas aromáticas y producción industrial de aceites esenciales y derivados en el mundo. Se observan en la América del Sur algunos países (Colombia, Venezuela y Ecuador), que no han desarrollado ni cultivos industriales de plantas aromáticas, ni centros de producción de aceites esenciales; son importadores netos de esencias y sus derivados.

dio de plantas aromáticas y medicinales. Hay varios institutos de investigación sobre MAP (por sus siglas en inglés, *Medicinal and Aromatic Plants*) en la India, Brasil, Marruecos y hasta los Ministerios de Bosques y Cultivos Estatales en Indonesia y de Plantaciones Industriales y *Commodities* en Malasia, lo que

indica la importancia de cultivos de plantas aromáticas, industrias de aceites esenciales y derivados, en los países en vía de desarrollo rápido.

Contradictoriamente, Colombia no entra en la lista de países productores de esencias; es



Aceites Esenciales

su importador neto, lo que es extraño, sobre todo, cuando existen formalmente las condiciones (clima, tierra, posibilidad de varias cosechas al año, tradición de un país agrícola, etc.) para el desarrollo de esta importante industria, que genera productos agrícolas costosos y brinda muchas oportunidades de trabajo en el campo.

Es difícil estimar la cifra exacta de producción anual de aceites esenciales en el mundo, pero posiblemente ésta es más de 150,000 toneladas métricas (se excluyen aceites de terpenina destilados de las especies del género *Pinus sp.*) [11,45,46,48]. El aceite de naranja se produce en el mundo en el más alto volumen, de 30,000 – 40,000 toneladas métricas al año. En general, 20 aceites esenciales conforman más de 90% (en cuanto al volumen de su producción) de casi 250 aceites que se comercializan [11,45]. Aceites de naranja, menta y eucalipto están entre los primeros 20. La producción del aceite de patchoulí, que ocu-

pa en esta lista el último lugar, alcanza alrededor de 600 toneladas métricas anuales. Hay dificultad para estimar las cifras exactas de producción anual de aceites en el mundo, puesto que en muchos países, *e.g.*, en la India, Indonesia, Brasil, estos productos se destinan tanto para la exportación, como para el uso interno. La producción de aceites individuales, así como su demanda, pueden fluctuar de año a año. Factores económicos que dependen de la oferta y la demanda de aceites, de las condiciones climáticas, geopolíticas y sociales de los países productores inciden dramáticamente sobre los precios anuales de los aceites.

En el mundo sólo 10 empresas controlan más de 70% de la venta y la distribución de aceites esenciales, aromatizantes, sabores y fragancias, son tanto productoras, como distribuidoras de esencias naturales, artificiales y sintéticas, y tienen la representación en más de 60% de los países del mundo. En la Tabla

Tabla 1-2. Empresas líderes en el mundo de *Sabores & Fragancias* (10 compañías líderes), según el tamaño de ventas (dólares) y la participación (%) en el mercado global [58].

Empresa	Ciudad, país	Ventas	Mercado, %
Givaudan	Ginebra, Suiza	\$3.828 billones	18.7
Firmenich	Ginebra, Suiza	~\$2.930 billones	13.3
IFF	Nueva York, EE.UU.	\$2.389 billones	11.7
Symrise	Holzminden, Alemania	\$1.837 billones	9.0
Takasago	Tokio, Japón	\$1.365 billones	6.7
Sensient	Milwaukee, EE.UU.	~\$591.0 millones	2.9
T.Hasegawa	Tokio, Japón	\$500.3 millones	2.4
Frutarom	Haifa, Israel	\$473.3 millones	2.3
Mane	Le Bar-sur-Loup, Francia	\$462.9 millones	2.3
Robertet	Grasse, Francia	\$422.0 millones	2.1



1-2 aparece la lista de las 10 empresas líderes, encabezadas por Givaudan, seguida de Firmenich e IFF, con valores de ventas de \$ 14.586 billones de dólares en 2008 (\$ 13.598 billones en 2007) y participación en el mercado mundial con el 71.2%, cifras nada despreciables económicamente; el resto del 28.8% del mercado total asciende a \$5.913 billones de dólares en ventas [58].

Varios aceites esenciales son importante fuente de componentes individuales, útiles como bloques de construcción para la síntesis de nuevas moléculas. Los *pinenos*, provenientes de terpenina, son precursores de cientos de moléculas nuevas para su uso en sabores y fragancias. Los aceites destilados de árboles de *Cinnamomum camphora* y *Ocotea pretiosa*, cultivados en China y Brasil, respectivamente, son fuentes del safrol, un precursor sintético de la *heliotropina*, compuesto fragante de mucho valor comercial. *C. camphora* es también una fuente importante del *alcanfor*, el aceite de palo de rosa es una fuente importante de *linalool*, que, en su turno, es el precursor químico de otras sustancias fragantes. *Citral* se obtiene de *Litsea cubeba*, pero también puede ser aislado de *Cymbopogon citratus* (limonaria) y se utiliza para la síntesis de *iononas*, materia prima para obtención de la *vitamina A*. Los aceites de eucalipto, según la especie, son fuentes de *1,8-cineol* (eucaliptol) o de *citronelal*, importantes precursores para la síntesis orgánica fina y para la obtención de compuestos con fragancias inusuales o compuestos bioactivos [59-62].

Las plantas aromáticas desde antaño se usaban con propósitos mágico-religiosos [63], como drogas naturales [23-25,64-66], productos de aseo y de belleza, pero en la ac-

tualidad, son una muy importante fuente de compuestos bioactivos y de aceites esenciales, que a nivel industrial se obtienen no solamente por sus cualidades sensoriales, aprovechadas en sabores y fragancias, perfumes y lociones, sino también por su carácter conservante gracias a las actividades antioxidante y antimicrobiana que poseen [29]. Muchos aceites esenciales y extractos de plantas aromáticas (romero, salvia, tomillo, orégano, etc.) se utilizan en productos, porque poseen propiedades antioxidantes, que pueden ser aprovechados para aumentar el tiempo útil, la estabilidad del producto y asegurar que no se altere durante su almacenamiento. En la Figura 1-8 se puede observar el número, año tras año, creciente de publicaciones científicas sobre *antioxidantes*, que tienen una gran importancia en diferentes ramas de la industria de alimentos, cosméticos, productos de aseo y farmacéutica. También, el análisis científico de la información científica permite vislumbrar que el número de trabajos dedicados al estudio de *antioxidantes naturales* (su fuente importante son los aceites esenciales) es mucho más alto que el de los *antioxidantes sintéticos* (Figura 1-9), lo que indica una tendencia muy marcada hacia la búsqueda de ingredientes naturales para su uso en alimentos, fármacos, cosméticos y en muchos otros productos, *e.g.*, de aseo personal, desinfectantes, biorreguladores, dentífricos y otros.



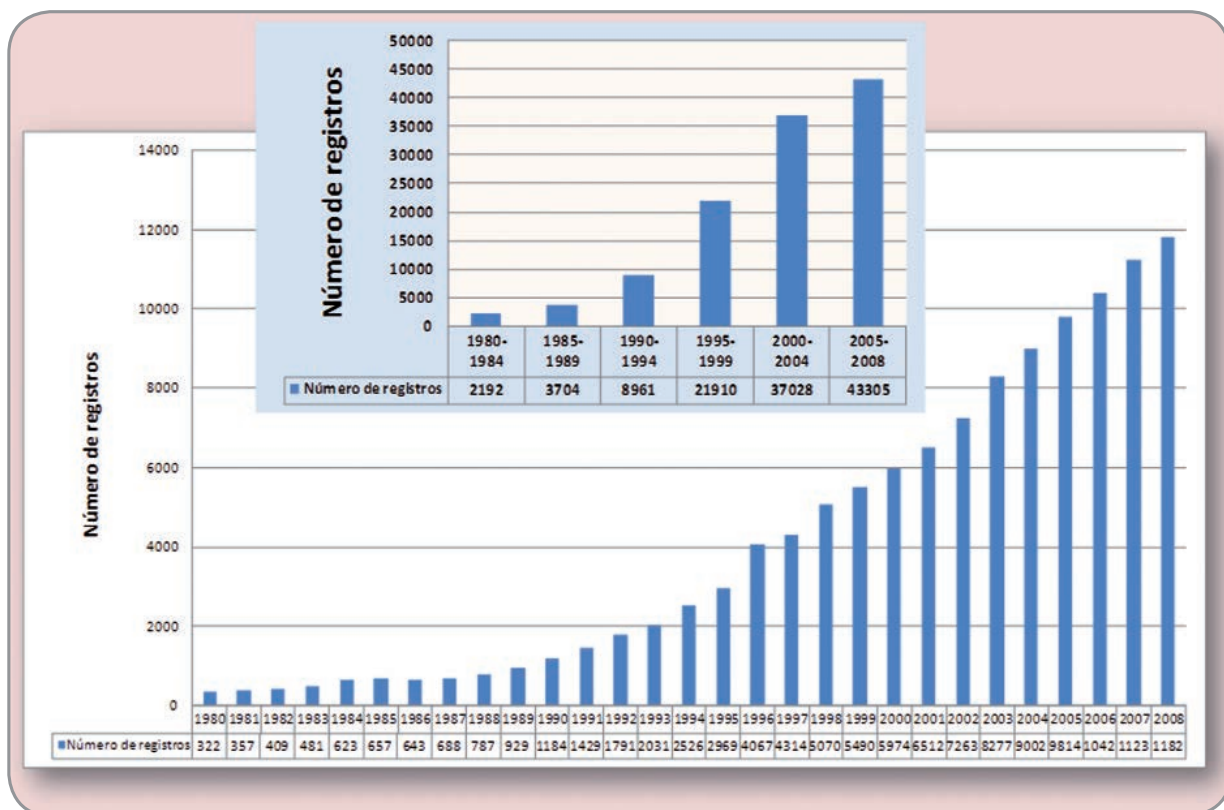


Figura 1-8. Número de publicaciones científicas sobre *antioxidantes* durante los años 1980-2008 (número de registros: 124.353). Base de datos *Scopus* (Elsevier, B.V., 2009), palabras clave: “Antioxidant”; Ecuación de búsqueda: *Article, title, abstract*. Fecha de consulta: 21 de agosto de 2009. (Colaboración: Martha Cervantes, Qca, M.Sc., Vigía del CENIVAM).

Junto con las propiedades antioxidantes y antimicrobianas, los aceites esenciales se aprecian por sus fragancias únicas, producto de la combinación de muchas sustancias presentes en la mezcla. Cada compuesto constituyente de la esencia tiene su olor y se caracteriza por un determinado umbral de su percepción, que es la concentración mínima a la que la nariz humana lo puede sentir y distinguir. Son tantas tonalidades odoríferas que nuestro olfato es capaz de diferenciar, que hasta los isómeros ópticos de terpenoides pueden per-

cibirse por los expertos “narices” (catadores), por ejemplo, en un aceite esencial adulterado por un producto químico o por un aceite de calidad u origen diferentes. En la Tabla 1-3 se observan ejemplos de los isómeros ópticos de terpenoides, que suelen formar parte de algunos aceites esenciales. Se pueden apreciar las diferencias de sus olores y de los umbrales de percepción, información importante para los análisis sensorial y químico de un aceite y para su aplicación en un producto comercial determinado.

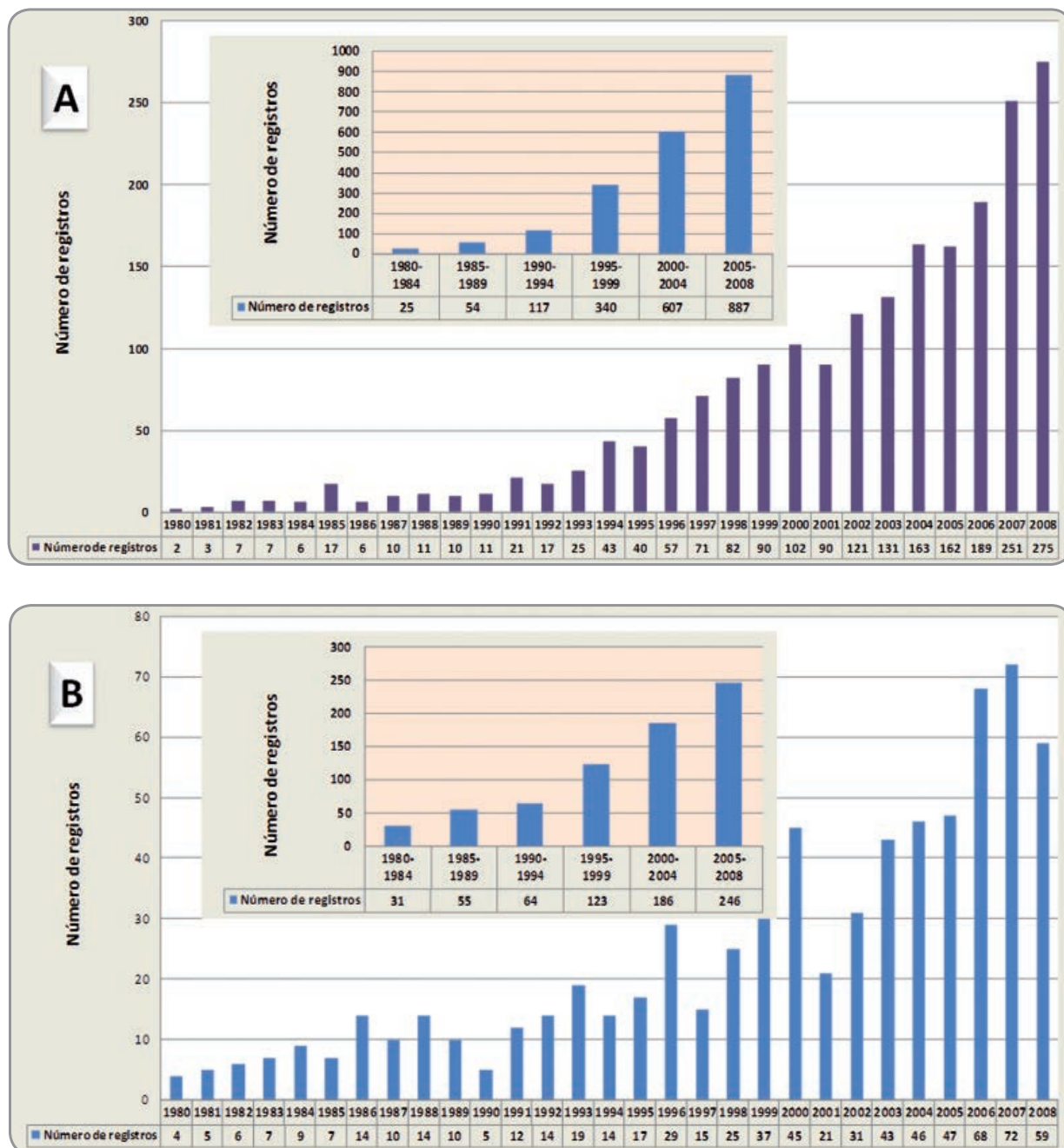


Figura 1-9. Número de publicaciones científicas sobre: **A.** Antioxidantes naturales (número de registros 2.199) y **B.** Antioxidantes sintéticos (número de registros 741), realizadas durante los años 1980-2008. Base de datos Scopus (Elsevier, B.V., 2009), palabras clave: "Natural antioxidant" y "Synthetic antioxidant"; Ecuación de búsqueda: Article, title, abstract. Fecha de consulta: 21 de agosto de 2009. (Colaboración: Martha Cervantes, Qca, M.Sc., Vigía del CENIVAM).



Tabla 1-3. Algunos constituyentes comunes de los aceites esenciales, las notas odoríferas y sus umbrales de percepción.

Compuesto	Planta	Isómero	Olor	Umbral, ppb
Limoneno	Naranja, limón, mandarina (cítricos)	(R)-(+)-	Cítrico, fresco, olor a naranja	200
		(S)-(-)-	A limón, a trementina	500
α -Felandreno	Cúrcuma, eucalipto	(R)-(-)-	Nota terpénica, medicinal	500
		(S)-(+)-	Nota característica del eneldo	200
Carvona	Alcaravea, yerbabuena, eneldo, "pronto alivio"	(4R)-(-)-	Menta dulce, herbal, nota fresca	43
		(4S)-(+)-	Alcaravea, herbal, nota fresca	600
Linalool	Lavanda, coriandro, palo de rosa	(S)-(+)-	Floral, nota dulce	7.4
		(R)-(-)-	Floral, a madera	0.8
Citronelol	Citronela, rosa, geranio	(S)-(-)-	Floral, a rosa	40-50
		(R)-(+)-	A citronela, nota irritante	50
α -Ionona	Rosa, violetas, caléndula	(R)-(+)-(E)-	A violeta, frutal, olor a mora	0.03-328
		(S)-(-)-(E)-	A madera, a cedro, con olor a mora	0.1-656
α -Damascona	Rosa	(R)-(+)-(E)-	A pétalos de rosa, notas de manzana	100
		(S)-(-)-(E)-	Floral, a pétalos de rosa, fresco, verde	1.5

Fuente: Tomado de la página Web de Leffingwell & Associates. <http://www.leffingwell.com/chirality/chirality.htm>. Fecha de consulta: 18/09/09.

Aunque los aceites esenciales poseen un volumen métrico de producción anual relativamente pequeño en comparación con el petróleo o gas natural, aceites vegetales, biocombustibles, polímeros y fertilizantes, etc., estos productos gozan, empero, de un valor agregado muy alto. Son mezclas volátiles, que correctamente almacenadas, prácticamente no tienen "fecha de caducidad". La diversidad química y sensorial de los aceites esenciales está estrechamente relacionada con la biodiversidad de

las especies vegetales aromáticas de las cuales provienen; éstos pueden ser árboles, arbustos o hierbas, que pertenecen a diferentes familias botánicas, géneros y especies [3,47,48]. En la Tabla 1-4 se resume la información sobre las plantas aromáticas (de cultivos industriales) y las familias botánicas a las cuales pertenecen; son especies de las cuales se aíslan las esencias que más se comercializan en el mundo. En Colombia, muchas de las plantas aromáticas son introducidas de Asia, África o Australia, pero



la mayoría, las más tradicionales, conocidas y usadas, muy comunes y -desde hace muchos años naturalizadas-, provienen de la región Mediterránea (Tabla 1-5).

Tabla 1-4. Algunas plantas aromáticas de cultivos industriales, pertenecientes a diferentes familias botánicas [3,47,48].

Familia botánica	Breve descripción de la familia	Algunas plantas aromáticas
Annonaceae	Las Anonáceas constan de 130 géneros con unas 2300 especies que se distribuyen por los trópicos del Nuevo y Viejo Mundo, hasta el norte de Australia y las islas del Pacífico.	Ylang-ylang (<i>Cananga</i>)
Apiaceae (Umbelliferae)	La familia Apiaceae (Umbelíferas) comprende unos 400 géneros y entre 2.500 y 3.000 especies de distribución cosmopolita. Tiene cierta importancia económica por algunas plantas comestibles (zanahoria, apio, etc.), productoras de especias, sustancias tóxicas (<i>cicuta</i>) o para la industria de la perfumería.	Anís, cilantro, coriandro, comino, eneldo, hinojo, perejil, zanahoria
Asteraceae (Compositae)	Las Asteráceas, también denominadas Compuestas, reúnen más de 23.000 especies por lo que son la familia de Angiospermas con mayor riqueza y diversidad biológica. Los miembros de esta familia se distribuyen desde las regiones polares hasta los trópicos. En muchas regiones del mundo las Compuestas llegan a integrar hasta el 10% de la flora vernácula.	Davana, manzanilla, árnica, artemisia, estragón (tarragón), tagetes, ajeno, tanaceto
Cupressaceae	Las Cupresáceas son la familia de los cipreses. Son árboles o arbustos perennifolios, monoicos o dioicos, resiníferos. Familia cosmopolita integrada por unas 130-140 especies. Ampliamente utilizada en jardinería.	Ciprés, <i>Juniperus sp.</i>
Geraniaceae	La de las Geraniáceas es una familia de hierbas o subarborescentes, comprende unas 700 especies de países templados y subtropicales, sobre todo de África del Sur y de la región Mediterránea.	Geranio, <i>zdravetz</i>
Gramineae (Poaceae)	Las Gramíneas son una familia de plantas herbáceas, o muy raramente leñosas, con más de 670 géneros y cerca de 10.000 especies descritas, las Gramíneas son la cuarta familia con mayor riqueza de especies luego de las Compuestas, las Orquídeas y las Leguminosas.	Citronela, limoncillo, limonaria, palmarrosa, vetiver
Lamiaceae (Labiatae)	Las Lamiáceas son una familia que comprende unos 210 géneros y alrededor de 3.500 especies. Son hierbas perennes, algunos subarborescentes y raramente árboles o trepadoras, que contienen aceites esenciales en todas las partes de la planta.	Salvia, albahaca, lavanda, lavandina, mentas, patchouli, romero, orégano, tomillo, mejorana
Lauraceae	Las Lauráceas son una familia de Angiospermas del orden Laurales. Consta de 55 géneros con unas 3500 especies, que se distribuyen por los trópicos del Viejo y Nuevo Mundo, y algunas de sus zonas templadas.	Canelo, alcanforero, cassia, safrán, laurel, <i>Ocotea sp.</i> , <i>Litsea cubeba</i>
Leguminosae (Fabaceae)	Las Fabáceas o Leguminosas son una familia de árboles, arbustos y hierbas perennes o anuales. Es una familia de distribución cosmopolita con aproximadamente 730 géneros y unas 19.400 especies, lo que la convierte en la tercera familia con mayor riqueza de especies luego de las Compuestas y las Orquídeas. Se ha estimado que alrededor del 16% de todas las especies arbóreas en los bosques lluviosos y secos neotropicales son miembros de esta familia.	Copaiba, bálsamo de Perú, bálsamo de Tolú, cabreuva, mimosa.



Liliaceae	Las Liliáceas son una familia de plantas monocotiledóneas perennes, herbáceas, con frecuencia bulbosas, que pueden ser reconocidas por sus flores bastante grandes; consta de cerca de 16 géneros y 600 especies. Se hallan ampliamente distribuidas por todo el mundo, principalmente en regiones templadas del Hemisferio Norte.	Cebolla, ajo, <i>Lirio del Valle</i>
Magnoliaceae	Las Magnoliáceas son una familia de Angiospermas del Orden Magnoliales. Consta de 2 géneros con unas 184 especies, que se distribuyen por Asia tropical y templada y América boreal y meridional.	Anís estrella, magnolia
Myristicaceae	Las Miristicáceas son una familia de Angiospermas del Orden Magnoliales. Consta de 20 géneros con unas 500 especies, que se distribuyen por los trópicos del Viejo y Nuevo Mundo.	Nuez moscada
Myrtaceae	Las Mirtáceas son una familia de árboles o arbustos perennifolios, ricos en aceites esenciales. Alrededor de 130 géneros y unas 2.900 especies de regiones tropicales y subtropicales, algunas en Europa.	Clavo, eucalipto, mirto, árbol de té
Oleaceae	La familia de las Oleáceas comprende 24 géneros de plantas leñosas, incluidos arbustos, árboles y vides. Muchos de los miembros de esta familia son económicamente importantes, como el olivo; los Fresnos, del género <i>Fraxinus</i> , son valiosos por su madera y las <i>Forsthias</i> , lilas, jazmines y el árbol de Flecos, <i>Chionanthus</i> , se valoran como plantas paisajísticas.	Jazmín
Pinaceae	Las Pináceas, es una familia de plantas del orden <i>Pinales</i> que incluye muchas de las coníferas más conocidas por su importancia comercial, como cedros, abetos, tsugas, alerces, pinos y piceas. Es la mayor familia en diversidad de especies, entre 220-250 distribuidas en 11 géneros y la segunda más grande (después de Cupressaceae) en extensión geográfica. Habita la mayor parte del hemisferio Norte, vegetando la mayoría de las especies en climas fríos y templados, aunque se extiende desde la región subártica hasta la tropical.	Pinos, abetos, cedros
Piperaceae	Las Piperáceas son una familia de Angiospermas del Orden Piperales. Consta de 6 géneros y unas 3000 especies, que se distribuyen por las regiones tropicales del planeta. Los miembros de esta familia son plantas adaptadas a las condiciones de vida en los trópicos y subtropicos, fundamentalmente en las selvas, en lugares umbríos, a veces como epífitas, otras veces como oportunistas en zonas clareadas para carreteras o pastizales.	Pimienta, <i>Piper nigrum</i> , <i>Piper cubeba</i> , <i>Piper angustifolium</i>
Rosaceae	Las Rosáceas es una familia de plantas (y árboles) del orden <i>Rosales</i> . Es una de las familias más importantes, por su jerarquía económica, y su amplia distribución (cosmopolita). La familia Rosaceae incluye la mayor parte de las especies de frutas de consumo masivo: manzana, pera, durazno, ciruela, cereza, almendra, fresa, zarzamora, fram-buesa, etc. También incluye muchas especies ornamentales, e.g., las rosas, flores por excelencia. La familia de las Rosáceas es grande, con unos 100 géneros, en los que se reparten alrededor de 3000 especies, cuya distribución es casi mundial, originarias sobre todo de las regiones templadas y subtropicales del hemisferio boreal.	Rosa
Rutaceae	Rutaceae es una familia del orden Geraniales con alrededor de 160 géneros y 1600 especies; la mayoría se encuentra en países tropicales y subtropicales.	Ruda, <i>Cítricos</i> : naranja, limón, lima, mandarina, bergamota, <i>grapefruit</i>
Santalaceae	Santalaceae es una familia de plantas herbáceas o leñosas, siempre hemiparásitas, con haustorios en las raíces de los huéspedes. Unas 450 especies de países cálidos y templados.	Sándalo



Verbenaceae	Las Verbenáceas es una amplia familia de plantas, principalmente tropicales, de árboles, arbustos y hierbas. Consta de alrededor de 90 géneros y 2.000 especies, distribuidas principalmente en los trópicos y subtrópicos y algunas otras en zonas templadas. Son plantas de interés económico, pues proporcionan maderas, aceites o frutos comestibles. Muchas especies son de gran valor ornamental y se utilizan en jardinería, y algunas de ellas tienen propiedades medicinales.	Verbena, cidrón, orégano mexicano
Zingiberaceae	Las Zingiberáceas cuentan con más de mil especies en 50 géneros. Muchas especies de las Zingiberáceas tienen valor etnobotánico, sea como especias u ornamentales. Son plantas de clima tropical, y están presentes en buena parte de las regiones ecuatoriales del mundo; la mayor concentración y diversidad se encuentra en el sudeste asiático, especialmente, Indomalasia. Principalmente se encuentran en hábitats debajo de la canopia de los bosques, sombreados a semi-sombreados, ocasionalmente en tierras húmedas.	Cardamomo, jengibre, cúrcuma

Tabla 1-5. Origen geográfico de algunas plantas aromáticas, materia prima para la obtención de aceites esenciales comerciales [11,44–49].

Procedencia	Algunas plantas aromáticas comerciales
Asia	Ylang-ylang, citronela, palmarrosa, vetiver, patchoulí, alcanforero, canelo, clavo, cítricos, cardamomo, jengibre.
Australia y Oceanía	Eucalipto, Árbol de té (<i>Melaleuca sp.</i>)
África	Geranio y buchu (Suráfrica). Mirra e incienso (Norte de África)
Nuevo Mundo	Lináloe, cidrón, orégano mexicano, vainilla, bálsamos de Tolú, de Perú, copaiba, <i>Ocotea sp.</i> , sasafrás, ají, palo de rosa.
Mediterráneo	Manzanilla, salvia, albahaca, lavanda, mentas, romero, anís, alcaravea, laurel, mirto, tomillo, mejorana, hisopo, angélica.
Cosmopolitas	Apio, rosa, anís, alcaravea, coriandro, comino, eneldo, jazmín (Eurasia y región Mediterránea).



En conclusión, los aceites esenciales son productos agro-industriales, forestales no maderables, muy especiales, con alto valor agregado, cuya principal característica distintiva es su fragancia, un olor intenso y muy particular para cada aceite, que depende tanto del tipo de la planta de la cual se extrae, como de la composición química, que puede ser variable y es muy compleja. El olor del aceite esencial es una combinación única de

múltiples notas fragantes de sus componentes, que tienen distintos olores con muy diferentes umbrales de percepción; a menudo, un componente presente a nivel de trazas, con muy bajo umbral de percepción, puede contribuir mucho más a la fragancia total, que un compuesto mayoritario en el aceite. Las esencias se extraen de plantas que se cultivan generalmente en climas tropicales y sub-tropicales; en algunos países (Madagascar, Indo-



nesia, Islas Comores), los cultivos de plantas aromáticas y la industria de aceites esenciales presentan una apreciable contribución a su PIB. Aunque se conocen alrededor de 3000 aceites esenciales, descritos en la literatura científica [46], sólo *ca.* 250 se comercializan mundialmente en cantidades apreciables y tienen cultivos a mediana y gran escalas. La

producción y demanda de los aceites esenciales fluctúan en el tiempo y según el país, dependen de la situación económica regional y global, empero, las esencias jamás dejarán de ser altamentepreciadas, con constante necesidad y creciente demanda por muchas industrias que las consumen.

REFERENCIAS

- [1]. N.A. Dudareva, E. Pichersky (Eds). *Biology of Floral Scent*. CRC Press, Taylor & Francis Group, Boca Ratón, FL, 2006, 346 p.
- [2]. P. Joliet. *Interrelation between Insects and Plants*. CRC Press, Boca Ratón, FL, 1998, 309 p.
- [3]. E. Guenter. *The Essential Oils*. Vols. I–VI. Robert E. Krieger Publishing Company, Malabar, FL, 1948 - 1952.
- [4]. NIIR Board (Eds). *The Complete Technology Book of Essential Oils (Aromatic Chemicals)*. Asia Pacific Business Press Inc., Delhi, India, 2000, 628 p.
- [5]. EIRI Board of Consultants & Engineers (Eds.). *Handbook of Essential Oils Manufacturing & Aromatic Plants*. Engineers India Research Institute, Delhi, India, 2005, 307 p.
- [6]. EIRI Board of Consultants & Engineers (Eds.). *Essential Oils Processes & Formulations*. Handbook. Engineers India Research Institute, Delhi, India, 2006, 250 p.
- [7]. D. Pajaujis Anonis. *Flower Oils and Floral Compounds in Perfumery*. Allured Publishing Corp., Carol Stream, IL, 1993, 257 p.
- [8]. R. A. Halberstein. *Medicinal Plants: Historical and Cross-Cultural Usage Patterns*. *Ann. Epidemiol.*, 2005, **15** (9), 686 – 699.
- [9]. R. R. Calkin, J. S. Jellinek. *Perfumery. Practice and Principles*. John Wiley & Sons, Inc., New York, 1994, 287 p.
- [10]. C. S. Sell. *A Fragrant Introduction to Terpenoid Chemistry*, RSC, Cambridge, UK, 2003, 410 p.
- [11]. A. Bandoni (Ed.) *Los recursos vegetales aromáticos en Latinoamérica. Su aprovechamiento industrial para la producción de aromas y sabores*. CYTED. Subprograma IV. Proyecto IV.6. Universidad Nacional de la Plata, La Plata, Argentina, 2000, 410 p.
- [12]. A. Y. Leung, S. Foster. *Encyclopedia of Common Natural Ingredients used in Food, Drugs, and Cosmetics*. 2nd Ed. John Wiley & Sons, Inc., New York, 1996, 649 p.
- [13]. L. Jirovets, G. Buchbauer (Eds.). *Processing, Analysis and Application of Essential Oils*. Har Krishan Bhalla & Sons, Dehradun, India, 2005, 322 p.
- [14]. K. Husnu Can Baser, G. Buchbauer (Eds). *Handbook of Essential Oils: Science, Technology and Applications*. CRC Press, Taylor & Francis Group, Boca Raton, FL, 2009, 824 p.
- [15]. E. F. K. (Tim) Denny. *Field Distillation for Herbaceous Oils*. 3rd Ed. Denny, McKenzie Associates, Lilydale, Tasmania, Australia, 2001, 275 p.
- [16]. H. Sovová, S. A. Aleksovski. *Mathematical Model for Hydrodistillation of Essential Oils*, *Flavour. Frag. J.*, 2006, **21**, 881 – 889.
- [17]. V. A. Parthasarathy, B. Chempakam, T. J. Zachariah., *Chemistry of Spices*. CABI, Oxfordshire, 2008, 445 p.
- [18]. H. Ziegler (Ed.). *Flavorings*. Wiley-VCH Verlag, Weinheim, 2007, 828 p.



- [19]. A. Husain. Essential Oil Plants and their Cultivation. Central Institute of Medicinal and Aromatic Plants. Lucknow, India, 1994, 292 p.
- [20]. E. J. Bowles. The Chemistry of Aromatherapeutic Oils. 3rd Ed. Allen & Unwin, Crows Nest, Australia, 2003, 236 p.
- [21]. G. Ohloff. Scent and Fragrances. The Fascination of Odors and their Chemical Perspectives. Springer-Verlag, Berlin, 1994, 238 p.
- [22]. S. Arctander. Perfume and Flavor Materials of Natural Origin. Allured Publishing Corp., Carol Stream, IL, 1994, 736 p.
- [23]. H. García Barriga. Flora Medicinal de Colombia. Botánica Médica. I – III Vols. 2^a Ed. Tercer Mundo Editores, Bogotá, 1992.
- [24]. M. P. Gupta (Ed.). Plantas Medicinales Iberoamericanas. CYTED. Convenio Andrés Bello (CAB), Bogotá, Colombia, 2008, 1003 p.
- [25]. J. A. Duke, M. Jo Bogenschulz-Godwin, A. R. Ottesen. Duke's Handbook of Medicinal Plants of Latin America. CRC Press, Taylor & Francis Group, Boca Raton, FL, 2009, 901 p.
- [26]. W. H. Lewis, M. P. F. Elvin-Lewis. Medicinal Botany. Plants Affecting Human Health. 2nd Ed. John Wiley & Sons, Inc., 2003, 812 p.
- [27]. H. Itokawa, S. L. Morris-Natschke, T. Akiyama, K. H. Lee. Plant-derived natural product research aimed at new drug discovery. *J. Nat. Med.*, 2008, 62, 263-280.
- [28]. M. Lahlou. Methods to Study the Phytochemistry and Bioactivity of Essential Oils (Review). *Phytother. Res.*, 2004, 18, 435-448.
- [29]. B. M. Lawrence (Ed.). The Antimicrobial/Biological Activity of Essential Oils. Allured Publishing Corp., Carol Stream, IL, 2005, 504 p.
- [30]. P. B. Kaufman, L.J. Cseke, S. Warber, J. A. Duke, H. L. Brielmann. Natural Products from Plants. CRC Press, Boca Raton, FL, 1999, 343 p.
- [31]. M. Ya. Lovkova, G. N. Buzuk, S. M. Sokolova, N. I. Kliment'eva. Chemical Features of Medical Plants (Review). *Appl. Biochem. Microbiol.*, 2001, 37 (3), 229-237.
- [32]. R. H. Thomson (Ed.). The Chemistry of Natural Products. 2nd Ed. Blackie Academic & Professional, London, 1993, 453 p.
- [33]. A. Pengelly. The Constituents of Medicinal Plants. An Introduction to the Chemistry & Therapeutics of Herbal Medicines. 2nd Ed. Sunflower Herbals, Glebe, Australia, 1996, 109 p.
- [34]. J. Mann, R. S. Davidson, J. B. Hobbs, D. V. Banthorpe, J. B. Harborne. Natural Products: Their Chemistry and Biological Significance. Longman Scientific & Technical, Harlow, UK, 1994, 455 p.
- [35]. D. Gümbel. Aceites esenciales y aromaterapia. 2^{da} Ed. Integral, Barcelona, 96 p.
- [36]. A. C. Dweck. The Internal and External Use of Medicinal Plants. *Clin. Dermatol.*, 2009, 27, 148-158.
- [37]. J. B. Harborne, H. Baxter (Eds.). Phytochemistry Dictionary. A Handbook of Bioactive Compounds from Plants. Taylor & Francis, London, 1993, 791 p.
- [38]. L. Jirovetz, N. X. Dung, V. K. Varshney (Eds.). Aromatic Plants from Asia: Their Chemistry and Application in Food and Therapy. Har Krishan Bhalla & Sons, India, 2007, 263 p.
- [39]. L. Germosén-Robineau (Ed.). Farmacopea Vegetal Caribeña. TRAMIL, Ed. Universitaria, UNAN, Leon, 2005, 486 p.
- [40]. K. Vasisht, V. Kumar (Eds.). Medicinal Plants and their Utilization. ICS-UNIDO. International Centre for Science and High Technology, Trieste, Italy, 2003, 237 p.
- [41]. J. Lawless. The Illustrated Encyclopedia of Essential Oils. The Complete Guide to the Use of Oils in Aromatherapy and Herbalism. Barnes & Noble Books, London, 1995, 256 p.
- [42]. L. T. Melgar V. Guía de las plantas que curan. Editorial Libsa, Madrid, 2008, 312 p.
- [43]. E. Carreño de Linares. Plantas aromáticas en la salud, la cocina y la belleza. Planeta, Bogotá, 1996, 246 p.
- [44]. A. Arieff, B. Burkhart. SPA. Taschen, Barcelona, 2005, 279 p.
- [45]. A. L. Bandoni, M. P. Czepak (Eds.). Os recursos vegetais aromáticos no Brasil: seu aproveitamento industrial para a produção de aromas e sabres. Edufes, Vitória, 2008, 624 p.



- [46]. B. M. Lawrence. Essential Oils. Progress in Essential Oils. 1979–1980, 1981–1987, 1988–1991, 1992–1994, 1995–2000, 2001–2004, 2005–2007. Allured Publishing Corp., Carol Stream, IL, 2008.
- [47]. F. Muñoz. Plantas medicinales y aromáticas: Estudio, Cultivo y Procesado. Ediciones Mundi-Prensa, Madrid, 1987, 365 p.
- [48]. E. A. Weiss. Essential Oil Crops. CAB International, New York, 1997, 600 p.
- [49]. J. Burillo A. (Ed.). Investigación y experimentación de plantas aromáticas y medicinales en Aragón: Cultivo, transformación y analítica. Gobierno de Aragón, Departamento de Agricultura, Zaragoza, 2006, 262 p.
- [50]. C. Wiart. Medicinal Plants of Asia and the Pacific. CRC, Taylor & Francis Group, Boca Raton, FL, 2006, 306 p.
- [51]. K. Vasisht, V. Kumar (Eds.). Compendium of Medicinal and Aromatic Plants. Africa. ICS-UNIDO, Trieste, Italy, 2004, 124 p.
- [52]. M. R. Rao, M. C. Palada, B. N. Becker. Medicinal and aromatic plants in agroforestry systems. *Agroforest. Syst.*, 2004, 61, 107-122.
- [53]. R. Mittal, S. P. Singh. Shifting from agriculture to agribusiness: The case of aromatic plants. *Agric. Econ. Res. Rev.*, 2007, 20, 541-550.
- [54]. A. C. Figueiredo, J. G. Barroso, L.G. Pedro, J. J. C. Scheffer. Factor affecting secondary metabolite production in plants: volatile components and essential oils. *Flavour Fragr. J.*, 2008, 23, 213-226.
- [55]. International Trade Centre. UNCTAD/WTD. Market News Service. Essential Oil and Oleoresins. Bulletin MNS, June, 2009.
- [56]. S. van Toller, G. H. Dodd (Eds.). Perfumery. The Psychology and Biology of Fragrance. Chapman & Hall, London, 1994, 268 p.
- [57]. R. Tisserand, T. Balacs. Essential Oil Safety. A Guide for Health Care Professionals. Churchill Livingstone, Edinburgh, 1995, 279 p.
- [58]. 2009 Flavor & Fragrance Leaderboard, *Perfumer & Flavorist*, 2009, 34 (8), 26-34.
- [59]. A. Akhila. Essential Oil-Bearing Grasses. Medicinal and aromatic plants – industrial profiles. V. 46. The Genus Cymbopogon. CRC Press, Taylor & Francis Group, Boca Raton, FL, 2009, 245 p.
- [60]. P. Z. Bedoukian. Perfumery & Flavoring Materials. 50 Years of Annual Review Articles 1945-1994. Allured Publishing Corp., Carol Stream, IL, 1995, 680 p.
- [61]. S. Burt. Essential oils: their antibacterial properties and potential applications in food – a review. *Int. J. Food Microbiol.*, 2004, 94, 223-253.
- [62]. R. G. Berger. Flavours and Fragrances: Chemistry, Bioprocessing and Sustainability. Springer-Verlag, Berlin-Heidelberg, 2007, 648 p.
- [63]. R. J. Fonnegra-Gómez, H. Botero-Restrepo. Plantas mágico-religiosas: Historia, mitos y leyendas. Vol. 141. CAA, IDEA, Medellín, 2006, 232 p.
- [64]. R. Fonnegra-Gómez, S. L. Jiménez R. Plantas medicinales aprobadas en Colombia. 2ª Ed. Ed. Universidad de Antioquia, Medellín, 2006, 370 p.
- [65]. S. Blair-Trujillo, B. Madrigal. Plantas antimaláricas de Tumaco. Costa Pacífica colombiana. Ed. Universidad de Antioquia, Medellín, 2005, 329 p.
- [66]. Vademécum colombiano de plantas medicinales. Ministerio de Protección Social, República de Colombia. Bogotá, 2008, 246 p.





CAPÍTULO II

Biodiversidad y Biocomercio



BIODIVERSIDAD Y BIOCOMERCIO



or la *biodiversidad* se entiende la variabilidad de organismos vivos de cualquier fuente, incluidos, entre otras cosas, los ecosistemas terrestres y marinos y otros ecosistemas acuáticos y los complejos ecológicos de los que forman parte; comprende la diversidad dentro de cada especie, entre las especies y de los ecosistemas (Convenio sobre la Diversidad Biológica, 1992). El concepto de biodiversidad y su manejo deben cumplir con diversos principios, a saber: conservación, uso sostenible, distribución equitativa de beneficios, sostenibilidad socio-económica, cumplimiento de la legislación (por ejemplo, la obtención de los respectivos permisos para acceso a recurso genético y productos derivados, como lo es un aceite esencial), respeto de los derechos de actores (producción y comercio justos, entre otros) y claridad en el derecho de tenencia de la tierra y uso de los recursos, para mencionar los principios más importantes.

Los siguientes son enfoques para el uso sostenible de la biodiversidad:

- (1) Manejo adaptativo
- (2) Cadena de valor
- (3) Enfoque ecosistémico

Las definiciones, los principios y los enfoques para el manejo de la biodiversidad se extienden al estudio, recolección de especies aromáticas y obtención de aceites esenciales a partir de

plantas nativas, introducidas, naturalizadas o asilvestradas. A nivel mundial no hay muchos sitios donde se encuentren más de 5.000 especies de plantas vasculares por 10.000 m², pero entre éstos, figura la Costa Pacífica de Colombia. La biodiversidad es una ventaja comparativa muy grande para Colombia, dada su ventajosa posición geográfica, con salida a dos océanos, Atlántico y Pacífico, una variedad de microclimas y cinturones térmicos en el país andino-amazónico, que gozan de una magnitud de riqueza biológica sin parangón (Tabla 2-1). En América del Sur se destacan varios países por su riqueza biológica, entre ellos, Brasil y Perú. Al comparar *grosso modo* su situación con respecto a Colombia, se puede destacar una gran ventaja comparativa del país, lo cual ubica a Colombia en un primer puesto a nivel latinoamericano y en el mundo, que es por kilómetro cuadrado, el más rico en biodiversidad. Sin embargo, todas las palabras y exclamaciones sobre la inmensa riqueza natural de Colombia son un simple “saludo a la bandera”, si no se traducen en hechos, proyectos de prospección e investigación, y, sobre todo, en aspiraciones productivas, que puedan generar un valor agregado apreciable y un aprovechamiento sostenible de estas ventajas geográfica y biológica, que no existen en la mayoría de los países del mundo.





Tabla 2-1. Diversidad biológica. Número de especies por país.

Grupo	1º Lugar	2º Lugar	3º Lugar	4º Lugar	5º Lugar
Plantas	Brasil 55.000	Colombia 45.000	China 30.000	México 26.000	Australia 25.000
Mamíferos	Brasil 565	Indonesia 515	México 507	Colombia 471	China 410
Aves	Colombia 1.768	Perú 1.678	Brasil 1.635	Ecuador 1.559	Indonesia 1.53
Reptiles	México 707	Australia 597	Indonesia 529	Colombia 475	Brasil 462
Anfibios	Colombia 669	Brasil 516	Ecuador 358	México 282	Indonesia 270

Fuente: Informe del Instituto Alexander von Humboldt, Bogotá, Colombia, 2008.

Es importante anotar que la diversidad vegetal, de familias, géneros y especies de plantas, que pueden también tener varios *quimiotipos*, es una característica sumamente importante, pero no es el único rasgo distintivo de la biodiversidad. Un ejemplo es la planta *Lippia alba* (Fam. Verbenaceae), nativa de Américas Central y del Sur, que posee por lo menos 7 quimiotipos, claramente distinguibles [1] (Figura 2-1). Justamente, cada especie vegetal, cada quimiotipo, es *per se* una sofisticada biofábrica que sintetiza una diversidad (miles) de metabolitos secundarios.





Figura 2-1. Plantas aromáticas de *Lippia alba* (Prontoalivio) de la familia Verbenaceae. **A.** Quimiotipo “Citral” y **B.** Quimiotipo “Carvona”, nombrados así por los componentes mayoritarios de sus aceites esenciales. Complejo Agroindustrial Piloto de CENIVAM, UIS, Bucaramanga. (Fotos: Elena E. Stashenko).

La diversidad vegetal va a la par con la inmensa diversidad química. Los metabolitos secundarios presentan una infinita gama de estructuras químicas, con grupos funcionales muy variados (cetonas, aldehídos, éteres y ésteres, grupos amino, hidroxilo, y, hasta grupo nitro, entre otros), con diferentes tipos de isomería química, *i.e.*, de posición, geométrica, espacial, óptica. Tan solo los terpenos, *i.e.*, los monoterpenos y los sesquiterpenos, constituyentes comunes de los aceites esenciales, poseen más de 3000 diferentes estructuras químicas. La diversidad química, en su turno, condiciona la variedad de las propiedades físico-químicas de las mezclas de metabolitos secundarios (aceites esenciales), su olor característico, y, sobre todo, sus distintas actividades biológicas. Esto hace prácticamente inagotable esa fuente de compuestos bioactivos que constituyen las plantas.

Actualmente, *ca.* 140,000 metabolitos secundarios han sido determinados en plantas, que representan más de 5,750 tipos estructurales [2]. Se presume que en el planeta habitan

alrededor de 300,000 – 320,000 especies vegetales, la mayoría de las cuales aún no ha sido estudiada fitoquímica- y bioquímicamente [3]. Alrededor de 3,000 aceites esenciales de más de 1,000 plantas aromáticas, sus subespecies, variedades, híbridos y quimiotipos, han sido estudiados y, de ellos, *ca.* 250 aceites esenciales se comercializan, son caracterizados, poseen posición arancelaria, etc. [4].

Como muestra la Figura 1-6 (Capítulo I), el número de publicaciones en el campo de aceites esenciales, año tras año, aumenta. Crece también el número de aceites esenciales y plantas aromáticas de diferentes regiones del mundo estudiados, siendo la biodiversidad la fuente primordial para la búsqueda de nuevos metabolitos, nuevas especies, nuevos aceites y sus nuevas y diversas aplicaciones. La innovación en el estudio y la tecnología de plantas aromáticas definitivamente se basa en la *biodiversidad* -aún escasamente estudiada en Colombia-, que es una fuente inagotable para aislar nuevas moléculas, extraer nuevas fragancias, aromas, preparar fármacos y ob-



Aceites Esenciales

tener nuevos ingredientes para alimentos, perfumes, cosméticos, productos de aseo y muchos más. Entre las plantas que crecen en Colombia, hay muchas que contienen aceites esenciales. Infortunadamente, hay muy poca información sobre las plantas aromáticas *nativas*, mientras que las más estudiadas y usadas en distintas formas son las especies vegetales aromáticas exógenas, *i.e.*, introducidas a Co-

lombia de la región Mediterránea (albahaca, manzanilla, tomillo, orégano, mentas, mejorana, y muchas otras), de Asia (limonaria, cítricos, citronela, jengibre, cúrcuma, etc.), África (geranio) o de Australia (eucalipto). En la Figura 2-2 aparecen algunas plantas aromáticas cultivadas en el Complejo Industrial Piloto del CENIVAM (UIS, Bucaramanga).



1



2



3



4

Figura 2-2. Algunas plantas aromáticas de interés económico, etnobotánico y comercial: **1.** Ylang-ylang (*Cananga odorata*, Fam. Annonaceae), **2.** Citronela (*Cymbopogon nardus*, Fam. Poaceae), **3.** Romero (*Rosmarinus officinalis*, Fam. Labiatae), **4.** Vetiver (*Vetiveria zizanioides*, Fam. Gramineae), **5.** Estragón de invierno (*Tagetes lucida*, Fam. Compositae), **6.** Jengibre (*Zingiber officinalis*, Fam. Zingiberaceae), **7.** Cardamomo (*Elletaria cardamomum*, Fam. Zingiberaceae), **8.** Espléndida flor de cúrcuma (*Curcuma longa*, Fam. Zingiberaceae), **9.** Ruda (*Ruta graveolens*, Fam. Rutaceae), **10.** Venturosa (*Lantana camara*, Fam. Verbenaceae), cultivadas en el Complejo Industrial Piloto de CENIVAM (UIS, Bucaramanga). (Fotos: Elena E. Stashenko).



5



6



7



8



9



10



En Colombia, el biocomercio está basado en el aprovechamiento de productos clasificados según las cuatro categorías [5], a saber:

- (1) Sistemas agropecuarios sostenibles
- (2) Productos maderables
- (3) Productos no maderables
- (4) Ecoturismo

Al construir *la Cadena Productiva y de Valor de Plantas Medicinales, Aromáticas y Condimentarias* en Colombia, se podrá generar un nuevo bien agrícola (no maderable) con valor añadido, *i.e.*, un “aceite esencial”, que se puede incorporar a la lista de los productos exportables del biocomercio, tales como frutas amazónicas exóticas, mieles, la guadua, fique, cacao, y, por supuesto, los productos estrella, cafés especiales. Pero, la búsqueda y la elaboración de nuevos artículos agrícolas y su producción industrial y sostenible implican el estudio previo de especies aromáticas promisorias, obtención de la información sobre sus metabolitos, propiedades, composición química y, sobre todo, el estudio sobre las factibilidades agrológica y económica de su producción y su mercado, planes de negocio y la comercialización de aceites, derivados y otros productos que los incluyen.

En Colombia, la mayoría de los cultivos industriales, a gran escala, provienen de plantas introducidas durante la conquista española, en el siglo XVI y posteriores. Entre ellos, figuran *e.g.*, café, caña de azúcar, sorgo, arroz, trigo, palma africana, bananos, plátanos, cítricos y otros frutales, entre otros. El Nuevo Mundo entregó también al Viejo Mundo productos de interés económico tan importantes como papa, tomate, maíz, tabaco, batata, frijoles, cacao, vainilla, entre otros. Éstos se volvieron cultivos industriales muy

importantes (maíz, papa, tomate) en Europa o en los Estados Unidos. A pesar de que los pueblos nativos utilizaban una gran variedad de plantas, frutos, raíces y tubérculos endógenos -propios de Sur América-, con propósitos culinarios, medicinales y mágico-religiosos [6], muchas plantas medicinales y, entre ellas, *aromáticas*, han sido exógenas, o sea, se introdujeron al país por los españoles y otros europeos, quienes no conocían la flora nativa y tenían que traer al continente especies con las que ellos estaban familiarizados. Algunos aceites de estas plantas introducidas han sido estudiados en el Laboratorio de Cromatografía del Centro de Investigación en Biomoléculas de la Universidad Industrial de Santander (CIBIMOL, Bucaramanga) y en el Centro de Investigación de Excelencia, CENIVAM (Unión Temporal CENIVAM-Colciencias). Romero, albahaca, tomillo, mentas, manzanilla, hinojo, salvia, cilantro, lavandas, anís [7], orégano [8], mejorana, ruda [9,10], provinieron del Mediterráneo; limonaria, citronela, jengibre, cítricos [11-13], vetiver, ylang-ylang [14-16], patchoulí, cúrcuma, entre otros, fueron introducidos a Colombia de Asia; geranio de África; hoy en día, éstas son plantas muy comunes, totalmente naturalizadas y algunas hasta asilvestradas e hibridadas (Figura 2-2), que se utilizan ampliamente como ornamentales, decorativas, para preparar infusiones (“aromáticas”), pero más que todo, en remedios caseros, medicina popular y en la culinaria.

Sin embargo, las plantas aromáticas nativas, autóctonas, han sido estudiadas muy poco, aunque requieren, probablemente, una mayor atención, no sólo porque algunas son escasas o en peligro de extinción, sino porque su potencial económico puede ser alto, tanto como fuente - aún escasamente explorada-,



de nuevos compuestos bio-activos, como materia prima para la obtención de aceites esenciales, extractos y resinoides con características y propiedades nuevas y con posibles usos innovadores [17-19].

Un Programa Nacional para el Desarrollo de Biotecnología y Agroindustria (Colciencias) en Colombia involucra, entre otros, los estudios sobre plantas aromáticas nativas [17-28], con miras a obtener aceites esenciales y derivados y desarrollar su cultivo tecnificado, que permitiría generar nuevas fuentes de trabajo en el campo y una nueva actividad agrícola - viable también para reemplazar los cultivos de coca y amapola por los de plantas aromáticas de un crecimiento rápido y con posibilidad de varias cosechas al año-, lo que permitiría la obtención de sub-productos de bio-comercio con alto valor agregado. El desarrollo de la industria de aceites esenciales implica estudios no solamente a nivel agronómico y de factibilidad económica y de mercados, sino, en primer lugar, la investigación básica sobre los rendimientos y composiciones químicas de los aceites esenciales, las características organolépticas y sus propiedades biológicas (diferentes actividades). Es así como se han estudiado en el Laboratorio de Cromatografía (CIBIMOL – CENIVAM) algunas plantas tanto introducidas al país [7-16], como varias nativas, entre otras, *Copaifera officinalis* [20], *Spiranthes americana* [21], *Lepechinia schiediana* [22], *Lippia alba* [23], *Xylopia aromatica* [24], *Hyptis umbrosa* [25], *Callistemon speciosus* [26] y *Lippia origanoides* [27], haciendo particular énfasis en el estudio y la comparación de métodos de extracción [9,16,21-24,29,30], análisis de aceites esenciales y fracciones volátiles por cromatografía de gases (GC) con diferentes sistemas de detección [10,21], estudio de transformación catalítica de aceites

[7,12,20] y sobre la actividad biológica de extractos y aceites obtenidos [8,22,23,26-28,31-34].

Dentro de las plantas objeto de estudio de la Unión Temporal-CENIVAM-Colciencias, figuran las especies aromáticas de las familias Verbenaceae, Labiatae (Lamiaceae), Compositae (Asteraceae), Piperaceae, entre otras, básicamente porque dentro de estas familias de plantas se encuentran muchas especies que pueden contener esencias con propiedades antioxidantes y diferentes actividades biológicas. Muchas plantas aromáticas, sobre todo las de la familia Verbenaceae, poseen los llamados *quimiotipos*, o sea, pertenecen a la misma especie, son indistinguibles morfológicamente, pero con diferencias, a veces muy grandes, en su composición, que marcan la variación química y de propiedades físicas y organolépticas de los aceites esenciales obtenidos. Por ejemplo, los estudios sobre “Prontoalivio” (*Lippia alba*) (Figura 2-1) en Colombia muestran que existen tres quimiotipos de esta planta, uno rico en *carvona*, otro en *citral* y, el tercero, recolectado en el Departamento de Arauca, es “mixto”, i.e., tiene ambos, la *carvona* y el *citral*, como compuestos mayoritarios. La recolección de plantas de “Orégano del monte” (*Lippia origanoides*) y la extracción de sus aceites esenciales mostraron que existen tres quimiotipos de esta especie; por sus compuestos mayoritarios, se llaman los quimiotipos “Timol” y “Carvacrol” y el quimiotipo “Felandreno”, que no se ha encontrado en otros países de Sur América (e.g., Venezuela o Brasil). En la Tabla 2-2 aparecen compuestos mayoritarios de los aceites esenciales aislados de cada uno de los tres *quimiotipos* de *Lippia origanoides*, colectados en diferentes regiones del país [27].



Tabla 2-2. Cantidades relativas y promedio (%) de los principales constituyentes de los tres quimiotipos de *Lippia origanoides*.

Compuestos principales (área GC, %)					Cantidad relativa promedio (%)	Rendimiento Aceite esencial (%)
Quimiotipo A (Felandreno)						
α -Felandreno	9.68	7.88	8.49	-	8.7	1.3%
<i>p</i> -Cimeno	10.90	14.15	13.52	-	12.9	
β -Felandreno	6.48	6.31	6.10	-	6.3	
Limoneno	4.56	6.10	5.37	-	5.3	
β -Cariofileno	11.04	8.52	7.33	-	9.0	
Quimiotipo B (Carvacrol)						
α -Terpineno	3.35	3.74	2.72	-	3.3	4.0%
<i>p</i> -Cimeno	11.48	13.88	12.06	-	12.8	
γ -Terpineno	12.52	13.18	9.56	-	11.8	
Timol	14.91	9.26	9.58	-	11.3	
Carvacrol	38.49	36.48	44.33	-	39.8	
Quimiotipo C (Timol)						
β -Mirceno	2.57	4.47	2.83	2.09	3.0	2.8%
<i>p</i> -Cimeno	7.49	11.43	10.13	8.32	9.3	
γ -Terpineno	4.74	6.24	5.08	4.29	5.1	
Timol	61.41	53.55	55.19	57.18	56.8	
β -Cariofileno	3.21	3.16	2.47	1.73	2.6	

Sólo un análisis muy detallado de la composición química de los aceites esenciales, realizado por cromatografía de gases con detectores de ionización en llama (GC-FID, por sus siglas en inglés, *Gas Chromatography – Flame Ionization Detector*) y selectivo de masas (GC-MSD, *Gas Chromatography – Mass Selective Detector*), los estudios de biología molecular en combinación con los métodos estadísticos aplicados, e.g., *Análisis de Componentes Principales* (PCA, por sus siglas en inglés, *Prin-*

cial Component Analysis), permiten hacer correctamente la diferenciación de los quimiotipos, relacionar la actividad biológica de sus aceites con la composición química. Ello, finalmente, ayudará a hacer una selección correcta de la planta *madre* a la hora de su multiplicación, propagación (esquejado) para el establecimiento y el mantenimiento de su cultivo industrial para la obtención de esencias. En la Figura 2-3 aparecen (a) la foto de la planta de “Orégano del monte” (*Lippia ori-*

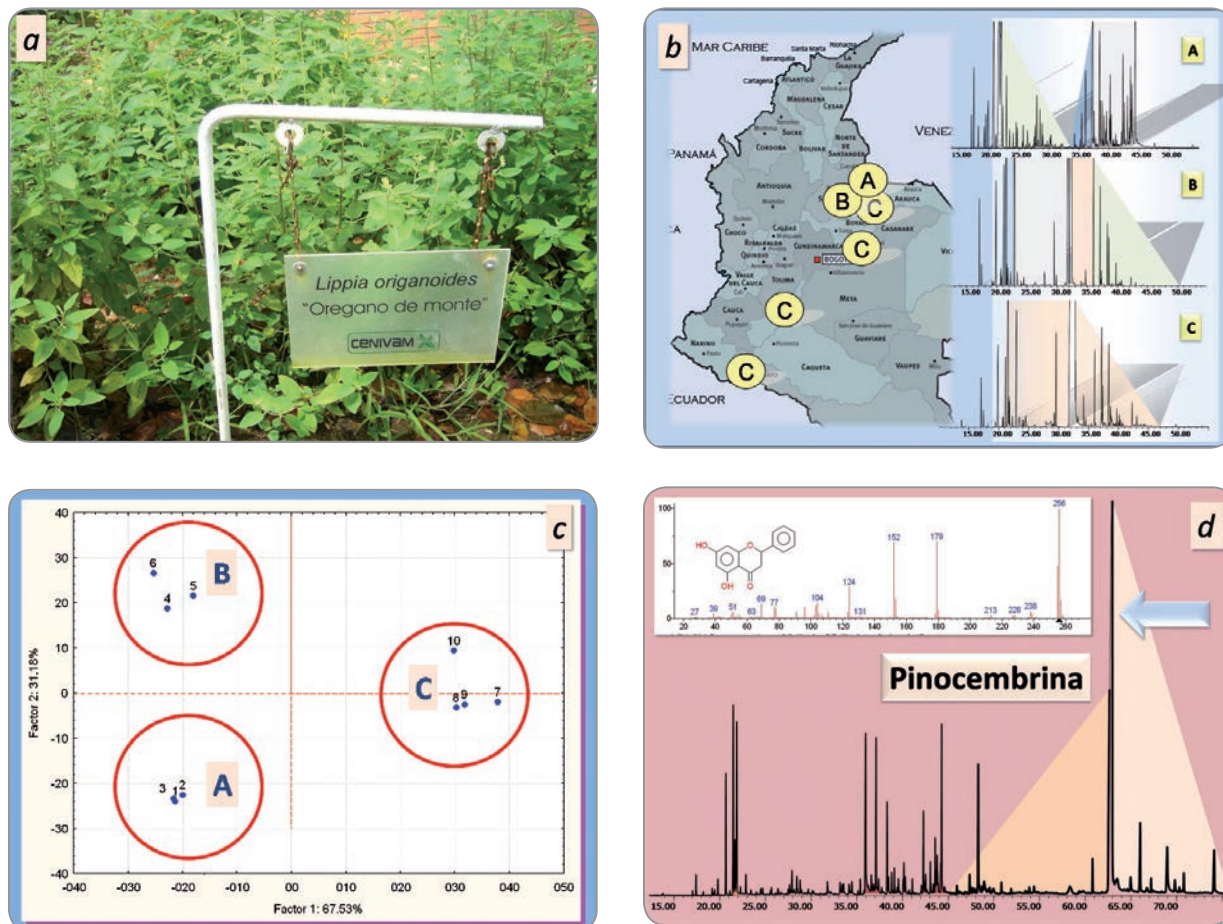


Figura 2-3. a. Planta de *Lippia organoides* (Complejo Industrial Piloto del CENIVAM, UIS, Bucaramanga), b. Regiones en Colombia donde se recolectaron especímenes de *Lippia organoides* y los perfiles cromatográficos típicos por GC-FID (Columna DB-5, 60 m) de los aceites esenciales obtenidos de los tres quimiotipos A ("Felandreno"), B ("Carvacrol") y C ("Timol"), c. Resultados de Análisis de Componentes Principales (PCA) de los 10 aceites esenciales aislados de las plantas de *Lippia organoides* (se observan claramente tres *clusters*) y d. Perfil cromatográfico típico (GC-MSD) del extracto obtenido con fluido supercrítico (CO_2) de las plantas de *Lippia organoides* (quimiotipo A, "Felandreno") y el espectro de masas del compuesto mayoritario, *pinocembrina*.

ganoides), cultivada en el Complejo Agroindustrial Piloto de CENIVAM, (b) las regiones en Colombia, donde se recolectaron diferentes especímenes de la planta en su hábitat natural y los perfiles cromatográficos típicos (GC-FID) de los aceites esenciales aislados de las plantas de tres quimiotipos, llamados (A) "Felandreno", (B) "Carvacrol" y (C) "Timol", junto con (c) el análisis de componentes principales aplicado al estudio comparativo de la

composición química de los aceites esenciales, obtenidos de las plantas, colectadas en diferentes regiones, que permite vislumbrar claramente la existencia de tres *clusters*, que agrupan aceites de acuerdo con la similitud de su composición (componentes), lo que confirma la existencia de tres quimiotipos, y (d) el perfil cromatográfico típico del extracto supercrítico del quimiotipo A y el espectro de masas de la *pinocembrina*, su componen-



te mayoritario. Es interesante anotar, que las plantas pertenecientes a cada uno de estos tres quimiotipos también se diferencian organolépticamente, o sea, huelen distinto, algunas inclusive crecen juntas, tal es el caso de los especímenes encontrados en el Cañón del río Chicamocha (Santander), que pertenecen a los quimiotipos A y C. Sólo en el extracto de *Lippia origanoides* aislado del quimiotipo A ("Felandreno") está presente y se aisló por el método de extracción con fluido supercrítico (SFE, CO₂) una sustancia biológicamente activa, *pinocembrina*, que es una flavanona que se destaca por su altísima actividad antioxidante [36,37], aprovechada en muchos productos comerciales finales (fármacos, nutracéuticos, cosméticos, otros) y tiene muy alto precio en el mercado (1g de la *pinocembrina* en promedio tiene un valor de 3 mil a 5 mil dólares).

Para establecer un cultivo industrial de plantas aromáticas promisorias es sumamente importante estudiar diversos aspectos de su fisiología, rendimientos y composición de aceites esenciales, que dependen de muchísimos factores, tanto genéticos, fenológicos y ontológicos, como también netamente agrícolas (riego, uso de fertilizantes, suelo, zona geográfica, luminosidad), junto con otros aspectos de cultivo (densidad, frecuencia de corte), de cosecha y post-cosecha, tratamientos de pre-extracción y la obtención y el almacenamiento de aceites [35].

El cultivo de plantas aromáticas y la obtención de aceites esenciales son actividades agrícolas que permitirán, entre otros, varios beneficios, a saber:

(1) Utilización más razonable de la tierra,

por ejemplo, a través de cultivos intercalados o combinados (e.g., cacao, café, caucho con plantas aromáticas), lo que puede evitar los problemas del monocultivo.

(2) Generación de nuevas fuentes de trabajo y de ingresos para agricultores.

(3) Obtención de productos de biocomercio con alto valor agregado, con base en la unión de la tecnología (procesos de destilación, refinación) y la actividad netamente agrícola (propagación, cultivo, mantenimiento y cosecha de las plantas aromáticas).

(4) Contribución al desarrollo de la cadena productiva y de valor de plantas medicinales, aromáticas y condimentarias y productos derivados en Colombia, por ejemplo, ingredientes naturales para productos cosméticos y de aseo personal.

Es muy interesante resaltar algunas consideraciones de índole económico-político, y referirse al documento del CONPES (Consejo Nacional de Política Económica y Social, Documento 3582, Bogotá, D.C., 27 de abril de 2009), según el cual, se establecen las siguientes áreas estratégicas para el desarrollo del país, a saber: Energía y recursos naturales; *Biotecnología*; Salud; Materiales y Electrónica; Tecnologías de Información y Comunicaciones; Logística y Diseño y Construcción de Ciudadanía e Inclusión Social. Se enfatiza en la apropiación social de la CTel (Ciencia, Tecnología e Innovación) y se recomienda focalizar esfuerzos en áreas estratégicas a través de la Política Nacional de Competitividad. Las entidades públicas del SNCTel (Sistema Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación) deben acompañar la promoción de sectores



estratégicos de la Política Nacional de Competitividad, en particular, del Programa de *Transformación Productiva* del Ministerio de Comercio, Industria y Turismo, el cual a la fecha ha identificado como áreas prioritarias y de focalización de recursos económicos los siguientes sectores:

1. Servicios tercerizados a distancia
2. *Software* y servicios de tecnología de la información
3. *Cosméticos y artículos de aseo*
4. Turismo de salud
5. Autopartes

6. Energía eléctrica, bienes y servicios conexos
7. Industria de comunicación gráfica
8. Textiles, confecciones, diseño y moda.

En el Centro de Investigación de Excelencia, CENIVAM, se trabaja el esquema de la transformación de materia prima (material vegetal) a productos finales con valor económico añadido (Figura 2-4), a través de la constitución y desarrollo de distintos eslabones de la cadena productiva y de valor para obtención de aceites esenciales y su incorporación en productos finales, *e.g.*, productos cosméticos y de aseo.



Figura 2-4. Cadena de valor en la producción de aceites esenciales para su incorporación en productos cosméticos y de aseo.



Aceites Esenciales

Para el desarrollo, según el documento CONPES, se recomienda la financiación de proyectos de investigación y programas de formación de alto nivel específicos para los sectores o actividades identificadas y priorizados, de tal forma, que se garantice el fortalecimiento de las capacidades de generación y adaptación de conocimiento en dichas actividades. Se apoyarán los desarrollos de alta, media y baja competitividad tecnológica en los cuales se dé la incorporación de valor basado en el conocimiento. La Secretaría Técnica del Comité Técnico Nacional de Biodiversidad y Competitividad reúne sus esfuerzos para priorizar los productos comerciales y con capacidad de exportación, entre los cuales se perfilan cafés especiales, cacao, guadua, mieles, caucho, frutas amazónicas exóticas, flores y follajes, ecoturismo, tintes y colorantes naturales, textiles y fibras naturales e *ingredientes naturales*, entre ellos, *aceites esenciales*. El 29 de mayo de 2009, en Bogotá, D.C. en la sede de la Cámara de Comercio, con participación del Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (MADR) y de la Gobernación de Cundinamarca, fue firmado el Acuerdo Nacional de Competitividad de *la Cadena Productiva de Plantas Aromáticas, Medicinales, Condimentarias y afines*, que formalizó oficialmente la importancia de esta actividad agrícola y avaló las perspectivas de su desarrollo en Colombia.



En resumen, los aceites esenciales como productos de biocomercio *per se*, o como ingredientes en otros productos finales, son de gran relevancia, que justifica la inversión en Colombia, tanto del sector estatal, como del sector privado, en esta rama de la agroindus-

tria, más aún, cuando las tendencias mundiales muestran en el mercado global un potente y sólido crecimiento de más del 10% y del 8% anuales de las industrias de aceites esenciales y de sabores y fragancias. Entre “nuevas” y rápidamente crecientes aplicaciones de aceites esenciales figuran sus usos como ingredientes en “*fitocosméticos*”, donde su contenido puede llegar al 1%, y en los llamados “*cosmecéuticos*”, en que se aprovechan no solamente sus propiedades sensoriales, sino las actividades biológicas, *e.g.*, antioxidante y antimicrobiana (manzanilla, romero, salvia, caléndula, árbol de té, otros). Entre otras interesantes aplicaciones de los aceites esenciales en artículos de biocomercio, figura su uso en pesticidas naturales, como repelentes de insectos, en mezclas para el control de plagas e insectos en productos agrícolas almacenados, granos y alimentos (tomillo, orégano, hinojo, cítricos), en drogas veterinarias para control de parásitos, en los preparados herbicidas “amigables” con el ambiente, por ejemplo, para controlar la maleza en diferentes cultivos. En general, los aceites esenciales como aleloquímicos pueden encontrar amplio uso en muy diversos productos. Sin embargo, el éxito del biocomercio, basado, entre otras ramas, en el fortalecimiento de la cadena productiva de aceites esenciales, es *una combinación óptima y necesaria de diferentes factores*, entre los cuales figuran el clima, los recursos hídricos y suelos, la eficiencia de los programas de investigación y educación rural, la capacidad de inversión e innovación, la creación de una infraestructura rural que garantice costos de producción competitivos, centros de acopio y el establecimiento de relaciones dinámicas y sólidas con el sector industrial y de exportación (empresas comercializadoras, *brokers*, etc.), entre algunos otros factores socio-económicos y políticos.



REFERENCIAS

- [1]. T. Hennebelle, S. Sahpaz, C. Dermont, H. Joseph, F. Bailleul. The essential oil of *Lippia alba*: analysis of samples from French overseas departments and review of previous works. *Chem. Biodivers.*, 2006, 3 (10), 1116-25.
- [2]. G. A. Cordell, M. L. Quinn-Beattie, N. R. Farnsworth. The potential of alkaloids in drug discovery. *Phytother. Res.* 2001, 15, 183-205.
- [3]. G. T. Prance, H. Beentje, J. Dransfield, R. Johns. The tropical flora remains undercollected. *Ann. Missouri Bot. Gard.* 2000, 87, 67-71.
- [4]. B. M. Lawrence. Essential Oils. Progress in Essential Oils. 1979-1980, 1981-1987, 1988-1991, 1992-1994, 1995-2000, 2001-2004, 2005-2007. Allured Publishing Corp., Carol Stream, IL, 2008.
- [5]. www.fondobiocomercio.com
- [6]. V. M. Patiño. Historia de la cultura material en la América Equinoccial. Tomo I. Alimentación y alimentos. Instituto Caro y Cuervo, Biblioteca "Ezequiel Uricoechea". Bogotá, 1990, 346 p.
- [7]. E. E. Stashenko, C. R. Martínez, J. R. Martínez, and T. Shibamoto. Catalytic transformation of anis oil (*Pimpinella anisum* L.) over zeolite Y. *J. High Resolut. Chromatogr.*, 1995, 18 (8), 501-503.
- [8]. M. Puertas-Mejía, S. Hillebrand, E. Stashenko, and P. Winterhalter. *In Vitro* radical scavenging activity of essential oils from Colombian plants and fractions from Oregano (*Origanum vulgare* L.) essential oil. *Flavour Fragr. J.*, 2002, 17, 380-384.
- [9]. E. E. Stashenko, R. Acosta and J. R. Martínez. High-resolution gas chromatographic analysis of the secondary metabolites obtained by subcritical fluid extraction from Colombian rue (*Ruta graveolens* L.). *J. Biochem. Biophys. Methods*, 2000, 43, 379-390.
- [10]. E. E. Stashenko, H. Villa D. and M. Y. Combariza. Study of compositional variation in Colombian rue oil (*Ruta graveolens*) by HRGC using different detection systems. *J. Microcolumn Sep.*, 1995, 7 (2), 117-122.
- [11]. M. Y. Combariza, C. Blanco T., E. E. Stashenko, and T. Shibamoto. Limonene concentration in Lemon (*Citrus volkameriana*) peel oil as a function of ripeness. *J. High Resolut. Chromatogr.*, 1994, 17 (9), 643-646.
- [12]. E. E. Stashenko, J.R. Martínez, E. Pinzón, and J. Ramírez. Changes in chemical composition of catalytically hydrogenated orange oil (*Citrus sinensis*). *J. Chromatogr. A*, 1996, 752, 217-222.
- [13]. C. Blanco, E. E. Stashenko, M. Yajaira Combariza, and J.R. Martínez. Comparative study of Colombian citrus oils by high resolution gas chromatography and gas chromatography-mass spectrometry. *J. Chromatogr. A.*, 1995, 697, 501-513.
- [14]. E. E. Stashenko, J.R. Martínez, Carlos Macku, and T. Shibamoto. HRGC and GC-MS analysis of essential oil from Colombian ylang-ylang (*Cananga odorata* Hook Fil. et Thomson, forma *genuina*). *J. High Resolut. Chromatogr.* 1993, 16 (7), 441-444.
- [15]. E. E. Stashenko, W. Torres and J.R. Martínez. A Study of compositional variation in the essential oil of ylang-ylang (*Cananga odorata* Hook. Fil. et Thomson, forma *genuina*) during flower development. *J. High Resolut. Chromatogr.* 1995, 18 (2), 101-104.
- [16]. E. E. Stashenko, N. Quiroz - Prada and J. R. Martínez. HRGC/FID/NPD and HRGC/MSD study of Colombian ylang-ylang (*Cananga odorata*) oils obtained by different extraction techniques. *J. High Resolut. Chromatogr.* 1996, 19 (6), 353-358.
- [17]. García-Barriga, H.G., Flora Medicinal de Colombia, Botánica Médica. Vols. I – III. Tercer Mundo, Bogotá, 1992.
- [18]. Correa, J.E., Bernal, H.Y. Especies Vegetales Promisorias de los Países del Convenio Andrés Bello. Editorial Guadalupe, Bogotá, 1989.



- [19]. Gupta, M.P. (Ed.). 270 Plantas Medicinales Iberoamericanas. CYTED-SECAB, Presencia, Bogotá, 1995, 517 p.
- [20]. E. E. Stashenko, H. Wiame, S. Dassy, J. R. Martínez, and T. Shibamoto. Catalytic transformation of Copaiba oil (*Copaifera officinalis*) over zeolite ZSM-5. *J. High Resolut. Chromatogr.*, 1995, 18 (1), 54-58.
- [21]. E. E. Stashenko, M. A. Puertas and M. Y. Combariza. Volatile secondary metabolites from *Spilanthes americana* obtained by simultaneous steam distillation-solvent extraction and supercritical fluid extraction. *J. Chromatogr. A.*, 1996, 752, 223-232.
- [22]. E. E. Stashenko, M. Cervantes, Y. Combariza, and J. R. Martínez. HRGC-FID-MSD analysis of the secondary metabolites obtained by different extraction methods from *Lepechinia schiedeana*, and evaluation of its antioxidant activity *in vitro*. *J. High Resolut. Chromatogr.*, 1999, 22 (6), 343-349.
- [23]. E. E. Stashenko, B. E. Jaramillo, and J. R. Martínez. HRGC/FID/MSD Analysis of volatile secondary metabolites from *Lippia alba* (Mill.) N.E. Brown grown in Colombia and evaluation of their *in vitro* antioxidant activity. *J. Chromatogr. A.*, 2004, 1025, 99-103.
- [24]. E. E. Stashenko, J. R. Martínez and E. Jaramillo. Analysis of volatile secondary metabolites from Colombian *Xylopia aromatica* (Lamarck) by different extraction and headspace methods and gas chromatography. *J. Chromatogr. A.*, 2004, 1025, 105-113.
- [25]. N. Quintero Chacón, González de Colmenares y E. E. Stashenko. Aceite esencial de las hojas de *Hyptis umbrosa* Salzm extraído por diferentes técnicas. *Acta Científica Venezolana*. 2004, 55, 181-187.
- [26]. J. Güette-Fernández, J. Olivero-Verbel, I. O'Byrne-Hoyos, B. Jaramillo, and E. E. Stashenko. Chemical composition and toxicity against *Artemia franciscana* of the essential oil of *Callistemon speciosus* (Sims) DC., collected in Bogota (Colombia). *J. Essen. Oil Res.*, 2008, 20 (3), 272-275.
- [27]. E. E. Stashenko, C. Ruíz, A. Muñoz, M. Castañeda, and J. Martínez. Composition and antioxidant activity of essential oils of *Lippia origanoides* H.B.K. grown in Colombia. *Nat. Prod. Commun.*, 2008, 3 (4), 563-566.
- [28]. J. Olivero-Verbel, J. Guette-Fernández, E. E. Stashenko. Acute toxicity against *Artemia franciscana* of essential oils isolated from plants of the genus *Lippia* and *Piper* collected in Colombia. *BLACPMA*, 2009, 8 (5), 1-10.
- [29]. E. E. Stashenko and J. R. Martínez. Sampling volatile compounds from natural products with headspace/solid-phase micro-extraction. *J. Biochem. Biophys. Methods*. 2007, 70 (2), 231-242.
- [30]. E. E. Stashenko and J. R. Martínez. Sampling flower scent for chromatographic analysis. *J. Sep. Sci.*, 2008, 31, 2022-2031.
- [31]. R. Meneses, R. Ocazonez, J. R. Martínez, and E. E. Stashenko. Inhibitory effect of essential oils obtained from plants grown in Colombia on yellow fever virus replication *in vitro*. *Ann. Clin. Microbiol. Antimicrob.*, 2009, 8, 8-13.
- [32]. J. G. Bueno, J. R. Martínez, E. E. Stashenko y W. Ribón. Actividad antituberculosa de plantas colombianas, *Biomédica*, 2009, 29, 51-60.
- [33]. L. S. Nerio, J. Olivero-Verbel, E. E. Stashenko. Repellent activity of essential oils from seven aromatic plants grown in Colombia, against *Sitophilus zeamais* Motschulsky (coleoptera). *J. Stored Products Res.*, 2009, 45, 212-214.
- [34]. A. M. Acevedo, J. R. Martínez, E. E. Stashenko. Cromatografía de gases como herramienta de estudio de la composición química y capacidad antioxidante de especies vegetales ricas en timol y carvacrol, cultivadas en Colombia. *Scientia Chromatographica*, 2009, 1 (1), 67-78.
- [35]. A. C. Figueiredo, J. G. Barroso, L. G. Pedro, and J. J. C. Scheffer. Factor affecting secondary metabolite production in plants: volatile components and essential oils. *Flavour Fragr. J.*, 2008, 23, 213-226.
- [36]. M. Gómez-Romero, D. Arráez-Román, R. Moreno-Torres, P. García-Salas, A. Segura-Carretero, A. Fernández-Gutiérrez. Antioxidant compounds of propolis determined by capillary electrophoresis-mass spectrometry. *J. Sep. Sci.*, 2007, 30, 595-603.
- [37]. L. Estevinho, A. P. Pereira, L. Moreira, L. G. Dias, E. Pereira. Antioxidant and antimicrobial effects of phenolic compounds of Northeast Portugal honey. *Food Chem. Toxicol.*, 2008, 46 (12), 3774-3779.



CAPÍTULO III

Aspectos económicos y sociales



ASPECTOS ECONÓMICOS Y SOCIALES

Como se menciona en el capítulo anterior, Colombia no posee mucha experiencia en la producción de plantas aromáticas y medicinales a escala industrial, para destilarlas y obtener aceites esenciales, con destino a los mercados nacional o internacional (exportación). Existe muy buena experiencia con los cultivos de “aromáticas” a pequeña y mediana escala en los Departamentos de Cundinamarca, Boyacá, en el Eje Cafetero, Antioquia y sur del país, para su venta *en fresco* o como plantas secas para tisanas o para usos culinarios. Parte de la producción de plantas aromáticas en fresco se exporta a los EE.UU. y a algunos países europeos, principalmente, a España. Para ello, evidentemente, la escala de producción y las áreas cultivadas son mucho más pequeñas, que las que se requieren para la obtención de una masa vegetal necesaria para obtener aceites esenciales en cantidades suficientes para los mercados nacional o internacional.

Entre muchos otros aspectos, el estudio de la viabilidad económica para producir o no aceites esenciales en un país dado se debe iniciar con el análisis de los mercados nacional e internacional. El primero, es importante de conocer para evaluar la posibilidad de producir los aceites para consumo doméstico, mientras que el análisis de los mercados internacionales se requiere para vislumbrar las posibles oportunidades y los nichos existentes para que se pudieran producir

los aceites esenciales en el país, con miras a su exportación. Entonces, es sumamente importante seleccionar correctamente las especies vegetales aptas para el clima y los suelos de las regiones del país donde eventualmente se cultivarán. Pero aún más importante es establecer el tamaño de la inversión y los costos de producción. Los ensayos preliminares a escala piloto son importantes, además de los estudios agronómicos, porque permiten sacar, para una región dada, los costos *reales* de producción de plantas aromáticas y aceites esenciales -que varían mucho de país a país-; con ello luego se hace un estudio de la factibilidad y, junto con el de los mercados (oferta, demanda y precios de aceites), se podrán elaborar los respectivos planes de negocio.

Colombia es un importador neto de aceites esenciales. Los registros que aparecen sobre la “exportación” de aceites corresponden, en realidad, a su comercialización (compra y re-venta). Es importante saber qué empresas en el país importan o exportan los aceites esenciales y cuáles son los aceites que se compran en Colombia y se venden a otros países. La información detallada sobre cada tipo de aceite importado o exportado en Colombia, infortunadamente, es difícil de conseguir, puesto que la designación de los productos (posición arancelaria), *i.e.*, para un aceite en particular, acorde con su código HS (*Harmonized Commodity Description*



Aceites Esenciales

and Coding System, Sistema Armonizado de Descripción y Codificación de Mercancías), es “gruesa”, o sea, no va al detalle. Por ejemplo, aparece la subpartida arancelaria “*Los demás aceites esenciales excepto los agrios*”, que, en realidad, puede incluir una amplia gama de aceites destilados de diferentes plantas (romero, salvia, orégano, cananga, patchoulí, etc.). Ello, eventualmente limita mucho la posibilidad de hacer un análisis más detallado sobre los mercados de aceites esenciales en Colombia.

En la Tabla 3-1 aparecen los números de subpartidas arancelarias de los aceites esenciales y productos afines (concretos, absolutos, resinoides, concentrados y sub-

productos terpénicos) importados a Colombia. Como se puede observar, por ejemplo, en la India, se logra una discriminación mucho más detallada, porque los códigos de productos aparecen con sus 8 dígitos, y, para algunos, hasta con 10 dígitos, lo que permite diferenciar los aceites destilados de *Mentha spicata* y *Mentha piperita* o distinguir el aceite de *cananga* del aceite de ylang-ylang, ambos se destilan de flores del árbol tropical *Cananga odorata*, pero los aceites se diferencian notoriamente por su calidad y la composición química, que determinan sus propiedades y, sobre todo, su aceptación y el valor en el mercado y la aplicación en diferentes áreas de la industria.

Tabla 3-1. Códigos HS (subpartidas arancelarias) para diferentes aceites esenciales y productos afines en Colombia y, como ejemplo, algunos utilizados en la India.

Códigos HS	Nombre de productos	Códigos de subpartida arancelaria usados en la India*	
33011100	Aceite esencial de bergamota	33012510	<i>Mentha spicata</i>
33011200	Aceite esencial de naranja	33012520	<i>Mentha aquatica</i>
33011300	Aceite esencial de limón	33012530	<i>Mentha sylvestries</i>
33011400	Aceite esencial de lima	33012540	<i>Mentha citrate</i>
33011900	Los demás aceites esenciales de agrios (cítricos)	33012911	Anís
33012100	Aceite esencial de geranio	33012913	Cananga
33012200	Aceite esencial de jazmín	33012914	Alcaravea
33012300	Aceite esencial de lavanda y lavandinas	33012916	Cedro
33012400	Aceites esenciales de <i>Mentha piperita</i>	33012917	Canela (corteza)
33012500	Aceites esenciales de las demás mentas	33012918	Canela (hojas)
33012600	Aceite esencial de vetiver	33012933	Palmarrosa
33012920	Aceites esenciales de eucalipto	33012934	Patchoulí
33012900	Los demás aceites esenciales excepto los agrios	33012942	Limonaria
33019010	Destilados acuosos aromáticos	33012943	Ylang-ylang
33019090	Los demás aceites esenciales desterpenados o no	33012926	Jengibre

HS - Harmonized Commodity Description and Coding System

*Fuente: www.foreing-trade.com



En la Tabla 3-2 aparecen las principales empresas (20) en Colombia que tradicionalmente han importado o han exportado los aceites esenciales y productos afines (concretos, absolutos, concentrados, resinoides, sub-productos terpénicos, mezclas aromáticas, concentrados, sabores y fragancias). En 2007 se han registrado 95 empresas importadoras de aceites esenciales en Colombia, ubicadas en Bogotá (41%), Cartagena (29%), Medellín (10%) y otras ciudades (20%), entre ellas, Barranquilla, Cali, Buenaventura e Ipiales.

En la Tabla 3-3 aparecen las cifras correspondientes a las importaciones

(volúmenes métricos y valores en US\$ CIF) de los aceites esenciales por las empresas con contribuciones más significativas en el mercado colombiano (2007) [1]. Las 18 empresas representan 87.3% de las compras en dólares (US\$ CIF) de los aceites esenciales importados en 2007. Las tres empresas, Symrise (23.4%), Firmenich (23.2%) y Cadbury Adams (22.5%) alcanzaron en 2007 el 69.1% del total de las importaciones de los aceites esenciales en Colombia, o sea, *ca.* 70% de todas las importaciones se distribuyen apenas entre las tres empresas multinacionales. Para las tres empresas mencionadas, en los últimos años se observa una tendencia de aumento de las importaciones de aceites esenciales.

Tabla 3-2. Las principales empresas en Colombia que tradicionalmente han importado o exportado los aceites esenciales y productos afines (concretos, absolutos, concentrados, resinoides, sub-productos terpénicos, mezclas aromáticas, sabores & fragancias).

Empresas importadoras		Empresas exportadoras	
Bel Star S.A.	Pepsi-Cola S.A. Colombia	Firmenich S.A.	Haarmann & Reimer de Colombia Ltda.
Firmenich S.A.	Colgate Palmolive Compañía	Lucta Grancolombiana Ltda.	Quala S.A.
Productos Roche S.A.	Sabores y Fragancias S.A.	Colgate Palmolive Compañía	Procter & Gamble Colombia S.A.
Chicle Adams S.A.	Procter & Gamble Colombia S.A.	Bush Boake Allen Colombia S.A.	La Tour S.A.
Unilever Andina Colombia S.A.	Haarmann & Reimer de Colombia Ltda.	Productora Nacional de Aromas y Colorantes	Coca-Cola de Colombia S.A.
Yanbal de Colombia S.A.	Givaudan Colombia S.A.	CPL Aromas Colombia Ltda.	Bel Star S.A.
Nabisco Royal Inc.	Quala S.A.	Sabores y Fragancias S.A.	Reckitt Benckiser Colombia S.A.
Bush Boake Allen Colombia S.A.	Johnson & Johnson de Colombia S.A.	Productora y Distribuidora Internacional de Alimentos	Talleres Andinos Corredor y Compañía Ltda.
Nardal Productos de Belleza S.A.	Productos Quaker S.A.	Unilever Andina Colombia S.A.	Cordial Inversiones S.A.
Crearme S.A.	Colombina S.A.	Nabisco Royal Inc.	Givaudan Colombia S.A.



Aceites Esenciales

Tabla 3-3. Empresas importadoras de aceites esenciales y productos afines más importantes en el mercado colombiano (2007) [1].

Empresa	Valor, US\$ CIF	Peso neto, kg
Symrise Ltda. (antes Haarmann & Reimer)	2'334.689	151.378
Firmenich S.A.	2'312.284	147.878
Cadbury Adams Colombia S.A.	2'245.176	115.854
JGB S.A.	392.630	13.773
Lucta Grancolombiana Ltda.	381.784	81.031
SwissJust de Colombia Ltda.	203.393	3.918
Factores & Mercadeo Ltda.	191.359	47.595
Aromatheka Ltda.	159.230	4.049
Productora Nacional de Aromas y Colorantes Ltda.	120.452	14.413
Sabores & Fragancias S.A.	72.469	4.100
Ecoflora Ltda.	61.634	2.725
CPL Aromas Colombia Ltda.	59.167	7.059
Flavco Ltda.	48.869	3.030
La Tour Ltda.	44.276	2.299
Givaudan Colombia S.A.	34.097	991
Griffith Colombia S.A.	23.888	1.040
Cromaroma Ltda.	13.027	595
Mane Sucursal Colombia	5.749	291

Fuente: Base de Datos DIAN, 2008.

En la Tabla 3-4 figuran las principales empresas que exportan (comercializan) los aceites esenciales en Colombia (2007). De las 95 empresas importadoras de los aceites esenciales registradas en Colombia, sólo 27 figuran como exportadoras de estos productos; 7 de ellas, presentan volúmenes de exportación apreciables. Entre las empresas que más venden figuran Haarmann & Reimer (16%), Firmenich (13%) y Tecnas S.A. (9%). Debido a que los aceites esenciales no se producen en Colombia con la calidad y a escala que ameritan su exportación, no existen exportaciones constantes -que permitan vislumbrar una tendencia clara-

porque la venta de estos productos a otros países obedece a las reglas de su oferta y demanda en el mercado mundial cuando se generan márgenes de ganancia ventajosos para su comercialización. Entre los principales destinos de exportaciones de aceites esenciales de Colombia figuran Ecuador (ca. 60%), Costa Rica, El Salvador, Perú, Venezuela y los EE.UU.

En los últimos 15 años, en Colombia se observa una creciente demanda de los aceites esenciales; durante este periodo se han pagado por su compra a otros países más de 100 millones de US\$ CIF (el 40% durante



Tabla 3-4. Empresas exportadoras de aceites esenciales más significativas en el mercado colombiano (2007) [1].

Empresa	Valor, US \$ FOB	Peso neto, kg
Haarmann & Reimer de Colombia Ltda.	32.375	932
Firmenich S.A.	26.437	1.610
Tecnas S.A.	17.673	564
Chicle Adams S.A.	13.119	143
Comercializadora SPB S.A.	8.917	892
Laboratorios COFARMA S.A.	8.127	4.286
Bel Star S.A.	7.826	299

Fuente: Base de Datos DIAN, 2008.

los últimos 5 años) y se han importado más de 7 mil toneladas métricas netas de estos productos, alrededor de 500 toneladas métricas por año, con un valor promedio de 7 millones de dólares anuales. *Grosso modo*, Colombia participa en el mercado mundial con menos de un 1% de las importaciones totales de los aceites esenciales. Entre los principales aceites esenciales importados figuran los de cítricos (naranja, limón, bergamota, otros), mentas, lavandas, eucalipto, anís, geranio, jazmín, vetiver y otros, incluyendo a los concretos, absolutos, sub-productos terpénicos y resinoides. Los principales exportadores de los aceites esenciales a Colombia son los EE.UU., Brasil, Francia, Reino Unido, Suiza, Alemania, China y España, entre otros, siendo el principal proveedor de Colombia los EE.UU. (ca. 50%) (Véase la Tabla 3-5). En 2005 se importaron aceites esenciales y productos afines por un valor de ca. 6.63 millones de US\$.

Los precios de los aceites esenciales importados a Colombia de diferentes países fluctúan en el tiempo, dependen tanto del exportador, como del tipo de aceite importado,

su oferta comercial y la demanda local. Según los datos del DANE (2008) y el estudio [1], los precios de los aceites esenciales de menta inglesa (*Mentha piperita*), en promedio, durante los últimos 5 años en Colombia han variado en el intervalo de 14 a 27 dólares por kilogramo neto del aceite, según el país exportador.

Entre todos los aceites, los de naranja, que son los más representativos en cuanto al volumen métrico importado por Colombia, presentan grandes diferencias en los precios. El precio promedio de importación, en los últimos cinco años, se ha mantenido alrededor de los 4.5 US\$ CIF el kilogramo neto del aceite de naranja (DANE, 2008). El precio del aceite importado de Brasil es el más bajo (2 US\$ CIF/kg neto), seguido del de los Estados Unidos (ca. 5 US\$ CIF/kg neto), pero, Colombia importa de Suiza el aceite de naranja por un valor de ca. 54 US\$ CIF por kilogramo neto de aceite. En promedio, Colombia exporta (comercializa) aceites esenciales de naranja con valores en un rango de 8-16 US\$ FOB por kilogramo neto, según el país destino. Los aceites esenciales de eucalipto presentan precios de importación



Tabla 3-5. El valor de las importaciones colombianas de aceites esenciales y productos afines (concretos, absolutos, resinoides, sub-productos terpénicos, otros) (2005).

País de origen	Puesto	Valor (US\$ x 10 ³)	Participación (>0.4%)
Estados Unidos	1	3.177	47.90
Brasil	2	730	11.01
Francia	3	549	8.28
Reino Unido	4	496	7.48
Suiza	5	487	4.34
Alemania	6	313	4.72
China	7	294	4.43
España	8	286	4.31
Argentina	9	80	1.21
India	10	76	1.15
Países Bajos	11	66	1.00
México	12	49	0.74
Canadá	13	29	0.44
Total		6.632	100

Fuente: Prof. Philip M. PARKE, INSEAD (www.insead.edu), 2005, www.icongrouponline.com

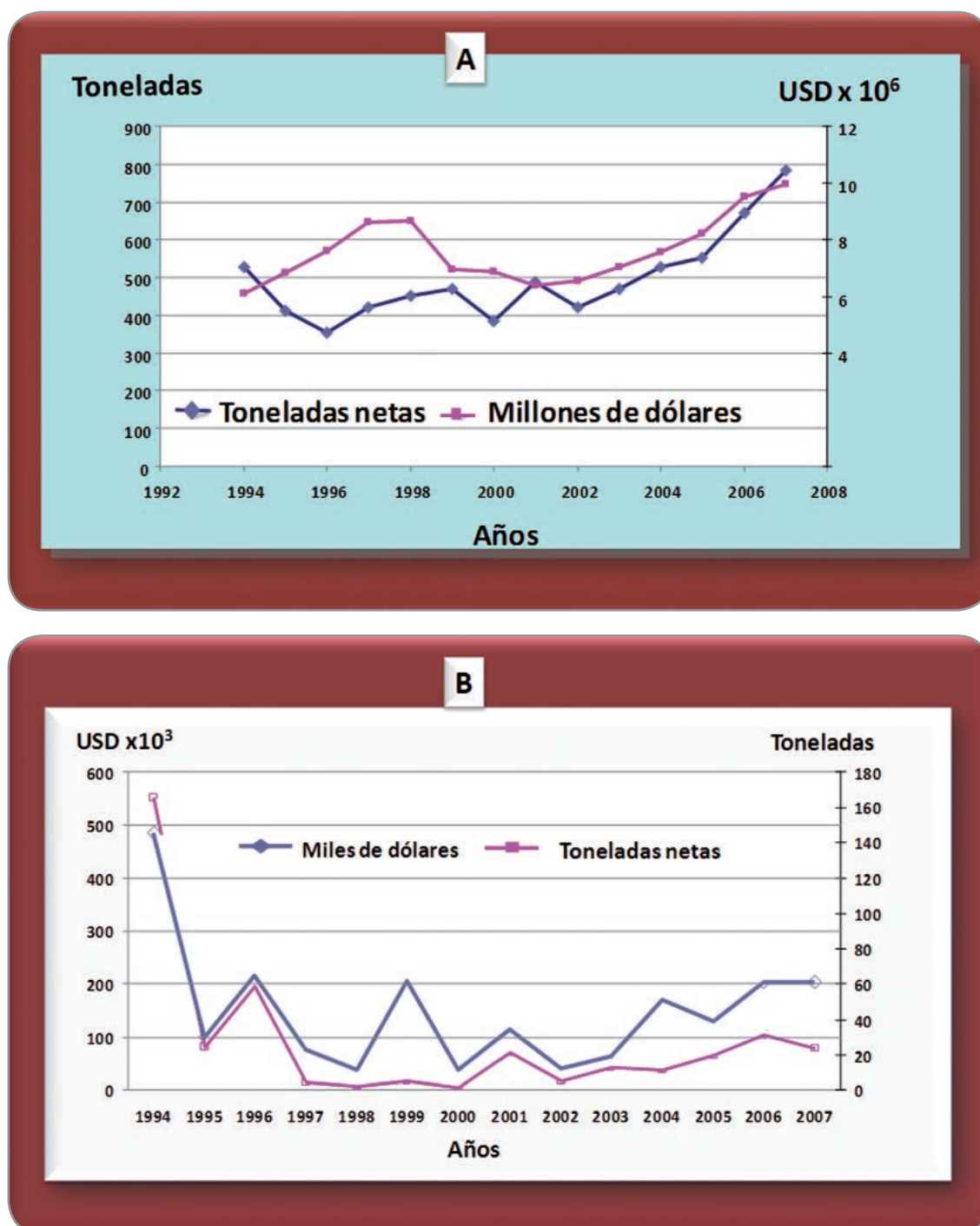
estables, que han variado poco en los últimos cinco años, alrededor de un valor promedio de 8 US\$ por kilogramo neto del aceite; los principales países exportadores del aceite de eucalipto a Colombia son China, Reino Unido y los EE.UU. Colombia comercializa, en su turno, a los aceites de eucalipto, por un valor promedio de 12 US\$ FOB, con destino principal a Venezuela.

En la Figura 3-1 se puede observar la dinámica de las importaciones/exportaciones de los aceites esenciales en Colombia [1]: mientras que las importaciones ascienden a millones de dólares por año, la venta (exportación) de esencias es de orden de miles de dólares. A primera vista, se observa una brecha económica importante, que favorece a la producción de aceites esenciales en el país,

en vez de importarlos. Sin embargo, ello implica el desarrollo y la puesta en marcha de la cadena productiva de plantas aromáticas y aceites esenciales en el país, que sea sostenible, la creación de una infraestructura para la destilación y la refinación de aceites y el control de su calidad. Esto es factible solamente con una inversión económica suficiente y el interés que tengan los sectores estatal y privado en esta industria agrícola; se requiere también un estudio previo, serio y detallado, sobre la factibilidad de la producción de las plantas aromáticas, correctamente seleccionadas, a nivel piloto y en cultivos experimentales inicialmente, para establecer la calidad y la posible competitividad de los aceites esenciales obtenidos, en los mercados nacional o internacional.



Figura 3-1. A. Importación total de aceites esenciales y productos afines en Colombia. **B.** Exportación (comercialización) de aceites esenciales y productos afines de Colombia. Período 1994 – 2007. Obsérvense las diferencias en millones de dólares en importaciones Vs miles de dólares de exportaciones. *Fuente:* DANE, 2008.





Aceites Esenciales

Los aceites esenciales no son un bien de consumo directo, son materias primas o insumos industriales y se dirigen, principalmente, a las siguientes ramas de: (1) industria de las fragancias; (2) industria de aromas y sabores; (3) industria de productos medicamentosos; (4) industria química y de productos derivados. El uso de aceites esenciales como ingredientes fragantes se aprovecha en *perfumes* (aguas de perfume y de tocador, colonias), *cosméticos* (jabones, cremas, lociones, productos para el maquillaje, champús, desodorantes, pastas dentífricas), *productos domésticos de aseo y limpieza* (aromatizantes ambientales, limpieza de pisos, cocinas, baños), *plásticos* (enmascaradores de olores, para la aromatización de juguetes), *textiles* (tratamientos con mordientes antes y después del teñido), *pinturas* (enmascaradores de olores, solventes biodegradables) y en *papelería* (impregnación con fragancias de cuadernos, papel higiénico, toallas faciales y sanitarias). La industria de alimentos incorpora a los aceites esenciales en diferentes artículos, a saber: *Confitería* con diferentes sabores, *snacks*, galletería, lácteos, cárnicos, conservas, productos procesados (orégano, tomillo), condimentos picantes (jengibre, cúrcuma, páprika, pimienta), bebidas (aceites de cítricos, mentas), licores (anís, mentas, cardamomo, ajeno), en medicamentos y en tabacos y cigarrillos (mentas) los aceites esenciales se utilizan como aromatizantes y para enmascarar los sabores amargos.

Mezclas de aceites, sus componentes mayoritarios y productos de hemi-síntesis se emplean como *biocidas*, *i.e.*, bactericidas e insecticidas (citronela, eucalipto); disolventes biodegradables para óleos y pinturas (pino,

trementina, limoneno), para limpieza de *chips* de computadores; en la industria petroquímica los aceites esenciales se emplean como vehículos de flotación y lubricantes. Las propiedades farmacológicas de algunos aceites esenciales se aprovechan como ingredientes en diferentes productos medicamentosos, como *antisépticos* (tomillo, salvia, orégano, clavo, árbol de té), *rubefacientes* (romero, trementina, alcanfor), *antiinflamatorios* (manzanilla, jazmín, cedro, árbol de té), *sedantes* (nerolí, lavanda), *tranquilizantes* (valeriana, lúpulo, melisa) y *euforizantes* (limón, bergamota), con actividades antihelmíntica o antiparasitaria (paico, boldo, ajeno, eucalipto, clavo, safrán), antiartrítica, antirreumática (clavo, canela, tomillo), con efectos sobre los aparatos respiratorio (pino, trementina, eucalipto), digestivo (manzanilla, menta, hinojo, anís, coriandro, romero), vías urinarias (enebro, buchu) y en aromaterapia, donde encuentran aplicaciones decenas de aceites esenciales y sus mezclas.

A primera vista, se vislumbran un panorama positivo y el optimismo para producir aceites esenciales en el país, que se basan en los siguientes argumentos, a saber: (1) Infraestructura existente (empresas sólidas) para importación y exportación de los aceites; (2) Diversas y numerosas empresas y fábricas (alimentos, productos de aseo, cosméticos, fitofármacos) que los consumen en volúmenes apreciables; (3) Brecha grande existente (de más de 10^3 veces de diferencia) entre los valores y volúmenes importados de los aceites Vs los exportados (comercializados); (4) Experiencia ya existente en el país en el cultivo de plantas aromáticas



tradicionales para su consumo en fresco; (5) Infraestructura técnico-científica creada (centros de investigación, universidades) aprovechable para el desarrollo e innovación y control de calidad necesarios para el estudio de plantas aromáticas y aceites esenciales; (6) Diversidad de microclimas, suelos y pisos térmicos existentes en el país, que permite seleccionar adecuadamente el tipo y el sitio de cultivo; (7) Posición privilegiada de Colombia en el continente latinoamericano, con las dos salidas a los océanos Atlántico y Pacífico; (8) Necesidad de diversificar los monocultivos tradicionales y buscar cultivos con crecimiento rápido y productos agrícolas con valor agregado competitivo para la sustitución de los cultivos ilícitos de coca y amapola, entre otros argumentos a favor del desarrollo de la industria de aceites esenciales en Colombia.

Para la eventual exportación de los aceites esenciales producidos en Colombia, es importante evaluar también la existencia

de los posibles nichos y oportunidades económicas en el mercado internacional de estos productos. La exportación de un aceite puede requerir la satisfacción de varias condiciones, entre ellas: (1) Cumplir con la *cantidad* requerida en el suministro del aceite; (2) Responder a la *calidad* exigida internacionalmente del aceite; (3) Garantizar la *continuidad* de su producción (tiempos de entrega, volúmenes acordados, etc.); las tres primeras condiciones permiten generar una *confianza* por parte del comprador; (4) Cumplir las condiciones de comercio justo y las buenas prácticas agrícolas y de manufactura, y, por último, pero no menos importante, (5) Ser competitivo, en cuanto a los precios y volúmenes, con los aceites esenciales producidos en otros países.

Los exportadores más grandes de los aceites esenciales y productos afines (concretos, absolutos, resinoides, concentrados, sub-productos terpénicos) en el mundo -según la región-, son Europa (32.61%), seguida de

Tabla 3-6. Exportación de los aceites esenciales, incluyendo concretos, absolutos, resinoides, concentrados y sub-productos terpénicos, en el mundo según la región (2005).

Región de origen	Puesto	Valor, US \$ x 10 ³	Participación, %
Europa	1	476.729	32.61
Asia	2	382.442	26.16
Norteamérica y Caribe	3	318.180	21.77
Latinoamérica	4	182.601	12.49
África	5	67.292	4.60
Oriente Medio	6	23.826	1.63
Oceanía	7	10.793	0.74
Total		1'461.863	100

Fuente: Prof. Philip M. PARKE, INSEAD (www.insead.edu), 2005, www.icongrouponline.com



Tabla 3-7. Exportación de los aceites esenciales, incluyendo concretos, absolutos, resinoides, concentrados y sub-productos terpénicos, en Latinoamérica según el país, (2005).

País	Puesto	Valor, US \$ x 10 ³	Participación, %
Brasil	1	60.250	33.00
Argentina	2	59.850	32.78
México	3	27.640	15.14
Uruguay	4	11.979	6.56
Paraguay	5	11.586	6.34
Perú	6	3.805	2.08
Guatemala	7	3.332	0.82
Colombia	8	1.495	0.54
Costa Rica	9	990	0.26
Chile	10	472	0.20
Ecuador	11	373	0.19
Belize	12	339	0.18
Honduras	13	327	0.07
El Salvador	14	126	0.02
Panamá	15	37	<0.02
Total		182.601	100

Fuente: Prof. Philip M. PARKE, INSEAD (www.insead.edu), 2005, www.icongrouponline.com

Asia (26.16%) y de Norteamérica y el Caribe (21.77%), que exportan más de 90% de todos los aceites en el mundo (Véase Tabla 3-6). Según el estudio [2], en 2005, los países líderes (top 10), en la exportación de los aceites esenciales y productos afines fueron los EE.UU. (19.6%), Francia (10.5%), la India (7.6%), China (7.4%), Reino Unido (5.1%), Brasil (4.1%), Indonesia (4.1%), Argentina (4.1%), Italia (3.1%) y España (3.1%). Ser un exportador de los aceites esenciales, empero, no significa ser su productor (en la misma escala en la cual aparece el volumen de su exportación declarada), puesto que la “exportación” puede comprender la operación de comercialización. Por ejemplo, se compran aceites esenciales crudos de

diferentes orígenes, se hace un *blend* o se refina (re-destila) la mezcla y se vende con un precio más alto, gracias al valor añadido por homogeneizar y obtener la calidad reproducible del producto.

En la Tabla 3-7 aparece la información sobre los países exportadores de los aceites esenciales y productos afines de Latinoamérica. Brasil (33.00%), Argentina (32.78%) y México (15.14%) son los principales exportadores y representan más del 80% de todas las exportaciones de los aceites esenciales en Latinoamérica. La participación de Colombia en el mercado latinoamericano es baja (< 1%). Los países que más importaciones hacen en el mundo son los EE.UU. (19.7%), Francia



(12.7%), Reino Unido (8.9%), Japón (ca. 7%), Alemania (5.9%), Suiza (4.5%) y México (4.33%), entre otros países, que siguen con contribución al mercado internacional menor del 4%. En la Tabla 3-8 se puede apreciar un cuadro comparativo entre los principales

exportadores e importadores de aceites esenciales y productos afines en el mundo; la participación de Colombia en este mercado es <0.1% en exportaciones y alrededor del 0.45% en importaciones.

Tabla 3-8. Cuadro comparativo entre los principales países exportadores e importadores (*top 10*) de los aceites esenciales, incluyendo concretos, absolutos, resinoides, concentrados y sub-productos terpénicos, en el mundo (2005).

Exportadores				Importadores			
País	Puesto	Valor, US\$ x 10 ³	%	País	Puesto	Valor, US\$ x 10 ³	%
EE.UU.	1	287.174	19.64	EE.UU.	1	288.037	19.70
Francia	2	152.815	10.45	Francia	2	185.300	12.68
India	3	111.691	7.64	Reino Unido	3	129.892	8.89
China	4	108.133	7.40	Japón	4	101.723	6.96
Reino Unido	5	74.481	5.09	Alemania	5	85.679	5.86
Brasil	6	60.250	4.12	Suiza	6	65.042	4.45
Indonesia	7	60.246	4.12	México	7	63.301	4.33
Argentina	8	59.850	4.09	Hong-Kong	8	53.590	3.67
Italia	9	45.554	3.12	Brasil	9	44.867	3.07
España	10	44.956	3.08	China	10	44.542	3.05
Total		1.461.863				1.461.863	

Fuente: Prof. Philip M. PARKE, INSEAD (www.insead.edu), 2005, www.icongrouponline.com

Para un país dado, las diferencias grandes entre los volúmenes de las exportaciones de los aceites esenciales y sus importaciones pueden significar que es un país productor de los aceites; y, *viceversa*, si las importaciones superan con creces las exportaciones (Reino Unido, Alemania, Suiza, Japón), ello puede significar un consumo doméstico alto de estos productos que se dirigen a las industrias manufactureras específicas (perfumería, sabores y fragancias, alimentos procesados, productos de aseo, etc.). Así, se puede distinguir a la India, China, Brasil, Indonesia

y Argentina como grandes productores de aceites esenciales (materia prima), mientras que Francia, Reino Unido, Alemania, Japón y Suiza poseen industrias que añaden un alto valor a los productos terminados que incorporan estas materias primas (Véase Tabla 3-9).

A los países grandes productores de aceites esenciales, como la India, China, Brasil, Indonesia, Argentina y México los unen algunos rasgos comunes: (1) disponibilidad de tierras, son países con grandes extensiones;



Tabla 3-9. Cuadro comparativo entre los países exportadores e importadores de los aceite esenciales y principales productores de los aceites esenciales en el mundo (2005).

País	Exportaciones		Importaciones	
	US\$ x 10 ³	Puesto	US\$ x 10 ³	Puesto
EE.UU.	287.174	1	288.037	1
Francia	152.815	2	185.300	2
India	111.691	3	*	*
China	108.133	4	44.542	10
Reino Unido	74.481	5	129.892	3
Brasil	60.250	6	44.867	9
Indonesia	60.246	7	9.102	24
Argentina	59.850	8	8.097	25
Italia	45.554	9	32.242	14
España	44.956	10	39.288	12
Alemania	44.814	11	85.679	5
México	27.640	13	63.301	7
Suiza	24.366	15	65.042	6
Japón	8.153	30	101.723	4

*No figura como importador de aceites esenciales

Fuente: Prof. Philip M. PARKE, INSEAD (www.insead.edu), 2005, www.icongrouponline.com

(2) alta población; (3) tradición agrícola y cultivos industriales de otros productos agrícolas (caña, café, trigo, arroz, algodón, soya, otros); (4) potencial agro-tecnológico existente (institutos y centros de investigación especializados), que permita sostener la industria de destilación y refinación de aceites y sus subproductos; (5) climas tropicales y sub-tropicales que permiten recoger más de una cosecha de plantas aromáticas al año, y (5) relativamente bajo costo de la mano de obra. Algunas de estas características también se aplican a Colombia.

Durante los talleres informativos y de capacitación, que imparte el CENIVAM en

Bucaramanga, para los productores, pequeños y medianos empresarios, industriales y cultivadores sobre la cadena productiva de aceites esenciales, las preguntas más frecuentes son: “¿Cuánto voy a ganar? ¿Es rentable el negocio? ¿Por qué, si suena tan prometedor el tema, no se ha hecho nada en Colombia?”. La respuesta no es ni rápida, ni sencilla. En el país han existido pequeñas experiencias locales (citronela, limonaria, eucalipto, cúrcuma, prontoalivio), llevadas con entusiasmo y dedicación, pero con insuficiente inversión a largo plazo. Han faltado la perseverancia, los fondos, pero, aún más, el conocimiento sobre los canales de comercialización, la seguridad y el mercadeo



necesarios para la venta del producto. Los compradores no sienten la suficiente confianza para hacer “el negocio” con un productor que no posee la infraestructura completa que pueda sostener la oferta a largo plazo, y el productor, a su vez, no quiere invertir en los cultivos más extensos y en la destilería, porque no tiene asegurada la venta del producto. De ahí, se forma un ciclo vicioso.

Otros aspectos importantes a tener en cuenta están relacionados con la obtención de la siguiente información sobre: (1) la demanda existente de un aceite esencial a producir, (2) su oferta en el mercado y los competidores nacionales o internacionales, (3) el “destinatario”, o sea, qué industria, de sabores & fragancias, alimentos, productos de aseo o de fitofármacos, requerirá potencialmente el producto, así como (4) el precio del aceite en el mercado y, lo que es sumamente importante, (5) el costo de su producción, entre algunos otros factores. La diferencia entre el costo de producción y el precio de venta del aceite esencial permitirá apreciar el margen de ganancia. Si el precio del aceite en el mercado, supera el costo de su producción, esto, sin embargo, aún no garantiza la venta del aceite (“cuello de botella” en la cadena productiva). Es menester establecer los canales de comercialización y, sobre todo, ganar la confianza y buena reputación en el mercado, que se basa en la calidad del aceite, la cantidad requerida y la continuidad de suministro del producto. Así que a las preguntas planteadas sobre la viabilidad y las ganancias del “negocio” de aceites esenciales, la respuesta no es fácil, porque -como se dice en una canción popular colombiana-, “*todo depende...*”.

Infortunadamente, en Colombia aún no se tienen datos experimentales reales (que también pueden variar según la región del país) para los cultivos de plantas aromáticas y la producción a partir de ellas de los aceites esenciales, como los hay, por ejemplo, para los cultivos de café, cacao, caña de azúcar, papa o palma aceitera. Se obtienen la información y algunos datos económicos (cifras) sobre la producción y la destilación de aceites esenciales en otros países, *e.g.*, España, India, Indonesia, Brasil, etc., pero muchos de estos datos no son “*extrapolables*” a Colombia, *i.e.*, los costos de mano de obra, adecuación de la tierra, el uso de agua (riego) y fertilizantes, combustibles, fletes de transporte, etc., y, sin ello, es muy difícil establecer un balance económico completo y confiable, que permita hacer el estudio de factibilidad para los planes de negocio. Es importante hacer la vigilancia de los precios de aceites esenciales en función del tiempo, país productor, competidores, etc., puesto que pueden variar bastante. Debido a la fluctuación de precios de aceites esenciales, su oferta o demanda en el mercado, es importante tener por lo menos 3 diferentes productos, ya que los aceites esenciales obtenidos y correctamente almacenados, pueden guardarse por largos períodos de tiempo y venderse cuando su demanda y precios sean favorables.

La información sobre los precios de aceites esenciales, frecuentemente, no es fácil de obtener con la exactitud requerida, en parte, porque pueden variar mucho, no sólo de año a año, sino de mes a mes y de productor a productor. La escasez temporal de uno de los aceites puede “disparar” su precio en el mercado, pero el precio alto también puede



Aceites Esenciales

derrumbarse rápidamente a medida que se restablecen los cultivos, o surgen nuevos, se aumenta la capacidad de destilación; es cuando la producción del aceite nuevamente vuelve a satisfacer su demanda. La información sobre los precios de aceites, que varían según el país productor, la calidad y la cantidad ofrecida del aceite en el mercado, es dispersa y a menudo no tan actualizada, sobre todo aquella de acceso general. Todo ello hay que tenerlo en cuenta para evaluar la factibilidad de producción agroindustrial de plantas aromáticas para obtener de ellas los aceites esenciales. Como dice un proverbio ruso, es mejor medir siete veces, antes de hacer un corte. Antes de iniciar los cultivos de plantas aromáticas a nivel industrial, hay que hacer *pruebas a escala experimental* (piloto) y destilar los aceites para verificar su composición, características sensoriales y físico-químicas, mirar los rendimientos y, sobre todo, establecer qué factores agroecológicos los pueden aumentar.

La *calidad del aceite* (en primer lugar, sensorial) y la relación de sus componentes mayoritarios

deben obligatoriamente responder a las exigencias del mercado en cuanto a cumplir las normas sobre el aceite dado y los rangos porcentuales de sus componentes principales, así como las propiedades físico-químicas y sensoriales.

Nuevamente, los precios de aceites pueden variar en un intervalo bastante amplio, según el productor, demanda y oferta existentes, la calidad organoléptica del producto y sus propiedades físico-químicas. Un aceite “quemado” o “ahumado” -debido, por ejemplo, a las fallas en el proceso de su extracción-, puede ser rechazado por el comprador y su precio caerá. El material vegetal no fermentado completamente (patchouli), no “madurado” durante el tiempo requerido (vetiver), curado deficientemente (vainilla) o secado mal, de la manera incorrecta (jengibre) producirá un aceite de baja calidad, que será rechazado por el comprador, su precio se desplomará por debajo del costo de producción, haciendo el “negocio” inviable.



Figura 3-2. A. Árbol de ylang-ylang (*Cananga odorata*, Fam. Anonácea) en pleno florecimiento que sucede durante todo el año. B. Flores de ylang-ylang recolectadas que deben ser destiladas lo más pronto posible, para no deteriorar la calidad del aceite obtenido.

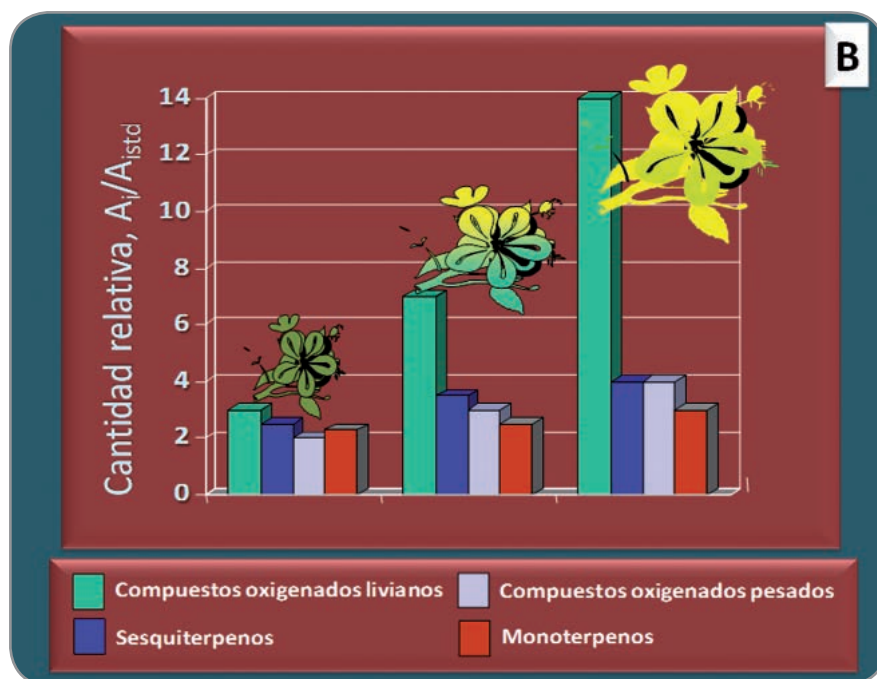


Figura 3-3. A. Etapas de desarrollo de la flor de ylang-ylang (*Cananga odorata*, Fam. Anonácea). **B.** Los cambios composicionales en los aceites esenciales destilados de las flores de ylang-ylang con su maduración: de flores pequeñas, verdes, hasta las grandes, amarillas, las que se deben cosechar [3].



Aceites Esenciales

Por ejemplo, para obtener el aceite esencial de ylang-ylang (*Cananga odorata*) de calidad “Extra” o “Primera” –la materia prima más importante en perfumería y costosa (100–200 US\$ por kilogramo del aceite)-, se deben destilar las flores completamente maduras, amarillas, recogerlas muy temprano en la mañana y someterlas lo más pronto posible a hidrodestilación o destilación con agua/vapor (Figura 3-2). Las primeras fracciones de destilación –el proceso se controla midiendo la densidad del aceite-, serán las más apreciadas por su calidad, sobre todo, en la perfumería. Las flores verdes, pequeñas e inmaduras producirán el aceite de más baja

calidad, en éste prevalecerán hidrocarburos monoterpénicos y sesquiterpénicos [3] y su densidad será más baja que la del aceite de grado “Extra” (Figura 3-3). De igual manera, la calidad del aceite se deteriora, si las flores se almacenan por más de 24 horas antes de su destilación [4]. La hora de la cosecha de las flores también es importante. Por ejemplo, sólo en horas de la mañana en las flores los compuestos nitrogenados – bastante “exóticos” en los aceites esenciales-, se encuentran en mayor concentración; su contenido disminuye con la caída de la noche (Figura 3-4).

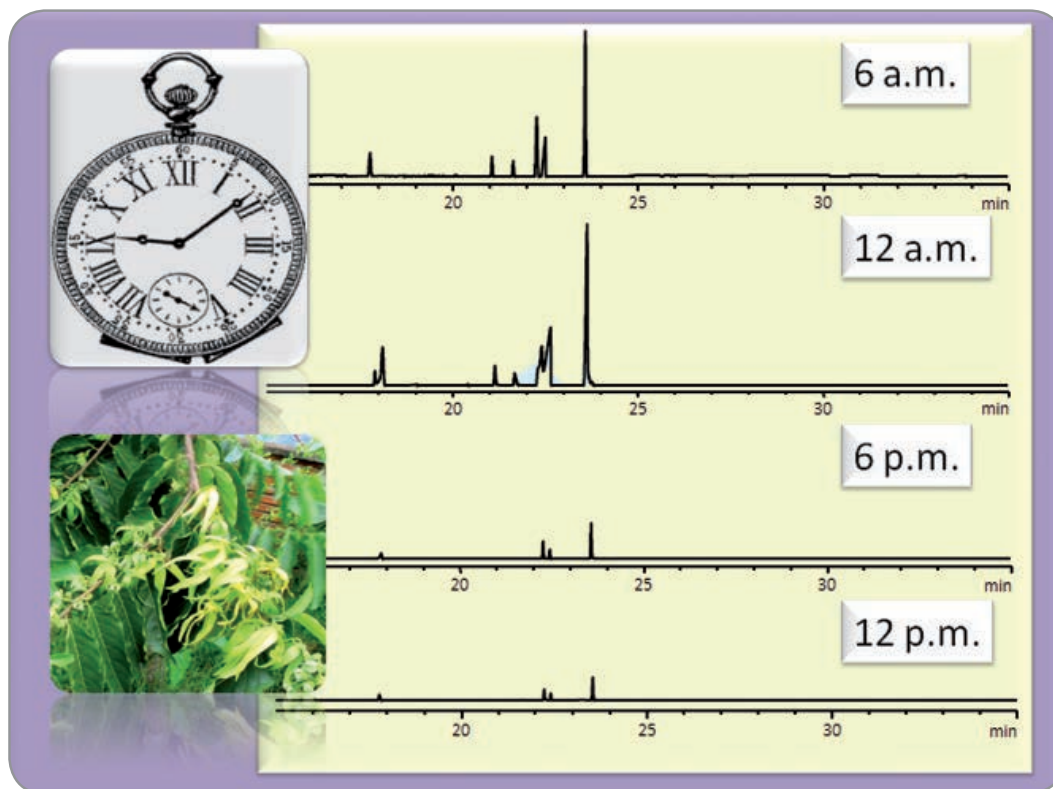


Figura 3-4. Cromatogramas de los aceites esenciales destilados de las flores recolectadas en diferentes horas del día. Columna DB-5 (60 m). Detector selectivo de nitrógeno y fósforo (NPD). Sólo se registran los compuestos nitrogenados: indol, 2-fenil-nitroetano, fenilacetoniitrilo, 4-metil-benzaldoxima, antranilato de metilo, cuya concentración en las flores varía durante el día.



En comparación con las flores de ylang-ylang, las plantas de prontoalivio (*Lippia alba*, Fam. Verbenaceae) del quimiotipo “Carvona” pueden cosecharse en cualquier momento del día; el estudio de la variación circadiana de la *carvona* en esta especie, así como de otros componentes oxigenados presentes en su aceite esencial, no mostró diferencias estadísticamente significativas en las plantas recolectadas en la mañana, al medio día, en la tarde o en horas de la noche [5]. Tampoco se presentaron las diferencias significativas en el contenido de la *carvona* en las hojas jóvenes (<15 días) o maduras (>2 meses); lo mismo se observó para otros monoterpenoides. En cambio, en el quimiotipo “Citral” de prontoalivio, la cantidad de neral y geranial (citral) fue más alta en las hojas jóvenes que en las maduras [6]. Si las flores de ylang-ylang se deben destilar lo más pronto posible después de su recolección, las plantas de *Lippia alba* de ambos quimiotipos hay que secarlas, preferiblemente hasta que ya no pierdan más agua, para aumentar el rendimiento del aceite en la destilación (Figura 3-5) [7].

Según lo establecido en el Laboratorio de Cromatografía de la Universidad Industrial de Santander (UIS, Bucaramanga), la *carvona*, presente en el aceite esencial de prontoalivio, posee la configuración enantiomérica S-(+)-. La S-(+)-carvona es un compuesto bastante interesante debido a sus usos como aromatizante en pastas dentífricas y en muchos otros productos o como precursor químico para la síntesis de nuevos compuestos bioactivos quirales [8]. Luego, es importante lograr una mayor concentración de la *carvona* en el aceite esencial de prontoalivio, con miras a su posterior aislamiento, *e.g.*, por

destilación fraccionada. El incremento de la *carvona* puede lograrse a través de la selección de plantas *madre* con su contenido más alto y con la posterior propagación (esquejado) de plantas elegidas, entre otras técnicas de selección genética que se pueden aplicar. Empero, también se puede alcanzar “el aumento” de la *carvona* en el aceite variando parámetros de su destilación, por ejemplo, el tiempo. En la Tabla 3-10 se puede observar, que el porcentaje más alto de la *carvona* en los aceites se obtiene entre los 60-90 minutos de su destilación. Es muy importante establecer correctamente el tiempo de destilación, puesto que de éste dependerá no solamente el rendimiento del aceite, sino su composición, que incide directamente sobre la aceptación y el precio del aceite en el mercado. Al inicio de la destilación se extraen compuestos polares, solubles en agua, de bajo peso molecular, pero a medida que avanza el proceso, “salen” compuestos menos polares, con mayor peso molecular y menor volatilidad, por ejemplo, sesquiterpenos.

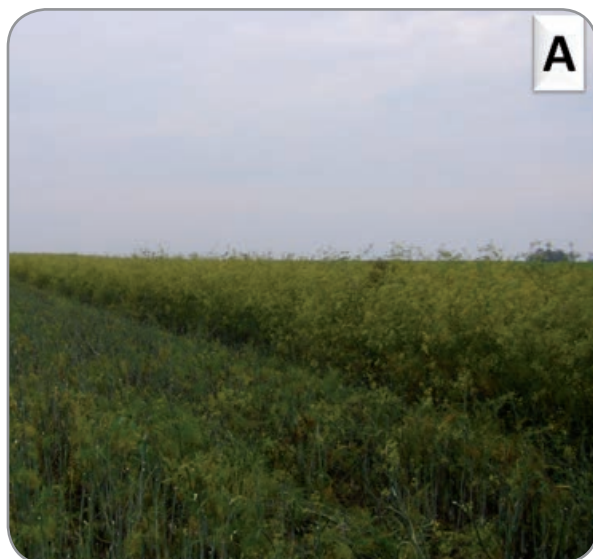
Los anteriores ejemplos muestran la importancia de experimentos y estudios previos a escala piloto, relacionados, entre otros, con parámetros de cultivo, tratamiento post-cosecha y de la optimización de procesos de destilación, ello, para obtener un aceite esencial con calidad alta y para posibilitar su competitividad en el mercado. Para mejorar los precios de los productos, hay que invertir en su desarrollo, sobre todo, para aumentar su calidad. Hay que tener en cuenta, sin embargo, que se pueden encontrar durante la comercialización de un aceite tanto a los compradores de *volúmenes*, como a los que buscan la *calidad*. La calidad del aceite



Figura 3-5. A. Plantas de prontoalivio (*Lippia alba*, Fam. Verbenaceae) durante su secado. B. El destilador de aceites esenciales por arrastre con vapor, diseñado en el CENIVAM y utilizado en los experimentos con prontoalivio. C. La primera cosecha de plantas de prontoalivio en el proyecto experimental piloto en el Municipio de Socorro (Santander, Colombia). D. La planta extractora de aceites esenciales con capacidad de 1 m³, diseñada e instalada por el CENIVAM en el centro de acopio en Socorro. Proyecto financiado a través del Programa de apoyo a Cadenas Productivas del Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. (Fotos: Camilo Durán).

Tabla 3-10. Componentes principales y su cantidad relativa (%) en los aceites esenciales obtenidos de prontoalivio (*Lippia alba*, Fam. Verbenaceae) con diferentes tiempos de destilación.

Componentes principales	Cantidad relativa, %							
	Tiempo de destilación, min							
	15	30	45	60	75	90	105	120
Limoneno	51.8	40.0	34.3	27.1	18.9	12.8	10.0	9.4
Carvona	25.3	34.7	39.9	45.9	49.3	46.4	34.2	22.6
Piperitona	trazas	1.7	2.0	2.5	3.2	3.4	3.2	2.0
Piperitenona	trazas	1.5	1.8	2.1	3.0	4.9	7.7	9.3
Biciclosquifelandreno	6.0	8.4	9.4	10.6	13	16.1	19.8	23.3



alta eleva también su precio (por el costo de producción), aunque los volúmenes grandes de un aceite, pero con calidad más baja, pueden “compensar” la diferencia de precios. Los costos de producción de un aceite esencial dependen, entre otros, de los siguientes factores: (1) mano de obra; (2) posibilidad de mecanización de cosecha del material vegetal y (3) tipo de combustible usado en la destilación: la energía involucrada en un proceso de transformación determina mayoritariamente su costo. En la Figura 3-6 se pueden ver los cultivos extensos de hinojo en Hungría, donde la cosecha del material vegetal en más de 20 hectáreas se lleva a cabo con poco personal y una combinada especial, que corta el material vegetal y lo deposita en un camión: éste lo lleva a un centro de acopio para destilarlo en alambiques con capacidad de 1000 kg cada uno.

Los precios de los aceites esenciales, de un país productor al otro, pueden variar notoriamente. Por ejemplo, el aceite de jengibre, producido en China, cuesta en

Figura 3-6. A. Cultivos extensos de hinojo (*Foeniculum vulgare*, Fam. Umbellífera) en Hungría. B. Cosecha mecanizada del material vegetal. C. Centro de acopio y destilación del aceite esencial de hinojo. (Fotos: Elena E. Stashenko).



promedio 28-40 EUR/kg (años 2007–2009), mientras que los aceites destilados de jengibre en la India y en Sri Lanka, son 2–3 veces más caros, *i.e.*, 80-120 EUR/kg y 130-140 EUR/kg, respectivamente. Los precios de los aceites varían mucho acorde con la parte de la planta de la cual se destilan, *e.g.*, el aceite destilado de la corteza de *canelo* asciende a 155- 230 EUR/kg, mientras que el aceite destilado de las hojas del árbol vale apenas 10-25 EUR/kg. En la Tabla 3-11 aparecen algunos ejemplos de los aceites esenciales y sus precios (rangos).

Hay varios aceites que se destilan como sub-productos en diferentes industrias. Por ejemplo, los aceites de cítricos acompañan a la industria de jugos, los llamados *spice oils* (aceites de especias) son productos colaterales (*by-products*) de la industria de especias, oleorresinas y condimentos. En Sri Lanka alrededor de 90.000 *ha* están sembradas con especias, *ca.* 9% de toda la tierra del país donde se cultivan especies agrícolas perennes. La industria de madera genera como subproductos los aceites de pino, abeto, eucalipto o cedro, entre otros; es cuando se aprovechan las ramas de árboles, sus hojas y residuos de madera para su destilación; el costo del aceite obtenido (pino, eucalipto) no es tan alto, pero los volúmenes de producción son grandes y permiten obtener ingresos que ameritan la inversión en la destilación. Los precios de muchos aceites padecen variaciones cíclicas; sin embargo, los aceites (cítricos, cedro, eucalipto, pino), que se obtienen como sub-productos de otros procesos (jugos, madera) son menos sujetos a las fluctuaciones de precios en el mercado.

Sri Lanka es uno de los productores importantes de aceites esenciales de la canela, suministra al mercado mundial tanto el aceite destilado de las hojas (120–200 ton por año), que es una fuente importante de *eugenol* (>70%), como el obtenido de la corteza (4–6 ton anuales), rico en *alcohol cinámico* (55–78%). El aceite esencial obtenido de la canela, cultivada en Sri Lanka, compite en el mercado con el aceite esencial de clavo, también una importante fuente del eugenol. En la industria, el eugenol luego se convierte al *isoeugenol*; sin embargo, se ha observado que el isoeugenol obtenido por conversión del eugenol aislado de las hojas de la canela es organolépticamente (sensorialmente) mucho mejor, posee un *flavour* más deseado, que el obtenido por la isomerización del eugenol a partir del aceite de clavo [9].

Como ya se mencionó, los precios de los aceites esenciales varían con el país productor. Por ejemplo, el aceite esencial de manzanilla alemana, cultivada en Egipto, tiene precio de 550–600 EUR por kilogramo, mientras que el aceite de manzanilla destilado de plantas cultivadas en Hungría o en el Reino Unido alcanza un precio tan alto como 750–1.300 EUR por kilogramo de aceite. Los aceites esenciales más costosos son los de *sándalo*, pero sus precios se diferencian; por ejemplo, los aceites de Indonesia o Nueva Caledonia son más caros (1.000–1300 EUR/kg), que los de Australia (750-800 EUR/kg) [10].

El almacenamiento correcto de un aceite esencial es muy importante. Todos los esfuerzos de cultivar, cosechar, destilar pueden reducirse a cero, si el aceite se deteriora durante su almacenamiento inadecuado.



Tabla 3-11. Principales productores y rango de precios de algunos aceites de especias, cítricos, herbáceos y perfumísticos.

Aceite esencial	Principales productores	Precios promedio (rango), EUR/kg
Aceites de especias (<i>Spice oils</i>)		
Clavo	Indonesia, India	17-35
Canela (corteza)	Sri Lanka	155-230
Nuez moscada	Indonesia, Sri Lanka	30-60
Jengibre	China, India, Sri Lanka, Indonesia	28-140
Cardamomo	Guatemala	90-100
Aceites cítricos		
Naranja (dulce)	Brasil	2-7
Naranja (amarga)	Italia	45-50
Bergamota	Italia, China, México, España	70-90
Limón	Argentina, Italia, México, Brasil, España	20-25
Lima	México	20-25
Aceites herbáceos		
Lavanda o lavandina	Bulgaria, España, China	12-45
	Francia, Alemania	50-55
Mentas	EE.UU., India, China, Singapur	10-50*
Manzanilla	Egipto	550-600
Aceites perfumísticos (<i>perfumery oils</i>)		
Jazmín	India, Egipto, Francia, Singapur, Italia	117-675
Eucalipto (<i>E. globulus</i>)	China, Australia	4-10
Eucalipto (<i>E. citriodora</i>)	Brasil	8-10
<i>Litsea cubeba</i>	China	12-14
Patchouli	Indonesia	40-50
Geranio	China, Egipto, India, Suráfrica	50 –100
Sándalo	Indonesia, Nueva Caledonia, Australia	750-1450
Citronela	China, Indonesia	6-10
Limonaria	India	7-10
Palmarrosa	India	18-25
Vetiver	Haití, Indonesia, Singapur, Brasil	45-100
Árbol de té	Australia	20-23
Ylang-ylang (<i>Troisième</i>)	Madagascar	70-80
Ylang-ylang (<i>Extra</i>)	Comores	155-180

*Según la especie

Fuente: www.intracen.org



El aceite no debe contener trazas de agua, muchos aceites hay que secarlos con sulfato de sodio anhidro, guardar en latas o *canisters* hechas de acero galvanizado o de aluminio, a temperatura baja, en ausencia de oxígeno. La presencia del agua o del oxígeno y el contacto con las superficies metálicas activas pueden catalizar procesos de hidrólisis de ésteres y formación de alcoholes y ácidos. Los ácidos, en su turno, desencadenan y catalizan nuevas reacciones de hidrólisis de ésteres, y ello, conduce al cambio de la composición del aceite, sus propiedades sensoriales y físico-químicas.

Otra tendencia muy marcada en el mercado moderno de aceites esenciales es el uso de los llamados aceites “orgánicos”, su demanda crece año tras año. Con respecto a ello, es importante aclarar la diferencia entre los *productos naturales y orgánicos*. Los *productos naturales* utilizan algunos o todos sus ingredientes provenientes de la naturaleza, *i.e.*, fuentes botánicas básicamente, pero también de fuentes minerales. Los aceites esenciales destilados de plantas son ejemplo de productos naturales. Actualmente, en la elaboración de muchos productos de consumo humano se observa un gran esfuerzo para evitar en ellos el uso de ingredientes que son *artificiales* u obtenidos por síntesis química. Se prefieren productos “sin químicos” (calca del inglés, “*Chemicals*”), tal como reza este chistoso aviso al borde de la carretera colombiana Socorro-Bogotá del Departamento de Santander (Figura 3-7). El clamor por lo “natural” es universal! Ejemplos son muchos, antioxidantes de origen natural, *fito*-fármacos, *fito*-cosméticos, ingredientes naturales en artículos de aseo, limpieza, bioinsecticidas, entre otros.



Figura 3-7. El aviso publicitario que ofrece una panela orgánica (producto de caña de azúcar) fabricada sin uso de sustancias de origen sintético. Carretera Socorro-Bogotá en el Departamento de Santander, Colombia. (Foto: Elena E. Stashenko).

Aunque los aceites esenciales son productos naturales, no todos ellos pueden clasificarse como “orgánicos”. Los productos orgánicos son productos naturales (botánicos), *e.g.*, plantas cultivadas “naturalmente”, pero sin fertilizantes y pesticidas o plaguicidas -mal llamados “*químicos*”-, o sea, sin usar las sustancias derivadas de síntesis orgánica u otros procesos de transformación química. Los precios de los aceites esenciales varían dramáticamente, dependiendo de si son los aceites “convencionales”, o sea, provenientes de plantas cultivadas con el uso de fertilizantes, pesticidas o plaguicidas, o son aceites orgánicos (Tabla 3-12) [9-11]. Esto representa un nicho muy interesante de productos con precios mucho más altos que los de aceites convencionales.



Tabla 3-12. Precios de algunos aceites esenciales obtenidos de plantas aromáticas cultivadas orgánicamente Vs con el uso de fertilizantes, pesticidas o plaguicidas sintéticos.

Aceite esencial	Convencional (EUR/kg)	Orgánico (EUR/kg)
Patchoulí	40-80	180-200
Vetiver	45-60	280-400
Geranio	50-70	220-300
Menta piperita	30-35	110-150
Limonaria	10-12	35-70
Citronela	6-16	25-70
Lavanda	35-55	110-155

Entre las tendencias modernas de uso de los aceites esenciales figuran, entre otras, las siguientes: el desarrollo de los ingredientes naturales *funcionales*, por ejemplo, la adición a los alimentos y a los productos almacenados de aceites esenciales con propiedades antifúngicas (aceites de orégano, tomillo, cítricos), el microencapsulamiento de aceites esenciales con propiedades antimicrobianas o antioxidantes (orégano, coriandro, romero) en ciclodextrinas, que permite una liberación paulatina de sus ingredientes al producto que se desea proteger, y las combinaciones de ingredientes naturales funcionales con efectos sensoriales, antioxidantes y antimicrobianos para mejorar la seguridad de productos (alimentos, bebidas, productos de aseo personal, cosméticos).

A pesar de que en muchos países en Latinoamérica, África y Sur de Asia, entre otras regiones, se hace un gran esfuerzo para buscar nuevas plantas esencieras y domesticar las promisorias, solo 20 especies vegetales dominan, en realidad, el mercado y producen aceites esenciales en volúmenes grandes (hasta miles de toneladas por año). Entre ellas, están naranja, menta japonesa

(*Mentha arvensis*), *Eucalyptus globulus*, citronela, menta inglesa (*Mentha piperita*), limón, *Eucalyptus citriodora*, clavo, cedro americano (*Juniperus virginiana*), *Litsea cubeba*, sasafrás brasileño (*Ocotea pretiosa*), lima, yerbabuena (*Mentha spicata*), cedro chino (*Chamaecyparis funebris*), lavandina, sasafrás chino (*Cinnamomum micranthum*), alcanforero (*Cinnamomum camphora*), coriandro, grapefruit y patchoulí.

Los países grandes, en desarrollo rápido, como Brasil, China, la India, Indonesia, son los principales productores de aceites esenciales en el mundo. Los principales inversionistas en la India, Brasil o Indonesia son los del sector privado, mientras que en China la inversión en esta industria es estatal. Sin embargo, en los países pequeños, con menor desarrollo, se pueden observar también casos exitosos de la industria de aceites esenciales, *e.g.*, en Haití (vetiver), islas Comores (ylang-ylang), Guatemala (citronela, cardamomo), Paraguay (*petit-grain*, cardamomo), Madagascar (vainilla, ylang-ylang, vetiver, geranio) entre otros emergentes, *e.g.*, Nepal, Vietnam, Malawi.



Bolivia, contrario a sus vecinos, Brasil, Argentina y Paraguay, productores de aceites esenciales desde hace muchos años, no ha tenido ninguna experiencia, ni tradición de esta industria. No hace más de veinte años Bolivia había sido un importador neto de aceites esenciales; sin embargo, a finales de los años 80, con la inversión internacional e implementación de programas gubernamentales de substitución de cultivos de uso ilícito (*Erythroxylum coca*), así como con la inversión del sector privado y la asociación de pequeños agricultores, han sido implementados la infraestructura y los cultivos de especies vegetales aromáticas en el país, lo que permite producir, hoy en día, diferentes aceites esenciales y sus componentes mayoritarios, mentol, citral y eucaliptol, ingredientes importantes en la manufactura de jabones, desodorantes, detergentes y muchos otros productos de aseo. Los aceites esenciales obtenidos de eucalipto (*Eucalyptus globulus*), menta

(*Mentha arvensis*) y limonaria, que se cultivan en Cochabamba, Chapare y Santa Cruz, se usan para satisfacer la demanda nacional, pero actualmente también se exportan. De los aceites, relativamente baratos, se aíslan productos con mayor valor, *i.e.*, citral, mentol y eucaliptol. A finales de los 90, han sido implementados los cultivos de *Eucalyptus citriodora*, hinojo y de vetiver. En Bolivia, más de 100 ha están sembradas actualmente con especies vegetales aromáticas, y varias unidades (12) de destilación rural han sido instaladas. También, varias especies nativas, *Schinus acantostyles*, *Mintostachys sp.*, con diferentes propiedades biológicas (*e.g.*, actividad insecticida), se encuentran en proceso de domesticación e instalación de cultivos semi-industriales [11].

Las pequeñas islas Comores en el océano Índico son grandes productoras del aceite de ylang-ylang. A continuación, se describe la estructura de su producción en las Comores.

Producción de Ylang-ylang. El caso de las islas Comores.

El aceite esencial de ylang-ylang se destila de las flores del árbol de *Cananga odorata* (Familia Anonácea). Este aceite se utiliza en los perfumes finos “*haute gamme*”. La producción del aceite está concentrada en las islas Comores, en el Océano Índico. Francia es el principal comprador del aceite de Comores, Mayotte y Madagascar (isla Nosy-Bé), también es el principal exportador de este aceite a los EE.UU., uno de los grandes mercados de fragancias. Tradicionalmente, el aceite esencial de ylang-ylang se produce (se fracciona) en 5 categorías: (1) Supremo Extra (*Extra-Supérieur*); (2) Extra (Extra); (3) Premier grado (*Première*); (4) Segundo grado (*Deuxième*) y, (5) Tercer grado o categoría (*Troisième*). El aceite producido en Comores es el más completo de los de todos los orígenes. Indonesia produce “*cananga oil*”, aceite de ylang-ylang crudo, no fraccionado, que compite con el aceite de Tercera Categoría. La producción total mundial del aceite de ylang-ylang de todos los orígenes se estima en 100 toneladas por año; la producción del aceite en las Comores varía en el rango de 50 a 65 toneladas anuales, en Mayotte, 10 – 20 toneladas, mientras que en Madagascar se destilan de 20 a 25 toneladas. La demanda en el mercado del aceite de ylang-ylang es estable, fuerte, los precios del aceite se han incrementado ligeramente desde 2002. Los aceites de más baja calidad (*Troisième*), poseen precios de alrededor de 28 EUR/kg, los aceites de calidad Extra tienen precios que pueden efectivamente variar de 80 a 90 EUR/kg del aceite. La estructura básica de la industria de los aceites de ylang-ylang en las Comores está formada por: (1) cultivadores; (2) destilerías; (3)



centros de acopio y exportadores. La mayoría de productores con plantaciones de 1–3 ha también poseen destiladores, aunque muchos de ellos son muy sencillos, que usan leña como combustible en las calderas (calderines) y condensadores muy poco eficientes. La destilación puede durar de 12 a 30 horas, lo que genera un gran consumo de combustible y agua. Se estima en las Comores un área total de siembra de árboles de 1.500–2000 ha y el rendimiento de aceite por ha es del orden de 30 kg. En las islas Comores la industria del aceite de ylang-ylang se encuentra bien organizada a través de las Asociaciones de Productores y Procesadores (Destiladores) y Asociaciones de Industriales y Exportadores, que trabajan en cadena.

Estos ejemplos muestran las posibilidades de desarrollo de la industria de aceites esenciales bajo diferentes escenarios y economías, pero es necesario tener presente el análisis de fortalezas y debilidades, amenazas y

oportunidades de esta interesante rama de agro-negocio, que, en forma resumida, y enfocada hacia Colombia, aparece en la Tabla 3-13 del presente capítulo.

Tabla 3-13. Análisis de fortalezas y debilidades, amenazas y oportunidades para la agroindustria de aceites esenciales y productos relacionados, en Colombia.

Fortalezas	Debilidades
Colombia es un país <i>megadiverso</i> , con plantas aromáticas autóctonas con potencial de obtener aceites esenciales, extractos, aromas, concretos, absolutos u oleorresinas. En el país se cultiva también una amplia gama de plantas aromáticas y medicinales introducidas. Ya adaptadas a diversas condiciones climáticas de Colombia-, y se tiene la experiencia de su producción a escala pequeña y mediana, para uso como plantas frescas, en tisanas y decocciones, en productos de medicina naturista, aromaterapia, para biocontrol de plagas, etc.	La industria de aceites esenciales, <i>establecida</i> y <i>andando firme</i> , aún no existe en Colombia, todavía falta camino por recorrer y, hay una cierta inercia para arrancar, sobre todo, no hay a quién en el país se podría “copiar”, imitar, puesto que no se cuenta con una <i>experiencia positiva</i> todavía tanto industrial como de comercialización de aceites esenciales a nivel internacional.
Existe una amplia experiencia y conocimientos botánicos académicos registrados y publicados, acumulados de varias décadas de investigación, sobre plantas nativas, su taxonomía, usos <i>etno</i> -botánicos y colecciones <i>ex situ</i> en diferentes Jardines Botánicos y Herbarios Nacionales y Departamentales (Universidades Nacional de Colombia, de Antioquia, del Valle, UIS, otros).	La competitividad de la cadena productiva de plantas aromáticas y derivados requiere fortalecimiento a través de estudios piloto y la extensión gradual de la empresa, con la financiación y el capital de riesgo racionales y suficientes
Se cuenta con vasta experiencia agrícola desarrollada, diversa y de tradición internacional en cultivos de café, banana, fique, cacao, palma de aceite, caucho, frutales, cereales, cítricos, hortalizas y plantas aromáticas para uso culinario, entre otros, a través de las cadenas productivas con mercados nacionales y exportaciones establecidos.	La idiosincrasia y la tradición cultural de buscar resultados y ganancias inmediatos, saltando etapas imprescindibles de desarrollo, fases <i>piloto</i> , aseguramiento de calidad, buenas prácticas agrícolas y de manufactura, etc., pueden jugar un rol negativo en el fortalecimiento de la industria de aceites esenciales, que es de persistencia y observación permanente de la calidad en cada etapa.



Aceites Esenciales

La industria de aceites esenciales es de gran impacto social, requiere mano de obra poco calificada para la elaboración de productos a nivel rural, <i>i.e.</i> destilación primaria de aceites esenciales crudos, para luego ser rectificadas (re-destilados) en centros técnicos de acopio y re-procesamiento. El cultivo de plantas aromáticas puede ser intercalado o asociativo con otros cultivos tradicionales, industriales o de pan coger, a saber: frutales, café, yuca, cacao, <i>etc.</i>	Los precios de aceites esenciales comerciales pueden fluctuar notoriamente, de año a año, en el mercado internacional. Muchos aceites pueden ser sujetos a las tendencias no tangibles, a veces temporales, como modas y el manejo de la opinión pública, presiones publicitarias.
En los últimos años, se observa un crecimiento sólido de la industria mundial de aceites esenciales, con una tasa mayor del 10% al año. Los aceites esenciales forman parte de la <i>Industria de Sabores y Fragancias</i> . La demanda de <i>flavours</i> presenta su firme crecimiento de 3.5% anual. El tamaño global del mercado de aceites esenciales se estima en unos \$18-20 billones de dólares.	El acceso a la información sobre mercados y, más que todo, sobre los precios de productos- aceites esenciales y sus derivados-, es bastante limitado y difícil.
Ya se han invertidos algunos recursos en Colombia en la Investigación y Desarrollo (R&D) en el campo de plantas aromáticas y medicinales a nivel de laboratorio y ciencia básica, <i>e.g.</i> , proyecto CENIVAM y otros, financiados por Colciencias o por el Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, que es una plataforma sólida y madura para hacer puente hacia la implementación y el desarrollo del Proyecto en campo, tanto a nivel piloto, como en extensión. Los aceites esenciales son materia prima valiosa para el aislamiento de sustancias de elevado valor agregado, que, en su turno, son base para la síntesis de vitaminas, fitofármacos, fijadores, biorreguladores, entre otros.	Dificultad de incorporación de aceites esenciales a los mercados ya establecidos y con certificación internacional, cumpliendo las normas de seguridad y calidad del producto
Colombia goza de condiciones agrícolas -clima, suelos, precipitaciones, temperatura, <i>etc.</i> -, ideales, para establecer cultivos de plantas aromáticas para la producción, a partir de ellas, de aceites esenciales de calidad requerida internacionalmente. Se pueden realizar varias cosechas de plantas aromáticas al año. En muchas regiones del país, existe la disponibilidad de recursos hídricos y de fuentes de energía (combustible) de diversa naturaleza (carbón, aceite Diesel, gas, petróleo, leña, residuos vegetales, bagazo de caña, <i>etc.</i>), para la obtención de aceites esenciales en destiladores rurales e industriales de diferente capacidad.	El aceite esencial es un producto “nuevo” en Colombia, se requieren actividades educativas y capacitación de agricultores involucrados en su producción, la siembra y el procesamiento de plantas aromáticas, labores culturales, poscosecha, destilación primaria, <i>etc.</i>
Se dispone de diseños elaborados y adaptados de plantas extractoras móviles y estáticas para material vegetal diverso, a través de trabajos realizados en Universidades, <i>e.g.</i> en la UIS –en la Escuela de Ingeniería Mecánica-, y se cuenta con equipos piloto para la obtención de aceites esenciales y la optimización del proceso de su destilación “a la medida”, <i>es decir</i> , de acuerdo con el material vegetal empleado para destilación. El Centro de Investigación en Biomoléculas, CIBIMOL-CENIVAM es la base y el soporte científico-técnico para la industria de aceites esenciales en Colombia, cuenta con más de 20 años de experiencia científica;	Sistemas relativamente débiles de protección de propiedad intelectual sobre los recursos aromáticos vegetales nativos, validación científica del conocimiento de su uso <i>etno-farmacológico</i> .



numerosas publicaciones internacionales, trabajos de grado y presentaciones en los congresos mundiales sobre plantas aromáticas y medicinales y aceites esenciales; posee una infraestructura sofisticada de equipos analíticos necesarios para el aseguramiento y el control de calidad de aceites esenciales, su estudio físico-químico, bases de datos espectroscópicos y bibliográficos.	
Se cuenta con valiosa experiencia de entidades como <i>Proexport</i> y <i>Cámaras de Comercio</i>, así como de diversas fundaciones y algunas empresas nacionales, a saber: <i>Ecoflora Ltda.</i>, <i>Morenos Ltda.</i>, <i>Labfarve</i>, compañía del grupo <i>Corpas</i>, <i>Phitother</i>, <i>Medick Ltda.</i>, <i>Aspromé</i>, <i>Naturcol</i>, y otras) en la comercialización de productos agrícolas (plantas aromáticas en fresco, extractos, bio-pesticidas, biorreguladores, etc.), a niveles nacional e internacional.	
Un aceite esencial, líquido muy oloroso, multicomponente, si es correctamente almacenado, posee uno de los más largos tiempos de vida útil (<i>shelf-life</i>), es un producto de volumen reducido y de fácil manejo y transporte, de precio relativamente alto (20-2000 US \$/kg, dependiendo de la planta aromática de la cual éste se extrae).	
Oportunidades	Amenazas
Tendencia mundial sólida y creciente de preferir, comprar y usar productos “naturales” y no de origen sintético.	Planeación muy pobre y el excesivo “apuro” en crear una nueva industria pueden conducir a errores fatales y a la pérdida de una oportunidad casi única en un mercado tan “cerrado” y bastante competitivo como es el de aceites esenciales.
Todos los aceites esenciales de plantas ya “establecidas” en el mercado mundial, <i>en su totalidad</i>, se importan en Colombia. La mayoría de aromas y saborizantes (<i>flavours</i>) importados son de origen meramente sintético, mientras que los mercados europeos claman por los ingredientes naturales y orgánicos, en los productos de uso humano	Las fallas e incumplimiento con el suministro continuo de aceites esenciales, en cantidad y con calidad requeridas, al comprador, conducirán a la pérdida de su confianza, romperán el negocio, con resultados devastadores e irreversibles para los intentos futuros.
Posibilidad de generación de divisas a través del establecimiento de una nueva agroindustria y la exportación de aceites esenciales a precios competitivos internacionalmente.	Desastres naturales, incendios, inundaciones, plagas virulentas, etc. podrán acabar con los cultivos y el material vegetal necesarios para la destilación de aceites esenciales.
Mercados internacionales buscan intensamente nuevos aceites, mezclas aromáticas extraordinarias, inesperadas, los llamados “<i>miracle oils</i>”, muchos de los cuales pueden provenir de las plantas endógenas y nativas domesticadas, de países tropicales, e.g. Colombia.	Competencia por parte de sucedáneos sintéticos, mezclas más baratas que evocan aceites esenciales naturales.
La cadena productiva de aceites esenciales y derivados y el desarrollo de una nueva industria de esencias atraerán la inversión extranjera, y crearán las posibilidades de nuevos empleos, la base de bienestar de muchas familias colombianas.	Fuerte competencia por parte de los países -en Latinoamérica, Brasil, Argentina, Guatemala, México, Paraguay-, con la industria de aceites esenciales, mercados y canales de comercialización bien establecidos.



Aceites Esenciales

Posibilidades de financiamiento de Cadenas Productivas a través de Programas y Convocatorias del Gobierno, *e.g.* la del Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, Colciencias, sector privado.

Fuerte crecimiento de las industrias farmacéuticas, la producción en constante aumento de *cosmecéuticos* y *nutricéuticos*, incrementa también la demanda de aceites esenciales y extractos de plantas, los llamados “*extractos botánicos*”. Imposibilidad de crear mezclas sintéticas idénticas a las naturales, por la sofisticación y la complejidad de las estructuras moleculares presentes, *e.g.* aceites de clavo, vetiver, patchouli, entre otros, hacen difícil su reemplazo.

Muchos aceites, al contrario, son muy económicos -*e.g.* aceites de cítricos a partir de los desechos de la industria de jugos-, y su obtención es más ventajosa y económica que la elaboración de mezclas sintéticas que los simulan. Oportunidades de extender el rango de productos de origen natural a través de la biotecnología y procesos catalíticos *verdes*.

Oportunidad de ofrecer un cultivo de rápido crecimiento y de varias cosechas al año, para generar producto de valor agregado alto y tecnología asequible, en las regiones de cultivos ilícitos.

Posibilidad de unirse y poder trabajar en proyectos asociativos de varias pequeñas y medianas cooperativas agrícolas rurales, que pueden compartir la infraestructura (*semilleros, viveros, maquinaria, agroinsumos*), aprovechar mejor la tierra por medio del cultivo asociativo de plantas y otros, y, sobre todo, usar los destiladores móviles corporativamente, entre varios.

Posibilidad de producir en Colombia aceites esenciales “orgánicos” certificados, con el registro de trazabilidad desde el momento de siembra hasta la obtención de aceites.

La inversión hecha en los últimos 15 años para el desarrollo de la base científica y de la infraestructura analítica sofisticada requeridas para estudios de plantas aromáticas y aceites esenciales, a través de varios *grants* -proyectos financiados por Colciencias, y contrapartidas de la Universidad Industrial de Santander, además, asesorías, cursos, talleres, y numerosos trabajos de grado a niveles de Pregrado, Maestría y Doctorado, en química, ingenierías química, mecánica, industrial, y biología, entre otros, fácilmente superan los dos millones de dólares americanos; por ello, es una verdadera *amenaza* “perder” este dinero, la experiencia, el *know-how*, sin poder materializarlos, aplicando los conocimientos adquiridos y validados en campo, contribuyendo así al desarrollo de una nueva industria, generando empleo, optimizando el uso de la tierra, y, sobre todo, dando mayor valor agregado a la materia prima, plantas, que contienen aceites esenciales, por medio de su extracción, modificación e incorporación en nuevos productos (*biorreguladores*), entre otros, para el uso agrícola verde.





REFERENCIAS

- [1]. G. A. Avellaneda-Rojas, G. H. Roa-Pardo. *Estudio de la estructura de mercado para la comercialización de aceites esenciales en Colombia*. Trabajo de Grado. Directores: R. Vásquez, E. E. Stashenko. Facultad de Ciencias Humanas. Escuela de Economía. Universidad Industrial de Santander. Bucaramanga, Colombia. 2008. 96 p.
- [2]. P. M. Parker. INSEAD. 2005. En www.icongrouponline.com
- [3]. E. E. Stashenko, W. Torres and J.R. Martínez. A Study of compositional variation in the essential oil of ylang-ylang (*Cananga odorata* Hook. Fil. et Thomson, forma *genuina*) during flower development. *J. High Resolut. Chromatogr.* 1995, **18** (2), 101-104.
- [4]. Elena. E. Stashenko, J.R. Martínez, Carlos Macku, and T. Shibamoto. HRGC and GC-MS analysis of essential oil from Colombian ylang-ylang (*Cananga odorata* Hook Fil. et Thomson, forma *genuina*). *J. High Resolut. Chromatogr.* 1993, **16** (7), 441-444.
- [5]. C. Y. Cárdenas-Melgarejo, S. Duarte-Rueda. *Estudio del ciclo circadiano de la carvona en las hojas de Lippia alba (Fam. Verbenácea)*. Trabajo de Grado. Directores: E. E. Stashenko, J. R. Martínez. Facultad de Ciencias. Escuela de Química. Universidad Industrial de Santander. Bucaramanga, Colombia. 2007. 160 p.
- [6]. L. A. Monsalve-Salamanca. *Comparación de la composición de los aceites esenciales de las plantas de Lippia alba, provenientes de diferentes regiones de Colombia*. Trabajo de Grado. Directores: E. E. Stashenko, J. R. Martínez. Facultad de Ciencias. Escuela de Química. Universidad Industrial de Santander. Bucaramanga, Colombia. 2007. 141 p.
- [7]. G. A. Gómez-Ríos. *Análisis de la composición química y de la actividad biológica de los aceites esenciales de 2 quimiotipos de Lippia alba, en función de las condiciones de extracción y secado de la planta*. Trabajo de Grado. Directores: E. E. Stashenko, J. R. Martínez. Facultad de Ciencias. Escuela de Química. Universidad Industrial de Santander. Bucaramanga, Colombia. 2007. 172 p.
- [8]. C.C.R. de Carvalho and M. R. da Fonseca. Carvone: Why and how should one bother to produce this terpene. *Food Chem.* 2006, **95** (3), 413-422.
- [9]. Essential Oils and Oleoresins. International Trade Center, UNCTAD/WTO, MNS. Issue 3, March, 2008.
- [10]. Organic Products. International Trade Center, UNCTAD/WTO, MNS. Issue 4, March, 2008.
- [11]. Essential Oils and Oleoresins. International Trade Center, UNCTAD/WTO, Bulletin MNS. March, 2009.



Aceites Esenciales



CAPÍTULO IV

Propiedades y Caracterización



PROPIEDADES Y CARACTERIZACIÓN



La caracterización de un aceite esencial inicia con la designación de la fuente vegetal, *i.e.*, planta, de la cual fue aislado y la parte de la planta utilizada (flores, hojas, frutos, rizomas, raíces, etc.). Es importante suministrar, junto con el nombre vulgar (*vernáculo*) de la planta, por ejemplo, *romero*, su nombre botánico (identificación taxonómica), que consta de los nombres del género y de la especie, en este caso, *Rosmarinus* (género) *officinalis* (especie) de la familia Labiatae y, si existe la sub-especie o la variedad de la planta, es importante agregarla. Es necesario también especificar, si hay, el *quimiotipo* de la planta, que recibe a menudo su nombre por el compuesto mayoritario o distintivo, presente en el aceite esencial. La identificación botánica, a través del nombre científico de la planta, permite evitar confusiones. Por ejemplo, bajo el nombre vulgar de “manzanilla” pueden figurar distintas especies, con aceites esenciales de composición y propiedades bien diferentes, *i.e.*, la manzanilla alemana es *Matricaria recutita* (*Matricaria chamomilla*) y la manzanilla romana es *Anthemis nobilis*; ambas pertenecen a la familia Asteraceae (Compositae) y ambas se llaman comúnmente “manzanilla”. Junto con la identificación botánica, se deben indicar la procedencia de la planta, o sea, en dónde estaba cultivada (país, región) y cuál fue el método de extracción de su aceite esencial (arrastre con vapor o hidrodestilación).

Muchos factores inciden sobre la composición y el rendimiento de aceite esencial en la planta. Entre los principales figuran: la localización geo-climática, tipo de suelo, estado de desarrollo de la planta (*e.g.*, antes, durante o después de su floración) e inclusive la hora del día cuando se cosecha, entre otros. Los factores geo-climáticos y el tipo de suelo pueden dar origen a diferentes quimiotipos de la planta, de los cuales se destilan aceites esenciales con composición química, propiedades sensoriales y actividad biológica diferentes. Por ejemplo, en tomillo, *Thymus vulgaris* (Fam. Labiatae) se distinguen, por lo menos, cuatro quimiotipos, de acuerdo con sus compuestos mayoritarios en el aceite esencial: (I) Timol y *p*-cimeno; (II) Carvacrol, timol y borneol; (III) Linalool, terpinen-4-ol y acetato de linalilo y (IV) Geraniol y acetato de geraniol. Cada aceite aislado de estos quimiotipos, huele diferente y posee distintas propiedades biológicas. Mientras los quimiotipos I y II de tomillo poseen una actividad antibacteriana fuerte, son irritantes, los quimiotipos III y IV no lo son y tienen una moderada actividad antibacteriana. El aceite del quimiotipo III de tomillo posee un efecto sedativo debido a la presencia del linalool, alcohol monoterpénico, y su acetato [1]. Otro ejemplo son los aceites esenciales de plantas de geranio (*Pelargonium graveolens*), cultivadas en las islas Reunión (Océano Índico, al norte de Madagascar) y en China. En el mercado internacional el primer aceite esencial se conoce con el nombre de



“Bourbon” y el segundo, se denomina “Aceite de geranio chino”; sus composiciones químicas notoriamente varían [2], lo que se puede apreciar en la Tabla 4-1.

Tabla 4-1. Comparación de los aceites esenciales, según sus compuestos mayoritarios, aislados de geranios cultivados en China y en las islas Reunión.

Compuestos	Geranio (China), %	Geranio (Reunión), %
Citronelol	40	22
Formiato de citronelilo	11	8
Geraniol	6	17
Formiato de geranilo	2	7.5
Linalool	4	13

Otro parámetro importante es el tiempo de cosecha de la planta; de éste dependen tanto el rendimiento, como la composición del aceite extraído [3]. Por ejemplo, el aceite esencial de salvia (*Salvia officinalis*, Fam. Labiatae) contiene una cetona monoterpénica neurotóxica, α -tuyona [4], en cantidades diferentes, según la época cuando se recolecta la planta. El contenido de la cetona varía así: es alto, cuando la planta se cosecha después de florecer, y es bajo antes de su florecimiento. Ésta es precisamente la época cuando se hace la recolección de *Salvia officinalis*. Las flores de jazmín recolectadas en horas de la mañana, contienen en su aceite una combinación preferida de linalool, alcohol bencílico, *cis*-jasmona e indol, pero cuando las flores se recogen en las horas de la tarde, sus aceites poseen altos niveles de benzoato de bencilo, eugenol y salicilato de metilo [5]; los últimos dos introducen unas notas odoríferas poco placenteras y no deseables, lo que puede generar un rechazo en la industria de perfumes

o en aromaterapia. Para ylang-ylang (*Cananga odorata*, Fam. Anonáceae), el estado de sus flores, *i.e.*, frescas *vs* marchitas, o maduras, amarillas *vs* verdes y poco desarrolladas, afecta notoriamente la composición del aceite obtenido: la calidad *Extra* del aceite se alcanza, entre otros factores, cuando se destilan exclusivamente las flores amarillas, completamente desarrolladas, recién recolectadas durante las primeras horas de la mañana [6,7].

Durante el ciclo circadiano, la gran mayoría de las flores cambia su composición y la cantidad de metabolitos secundarios volátiles emitidos. Para ciertas plantas, durante algunas horas del día, la emanación de volátiles puede “suspenderse” casi por completo. Tal es el caso de la flor del trompetero o borrachero (floripondio) (Figura 4-1), identificado botánicamente como *Brugmansia suaveolens* (Fam. Solanácea), *Brugmansia*, en honor del profesor de Historia Natural Sebald Justin Brugmans (1761-1819) y *suaveolens*, del



latín, que significa de olor dulce o perfumado, por la fragancia de sus flores. En nuestros experimentos, los volátiles se recolectaron *in vivo* usando la técnica de microextracción en fase sólida (SPME), exponiendo la fibra de SPME directamente a la fase vapor (*headspace*, fragancia) de la flor [8,9] (Figura 4-1). Se estableció, que en las horas de la mañana, la emisión de volátiles prácticamente cesaba, pero que durante las horas de la tarde, nuevamente, se incrementaba y presentaba un ciclo circadiano bien característico [10].

Los aceites esenciales, productos del metabolismo secundario de las plantas, forman parte del arsenal de la defensa de la planta contra sus depredadores, enfermedades y plagas. Muchos de sus componentes son llamados “armas químicas” de las especies vegetales, que les permiten sobrevivir e interactuar con el ambiente. Existen diferentes clases de metabolitos secundarios. Entre ellos, alcaloides, carotenoides, saponinas, flavonoides y otros, pero aquellos metabolitos secundarios de la planta “destilables” con vapor de agua, agua/vapor o hidrodestilación, o sea, aceites esenciales, están formados mayoritariamente por una o varias de las siguientes clases de sustancias volátiles, a saber: (1) *terpenoides*, (2) *compuestos fenólicos* y sus derivados, (3) *moléculas no terpénicas* (alcoholes, ésteres, ácidos, etc.) y, menos frecuentemente, por (4) *compuestos heterocíclicos*, que contienen generalmente átomos de nitrógeno o azufre. Todas estas sustancias son de peso molecular relativamente bajo (< 300 Da), apolares o medianamente polares, son volátiles y cada una posee su olor característico.



Figura 4-1. A. La planta de *Brugmansia suaveolens* (Familia Solanácea), llena de flores. B. Monitoreo de volátiles (en modo headspace, HS) *in vivo* usando la técnica de microextracción en fase sólida (SPME). C. Cromatograma típico de los volátiles aislados de la flor de *B. suaveolens* por HS-SPME/GC-FID y la gráfica que muestra su emisión en función del tiempo: se observa la alta producción de volátiles en horas de la tarde.



Los *terpenoides* o *terpenos* forman el grupo más numeroso de compuestos presentes en la mayoría de aceites esenciales. El nombre “terpeno” se deriva de la palabra “terpentina”, que es un líquido muy oloroso, volátil e inflamable, formado básicamente por pinenos, que se aíslan por arrastre con vapor de las especies de la familia Pinaceae (pinos, abetos). Químicamente, los terpenos son productos de la unión de varias moléculas (unidades) del *isopreno*, que es un hidrocarburo insaturado con fórmula condensada C_5H_8 . Los isoprenos pueden acoplarse entre sí de múltiples maneras y formar numerosos isómeros. En esta familia de compuestos (terpenos) se observa toda clase de isomería, *e.g.*, geométrica, óptica y estereoisomería. De acuerdo con el número de unidades isoprénicas fusionadas, se constituyen, respectivamente, *monoterpenos*

($n=2$, $C_{10}H_{16}$) y sesquiterpenos ($n=3$, $C_{15}H_{24}$). Estos son los integrantes más comunes de los aceites esenciales, junto con sus numerosos derivados oxigenados, entre ellos, aldehídos, cetonas, alcoholes y ésteres. En la Tabla 4-2 aparecen algunas sustancias típicas de hidrocarburos monoterpénicos y sesquiterpénicos (y algunos derivados oxigenados), con estructuras lineal (acíclica), monocíclica, bicíclica y tricíclica. Los hidrocarburos terpénicos (C_{10} , C_{15}) no se mezclan con agua, pero sus derivados oxigenados (alcoholes, cetonas, éteres o ésteres), sí son más solubles en ella o en soluciones hidroetanólicas; esta propiedad se aprovecha para su uso como aromatizantes en diferentes productos finales, alimentos, bebidas, lociones, perfumes, etc. Algunos ejemplos de los monoterpenos oxigenados más comunes aparecen en la Tabla 4-3.

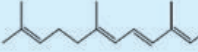
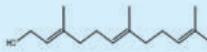
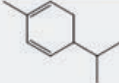
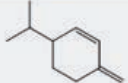
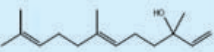
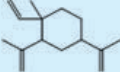
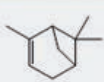
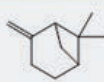
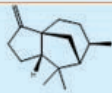
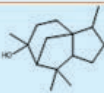
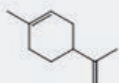
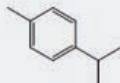
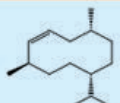
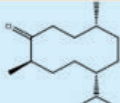
Unidades isoprénicas (C_5H_8)			
Monoterpenos ($n = 2$)		Sesquiterpenoides ($n = 3$)	
 β -Mirceno	 Ocimeno	 Farneseno	 Farnesol
 α -Felandreno	 β -Felandreno	 Nerolidol	 Elemeno
 α -Pineno	 β -Pineno	 Cedreno	 Cedrol
 Limoneno	 <i>p</i> -Cimeno	 Germacreno	 Germacrone

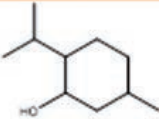
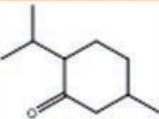
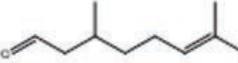
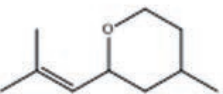
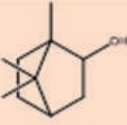
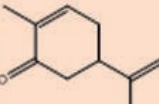
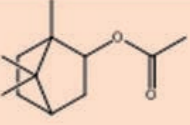
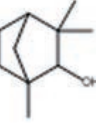
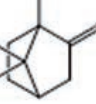
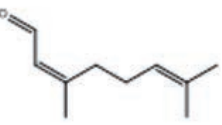
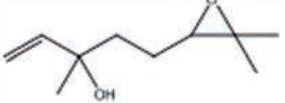
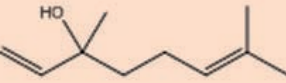
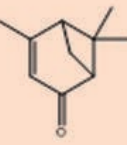
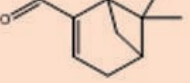
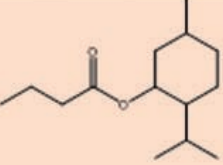
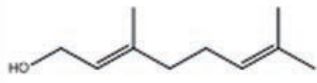
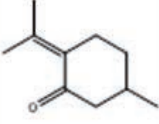
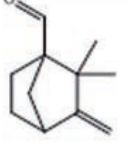
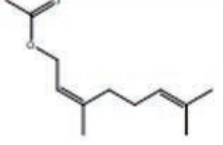
Tabla 4-2. Hidrocarburos monoterpénicos y algunos sesquiterpenoides, constituyentes comunes de aceites esenciales.



Otro grupo importante de los constituyentes de los aceites esenciales lo conforman fenoles y sus éteres, fenilpropanoides, cumarinas y furanocumarinas, entre otros (Tabla 4-4).

Las propiedades antioxidantes y antimicrobianas de los aceites esenciales se atribuyen a la presencia de compuestos fenólicos y sus derivados [11].

Tabla 4-3. Algunos monoterpenos oxigenados, componentes frecuentes de muchos aceites esenciales.

Monoterpenos oxigenados			
Alcoholes	Cetonas	Aldehídos	Otros
 Mentol	 Mentona	 Citronelal	 Óxido de rosa
 Borneol	 Carvona	 Geranial	 Acetato de bornilo
 Fenchol	 Alcanfor	 Neral	 Óxido de linalool
 Linalool	 Verbenona	 Mirtenal	 Butirato de mentilo
 Geraniol	 Pulegona	 Canfenal	 Acetato de nerilo

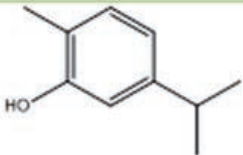
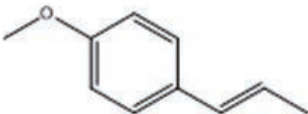
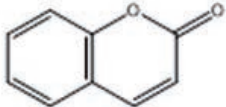
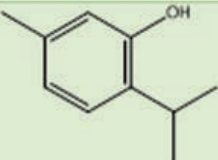
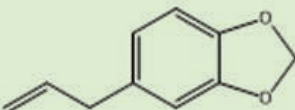
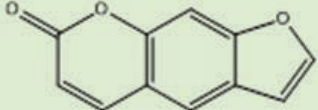
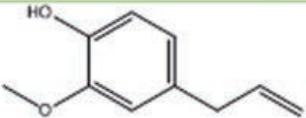
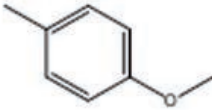
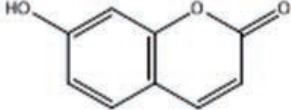
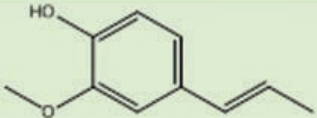
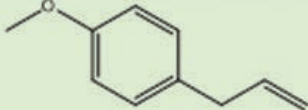
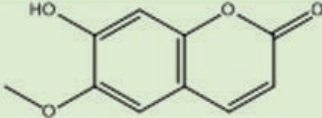


Aceites Esenciales

Según la familia de compuestos químicos que prevalezca en la mezcla, los aceites esenciales, *grosso modo*, se pueden clasificar en los siguientes tres grupos principales: (1) tipo *monoterpenoide*: la mayoría de las sustancias presentes en el aceite son monoterpenos y sus análogos oxigenados, (2) tipo *sesquiterpenoide*: es cuando en el aceite predominan

sesquiterpenos y sus derivados oxigenados y, finalmente, (3) aceites ricos en compuestos *fenólicos* y *fenilpropanoides* y otros compuestos oxigenados no terpénicos. Algunos ejemplos de plantas aromáticas y aceites esenciales, clasificados con base en el criterio de compuestos mayoritarios presentes, aparecen en la Tabla 4-5.

Tabla 4-4. Ejemplos de compuestos oxigenados, fenoles y sus ésteres, fenilpropanoides y cumarinas, presentes en aceites esenciales.

Compuestos oxigenados no terpénicos		
Fenoles	Éteres	Cumarinas
 Carvacrol	 <i>trans</i> -Anetol	 Cumarina
 Timol	 Safrol	 Psoraleno
 Eugenol	 <i>p</i> -Cresil metil éter	 Umbeliferona
 Isoeugenol	 Metil chavicol (estragol)	 Escopoletina



En la Tabla 4-6 se reúnen los ejemplos de plantas aromáticas en cuyos aceites predominan ciertos compuestos característicos de los grupos de hidrocarburos monoterpénicos y sesquiterpénicos, monoterpénos y sesquiterpenos, compuestos fenólicos y derivados, aldehídos y cetonas terpénicas, entre otros. En la Figura 4-2 aparecen perfiles cromatográficos típicos obtenidos por GC-FID y componentes mayoritarios de los aceites esenciales aislados por hidrodestilación de tres especies del género *Lippia* (Fam. Verbenaceae), i.e., *L. alba* (quimiotipo “Carvona”), *L. dulcis* (orozuz) y *L. micromera*. Se puede observar que los aceites analizados pertenecen, respectivamente, a los tres diferentes tipos, a saber: *monoterpenoide*, *sesquiterpenoide* y de *tipo fenólico*, según la familia de componentes predominantes.



Figura 4-2. Perfiles cromatográficos típicos obtenidos por GC-FID (Columna DB-5, 60 m) de los aceites esenciales aislados por hidrodestilación de las plantas de la familia Verbenaceae: **A.** *Lippia alba* (Pronto alivio). **B.** *Lippia dulcis* (Orozuz). **C.** *Lippia micromera*.

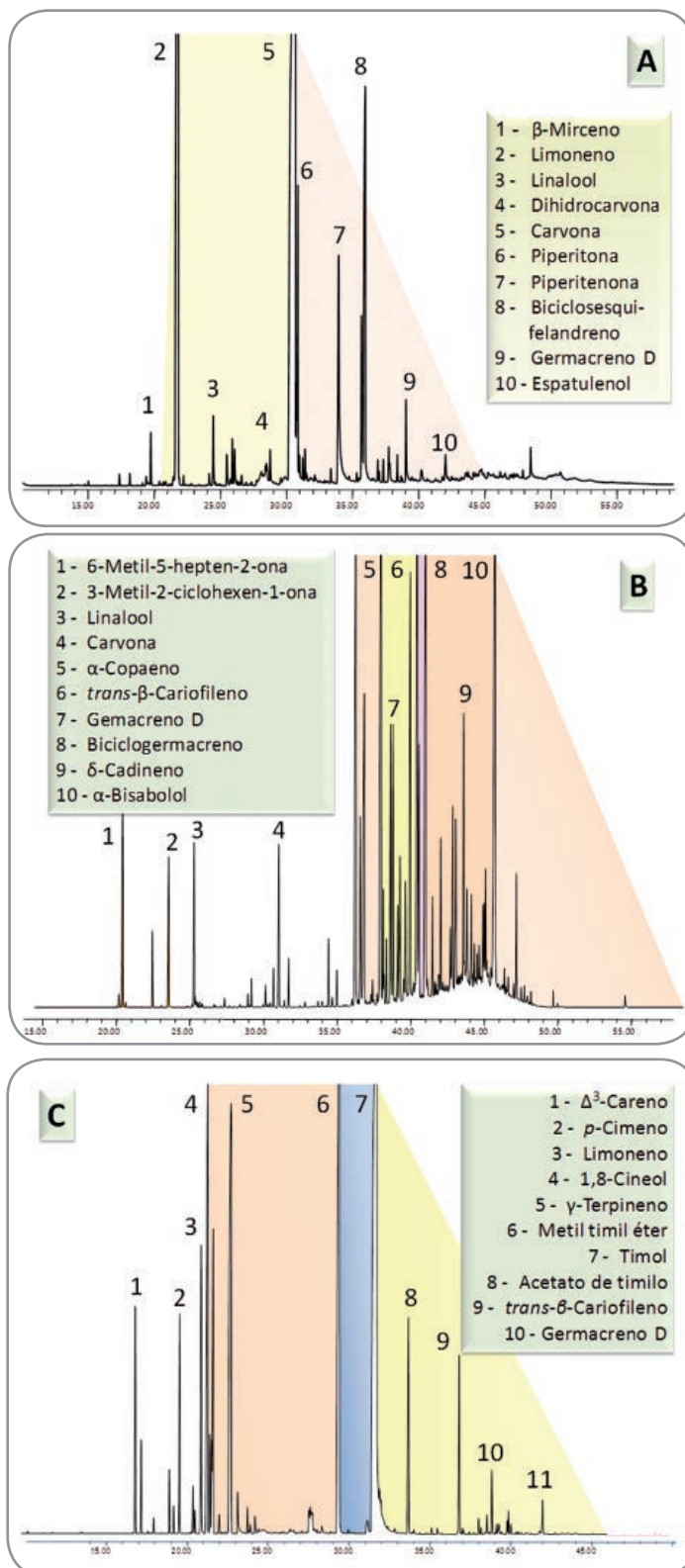




Tabla 4-5. Ejemplos de plantas aromáticas y su clasificación según la familia de compuestos que prevalecen en sus aceites esenciales.

Clase de compuestos	Especies vegetales
Monoterpenoides	Romero, salvia, geranio, citronela, palmarrosa, albahaca, rosa, pino, eucalipto, cítricos, ciprés, lavanda, mentas
Sesquiterpenoides	Patchoulí, cúrcuma, jengibre, vetíver, copaiba, cedro, clavo, mirra, manzanilla alemana
Compuestos fenólicos y oxigenados no terpénicos	Eneldo, anís, hinojo, tomillo, orégano, ylang-ylang, pimiento, canela, ajedrea, narciso, tarragón, anís estrella

El precio de un aceite esencial, su valor comercial y, sobre todo, su aplicación en diferentes ramas de la industria están relacionados directamente con sus propiedades físico-químicas, olor, actividad biológica y, sobre todo, con la composición química, que comprende no solamente compuestos mayoritarios, sino aquellos presentes a nivel de trazas. Por todo ello, se hace necesaria la caracterización física, química y sensorial completa del aceite. Cuando se comercializa un aceite esencial, se adjunta su *ficha técnica*, que es un documento, que contiene la descripción de las propiedades físico-químicas y de la composición química del aceite. El proceso de caracterización de un aceite se divide en varios pasos, cada uno de los cuales puede ser de menor o mayor relevancia para la toma de decisión sobre la aplicación del aceite esencial dado en una de las ramas de la industria (alimentos, bebidas, productos de aseo, cosméticos, etc.) o en medicina (aromaterapia, homeopatía, fitofármacos). Por ejemplo, si un aceite es constituido predominantemente por hidrocarburos mono- o sesquiterpénicos, no solubles en agua-alcohol, será poco atractivo su

uso en la industria de perfumes; los aceites ricos en *safrol*, tendrán una restricción para su empleo en productos alimenticios, *e.g.*, bebidas; mientras que los aceites, ricos en *timol* y *carvacrol* (compuestos antisépticos), al contrario, serían de gran interés para incorporarlos en fitofármacos, cosméticos o en productos de aseo y de protección antimicrobiana (conservantes, antioxidantes).

Los requisitos e importancia de cada etapa para la caracterización del aceite pueden variar. Así, la información sobre citotoxicidad, genotoxicidad y otras propiedades tóxicas, que puede tener un aceite, es muy importante para su empleo y la dosificación en fitofármacos y productos alimenticios. Por ejemplo, el uso de los aceites que contienen *estragol* es restringido, porque esta sustancia se considera sospechosa de ser cancerígena [4]. La fragancia (olor) y la evaluación organoléptica (sensorial) de un aceite son factores, así como su solubilidad en mezcla hidroalcohólica, serán importantes para su uso en perfumes, lociones, cremas o como aromatizante en productos de aseo [12]; la no irritabilidad,



Tabla 4-6. Aceites esenciales con alto contenido de algunos compuestos constituyentes.

Compuestos	Especies vegetales
Hidrocarburos monoterpénico	
Limoneno, α - y β -pinenos, γ -terpineno, β -mirceno, α - y β -felandrenos, Δ^3 -careno, <i>p</i> -cimeno, <i>trans</i> - β -ocimeno	<i>Grapefruit</i> , naranja, limón, mandarina, nuez moscada, pino, bergamota, romero, abeto, lavanda, ciprés
Hidrocarburos sesquiterpénicos	
Cariofileno, chamazuleno, farneseno, cedreno, <i>ar</i> -curcumeno, zingibereno, ylangeno, elemeno, humuleno, copaeno, patchouleno	Pimienta negra, patchoulí, clavo, manzanilla, ciprés, cedro, jengibre, mirto, copaiba, ylang-ylang
Monoterpenoles y sus ésteres	
Linalool, mirtenol, terpinen-4-ol, mentol, geraniol, citronelol, nerol, α -terpineol, 1,8-cineol, sabinol y sus formiatos, acetatos, butiratos, etc.	Albahaca, lavanda, palo de rosa, mejorana, mentas, palmarrosa, citronela, geranio, rosa, limonaria, árbol de té, nerolí, eucalipto, cardamomo, mirto, angélica, ajenjo
Sesquiterpenoles y sus ésteres	
Farnesol, viridiflorol, patchoulol, santalol, eudesmol, cedrol, vetiverol, vetivol y sus acetatos	Jazmín, ylang-ylang, patchoulí, sándalo, jengibre, vetiver, manzanilla
Compuestos fenólicos y sus éteres	
Timol, carvacrol, eugenol, isoeugenol, chavicol, acetato de eugenilo, metil chavicol (estragol), anetol	Tomillo, orégano, tagetes, canela, tarragón, albahaca, rosa, hinojo, anís, pimento, anís estrella, clavo, ajedrea
Aldehídos terpénicos	
Citronelal, neral, geranial, farnesal, canfenal, sinensal	Eucalipto, citronela, <i>Litsea cubeba</i> , melisa, limonaria, jengibre, limón, naranja, lima, canela
Cetonas terpénicas	
Mentonas, alcanfor, tuyona, fenchona, carvona, dihidrocarvona, pinocarvona, piperitenona, pulegona, piperitona, turmerona, <i>ar</i> -turmerona	Mentas, geranio, romero, salvia, lavanda, eneldo, tannaceto, ajenjo, <i>Buchu</i> , alcanforero, alcaravea, hisopo, romero, salvia, cúrcuma
Otros compuestos oxigenados no terpénicos	
Alcohol 2-feniletílico, benzoato de bencilo, 6-metil-5-hepten-2-ona, 2-undecanona, acetato de cinamilo, safrol, cumarina, umbeliferona, <i>trans</i> -2-hexenal, aldehído cinámico	Rosa, ylang-ylang, canela, melisa, ruda, casia, narciso, tarragón, tonca, eneldo, canela, <i>Piper sp.</i>

no alergenicidad y la ausencia de efectos fotosensibilizadores de los componentes de un aceite son condiciones imprescindibles para su empleo en productos cosméticos o de aseo personal, entre otros [3,4,13,14].

De esta manera, un aceite esencial se somete a una caracterización completa, cuando se llevan a cabo los siguientes pasos:



(1) Evaluación organoléptica (sensorial).

Se hace a través de un panel de expertos o catadores, los llamados “narices”. Es decisiva a la hora de seleccionar el aceite como ingrediente odorífero, nota fragante, en los perfumes o en los productos afines.

(2) Determinación de propiedades físico-químicas.

Se describe el aspecto general del aceite, *i.e.*, su textura, color, fluidez y se determinan las constantes físico-químicas de acuerdo con diferentes normas internacionales (normas ISO, por sus siglas en inglés, *International Organization for Standardization*, Organización Internacional para Estandarización) para los aceites esenciales, por ejemplo, se normaliza cómo deben hacerse las mediciones de la densidad, el índice de refracción, la solubilidad en alcohol, la rotación óptica, los números o índices de acidez, éster, etc., los puntos de congelación e ignición (*flash point*) y otras. Estas constantes reflejan propiedades *macroscópicas* de la mezcla, son combinaciones únicas, características del aceite esencial, que se derivan de sus propiedades *microscópicas*, o sea, de su composición química. Las constantes físico-químicas deben ser reportadas en la *ficha técnica* del aceite, que se adjunta al producto cuando se requiere comercializarlo, vender o utilizar para alguna aplicación específica. En la Figura 4-3 aparece una parte de una *ficha técnica* del aceite de *Lippia alba* (Fam. Verbenaceae), en donde se reportan algunas propiedades físico-químicas y compuestos mayoritarios del aceite.

(3) Determinación de propiedades biológicas.

Estos estudios son muy importantes para aquellos aceites que se emplean en productos de consumo humano (aromatizantes

y saborizantes en alimentos), en artículos de aseo personal, como ingredientes naturales en cosméticos (enjuagues bucales, jabones, cremas, etc.) o en fitofármacos. Qué tipo de propiedad biológica hay que determinar depende del producto final en el cual se incorporará el aceite.

Por ejemplo, las propiedades antioxidantes y la actividad antimicrobiana comprobadas son muy importantes, junto con las características organolépticas, sensoriales, para que el aceite sea un excelente candidato como ingrediente natural en productos cosméticos o de higiene personal. Esto, siempre y cuando no presente propiedades alergénicas o, posea en su composición, por ejemplo, compuestos fotosensibilizadores (*e.g.*, psoralenos)

(4) Determinación de la composición química.

Corresponde a uno de los análisis más importantes que se practica a un aceite esencial. La *ficha técnica* del aceite, junto con las constantes físico-químicas medidas, debe contener el respectivo *cromatograma del aceite* y la tabla con su composición química, nombres de constituyentes y sus cantidades relativas (%) en la mezcla.

El conjunto de propiedades físico-químicas y la composición química de un aceite hacen su identificación única, distintiva, que puede servir para la determinación del origen, la pureza, el precio y la aplicabilidad de este importante producto agroindustrial en alguna de las ramas de las industrias alimenticia, farmacéutica o de perfumes, fragancias y productos de aseo.



Figura 4-3. Ejemplo de una ficha técnica del aceite esencial hidrodestilado de pronto alivio (*Lippia alba*, quimiotipo “Carvona”).

Universidad Industrial de Santander 	Nombre común		Pronto alivio
	Nombre científico		<i>Lippia alba</i> (quimiotipo “Carvona”)
	Código del aceite		001
	Estado físico		Líquido
Propiedades fisicoquímicas			
Norma	Parámetro		Resultado (n =3)
ISO 1242: 1999	Índice de acidez (mg KOH/g de AE)		0.09 ± 0.02
ISO 709: 2001	Índice de ésteres (mg KOH/g de AE)		48.7 ± 0.4
ISO 279: 1998	Densidad relativa		0.893 ± 0.001
ISO 280: 1998	Índice de refracción (nD)		1.406 ± 0.001
ISO 11021: 1999	Humedad (%)		0.35 ± 0.02
ISO/TR 11018:1997	Flash point (°C)		33.8 ± 0.4
ISO 1272:2000	Contenido de fenoles (% volumen)		4.5 ± 0.7
Solubilidad en etanol (Norma ISO 875: 1999)			
Concentración (%v/v)	95%	85%	75%
V' (Miscible)			
V'' (Miscible con turbidez)	0.1 – 0.2 = Sln Std 1.9 – 20.0 < Sln Std	7.0 – 7.4 > Sln Std 7.5 – 7.8 = Sln Std 7.9 – 20.0 < Sln Std	
V''' (Desaparición de turbidez)	0.3 – 1.8		
Inmiscible		0.1 – 6.9	0.1 – 20.0
Observaciones: Sln std: Solución estándar de nitrato de plata.			
Componentes mayoritarios del aceite esencial, %			
Carvona		53.0	
Limoneno		11.1	
Biciclosesquifelandreno		16.4	
Piperitenona		3.6	
Piperitona		2.5	
β-Bourboneno		1.5	



Aceites Esenciales

Contrario a lo que puede parecer a primera vista, la caracterización química de un aceite esencial no es una tarea ni sencilla, ni trivial, puesto que el objeto de análisis es complejo. En primer lugar, porque el aceite esencial es una mezcla muy compleja de 50 a 300 componentes, en sus estructuras pueden encontrarse varios grupos funcionales (alcoholes, cetonas, aldehídos, lactonas, éteres, ésteres, etc.) y se destacan diferentes isomerías (geométrica, espacial, óptica). Además, porque los constituyentes de aceites poseen volatilidades (puntos de ebullición) y polaridades (momentos dipolares), que pueden variar en un amplio rango de valores. En segundo lugar, porque en esta mezcla compleja, todas

sus sustancias, tanto mayoritarias, como las presentes a nivel de trazas, pueden jugar un rol igualmente importante y contribuir a las propiedades organolépticas (sensoriales) y de actividades biológicas del aceite. Las concentraciones de constituyentes pueden variar desde las partes por millón (*ppm*) hasta las partes por trillón (*ppt*), lo que agrega una dificultad adicional al análisis instrumental de aceites esenciales. Todo ello, entonces, se demanda de la determinación completa de la composición química del aceite.

La técnica “oficial”, que se emplea rutinariamente para el análisis químico instrumental de aceites esenciales, es la *cromatografía de*

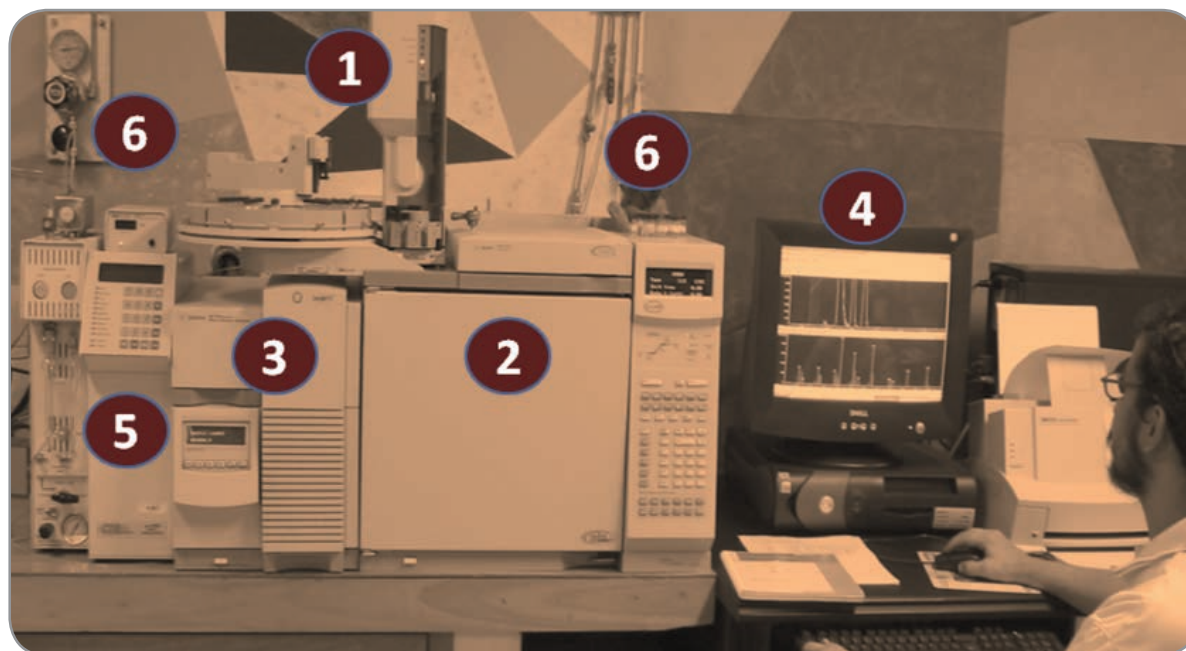


Figura 4-4. Equipo de cromatografía de gases acoplado a espectrómetro (detector) de masas y un sistema para purga y trampa y desorción térmica, que consta de los siguientes elementos: **1.** Un sistema de aplicación de la muestra: inyector automático; **2.** Un sistema de separación de la mezcla: un horno con temperatura programada que alberga una columna cromatográfica; **3.** Un sistema de detección, en este equipo, un detector selectivo de masas (MSD); **4.** Un sistema de datos; **5.** Un dispositivo externo para purga y trampa de volátiles (P&T) y para desorción térmica y **6.** Un sistema de gases (controladores de flujo, presión, purificadores y trampas). Laboratorio de Cromatografía, UIS, Bucaramanga.



gases (GC), debido a que los constituyentes de los aceites son sustancias volátiles (monoterpenoides, ésteres, etc.) o semi-volátiles, volatilizables (sesquiterpenoides, derivados fenólicos, etc.), cuyas masas moleculares y temperaturas de ebullición no exceden 300 u.m.a. y 230 – 250°C, respectivamente.

El análisis instrumental del aceite esencial se hace en un *cromatógrafo de gases* (GC). Un sistema cromatográfico comprende cuatro bloques fundamentales, entre los cuales figuran los siguientes: (1) sistema de aplicación de la muestra (*inyector*); (2) sistema de separación de la mezcla (*columna*); (3) sistema de detección de analitos (sustancias) eluidos de la columna (*detector*) y, finalmente, (4) *sistema de datos* [15,16]. El cromatógrafo de gases puede tener detectores convencionales y espectrales, estar unido a un dispositivo externo, por ejemplo, un muestreador de espacio de cabeza (*headspace sampler*), un pirolizador, un equipo de purga y trampa (P&T) o para desorción térmica, entre otros. Y, obviamente, no olvidemos un elemento sumamente importante, un *Homo sapiens*, variedad

quimicus, o sea, un *operador*, que sepa manejar el equipo, extraer e interpretar la información correctamente, programar experimentos y brindar un soporte técnico y mantenimiento preventivo (al menos) al cromatógrafo. En la Figura 4-4 aparecen un cromatógrafo de gases y sus bloques principales.

Cada bloque del sistema cromatográfico tiene su propia función y su “responsabilidad” por la calidad del análisis y los resultados obtenidos; por ejemplo, la función *del sistema de inyección* es transferir la muestra a la columna cuantitativamente, sin discriminación por peso molecular ni por la volatilidad de los componentes y sin su alteración química (descomposición o isomerización). Algunos terpenos y ésteres presentes en los aceites esenciales, eventualmente, pueden sufrir una isomerización o hasta su descomposición (hidrólisis) al pasar por el inyector donde la muestra líquida se volatiliza a temperaturas de 220 – 260 °C. Ello se evita, con la transferencia de la muestra a la columna cromatográfica por medio de un inyector tipo *cold on-column* (inyección en columna en frío), a

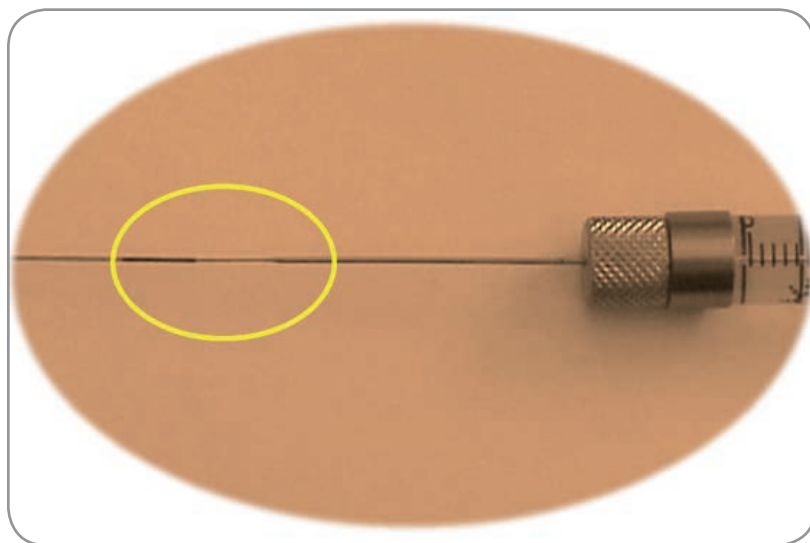


Figura 4-5. La inserción de la aguja de una jeringa especial utilizada en el modo de inyección *on-column*: una pequeña cantidad (0.1 – 0.2 µL) de la muestra líquida se deposita directamente en la entrada de la columna capilar.



través de una jeringa introducida directamente a la columna (Figura 4-5), y no por medio de un inyector tradicional, mucho más usado -el puerto de inyección *split/splitless*-, preferido por sus múltiples aplicaciones en cromatografía de gases. Cuando la inyección de un aceite esencial -usualmente disuelto en un solvente (éter, diclorometano, pentano, hexano) al 30-50%-, se lleva a cabo en el puerto

de inyección *split/splitless*, es importante establecer la relación *split* (grado de división de la muestra) correctamente, puesto que de ello dependen la sensibilidad del análisis y el número de compuestos registrados en el cromatograma (Figura 4-6). La detección de los componentes, presentes en el aceite esencial a nivel de trazas, requerirá la inyección de la muestra en el modo *splitless*.

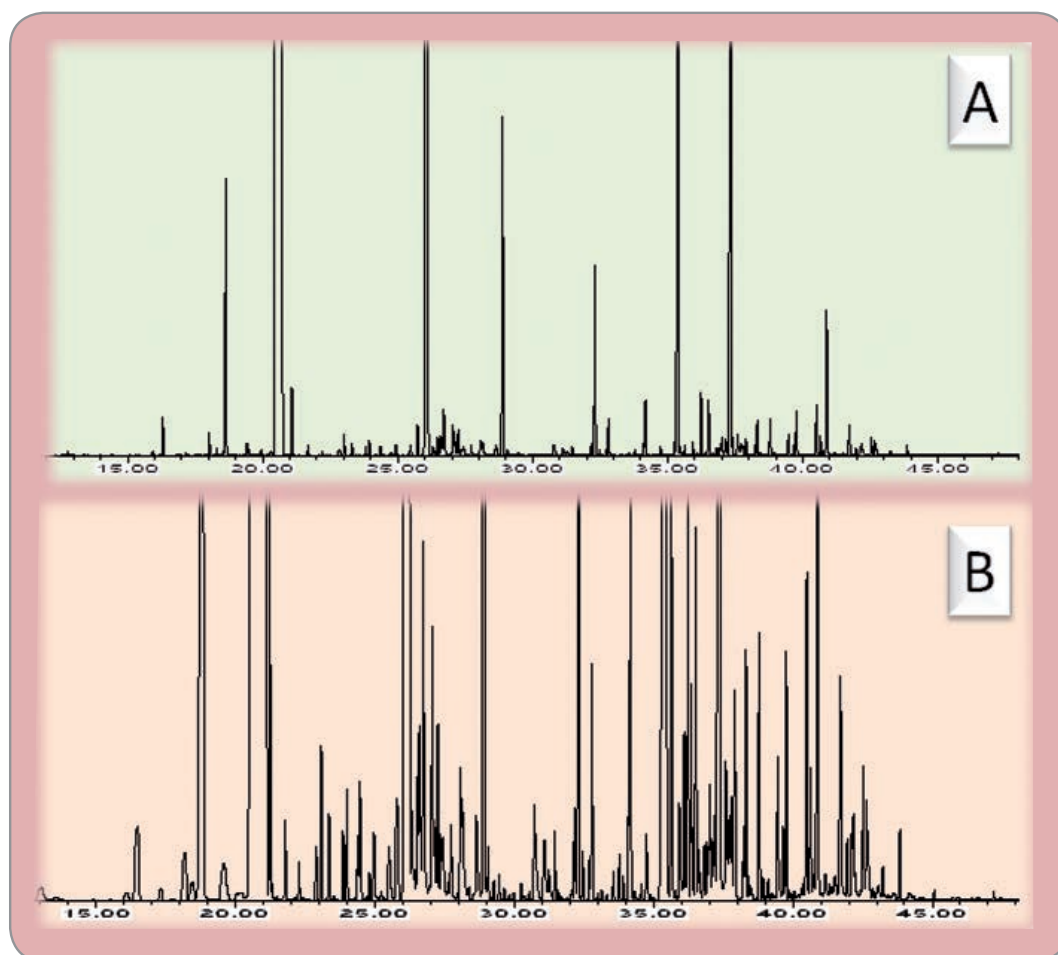


Figura 4-6. Cromatogramas típicos obtenidos por GC-FID en la columna capilar DB-5 (60 m), del aceite esencial hidrodestilado de la cáscara de fruta de *Swinglea glutinosa* (limón africano, Fam. Rutáceae), usando dos modos de inyección de la muestra: **A.** *Split* 1:50 y **B.** *Splitless*.



La “responsabilidad” de la columna cromatográfica en el análisis es alta: se debe lograr la separación nítida, completa (idealmente) de todos los componentes de la mezcla. La separación se basa en alcanzar que las constantes de distribución, K_D , de los componentes entre las dos fases, estacionaria y móvil, sean diferentes. Ello se alcanza al establecer las condiciones operacionales óptimas (temperatura, velocidad de fase móvil o su polaridad, presión, etc.), y al elegir correctamente la columna cromatográfica, *i.e.*, sus dimensiones (longitud, L , diámetro interno, D.I.), tipo de

fase estacionaria, *f.e.*, su composición química, polaridad, etc. y el grosor, d_p , de la *f.e.*, entre otros factores. Para el análisis de aceites esenciales se utilizan columnas largas (50 y 60 m), puesto que los aceites son mezclas complejas, multicomponente y, sobre todo, poseen compuestos estructuralmente muy parecidos (isómeros), que requieren que la columna tenga una resolución muy alta, que, entre otros factores, se logra con el aumento de su longitud. Otro aspecto importante a recordar es el hecho de que los aceites esenciales contienen compuestos de polaridad muy

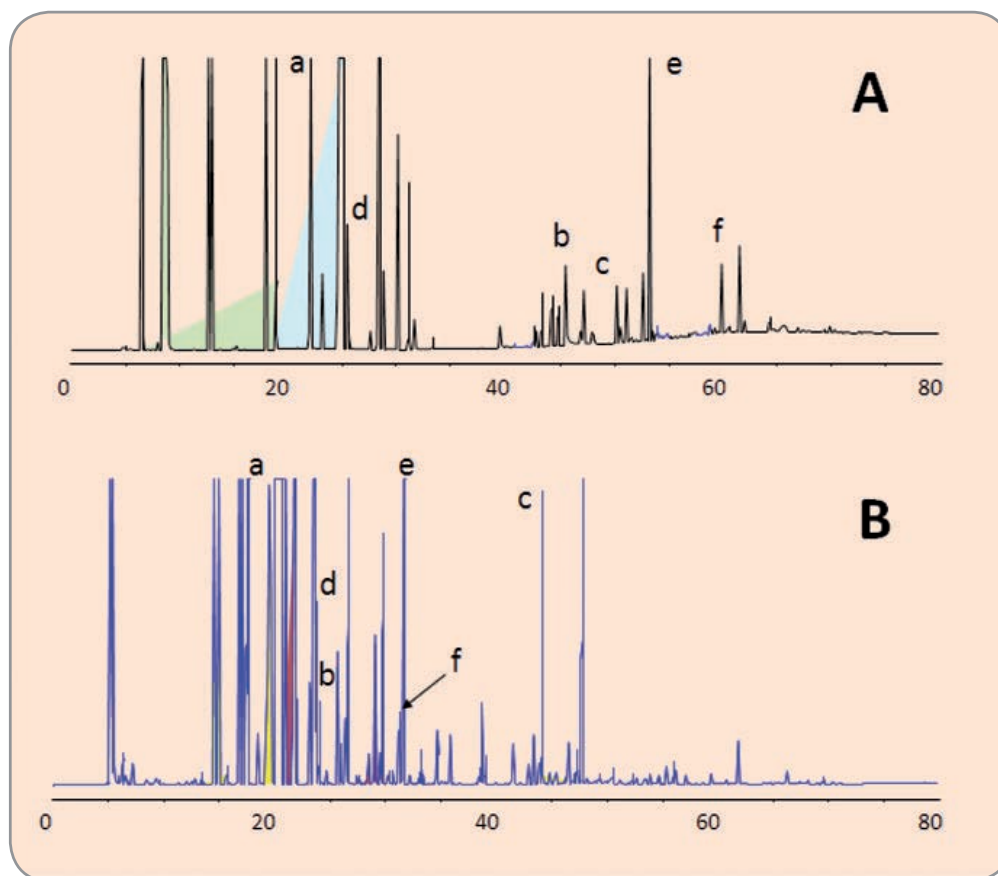


Figura 4-7. Cromatogramas típicos obtenidos por GC-FID del aceite esencial hidrodestilado de la cáscara de limón y analizado en dos columnas de diferente polaridad: **A.** DB-WAX (60 m), fase polar; **B.** DB-1 (60 m), fase apolar. Obsérvese el cambio en el orden de elución de los constituyentes del aceite en diferentes columnas. **a** - *p*-Cimeno; **b** - Linalool; **c** - α -Bergamoteno; **d** - *cis*-*Allo*-ocimeno; **e** - Citronelal; **f** - Neral.



distinta, tanto apolares (hidrocarburos terpénicos), como polares (alcoholes, aldehídos). Esto implica que para su análisis se requerirán columnas con fases estacionarias también de diferente polaridad. Para el análisis de los aceites esenciales, se usan tradicionalmente columnas *apolares* de poli(dimetilsiloxano) (DB-1, HP-1, Ultra1), apolares con f.e. polarizable, 5%-fenil-poli(metilsiloxano) (DB-5, HP-5, Ultra2) y muy *polares* de poli(etilenglicol) (DB-WAX, INNOWAX). Según la f.e. empleada, el orden de elución en la columna de los componentes del aceite varía, así como su resolución, o sea, el grado de separación (Figura 4-7). Varios compuestos en una columna apolar pueden co-eluir, mientras que en la columna polar sí se resuelven, y *viceversa*.

Para el análisis de los aceites esenciales se utiliza la programación de la temperatura del horno cromatográfico en el rango de 40 – 270 °C. La velocidad de calentamiento de la columna es usualmente de 3 – 5 °C/min. El modo de inyección y el tipo de la columna incidirán directamente sobre cuántos componentes se pueden registrar en un aceite esencial analizado. El análisis de los aceites esenciales en columnas con diferentes polaridades ayuda a identificar sus componentes a través de los respectivos *índices de retención*. En el trabajo [17] se discuten varios aspectos relacionados con la separación cromatográfica (GC), para responder a la pregunta fundamental sobre cuántos componentes se encuentran presentes en una mezcla.

El tercer bloque del equipo cromatográfico lo constituye el *sistema de detección*, el que permite diferenciar las moléculas del analito de las de la fase móvil (gas de arrastre), a la cual

el detector es transparente. La respuesta del detector se basa en la medición de una de las propiedades físicas del sistema, *e.g.*, corriente iónica, conductividad térmica, emisión fotónica, etc. La señal análoga se convierte en digital, gráfica, *i.e.*, un pico cromatográfico, que se caracteriza por su área (**A**), que es proporcional a la cantidad o la concentración (**C**) del analito (compuesto) que emerge de la columna. Ello permite establecer una relación interdependiente, $A = f(C)$, y llevar a cabo un análisis cuantitativo, para determinar no sólo cuántos componentes hay en una mezcla, sino en qué proporción (cantidad) se encuentran.

El *sistema de datos* es un elemento “unificador” y coordinador del trabajo de todo el sistema cromatográfico, en el sentido que permite: (1) controlar y fijar parámetros operacionales de un cromatógrafo; (2) adquirir los datos experimentales; (3) almacenarlos y re-procesarlos *on-line* u *off-line*. A través de un *software* especializado, sistema de cómputo, sus accesorios, interfaces y convertidores análogo-digitales y digital-análogos, se armoniza el trabajo del sistema cromatográfico y de todas sus partes operacionales (*hardware*) ya mencionadas.

Para el análisis de los aceites esenciales -que son mezclas muy complejas-, se utilizan principalmente dos detectores GC, a saber: el detector de ionización en llama (FID, *Flame Ionization Detector*, por sus siglas en inglés) y el detector selectivo de masas o el detector de masas (MSD, *Mass Selective Detector*, *Mass Spectrometric Detector*, por sus siglas en inglés, o simplemente MS). La GC-FID se utiliza para cuantificar los componentes del aceite. Para ello, se usan tanto métodos de estanda-



rización externa e interna, como de adición de un estándar (compuesto patrón); todos ellos requieren la elaboración de curvas de calibración y el uso de patrones certificados.

Para hacer la identificación preliminar o *presuntiva* de los componentes del aceite, se determinan los *índices de retención*, a menudo llamados los *índices de Kovàts*, en honor al científico húngaro Ervin Kovàts (1927) (Figura 4-8), quien por primera vez los propuso y empleó para la identificación tentativa de compuestos por GC [18]. El índice de retención de un compuesto “x” en la mezcla se determina usando su tiempo de retención (t_{RX}), con respecto a los tiempos de retención de dos hidrocarburos lineales, uno, que eluye antes, t_{RN} , y el otro que eluye después del compuesto

de interés, t_{RN} (Figura 4-9). Por definición, los índices de retención de hidrocarburos lineales son múltiplos de cien, $I_K = 100 \times n$, donde n – es el número de átomos de carbono en el hidrocarburo, por ejemplo, I_K del hexano es 600 y del nonano es 900. Si el análisis cromatográfico se hace con la temperatura de la columna constante (régimen isotérmico), se utiliza la fórmula (1) y los índices se llaman índices de Kovàts (“clásicos”). El análisis en equipos modernos utiliza la programación de temperatura de la columna; en estos casos, para el cálculo se usa la ecuación (2) y se obtienen los índices de retención *lineales*, que forman parte de muchas bases de datos y de referencias bibliográficas [19-22].



Figura 4-8. Doctor Ervin Kovàts (en el centro de la segunda fila) con un grupo de estudiantes de química del Laboratorio de Cromatografía de la UIS durante el *Símpo­sio Internacional sobre las Separaciones en las Bio-Ciencias* (SBS, Moscú, mayo de 2003) dedicado a los 100 años de la Cromatografía.

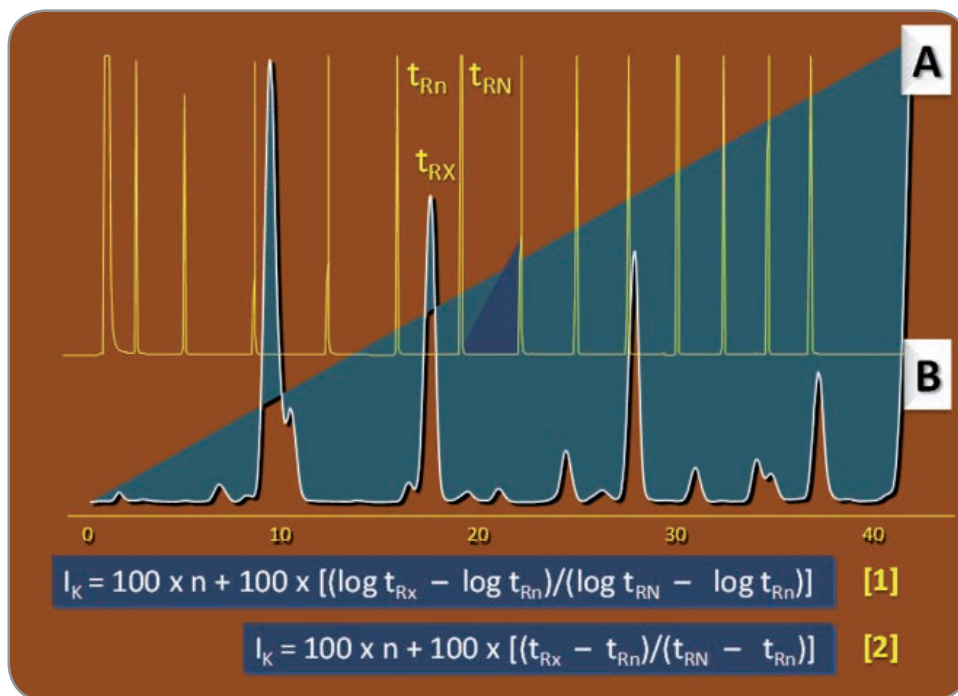


Figura 4-9. Cálculo de los índices de retención. **A.** Cromatograma de hidrocarburos lineales (parafinas); **B.** Cromatograma de una muestra que contiene un componente "x". [1]. La ecuación para el cálculo del índice de Kovats, I_k , para la temperatura isotérmica de la columna. [2]. La ecuación para determinar el índice de retención lineal, I_R , cuando la temperatura de la columna es programada.

A menudo, para el análisis de aceites esenciales se recurre también a los detectores cromatográficos *selectivos*, por ejemplo, al detector selectivo de nitrógeno y fósforo (NPD, por siglas en inglés, *Nitrogen Phosphorous Detector*) o al detector fotométrico de llama (FPD, *Flame Photometric Detector*), para vislumbrar la presencia de compuestos que poseen en sus estructuras heteroátomos, *e.g.*, las sustancias nitrogenadas o azufradas. En la Tabla 4-7 se resume la información sobre los detectores GC y sus aplicaciones en el análisis de aceites esenciales.

En la Figura 4-11 aparecen los cromatogramas del aceite esencial aislado por hidrodesalación de *Spilanthes americana* (Fam. Aste-

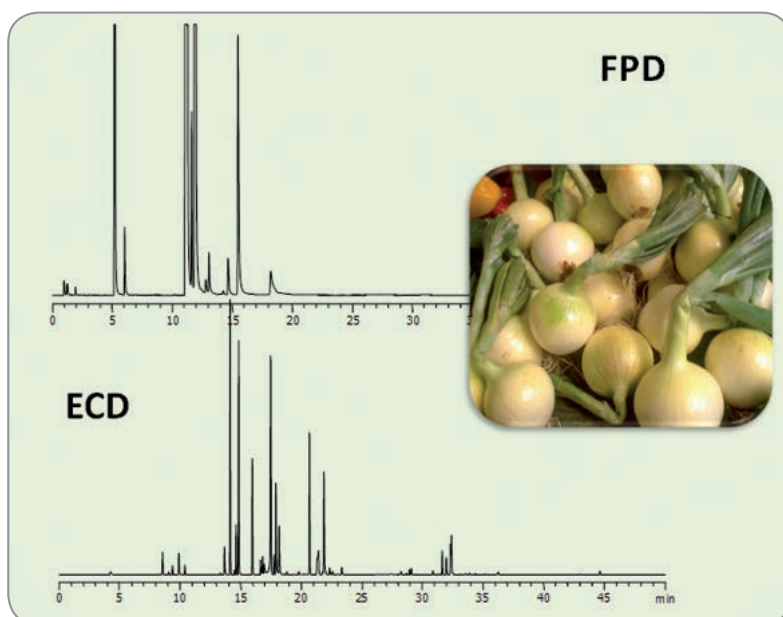
raceae) y el espectro de masas obtenido por impacto de electrones con energía de 70 eV (EI, por siglas en inglés, *Electron Impact*) del compuesto nitrogenado, la amida *espilantol*, que se registra selectivamente por el GC-NPD [23]. El *espilantol* es responsable por las diversas actividades biológicas de esta especie vegetal. Por ejemplo, la planta produce, al ser masticada, una sensación de hormigueo y el adormecimiento en la lengua como consecuencia de su actividad anestésica local. Esta sensación picante se aprovecha para su uso en culinaria, por ejemplo, en la sopa de la cocina colombiana (bogotana), el famoso ajiaco. La planta muestra actividades larvicida, insecticida y, entre otras, la antiviral contra *Herpes simplex* y *Herpes zoster* [23].



Tabla 4-7. Detectores de cromatografía de gases utilizados en el análisis de aceites esenciales y sus aplicaciones.

Detector de cromatógrafo de gases	Abreviatura, por sus siglas en inglés	Aplicaciones
Detector de conductividad térmica	TCD	Detector universal, poco utilizado por su sensibilidad relativamente baja
Detector de ionización en llama	FID	Uno de los detectores más importantes y utilizados en el análisis de aceites esenciales, sobre todo, para el <i>análisis cuantitativo</i>
Detector selectivo de nitrógeno y fósforo	NPD	Sistema utilizado para la detección selectiva de los <i>componentes nitrogenados</i> en el aceite esencial, también para el registro de residuos de pesticidas organofosforados.
Detector fotométrico de llama	FPD	Detector selectivo para el registro de <i>compuestos azufrados</i> (e.g., aceite de <i>grapefruit</i> , ajo, cebolla, otros) (Figura 4-10), y residuos de pesticidas organofosforados.
Detector de captura de electrones	ECD	Detector selectivo, altamente sensible a los compuestos que contienen <i>grupos electronegativos</i> , halogenados, nitrados, azufrados (Figura 4-10) y residuos de pesticidas organoclorados.
Detector selectivo de masas o detector de espectrometría de masas	MSD o MS	Uno de los detectores espectrales más usados para el análisis de aceites esenciales, se obtienen espectros de masas, indispensables para la identificación de componentes del aceite.

Figura 4-10. Los volátiles, aislados de cebolla por destilación-extracción simultánea con solvente, analizados por cromatografía de gases con detectores selectivos fotométrico de llama (FPD) y de captura de electrones (ECD). Columna DB-5 (60 m).



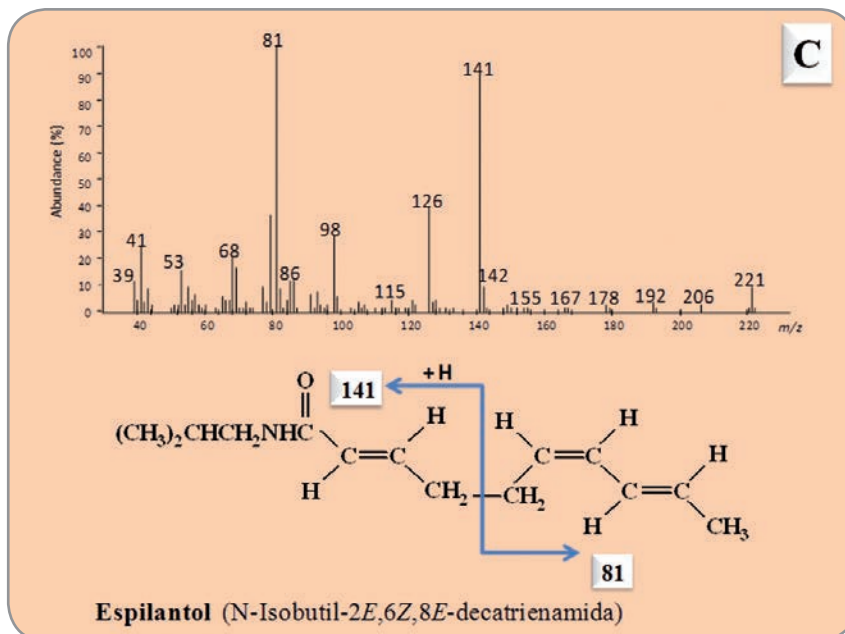
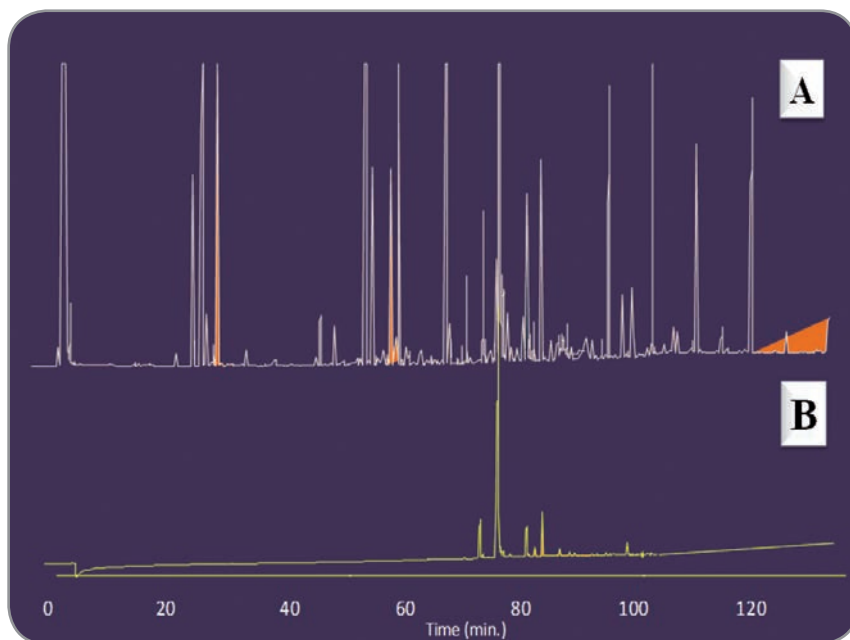


Figura 4-11. El aceite esencial, hidrodestilado de hojas y tallos de la planta medicinal y aromática *Spilanthes americana* (Fam. Asteráceae), analizado por GC con detectores: **A.** FID y **B.** NPD. **C.** El espectro de masas del compuesto nitrogenado, correspondiente a la N-isobutil-decatrienamida, *espilantol*. Obsérvense el pico del ion molecular con masa impar en m/z 221, que confirma el peso molecular de la *amida*, y los dos iones-fragmento complementarios, $(C_6H_9)^+$, en m/z 81(100%) y $(C_8H_{15}NO)^+$, en m/z 141(91%), que son productos de la ruptura alílica de la cadena hidrocarbonada de la *amida*.

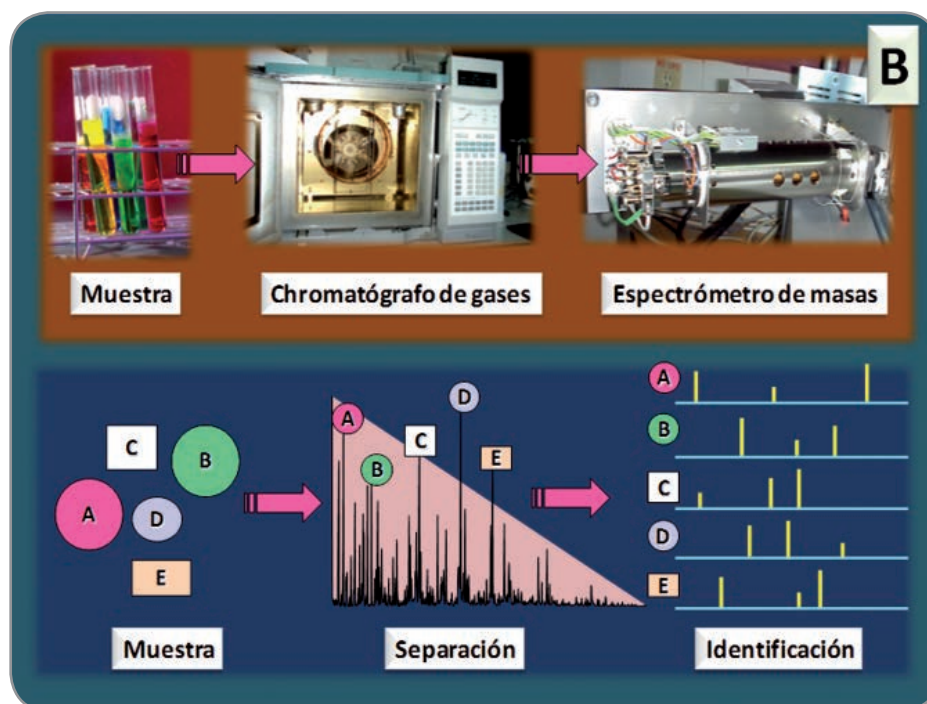
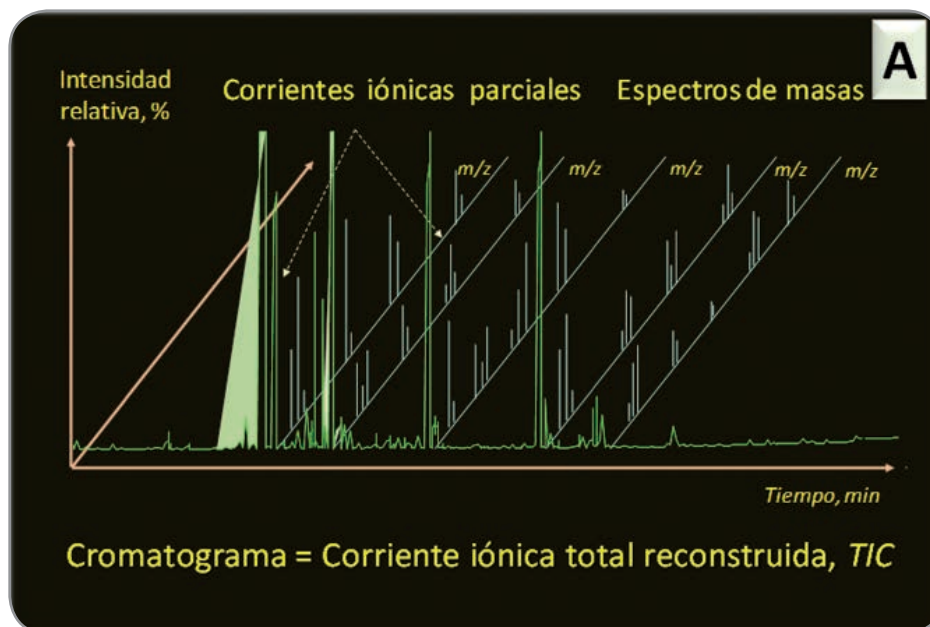


Figura 4-12. A. Corriente iónica total, *i.e.*, cromatograma (TIC, *Total Ion Current*, por sus siglas en inglés), procesada en función del tiempo en un equipo GC-MS, operado en el modo de barrido completo (*full scan*). B. Se observa la “tridimensionalidad” del análisis: se obtienen (1) tiempos de retención de sustancias, (2) áreas de sus picos cromatográficos y (3) los respectivos espectros de masas.



La limitación que presentan los detectores GC convencionales (*e.g.*, FID, NPD) consiste en la ambigüedad que surge para identificar inequívocamente una sustancia problema. Se utilizan los tiempos de retención absolutos (t_R) o relativos al patrón interno (t_{RR}), los índices de retención, I_R , y los estándares certificados (patrones) para la *identificación presuntiva o tentativa* de un compuesto por GC con detectores convencionales (no espectroscópicos). Sin embargo, este análisis es de tamizaje (*screening*) y requiere la confirmación estructural de la sustancia. La *identificación confirmatoria* de un compuesto en una mezcla compleja analizada por GC, necesita la obtención de su “huella digital”, que es el es-

pectro de masas (MS) representado por una combinación única de fragmentos cargados (iones) generados durante la fragmentación de la molécula previamente ionizada. La complementariedad del análisis cromatográfico (*screening*) con datos espectrales confirmatorios se logra usando la combinación de dos técnicas, GC y MS. El cromatograma, *i.e.*, la representación gráfica (digital) de una señal análoga (corriente iónica) procesada en función del tiempo, en el caso de GC-MS, permite obtener la información “tridimensional”, a saber: (1) los tiempos de retención (t_R), (2) las áreas de picos cromatográficos, que son la base para cuantificar los componentes y (3) los espectros de masas (MS). En la Figura

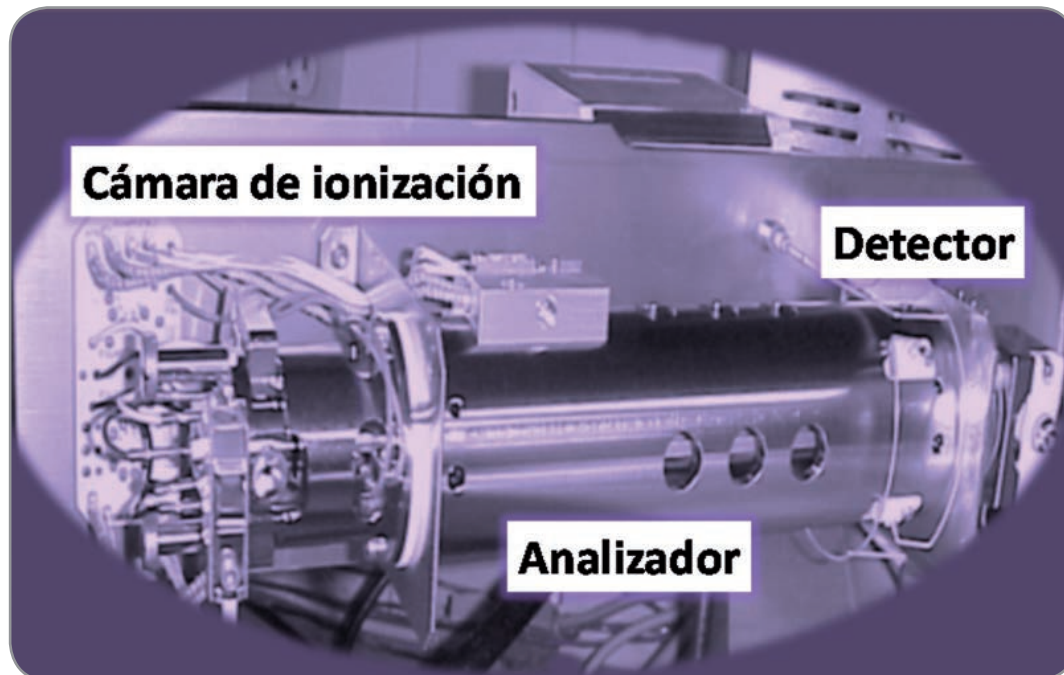


Figura 4-13. Los bloques principales de un detector selectivo de masas, que consta de: (1) una cámara de ionización (fuente de iones), (2) un analizador o filtro de masas y (3) un sistema de detección para la medición y la amplificación de las corrientes iónicas.



4-12 aparece ilustrada gráficamente la “tridimensionalidad” de la información obtenida, necesaria para el análisis de una mezcla tanto *cuantitativo* (integración de áreas cromatográficas), como *cualitativo* (índices de retención, espectro de masas y patrones de fragmentación, bases de datos).

La técnica de acoplamiento GC-MS complementa el análisis cuantitativo llevado a cabo por GC-FID y aporta una información adicional importante, *i.e.*, los espectros de masas de cada componente, a través de las cuales se logra establecer su identidad. Los espectros de masas se obtienen con un detector de masas (Figura 4-13), que consta de: (1) una *cámara de ionización*, en donde se lleva a cabo la ionización de las moléculas en fase gaseosa a presión reducida, usando electrones (EI) con energía estándar de 70 eV; (2) un *analizador másico* o filtro de masas (cuadrupolo, trampa de iones, tiempo de vuelo), que permite “clasificar” los iones de acuerdo con su relación m/z , y (3) un *detector*, *e.g.*, *electromultiplicador* que registra y amplifica las corrientes iónicas parciales, que luego se almacenan y, en forma digital, pueden ser reprocesadas, usando un *software* especial del GC-MS.

El análisis de los aceites esenciales, que contienen compuestos tanto apolares (hidrocarburos monoterpénicos y sesquiterpénicos), como *polares* (derivados oxigenados de monoterpenos y sesquiterpenos, alcoholes, cetonas, óxidos, rara vez ácidos, compuestos fenólicos y sus derivados, fenilpropanoides, entre otros) se realiza por GC-FID (análisis cuantitativo) y por GC-MS (análisis cualitativo), en dos columnas *ortogonales*, con f.e. polar y apolar [24]. En columnas con la f.e. *apolar*,

poli(dimetilsiloxano), la elución de componentes sucede en función de sus temperaturas de ebullición (o volatilidades); o sea, los tiempos de retención, t_R , se incrementan con la disminución de la volatilidad y con el aumento de las masas moleculares de los componentes, tal como lo ilustra la Figura 4-14, donde aparece un cromatograma típico de un aceite esencial. La elución de sustancias va desde hidrocarburos monoterpénicos (peso molecular, P.M. 136) y sus derivados oxigenados, alcoholes, cetonas, acetatos (P.M. 150, 152, 154, 196) hasta los hidrocarburos sesquiterpénicos (P.M. 204) y sus derivados oxigenados, óxidos, alcoholes, cetonas, acetatos (P.M. 220, 222, 264); muy rara vez, en los aceites esenciales están presentes los diterpenos, $C_{20}H_{32}$ (P.M. 272).

En la columna *polar*, poli(etilenglicol), el orden de elución de los componentes es más difícil de predecir, porque está relacionado con las fuerzas intermoleculares entre el analito y la f.e., y depende tanto del momento dipolar de la molécula (la polaridad), como de la posibilidad de formar puentes de hidrógeno entre la sustancia y la f.e. El orden de elución de algunos compuestos en columnas con las f.e. diferentes puede invertirse. Esto ayuda, a menudo, junto con los espectros de masas y el estudio de patrones de fragmentación, a diferenciar, por ejemplo, alcoholes terpénicos de sus acetatos, dado que los últimos a veces no exhiben iones moleculares, M^+ en sus espectros de masas.



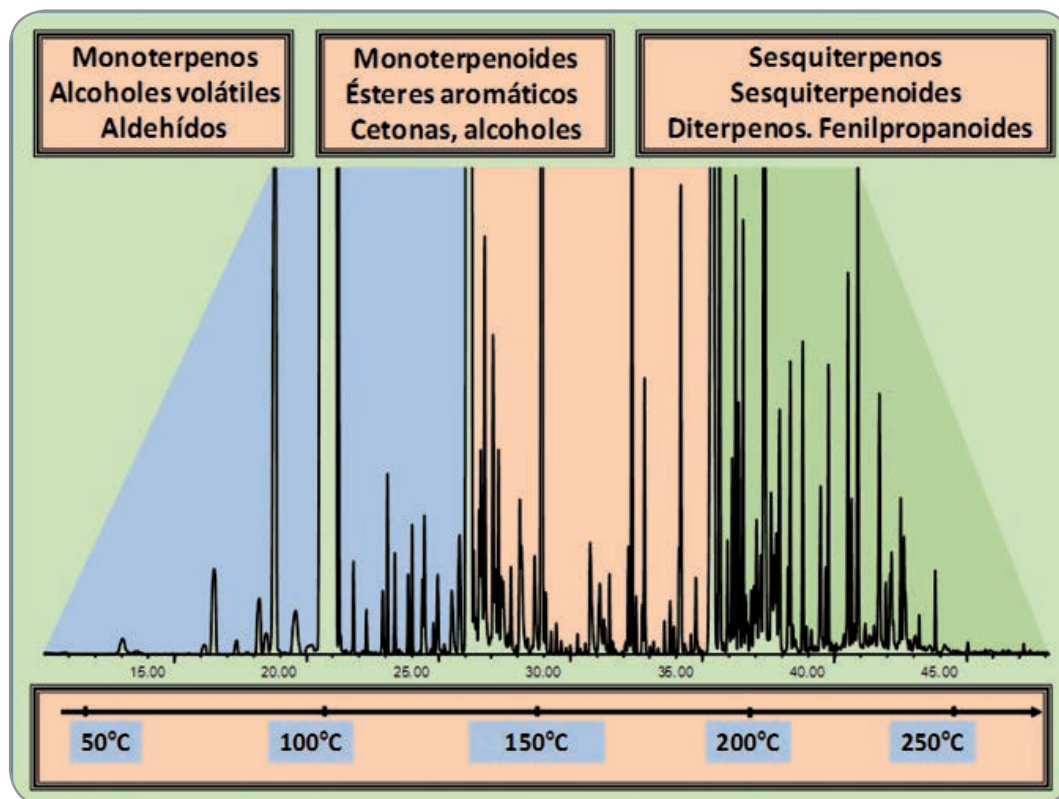


Figura 4-14. El cromatograma de un aceite esencial analizado en una columna con f.e. apolar con programación de temperatura del horno. El orden de elución de los componentes en la columna apolar es acorde con el orden creciente de sus temperaturas de ebullición y pesos moleculares.

Cuando los parámetros cromatográficos (t_R , t_{RR} o índices de retención) y espectroscópicos, *i.e.*, espectros de masas (patrón de fragmentación característico) de las sustancias problema y patrón (estándar certificado) coinciden, se logra la *identificación completa o confirmatoria* del compuesto en una mezcla. Empero, cuando se usan índices de retención y espectros de masas, extraídos de la literatura especializada [19-21] o de las bases de datos (*e.g.*, bibliotecas de espectros, NIST, WILEY, Adams [22], otros), y se comparan con los parámetros espectroscópicos y cromatográficos de la sustancia problema, su coincidencia conduce sólo a un reconocimiento de la estructura química,

mas no a su identificación inequívoca, absoluta. Para ello, se requiere el uso de un patrón, la sustancia pura certificada con estructura química establecida. Si no se dispone de éste, hay que aislar el compuesto de la mezcla y purificarlo para su posterior caracterización a través de los espectros UV, IR, MS, difracción de rayos X, RMN, análisis elemental o espectrometría de masas de alta resolución, HRMS [25-27]. Cada una de las técnicas espectroscópicas mencionadas aporta parte de la información estructural, pero en su conjunto, sus resultados permiten “armar el rompecabezas” y elucidar inequívocamente la estructura química.

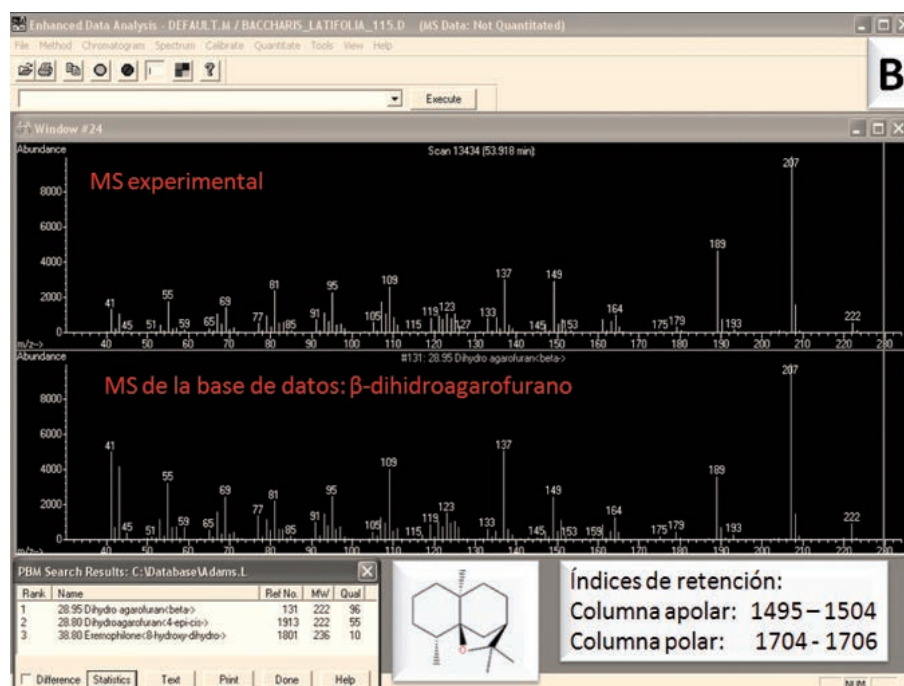
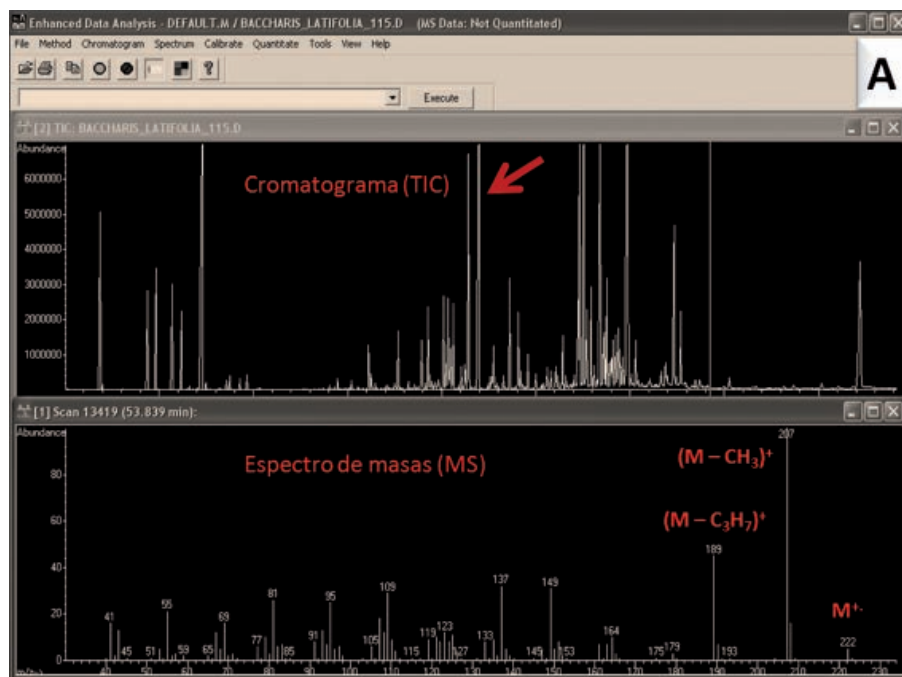


Figura 4-15. A. La corriente iónica total (TIC, cromatograma) del aceite esencial aislado de *Baccharis latifolia* (Fam. Asteraceae) y del espectro de masas (EI, 70 eV) correspondiente al pico cromatográfico con el tiempo de retención $t_R = 53.83$ min. **B.** La comparación del espectro de masas experimental ($t_R = 53.83$ min) con el de la base de datos (Adams), correspondiente al β -dihidroagarofurano (P.M. 222), su estructura e índices de retención. Obsérvese el alto grado de coincidencia (96 de 100) entre el espectro experimental y el de la base de datos, que permite identificar tentativamente este sesquiterpenoide.



Sin embargo, en muchos análisis realizados por GC, los componentes en los aceites esenciales se encuentran en cantidades minúsculas, es imposible aislarlos y practicarles varios análisis espectroscópicos; para muchas sustancias tampoco se consiguen o existen patrones certificados. Por ello, frecuentemente, la comparación de los parámetros espectroscópicos y cromatográficos se hace con los de las bases de datos (Figura 4-15) o fuentes bibliográficas, lo que conduce al *reconocimiento* (identificación tentativa) de la estructura, mas no a su *identificación confirmatoria*, porque queda un cierto margen de duda sobre la identidad estructural, especialmente, para compuestos nuevos (no reportados), sustancias isoméricas, o para aquellas moléculas, que no exhiben iones moleculares, M^+ , en sus espectros de masas (EI, 70 eV).

Los métodos de separación, *e.g.*, la cromatografía de gases (GC) o la cromatografía líquida (LC) tienen dos problemas fundamentales, propios de estas técnicas de separación, que son: (1) la co-elución de sustancias en la columna, que en un sistema cromatográfico unidimensional (solo una columna), y bajo las condiciones operacionales elegidas, poseen coeficientes de distribución, K_D , similares, y (2) la identificación inequívoca de sustancias por GC-MS o por LC-MS, con base en los espectros de masas experimentales.

El análisis de aceites esenciales por GC-MS es el ejemplo más convincente de la existencia de estos dos problemas. Si se usan detectores convencionales, *e.g.*, FID, solo la asimetría de un pico cromatográfico puede indicar la posible co-elución de sustancias, aunque un pico simétrico tampoco garantiza que no la

haya. El análisis por GC-MS permite verificar la homogeneidad de un pico cromatográfico y encontrar la equivalencia de espectros de masas o sus diferencias en diferentes puntos de la señal cromatográfica (Figura 4-16).

Una de las aplicaciones muy interesantes, que ofrecen los equipos y sistemas de datos modernos de GC-MS, es la posibilidad -durante la misma corrida cromatográfica-, de adquirir los datos *simultáneamente*, *i.e.*, en modos de barrido completo, que permite obtener espectros de masas (*full scan*) y el modo de monitoreo de ion(es) selectivo(s) (SIM), es cuando el analizador deja percolar (filtrar) solo iones característicos o diagnósticos, que “distinguen” una sustancia de otras presentes en la mezcla. En la Figura 4-17, aparece un cromatograma típico del aceite esencial de la planta aromática *Lepechinia salvifolia* (Fam. Labiatae), obtenido por GC-MS operado simultáneamente en ambos modos, *full scan* (rango de masas m/z 40–300) y SIM, monitoreando los iones seleccionados con m/z 154 (ion molecular M^+ del 1,8-cineol) y- a partir de los 30 minutos de la corrida cromatográfica-, iones con m/z 204 (iones M^+ de sesquiterpenos, $C_{15}H_{24}$). Dos monoterpenos, β -felandreno (P.M. 136) y 1,8-cineol (P.M. 154) co-eluyen parcialmente en una columna con fase estacionaria polar [28]. El monitoreo del ion con m/z 154 simultáneamente con el barrido completo de masas, permite obtener una información confirmatoria adicional sobre la presencia del 1,8-cineol en un pico cromatográfico con $t_R = 24.49\text{--}24.99$ min, que comprende su elución con la del β -felandreno (Figura 4-17).

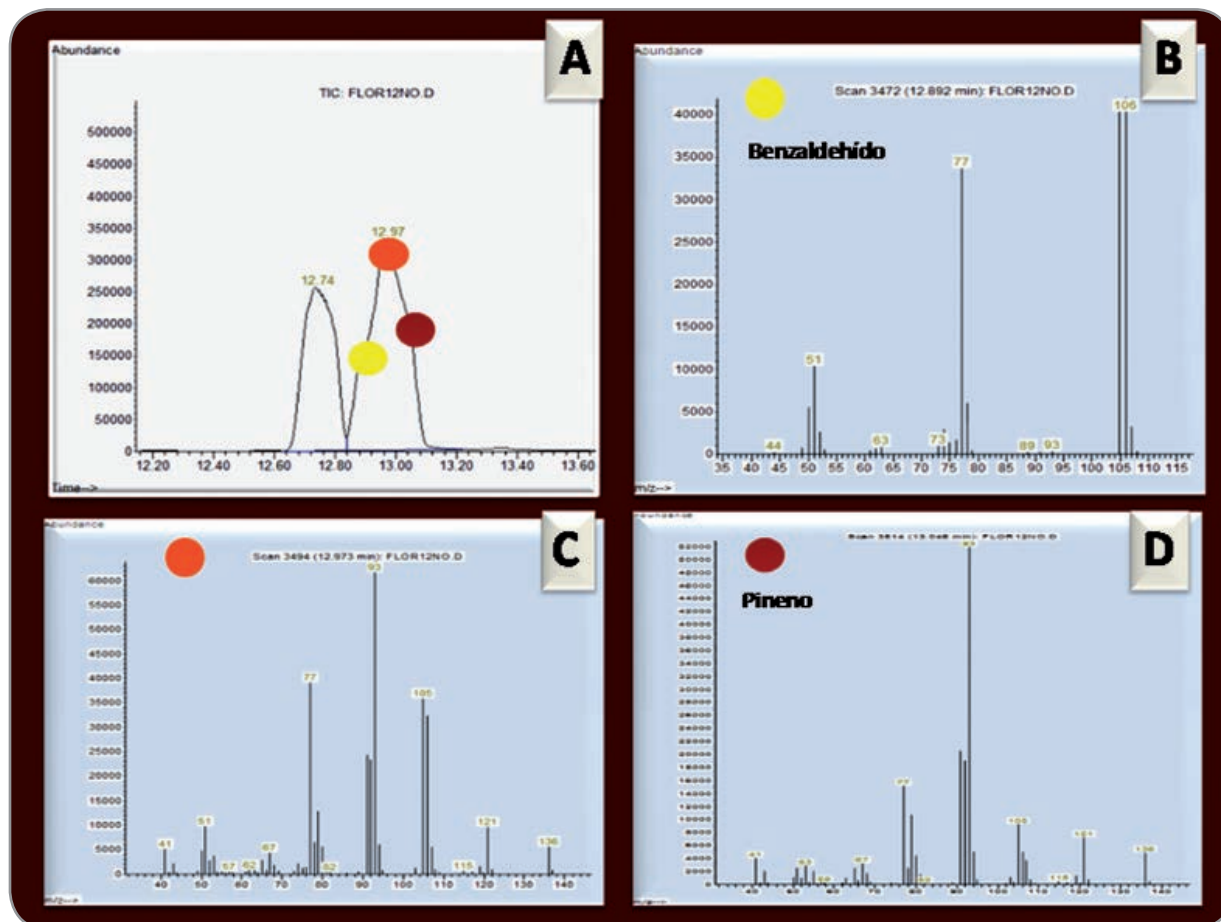
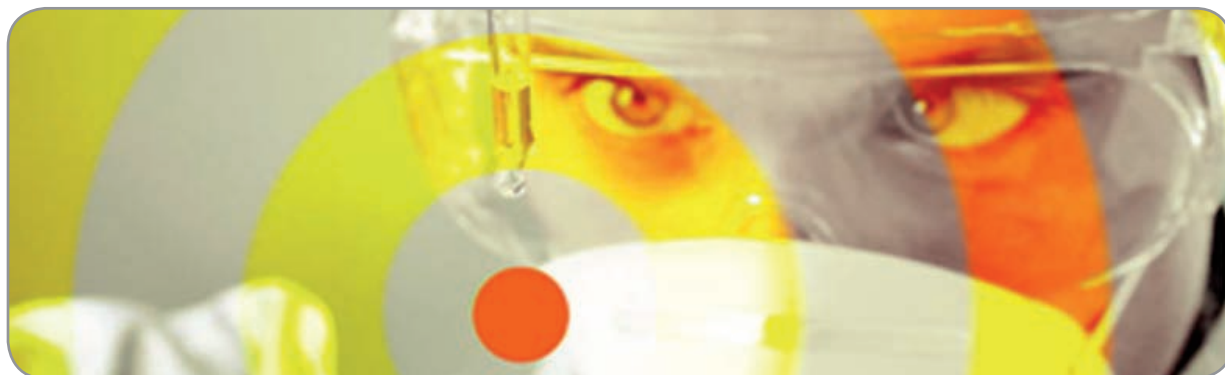


Figura 4-16. A. Un fragmento de una corriente iónica total (cromatograma), obtenido por GC-MS, de un aceite esencial. Las diferencias en los espectros de masas tomados en varios puntos del pico cromatográfico asimétrico ($t_R = 12.97$ min), permiten confirmar la co-elución de dos sustancias. B. Espectro de masas del *benzaldehído* tomado al inicio del pico (12.89 min). C. Superposición de los espectros de masas de benzaldehído y pineno, en el ápice del pico cromatográfico (12.97 min). D. Espectro de masas de pineno obtenido al final del pico cromatográfico (13.04 min).





Aceites Esenciales

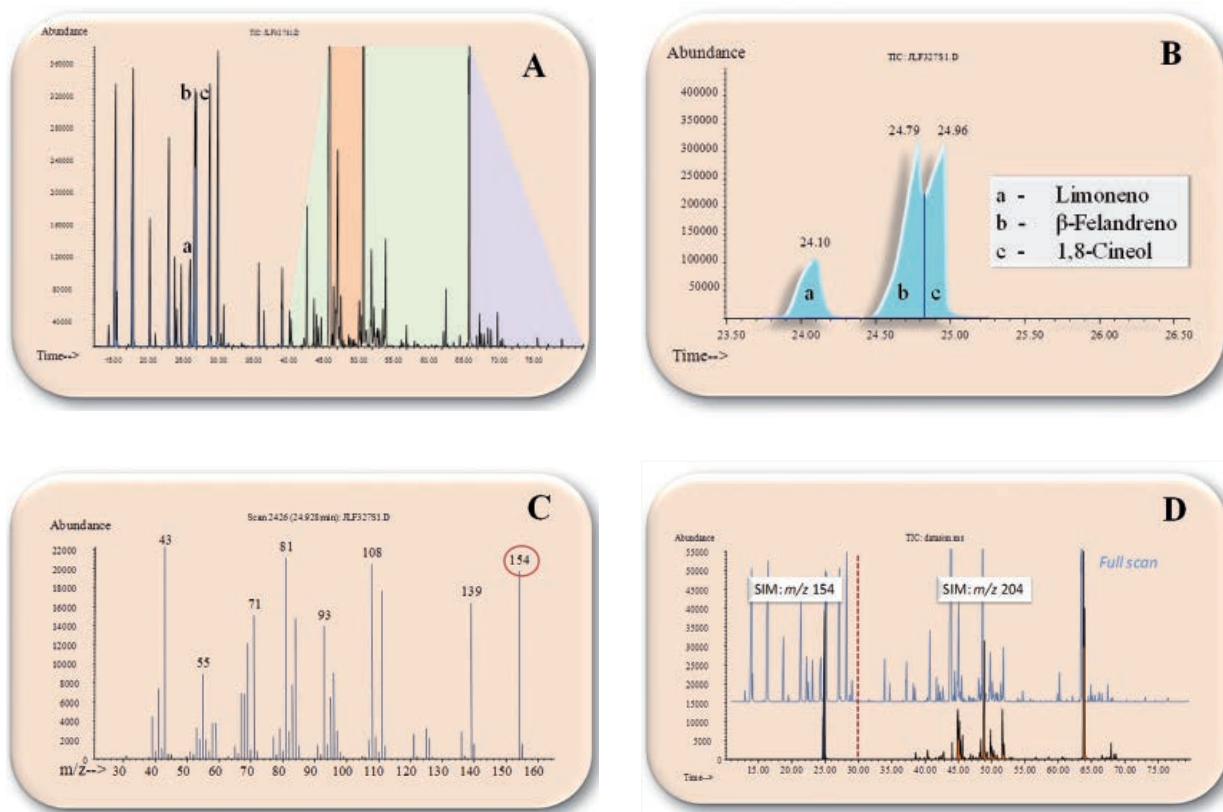


Figura 4-17. A. Corriente iónica total (cromatograma), obtenido por GC-MS operado en modo de barrido completo (*full scan*), del aceite esencial hidro-distilado de *Lepechinia salvifolia* (Fam. Labiatae). Columna polar (DB-WAX, 60 m). B. Fragmento del mismo cromatograma donde se observa la co-elución parcial de β -felandreno y 1,8-cineol. C. Espectro de masas de 1,8-cineol ($C_{10}H_{18}O$). Obsérvese el ion molecular de alta intensidad en m/z 154. D. Corriente iónica total (*full scan*) y corrientes parciales de iones con m/z 154 (1,8-cineol) y, a partir de 30 minutos, con m/z 204 (M^+ , sesquiterpenos)[28].

Como se mencionó antes, el análisis de un aceite esencial por GC demanda obligatoriamente el uso de dos columnas capilares con fases estacionarias *ortogonales* (polar y apolar) y la determinación en ellas de los respectivos índices de retención [18-22]. La información sobre los índices de retención y los espectros de masas obtenidos por impacto de electrones con energía de 70 eV, se complementan. Infortunadamente, muchos hidrocarburos terpénicos (monoterpenos y

sesquiterpenos) poseen espectros de masas extremadamente similares. Ello se debe a que durante el proceso de ionización por impacto de electrones (EI), los iones moleculares (M^+) pueden experimentar una isomerización muy rápida ($< 10^{-8}$ s), que conduce a la formación de estructuras moleculares comunes, a partir de las cuales se forman, por su disociación, los iones característicos con valores de m/z idénticos y con intensidades muy similares. Esto se puede observar en

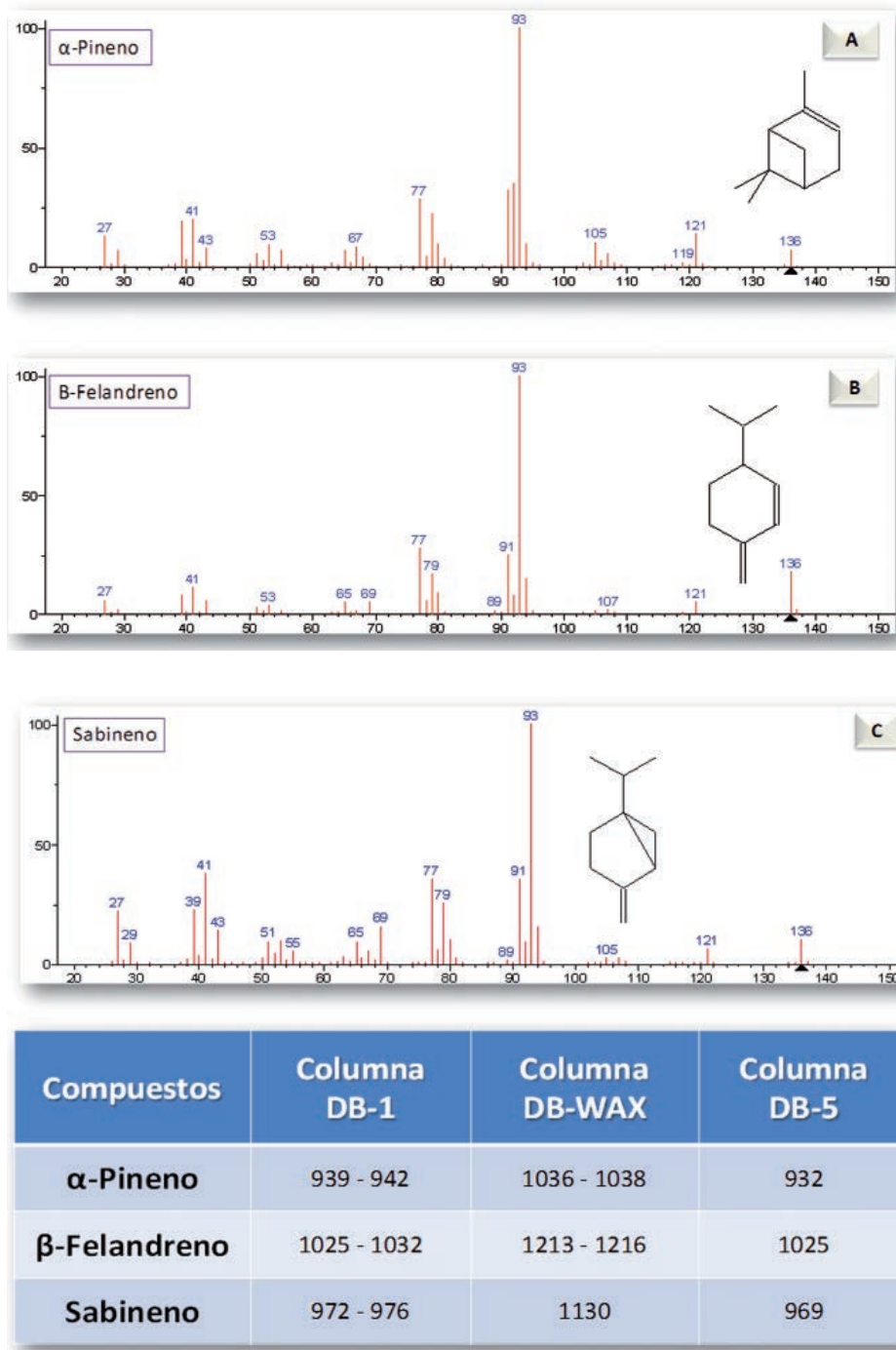


Figura 4-18. Espectros de masas obtenidos por impacto de electrones (EI, 70 eV) de monoterpenos: **A.** α -Pineno; **B.** β -Felandreno y **C.** Sabineno. *Fuente:* Base de datos NIST. Índices de retención de los monoterpenos α -pineno, β -felandreno y sabineno determinados en las columnas GC con fases estacionarias de diferente polaridad [19-22].



Aceites Esenciales

la Figura 4-18, en la que aparecen espectros de masas de algunos hidrocarburos monoterpénicos (muy similares), junto con los índices de retención, obtenidos en columnas con fases estacionarias distintas, *i.e.*, en la columna DB-1 con f.e. *apolar* de poli(dimetilsiloxano), en la columna DB-5 con f.e. *apolar-polarizable* de 5%-fenil-poli(metilsiloxano) y en la columna DB-WAX con f.e. *polar* de poli(etilenglicol). Aunque los espectros de masas de β -felandreno, α -pineno y sabineno son casi idénticos, sus índices de retención (lógicamente, también tiempos de retención) se diferencian suficientemente para distinguirlos [28].

Frecuentemente, se requiere también establecer la configuración óptica de algunos componentes del aceite, porque la presencia de un *enantiómero* (isómero óptico), en particular, puede permitir relacionar este aceite con su origen geográfico, su “pureza”, o ausencia de adulteración con compuestos o mezclas de menor valor o de origen sintético. Este tipo de análisis usualmente se hace por cromatografía de gases multidimensional, en dos columnas unidas a través de una válvula conmutadora. En la primera columna, con fase estacionaria normal, se “selecciona” el compuesto de interés, y en la segunda columna, que es *quiral*, se analizan sus isómeros ópticos y se determina su configuración por medio de la comparación (tiempos de retención, t_R) con las sustancias patrón con configuración óptica establecida [29].

En el Laboratorio de Cromatografía de la UIS se ha establecido, usando columnas quirales (ciclodextrinas), que el aceite esencial de *Lippia alba* (“pronto alivio”) contiene el isómero de la carvona (35–55%) de configuración S.

En la Figura 4-19 aparecen un cromatograma del aceite esencial hidrodestilado de *Lippia alba* y analizado en la columna apolar (DB-5, 60 m), y parte de los cromatogramas de patrones certificados de dos enantiómeros de la carvona, junto con la carvona presente en el aceite, analizados en la columna con fase quiral. S-(+)-Carvona es un enantiómero mucho más costoso y sensorialmente más atractivo, que la R-(-)-carvona presente en la yerbabuena (*Mentha spicata*) (> 50%). La S-(+)-carvona también se encuentra en las fuentes tradicionales de este compuesto, *i.e.*, aceites esenciales de eneldo (*Anethum graveolens*) y alcaravea (*Carum carvi*), cultivadas industrialmente, así como la yerbabuena (*Mentha spicata*), en países europeos, Norte de África, India e Israel. *Lippia alba*, quimiotipo “carvona” -que crece silvestremente en Colombia o se cultiva a pequeña escala-, junto con eneldo y alcaravea, constituye otra fuente muy importante de la S-(+)-carvona en la naturaleza.



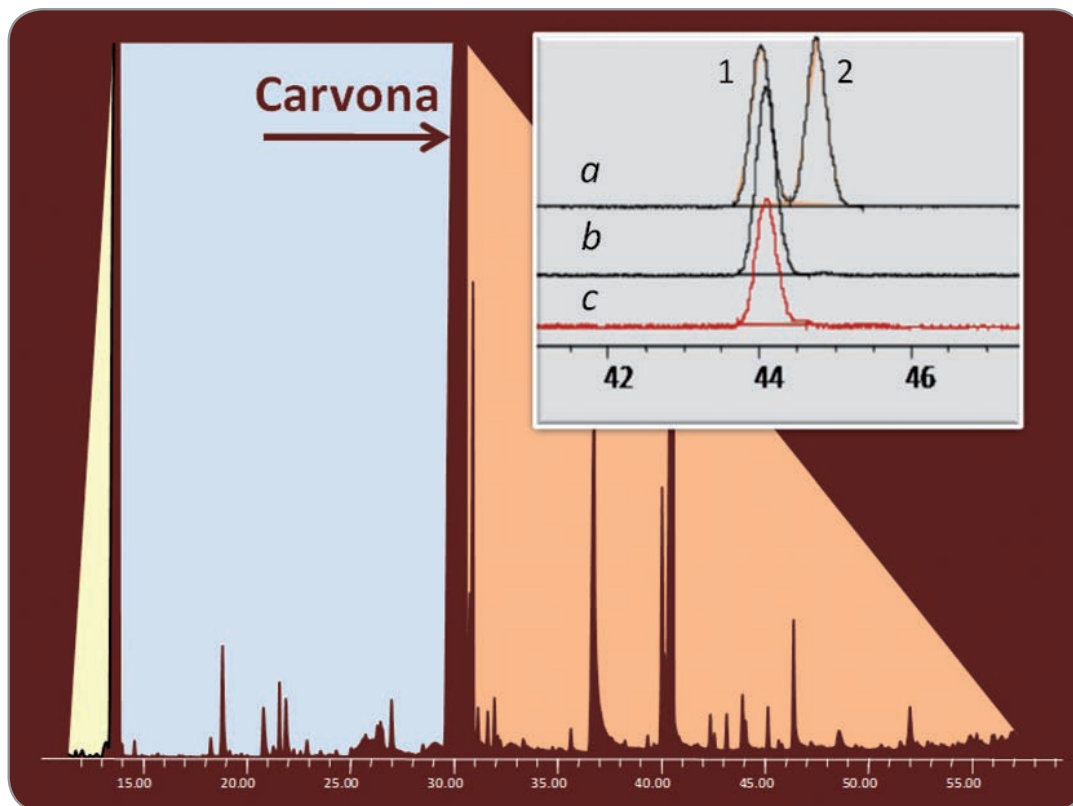


Figura 4-19. Perfil cromatográfico del aceite esencial hidro-distilado de *Lippia alba*, obtenido por GC-FID en la columna DB-5 (60 m), junto con los perfiles cromatográficos de: **a.** Mezcla de patrones certificados de: **1** - S-(+)-Carvona ($t_R = 44.06$ min); **2** - R-(-)-Carvona ($t_R = 44.80$ min); **b.** Patrón individual certificado de la S-(+)-carvona; **c.** Aceite esencial de *Lippia alba*: confirmación de la presencia del isómero óptico de la S-(+)-carvona. GC-FID. Columna capilar GAMMA DEX™ 120 (30 m x 0,25 mm x 0,25 μ m), inyección *splitless*.

Otro ejemplo del análisis enantiomérico fue la determinación de la configuración óptica del limoneno presente en los aceites esenciales aislados por hidro-distilación de las dos *Lippias*, *i.e.*, *L. alba* (pronto alivio) y *L. origanoides* (orégano del monte) (Fam. Verbenacea). Como se puede ver en la Figura 4-20, los limonenos presentes en ambos aceites extraídos de estas plantas poseen la misma configuración, *i.e.*, R-(+)-limoneno. La determinación enantiomérica de los componentes presentes en los aceites es importante, pues-

to que el olor de cada enantiómero es diferente, así como el umbral de su percepción. El R-(+)-limoneno tiene olor cítrico, fresco, a naranja, mientras que su antípodo óptico, el S-(-)-limoneno, huele a limón y a trementina (Tabla 1-3).

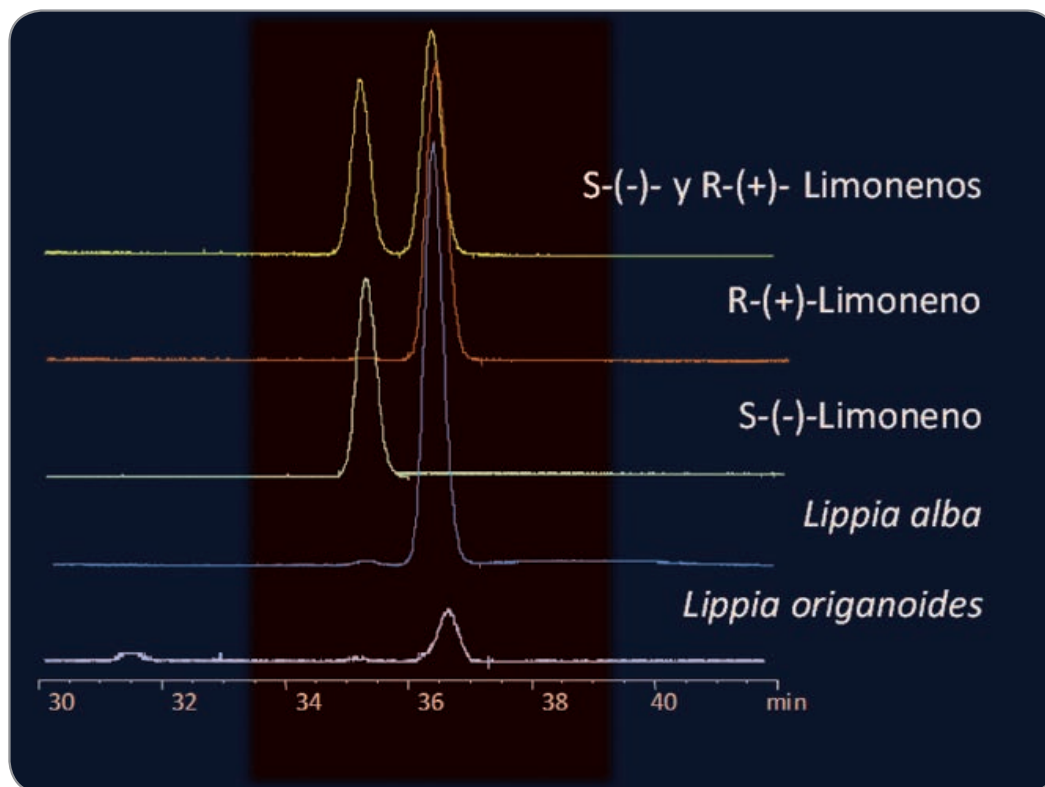


Figura 4-20. Perfiles cromatográficos (fragmentos) de los aceites esenciales aislados de *Lippia alba* y *Lippia origanoides*. Los tiempos de retención de los limonenos presentes en los aceites se comparan con los de patrones certificados de S-(-)-limoneno ($t_R = 35.20$) y de R-(+)-limoneno ($t_R = 36.37$ min), la configuración enantiomérica del limoneno presente en ambos aceites es R-. GC-FID. Columna capilar ALPHA DEX™ 120 (30 m x 0,25 mm x 0,25 μ m), inyección *splitless*.

El desafío más grande en el análisis de los aceites esenciales, lo presenta la frecuente co-elución de sus componentes, aquellos que tienen constantes de distribución K_D muy cercanas o iguales. Algunas estrategias convencionales, e.g., cambio de la columna, uso de detectores selectivos, etc., a menudo, pueden fallar o ser insuficientes para determinar todos los compuestos presentes en el aceite. La *cromatografía multidimensional* permite separar los picos de sustancias parcialmente o totalmente co-eluidas. Para esto usa una segunda columna, *ortogonal*, a través de la operación de “cor-

te de corazón” (*heart-cutting*), por medio de válvulas neumáticas de conmutación -hoy en día también la nueva tecnología micro-fluídica (Figura 4-21)-, entre las dos columnas y desviando parte del eluyente de la primera a la segunda columna. Este método ha jugado un rol importante en el desarrollo de técnicas de separación de mezclas complejas, incluyendo a los aceites esenciales [24]. La cromatografía multidimensional requiere por lo menos dos detectores y puede tener configuraciones de hasta tres columnas en el mismo horno o en hornos cromatográficos separados.

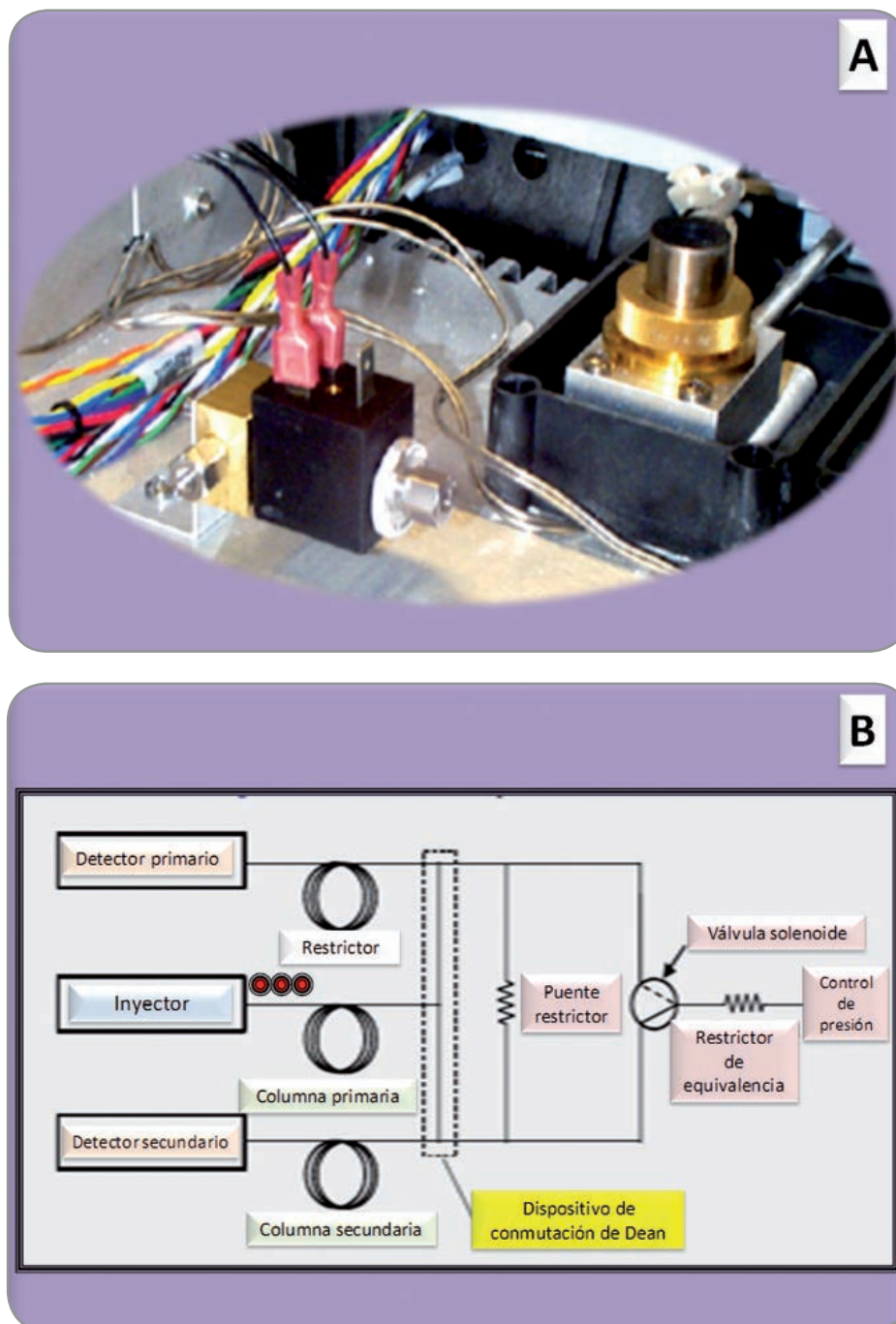
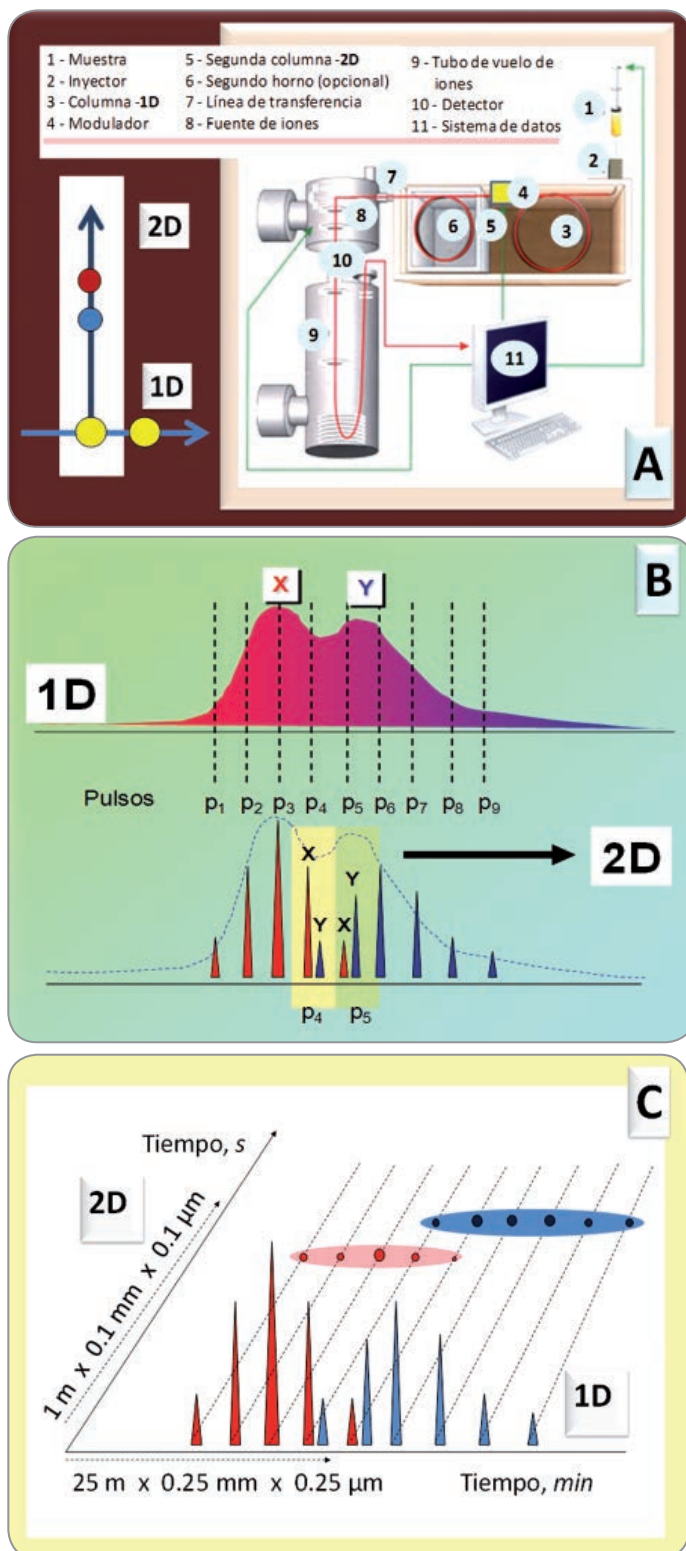


Figura 4-21. A. La válvula de conmutación de Dean (*micro-fluidic Dean's switch valve*), instalada en un cromatógrafo de gases, conmuta dos columnas capilares con fases estacionarias diferentes. A la derecha, se observa uno de los detectores, el de ionización en llama (FID). B. El esquema general de la unión de las dos columnas a través de la válvula Dean. El principio de funcionamiento está basado sobre el balance de flujos en las dos columnas y el capilar restrictor.



Junto con esto, y otras estrategias convencionales descritas, hoy en día existe una de las soluciones más modernas, exhaustivas, para la separación de mezclas multicomponente -aunque poco asequible para la mayoría de los laboratorios-, que es la cromatografía de gases completa o *cromatografía total*, bidimensional (*Comprehensive GC x GC*), cuyas aplicaciones y desarrollos crecen día tras día desde hace más de 15 años [30 - 34].

En la cromatografía de gases total (GC x GC) se utilizan dos columnas, unidas entre sí por medio de un *modulador*. En contraste con la cromatografía de gases multidimensional convencional, la GC x GC requiere un solo detector; ambas columnas pueden ubicarse en el mismo horno o en dos hornos separados. Existen diferentes tipos de moduladores, *e.g.*, modulador térmico rotatorio (*"sweeper"*), sistema criogénico *"jet"*, moduladores de válvulas o modulador criogénico longitudinal, entre otros. El eluyente de la primera co-

Figura 4-22. Sistema de cromatografía de gases total (bidimensional), GC x GC. **A.** Los bloques principales de un cromatógrafo GC x GC con un detector de masas de tiempo de vuelo (TOF). El principio de separación de componentes de una mezcla en un sistema de dos columnas de cromatografía total, unidas por un modulador. **B.** Los "cortes", en pequeñas porciones del eluyente de la primera columna, que suceden al atravesar el modulador; **C.** Separación de cada porción, que ingresa por lotes, a la segunda columna rápida con f.e. ortogonal.



lumna, por medio del modulador, se “divide” en muy pequeñas “tajadas”, que una tras otra, ingresan a la segunda columna desde la primera (Figura 4-22). La primera columna (1D) es una columna convencional, de longitud de 25 ó 30 m, y la segunda columna (2D) es de cromatografía rápida, o sea, corta y con diámetro interno muy delgado (columna *micro-bore*). Las fases estacionarias en ambas columnas son “ortogonales”, *i.e.*, si la primera es *apolar*, la segunda columna es *polar* y *vice versa*. El tiempo de modulación, requerido para el traspaso de una pequeñísima porción de eluyente de la primera columna a la segunda, debe ser muy corto y comparable, pero jamás más largo, con el tiempo de elución de un componente en la segunda columna. Por ende, esta última debe ser corta y muy delgada y separar los componentes apenas en unos pocos segundos. Debido a que la segunda columna está conectada con el detector, éste (MSD, FID o μ -ECD) debe tener velocidad de lectura y procesamiento de señales muy alta. En la mayoría de los casos,

se usa un detector de masas de tiempo de vuelo (*Time-of-Flight*, TOF), que es la mejor opción -aunque costosa-, para hacer un análisis cuantitativo y de identificación de compuestos en mezclas tan complejas, como son los aceites esenciales [28,32,33].

Los ejemplos presentados pueden dar una idea sobre la complejidad del análisis de un aceite esencial, desde el punto de vista de la separación completa de todos sus componentes, incluyendo aquellos presentes a nivel de trazas, y de la identificación inequívoca de las sustancias del aceite. En la Tabla 4-8 aparece el resultado de los análisis del aceite esencial, destilado de la cáscara de limón africano (*Swinglea glutinosa*, Fam. Rutáceae), usando diferentes sistemas de detección y otros parámetros cromatográficos. Se puede observar, que el mayor número de componentes se registró con un sistema de cromatografía completa (GC x GC) acoplada a un detector de masas de tiempo de vuelo (TOF) [17].

Tabla 4-8. Número de componentes registrados (> 0.005%) en el aceite esencial de limón africano (*Swinglea glutinosa*, Fam. Rutáceae), determinados con diferentes sistemas de detección y otros parámetros cromatográficos.

Modo de inyección	Volumen de inyección	Columna cromatográfica	Sistema de detección	Número de componentes (>0.005%)
<i>Split</i> (1:30)	1 μ L	DB-1MS (60 m)	GC-MSD, Q ¹ Barrido completo	25
<i>Splitless</i>				ca.60
<i>On-column</i>	0.2 μ L			45
<i>Split</i> (1:30)	1 μ L	BPX-5 (30 m)	GC-MS, TOF ² Barrido completo	47
		D1: BPX-5 (30 m) D2: BP-20 (0.26 m)	GC x GC-MS, TOF ² Barrido completo	ca.75

¹ Q - Analizador (filtro) de masas cuadrupolar (cuadrupolo).

² TOF - Analizador de masas de tiempo de vuelo.



En resumen, la caracterización de un aceite esencial, necesaria para el control de su calidad y la determinación de la autenticidad, se puede dividir en cuatro etapas o áreas principales: (1) propiedades organolépticas; (2) determinaciones físico-químicas; (3) análisis cualitativo y

cuantitativo de los componentes presentes en el aceite (composición química) y, finalmente, (4) algunas otras determinaciones, *e.g.*, residuos de pesticidas, trazas de metales pesados, etc. Todo ello, se resume en la Tabla 4-9.

Tabla 4-9. Caracterización de los aceites esenciales para la determinación de su calidad y autenticidad.

Propiedades organolépticas	Determinaciones físico-químicas	Análisis cromatográfico y espectroscópico
 Olor Color Apariencia Textura	Propiedades físicas Densidad Rotación óptica Índice de refracción Punto de congelamiento Punto de combustión Solubilidad en etanol	Cromatografía GC-FID GC-MS GC x GC – FID GC x GC – MS GC en columnas quirales GC-olfatometría
	Índices De acidez De éster De saponificación De fenoles	Espectroscopía Ultravioleta- visible (UV-Vis) Infrarroja (IR) Resonancia magnética nuclear (RMN)
Otras determinaciones	Residuos de pesticidas y metales pesados	

REFERENCIAS

- [1]. D. Pénoel, P. Franchomme. *L'aromathérapie Exactlyment*. Roger Jollois, Limoges, 1990, 402-404.
- [2]. G. Vernin, J. Metzger, D. Fraisse, C. Sharf. Étude des huiles essentielles CG-SM Banque SPECMA: Essences de Geranium (Bourbon). *Parfum. Cosmet. Arom.*, 1983, 52, 51-61.
- [3]. E. J. Bowles. *The Chemistry of Aromatherapeutic Oils*. 3^d Ed. Allen & Unwin, Crows Nest, 2003, 236 p.
- [4]. R. Tisserand, T. Balacs. *Essential Oil Safety: A Guide for Health Professionals*. Churchill Livingstone, Edinburgh, 1995, 279 p.
- [5]. S. H. Ahmad, A. A. Malek, H. C. Gan, T. I. Abdullah, A. A. Rahman. The effect of harvest time on the quantity and chemical composition of jasmine (*Jasminum multiflorum* L.) essential oil. *Acta Hort.*, 1998, 454, 355-364.
- [6]. E. E. Stashenko, J.R. Martínez, Carlos Macku, and T. Shibamoto. HRGC and GC-MS analysis of essential oil from Colombian ylang-ylang (*Cananga odorata* Hook Fil. et Thomson, forma genuina). *J. High Resolut. Chromatogr.* 1993, 16 (7), 441-444.



- [7]. E. E. Stashenko, W. Torres and J.R. Martínez. A Study of compositional variation in the essential oil of ylang-ylang (*Cananga odorata* Hook. Fil. et Thomson, forma *genuina*) during flower development. *J. High Resolut. Chromatogr.* 1995, 18 (2), 101-104.
- [8]. J. Pawliszyn (Ed.). Handbook of Solid-Phase Micro-extraction. SPME. Department of Chemistry, University of Waterloo, Waterloo, Ontario, 2008, 329 p.
- [9]. E. E. Stashenko and J. R. Martínez. Sampling volatile compounds from natural products with headspace/solid-phase micro-extraction. *J. Biochem. Biophys. Methods.* 2007, 70 (2), 231-242.
- [10]. E. E. Stashenko, J. R. Martínez. Sampling flower scent for chromatographic analysis. Review., *J. Sep. Sci.*, 2008, 31, 2022-2031.
- [11]. B. M. Lawrence (Ed.). The Antimicrobial/Biological Activity of Essential Oils. Allured Publishing Corp., Carol Stream, IL, 2005, 504 p.
- [12]. M. H. Boelens, H. Boelens, L. J. van Gemert. Sensory properties of optical isomers. *Perfumer & Flavorist*, 1993, 18 (6), 2-16.
- [13]. B. Steinheider. Environmental odorous and somatic complaints. *Zentralbl. Hyg. Umweltmed.*, 1999, 202 (2-4), 101-119.
- [14]. A. Seeber, C. van Thriel, K. Haumann, E. Kiesswetter, M. Blaszkewicz, K. Golka. Psychological reactions related to chemosensory irritation. *Int. Arch. Occup. Environ. Health*, 2002, 75 (5), 314-325.
- [15]. R. Grob, E. Barry. Modern Practice of Gas Chromatography. 4^d Ed. John Wiley, New York, 2004, 888 p.
- [16]. S. Ahuja. Chromatography and Separation Science. Academic Press, New York, 2003, 250 p.
- [17]. E. E. Stashenko, J. R. Martínez. ¿Cuántos componentes hay en una mezcla? Respuesta cromatográfica. *Scientia Chromatographica*, 2009, 1 (2), 23-33.
- [18]. E. Kováts. Gas chromatographic characterization of organic substances in the retention index system. *Adv. Chromatogr.*, 1965, 1, 229-247.
- [19]. N. W. Davies. Gas chromatographic retention indices of monoterpenes and sesquiterpenes on methyl silicone and Carbowax 20M phases. *J. Chromatogr.*, 1990, 503, 1-24.
- [20]. W. Jennings, T. Shibamoto. Quantitative Analysis of Flavor and Fragrance Volatiles by Glass Capillary Gas Chromatography. Academic Press, New York, 1980, 472 p.
- [21]. D. Joulain, W. A. König. The Atlas of Spectral Data of Sesquiterpene Hydrocarbons. E. B. Verlag, Hamburg, 1998, 658 p.
- [22]. P. Adams. Identification of Essential Oil Components by Gas Chromatography/Mass Spectrometry, 4th Ed., Allured Publishing, Carol Stream, IL, 2007, 804 p.
- [23]. E. E. Stashenko, M. A. Puertas, M. Y. Combariza. Volatile secondary metabolites from *Spilanthes americana* obtained by simultaneous steam distillation-solvent extraction and supercritical fluid extraction. *J. Chromatogr. A*, 1996, 752, 223-232.
- [24]. P. Sandra, C. Bicchi (Eds.) Capillary Gas Chromatography in Essential Oil Analysis. Chromatographic Methods Series. Dr. Alfred Huething Verlag, Heidelberg, 1987, 436 p.
- [25]. R. J. Molyneux, P. Schieberle. Compound identification: A Journal of Agricultural and Food Chemistry perspective. *J. Agric. Food Chem.*, 2007, 55, 4625-4629.
- [26]. K. Hostettmann, M. P. Gupta, A. Marston, E. Ferreira-Queiroz. Manual de Estrategias para el Aislamiento de Productos Naturales Bbioactivos. SECAB y CYTED, Bogotá, 2008, 120 p.
- [27]. A. San Feliciano, A. L. Pérez, E. del Olmo, J. C. Martínez, C. Pérez, C. Jiménez, A. G. Ravelo (Eds.). Manual de Determinación Estructural de Compuestos Naturales. Convenio Andrés Bello (CAB), CYTED, Bogotá, 2008, 617 p.
- [28]. E. E. Stashenko, J. R. Martínez. Algunos aspectos de la detección en cromatografía de gases y cromatografía de gases acoplada a espectrometría de masas. Selectividad e identificación. *Scientia Chromatographica*, 2009, 1 (3), 29-45.
- [29]. W. A. König. Gas Chromatographic Enantiomer Separation with Modified Cyclodextrins. Chromatographic Methods Series. Dr. Alfred Huething Verlag, Heidelberg, 1992, 168 p.



- [30]. L. Mondello, P. Tranchida, P. Dugo, G. Dugo. Comprehensive two-dimensional gas chromatography-mass spectrometry: a review. *Mass Spectrom. Rev.*, 2008, 27, 101-124.
- [31]. M. Adahchour, J. Beens, U. Brinkman. Recent developments in the application of comprehensive two-dimensional gas chromatography. *J. Chromatogr. A.*, 2008, 1186, 67-108.
- [32]. L. Mondello, A. C. Lewis, K. Bartle. Multidimensional Chromatography. Wiley, Chichester, England, 2001, 448 p.
- [33]. L. Ramos. Comprehensive Two Dimensional Gas Chromatography. Vol. 55. Elsevier, Amsterdam, 2009, 400 p.
- [34]. D. Ryan, P. Marriott. Comprehensive two-dimensional gas chromatography. *Anal. Bioanal. Chem.*, 2003 , 295-297.





CAPÍTULO V

CENIVAM

Centro Nacional de Investigaciones para la
Agroindustrialización de Especies Vegetales
Aromáticas y Medicinales Tropicales



Centro Nacional de Investigaciones para la Agroindustrialización de Especies Vegetales Aromáticas y Medicinales Tropicales

Si se analizan las experiencias de los países productores de aceites esenciales, tales como la India, Indonesia, Marruecos o Brasil, entre otros, se observan importantes tendencias y los rasgos característicos comunes. El desarrollo de la industria de las plantas aromáticas y medicinales (PAM), de los aceites esenciales y de sus productos derivados va a la par, entre otros aspectos, con la creación y el funcionamiento sostenible de una importante estructura científica y técnica, la formación de los grupos o centros de investigación en las universidades y los Institutos de *Investigación, Desarrollo e Innovación* que trabajan en este campo. Muchas de estas entidades de investigación gozan de una inversión apreciable tanto por parte del estado, como por parte de la industria privada nacional o extranjera, que es un elemento indispensable para el desarrollo exitoso y el funcionamiento correcto y sostenible, entre otros, de la cadena productiva de aceites esenciales y productos derivados.

En la Figura 5-1 se pueden observar las imágenes del Instituto Nacional de Plantas Medicinales y Aromáticas en Fès, Marruecos (Norte de África). Este instituto ha obtenido un importante subsidio de la Unión Europea que asciende a decenas de millones de euros, paralelamente a la apreciable inversión del estado. La entidad de investigación ejerce un apoyo importante a los productores de las PAM y aceites esenciales, desarrolla proyectos, lleva

a cabo cursos, asesorías y da capacitaciones a los agricultores, dinamiza el proceso de la creación de asociaciones de pequeños productores y les brinda un permanente apoyo técnico; con ello, se contribuye a la economía del país, logrando que los productos agrícolas marroquíes, los aceites esenciales y sus derivados sean de la calidad más alta y mucho más competitivos a nivel internacional.

En Colombia, una experiencia similar se observa en el campo agro-industrial de cultivos de café, palma o caña, con la creación de los institutos o centros de investigación tales como Cenicafé, Cenipalma o Cenicaña, los llamados “*Cenis*”. Estos centros son la base científica y tecnológica y de un gran apoyo para la mejora de cultivos industriales, para la optimización de procesos de transformación y el desarrollo de nuevos productos derivados. Para fomentar en Colombia con éxito la industria de plantas aromáticas y aceites esenciales es importante también crear una adecuada infraestructura de apoyo científico-técnico que permita llevar a cabo estudios sistemáticos en todas las áreas relacionadas con la prospección y el monitoreo de especies vegetales nativas, el cultivo y la propagación de las plantas aromáticas y medicinales, investigar sobre su fisiología, el mejoramiento genético y la selección de clones, los aspectos agronómicos, procesos extractivos y de caracterización de los aceites esenciales y productos derivados, entre otros. Es importante entrar a los mercados nacional o internacional con los productos de alta calidad y novedosos -ello es una base para el éxito-, con la competitividad y la concurrencia preeminentes, para obtener ventajas económicas. Muestra de ello en Colombia son los cafés especiales y las originales



Aceites Esenciales



formas de su mercadeo, implementadas, por ejemplo, a través de los emblemáticos *Cafés Juan Valdez*.

El creciente interés de la población mundial por los productos naturales como fuente importante de medicamentos, sabores y fragancias, ingredientes naturales en cosméticos y alimentos, se ha reflejado durante las últimas décadas en la intensificación de la investigación y el desarrollo tecnológico en este cam-

Figura 5-1. A. El mercado de plantas medicinales, aromáticas y condimentarias en Fès, Marruecos. B. El esquema general del Instituto de Plantas Medicinales y Aromáticas en Fès, Marruecos (INPMA, *Institut National des Plantes Médicinales et Aromatiques*). C. El edificio principal del Instituto, donde se ubican los laboratorios de investigación y la parte administrativa. D. Los cultivos experimentales de las plantas aromáticas bajo estudio. E. El destilador de aceites esenciales de capacidad de 1800 kg. (Fotos: Elena E. Stashenko).



po. Colombia, por ser un país megadiverso, se considera como un potencial productor de ingredientes naturales, materias primas y derivados, plantas aromáticas y medicinales y, los aceites esenciales, entre otros. Pero, antes de producir, ofrecer o comercializar un producto agrícola o un ingrediente natural, es imprescindible hacer una investigación exhaustiva, tanto botánica, como química, *i.e.*, lo más completa posible sobre las propiedades, características y los posibles usos del producto.

Con el ánimo de tener una idea sobre el estado actual de la investigación en Colombia, en la Tabla 5-1 se resumen los principales centros y grupos de investigación que trabajan en el área de productos naturales y plantas aromáticas y medicinales, entre otras especies vegetales, y diversos principios bioactivos, sus propiedades y aplicaciones farmacológicas. Esta información se encuentra en la base de datos de *GrupLACs* de grupos y centros registrados en la plataforma *ScienTI* de Colciencias (www.colciencias.gov.co/scienti), y se extrajo de ella usando las siguientes palabras clave: “Plantas medicinales”, “Productos naturales”, “Extractos” y “Actividad”. De los 842 grupos de investigación registrados en Colciencias en cuatro áreas de conocimiento, *i.e.*, Ciencias Agrarias, Ciencias Biológicas, Ciencias de la Salud y Ciencias Exactas y de la Tierra, 65 presentan resultados de investigación relacionados con productos naturales, plantas aromáticas y medicinales o con el estudio de sus aplicaciones, principios activos aislados de especies vegetales y determinación de sus actividades biológicas y usos. Los grupos y centros de investigación colombianos se clasifican por Colciencias según sus categorías, a

saber: A1, A, B, C y D, que dependen tanto del número, como de la calidad de los “productos científicos” obtenidos, *e.g.*, publicaciones, patentes, invenciones, preparación de talento humano, libros y capítulos de libros, participación en congresos científicos, servicios y proyectos realizados, entre otros aspectos. Los 65 grupos y centros mencionados se distribuyen así: grupos A1 - 9, A - 9, B - 19, y en las categorías C y D se clasifican, respectivamente, 13 y 15 grupos. La mayoría de los grupos y centros ha surgido en los últimos 20 años, así: 28 se formaron durante los años 1991-2000 y 26 grupos en el período más reciente (2001-2009).





Tabla 5-1. Grupos y centros de investigación colombianos que involucran en sus estudios y trabajos científicos productos naturales, principios activos, sus propiedades y diversas aplicaciones (Base de datos: *ScienTI*, Colciencias, septiembre 2009)

Grupo o centro de investigación	Entidad	Categoría	Año de creación	Líneas de investigación
Medicina Tropical	Instituto Colombiano de Medicina Tropical “Antonio Roldan Betancur”, Universidad CES, Dirección Seccional de Salud de Antioquia	A1	1989	Animales ponzoñosos, biología molecular, cisticercosis, cro-mo-blastomycosis, dengue, enfermedad de Chagas, entomología médica, etiología de la enfermedad diarreica aguda, hepatitis, infecciones por <i>Streptococcus</i> , leishmaniasis, lepra, leptospirosis y malaria.
Genética de Poblaciones, Mutacarcinogénesis y Epidemiología Genética			1996	Ciclo celular, daño del DNA y reparación, diagnóstico molecular en humanos, epidemiología genética de enfermedades neurodegenerativas, factores de riesgo en el desarrollo de epilepsia, genes de susceptibilidad en cáncer gastrointestinal, genética poblacional y molecular aplicada a malformaciones y a trastornos tipo ADHD, genotoxicología ambiental y ocupacional, genética de poblaciones, genética toxicológica y mutacarcinogénesis ambiental, genética tumoral.
Grupo Malaria	Universidad de Antioquia		1990	Búsqueda de antimaláricos a partir de plantas medicinales utilizadas por la medicina tradicional colombiana, proteómica, relación hospedero-parásito en marco de aspectos biológicos, ecológicos, sociales, económicos y culturales y resistencia a los antimaláricos en Colombia.
Inmunovirología			1987	Bioactividad de productos naturales, inmunovirología animal e inmunovirología humana.
Programa de Estudio y Control de Enfermedades Tropicales			1986	Biología viral y molecular, ecoepidemiología, ensayos biológicos, ensayos clínicos, entomología médica, inmunología, malacología médica y tremátodos, virologías emergentes.
Salud y Comunidad			2000	Antimaláricos, determinantes sociales de la malaria e infecciones asociadas, inmunidad, nutrición e infección, malaria gestacional, congénita y placentaria, procedimiento y diagnóstico



Laboratorio de Química Orgánica y Biomolecular	Universidad Industrial de Santander-CENIVAM		2004	Estructura, conformación y estereoquímica, química medicinal, química bio-orgánica, química de los heterociclos, química de los productos naturales y síntesis orgánica.
Centro de Investigación en Biomoléculas			1995	Actividad antioxidante de productos naturales y sintéticos, obtención y caracterización de aceites esenciales y aromas, producción agroindustrial de metabolitos secundarios vegetales, transformación catalítica de productos naturales.
Estudio y aprovechamiento de Productos Naturales Marinos y Frutas de Colombia	Universidad Nacional de Colombia		1985	Búsqueda de compuestos naturales vegetales utilizables en la industria, microorganismos marinos, productos naturales marinos y química y tecnología del aroma de frutas.
Grupo de Investigación en Sustancias Bioactivas			1994	Actividad inhibitoria de extractos de origen natural y sintético sobre sistemas enzimáticos y/o blancos moleculares, antioxidantes, control de moluscos vectores, fitoinsecticidas, quimioterapia antiparasitaria, síntesis orgánica.
Imunodeficiencias primarias	Universidad de Antioquia		1980	Detección y manejo del síndrome de infección recurrente anormal (SIRA), efectos cardiovasculares de derivados del chocolate, fisiología de las células fagocíticas en inflamación y sepsis, fisiología de las células fagocíticas y biología molecular del sistema NADPH oxidasa, inmunoparasitología, línea de ontogénesis, patogénesis de las inmunodeficiencias primarias, resistencia y susceptibilidad al infección por el virus de la inmunodeficiencia humana.
Química Ambiental y Computacional	Universidad de Cartagena	A	1995	Química ambiental y computacional, fabricación de productos farmacéuticos, y salud humana.
Química de Aromas y Ciencias agroalimentarias	Universidad de Los Andes		2001	Agroquímica, fitoquímica, química ambiental y química de aromas.
Biología de las Criptógamas de Colombia			2000	Ecología y conservación, taxonomía y sistemática.
Biotechnología Microbiana	Universidad Nacional de Colombia		1997	Aislamiento y caracterización de cepas nativas, biodiversidad microbiana y producción de enzimas y evaluación de su actividad.
Conservación, Uso y Biodiversidad			2000	Ecología química, etnobotánica cuantitativa, legislación en recursos naturales y productividad, dinámica y diversidad de ecosistemas forestales.



Estudio Químico y de Actividad Biológica de <i>Rutaceae</i> y <i>Myristicaceae</i> Colombianas			1981	Productos naturales vegetales.
Grupo de Investigación en Química y Tecnología de Alimentos	Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia		2001	Control de calidad, gestión, química y tecnología de alimentos.
Infección y Cáncer	Universidad de Antioquia	B	2000	Actividad biológica de productos naturales, epidemiología genética del cáncer; papilomavirus y cáncer.
Productos Naturales Marinos			1998	Antiparasitarios marinos, hemisíntesis de productos marinos, productos naturales marinos antimicrobianos, química y actividad biológica de productos naturales marinos.
Programa de Ofidismo Escorpionismo			1988	Alternativas terapéuticas y alimentarias, clínica y epidemiología de los accidentes por animales venenosos, escorpionismo, inmunotoxicología, ofidismo, plantas medicinales/etnobotánica, toxicología básica y aplicada.
Química de Plantas Colombianas			1991	Acetogeninas, alcaloides, anti-oxidantes, hemisíntesis y síntesis de productos naturales.
Química Orgánica de Productos Naturales			1985	Biodiversidad y productos naturales, búsqueda de antiparasitarios, colorantes naturales, estabilidad de medicamentos y reconocimiento de materias primas farmacológicamente activas. Estructura y síntesis, valoración de productos naturales, uso fitoquímico, fitoalexinas. Resistencia y susceptibilidad en plantas contra patógenos, insecticidas y acaricidas, química computacional.
Biosalud	Universidad de Caldas		2000	Bioquímica y salud, enfermedades infecciosas en Caldas, estudios fitoquímicos y farmacológicos de plantas medicinales, fármaco-epidemiología y micotoxinas.
Grupo de Microbiología Clínica y Ambiental	Universidad de Cartagena		2004	Enfermedad diarreica aguda (EDA), enfermedades de transmisión sexual (ETS), infecciones intra-hospitalarias y microbiología ambiental.
Grupo de Investigación en Toxicología Genética y Citogenética	Universidad del Cauca		1992	Epidemiología molecular, monitoreo genético ocupacional y ambiental, mutagénesis ambiental, susceptibilidad genética, toxicología genética (<i>in vivo</i> e <i>in vitro</i>).



Grupo de Investigación en Química de Productos Naturales	Universidad del Tolima	1997	Fitoquímica, fitofarmacología, biotecnología, evaluación de actividades biológicas (antiinflamatoria, insecticida, antifúngica), estudios <i>in vivo</i> e <i>in vitro</i> .
Farmacología UNIVALLE	Universidad del Valle	2000	Farmacocinética y monitoria terapéutica de medicamentos, modelos de cultivos celulares <i>in vitro</i> y validación farmacológica de plantas medicinales.
Centro de Investigación en Enfermedades Tropicales	Universidad Industrial de Santander	1991	Diagnóstico virológico en dengue y fiebre amarilla, estudio de marcadores virológicos e inmunológicos asociados con severidad, indicadores clínicos y bioquímicos asociados a dengue y fiebre amarilla, quimioterapia, vigilancia virológica del dengue y la fiebre amarilla.
Biodiversidad y Genética Molecular	Universidad Nacional de Colombia	2005	Conservación y manejo de vida silvestre, genética molecular y de poblaciones, nutrición y biodiversidad.
Grupo de Investigación en Inmunotoxicología		2005	Inmunoterapia, inmunotoxicología y respuesta inmune a agentes infecciosos.
Principios Bioactivos en Plantas Medicinales		1984	Plantas con actividades antifúngica, antiinflamatoria, antiparasitaria, inmunomoduladora, anticáncer, antisida, antihipertensiva y sobre el sistema nervioso central.
Química de los Productos Naturales y los Alimentos		1992	Aprovechamiento de residuos vegetales, búsqueda de sustancias con actividad antioxidante, micotoxinas, obtención de metabolitos secundarios por biotransformación y otros procesos biotecnológicos y productos naturales.
Recursos Genéticos de Plantas Medicinales, Aromáticas y Condimentarias		2003	Agrotecnología de producción y poscosecha de plantas medicinales, aromáticas y condimentarias y germoplasma de plantas medicinales.
Grupo de Infecciones Nosocomiales y Resistencia Microbiana	Universidad Simón Bolívar, Universidad del Atlántico	2001	Infecciones nosocomiales y resistencia microbiana.
Grupo de Biotecnología-Productos Naturales	Universidad Tecnológica de Pereira	1996	Biotecnología vegetal y productos naturales.
Productos Naturales	Universidad Tecnológica del Choco	1998	Etnobiología y fitoquímica.



Grupo de Investigación Fitoquímica	Pontificia Universidad Javeriana	C	1976	Fitoquímica, síntesis y hemisíntesis orgánica, aceites esenciales, actividad biológica, actividad farmacológica, biología oncológica experimental, metabolitos de hongos, quimiotaxonomía, química micro-biológica y transformación, y química de biomoléculas.
Estudios Florísticos	Universidad Católica de Oriente		2000	Diversidad y bioexploración de los recursos florísticos regionales e interacciones planta-microorganismos.
Grupo de Farmacoterapia e Inmunología	Universidad de Cartagena Corporación Universidad del Sinú		2002	Fitoterapia e inmunomodulación, hemoglobinoopatías, inmunodeficiencias primarias, inmunogenética y neurogenética.
Grupo de Productos Naturales de la Universidad de Cartagena	Universidad de Cartagena		1995	Fitoquímica, productos naturales marinos y síntesis.
Cáncer			1995	Prevención en cáncer.
Grupo de Investigación en Productos de Importancia Biológica	Universidad de Nariño		2006	Espectrometría de masas y química computacional, pigmentos y aceites esenciales y síntesis orgánica.
Grupo de Investigación en Microbiología y Biotecnología	Universidad de Pamplona		2004	Biotecnología, calidad e inocuidad de los alimentos y agua potable, ciencia y tecnología de los alimentos y microbiología ambiental.
Grupo de Investigación Fitoquímica de la Universidad de Sucre	Universidad de Sucre, Universidad del Atlántico		2000	Fitoquímica y actividades biológicas (antifúngica, inmunomoduladora, etc.).
Centro de Estudios e Investigaciones en Biodiversidad y Biotecnología	Universidad del Quindío		2002	Biología de la conservación, biotecnología vegetal y diversidad vegetal.
Grupo de Inmunología Molecular	Universidad del Quindío		2002	Inmunología molecular y virología.
Fármaco-genética del Cáncer	Universidad Nacional de Colombia		2003	Búsqueda y caracterización de productos con actividad anticáncer, historia natural de tumores sólidos, identificación de marcadores moleculares asociados a la progresión de la enfermedad tumoral y a la respuesta a los tratamientos en cáncer.



Productos Naturales Vegetales Bioactivos y Química Ecológica			2003	Estudio químico y de actividad biológica de plantas nativas, síntesis de productos naturales.
Grupo Polifenoles	Universidad Tecnológica de Pereira		2001	Actividad biológica de productos naturales, calidad de productos naturales, química de polifenoles vegetales y trans-formación de productos naturales.
Grupo de Investigación en Química de Medicamentos	Universidad de Cartagena	D	2006	Modelado molecular y química de medicamentos.
Laboratorio de Investigaciones Fitoquímicas y Farmacológicas	Universidad de Cartagena E.S.E Hospital Universitario del Caribe		1996	Biología molecular y química y actividad biológica de productos naturales.
Grupo de Investigaciones Agroquímicas	U.de Cartagena, U. de Córdoba		2005	Pesticidas, plantas aromáticas y frutas tropicales.
Química de los Productos Naturales	Universidad de Córdoba		2001	Bioprospección de hongos micromicetos, productos naturales marinos y vegetales, y síntesis de moléculas orgánicas bioactivas.
Grupo Productos Verdes	Universidad de Pamplona		2000	Producción limpia, productos naturales y servicios ambientales.
Grupo de Investigación Fitoquímica	Universidad del Atlántico		2000	Fitoquímica, etnobotánica, evaluación de actividades biológicas (antiinflamatoria, insecticida, antifúngica) y estudios <i>in vivo</i> , <i>in vitro</i> .
Química de Compuestos Bioactivos	Universidad del Cauca		2004	Actividad biológica de compuestos aislados de plantas (Familia <i>Amaryllidaceae</i>).
Química de Productos Naturales			1999	Aprovechamiento integral de materias primas, subproductos y residuos agroindustriales, estudio de metabolitos de origen animal y vegetal, y síntesis y modificación de compuestos con actividad biológica.



Grupo de Investigación Fitoquímica	Universidad del Magdalena	2002	Fitoquímica y productos naturales.
Búsqueda de Principios Bioactivos	Universidad del Quindío	2007	Actividad antimicrobiana de metabolitos secundarios y búsqueda de principios bioactivos en la flora del Quindío.
BONE	Universidad Militar de Nueva Granada	2001	Desarrollo de modelos de ingeniería de tejido humano y metabolismo óseo.
Investigaciones Toxicológicas	Universidad Nacional de Colombia	2006	Determinación de sustancias tóxicas en diferentes sistemas biológicos, evaluación toxicológica <i>in vivo</i> e <i>in vitro</i> de sustancias químicas y plantas tóxicas.
Producción, Estructura y Aplicación de Biomoléculas		1995	Aceites esenciales, alimentos, antioxidantes, aprovechamiento de residuos vegetales, biocombustibles, biopolímeros, biorremediación, enzimas y proteínas, pigmentos de origen natural, sustancias bioactivas y sustancias naturales con actividad antifúngica.
Productos Naturales, Química y Salud	Universidad Santiago de Cali	2002	Aislamiento e identificación de productos naturales, plantas medicinales tropicales y síntesis de compuestos de interés biológico.
Infección e Inmunidad	Universidad Tecnológica de Pereira	2006	Enfermedades infecciosas e inmunología por productos naturales.

En la Figura 5-2 se puede observar que -según la información extraída de la base de datos de *Web of Science*-, los últimos veinte años se han caracterizado por el aumento progresivo del número de publicaciones sobre los aceites esenciales. En Latinoamérica, los países líderes en este campo son Brasil, Argentina y México. En comparación con ellos, la posición de Colombia es muy modesta. En el mundo, los Estados Unidos, seguidos de Brasil, la India, Italia, Turquía, Irán y Francia encabezan la lista de países líderes, con mayor número de artículos generados en el área de los aceites esenciales. Estos mismos países son también grandes productores, exportadores o importadores de los aceites esenciales a nivel mundial. Ello permite vislumbrar una relación, que existe en estos países, entre los resultados de la investigación (uno de los criterios son las publicaciones) y el grado de desarrollo de la agroindustria de plantas aromáticas y medicinales y la producción comercial de aceites esenciales. Lo primero no existe sin lo segundo: la agroindustria y la producción, la calidad de productos y la innovación se relacionan y van de la mano con la inversión en la ciencia y la tecnología en el respectivo campo y *viceversa*.



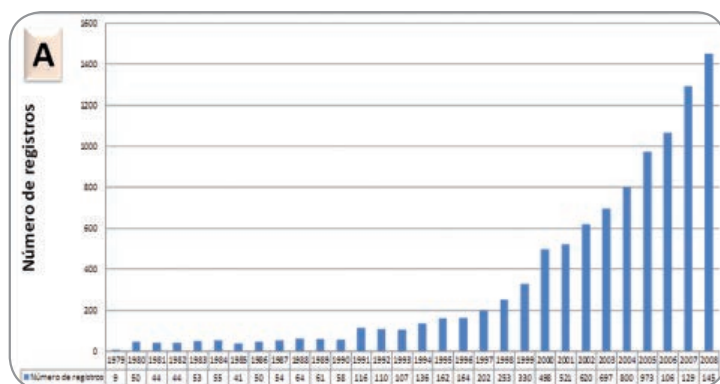
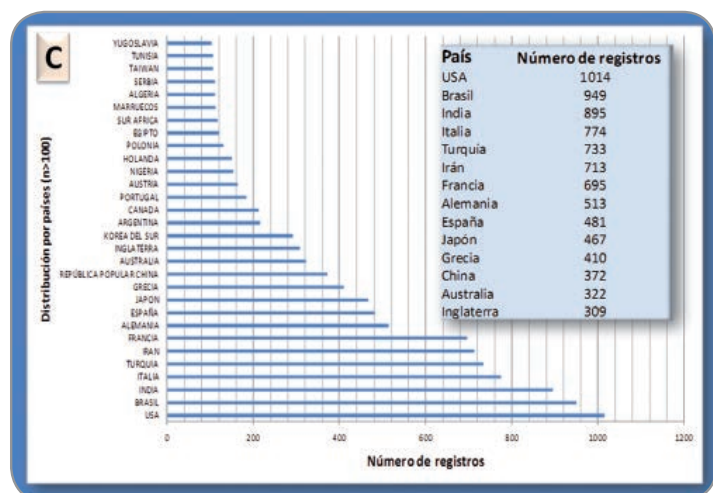


Figura 5-2. A. Dinámica de publicaciones sobre aceites esenciales durante el período de 1979-2008. **B.** El número de publicaciones sobre aceites esenciales en función del país Latinoamericano. **C.** El número de publicaciones según los países en el mundo. Base de datos: *Web of Science*. Período de observación: 1979 – 2008. Ecuación de búsqueda: ARTICLE y palabras clave: “Essential oil”. Fecha de consulta: 22 de septiembre de 2009. (Colaboración: Martha Cervantes, Qca, M.Sc., Vigía del CENIVAM)





En cuanto al desarrollo e investigación en Latinoamérica, Brasil es un indudable líder, digno de toda admiración, en el estudio de las plantas aromáticas y medicinales tropicales, su cultivo, fisiología, aspectos agronómicos, usos y la obtención de productos de su transformación, incluyendo a los aceites esenciales, con destacada infraestructura técnico-científica e industrial creada para la extracción de aceites esenciales, la elaboración de productos derivados e ingredientes naturales, y con una inversión grande tanto de sectores estatales, como privados (banco, industriales, empresas) en esta área, lo que constituye un ejemplo a seguir, sobre todo, que este país está “al

lado” de Colombia, es su vecino, y no hay que cruzar ni mares, ni océanos para conocer su admirable experiencia. Es interesante ver la experiencia desarrollada en Brasil, porque conjuga aspectos tanto académicos, técnicos e industriales, que se nutren mutuamente y se apoyan en las inversiones estatales y del sector privado. Por ello, a continuación, se adjunta un pequeño resumen, se hace una mirada breve al estado de desarrollo científico e industrial de plantas aromáticas, medicinales y condimentarias y aceites esenciales en Brasil, cuyos detalles mayores se pueden encontrar en una reciente monografía [1].

Caso de Brasil

I. En la región **Nordeste de Brasil**, que comprende más del 30% del territorio del país y donde vive una tercera parte de la población, se desarrollaron numerosos trabajos y estudios científicos y técnicos liderados por el Prof. Dr. Afranio Aragão Craveiro y sus colaboradores de la Universidad Federal de Ceará (*Universidade Federal do Ceará*, UFC) sobre las plantas brasileñas nativas, exóticas y algunas introducidas, se ha evaluado su potencial esenciero, propiedades, usos en las industrias cosmética y farmacéutica, y la producción industrial, lo que redunda en la obtención y el análisis (desde 1976) de más de 4000 aceites esenciales [2].

Durante más de 30 años, los investigadores de la UFC, han estudiado las plantas de diferentes familias botánicas, entre las que figuran las siguientes: Fam. Euphorbiaceae, e.g., “canelas silvestres”, *Croton sonderianus*, *C. aff. argyrophyllodes*, *C. aff. zehntneri*, *C. essequiboensis*, *C. mucronifolius*, *C. aff. rhaminifolius* y otras canelas, total más de 20 especies de este género; Fam. Verbenaceae, e.g., las plantas de los géneros *Lippia* (*L. sidoides*, *L. alba*, *L. alnifolia* aff. *gracillis*, *L. betulaefolia*, *L. microphylla*, *L. thymoides*) y *Lantana* (*L. aff. aristata*, *L. camara*); Fam. Lamiaceae (Labiatae), e.g., los géneros *Coleus* (*Plectranthus*) (*P. amboinicus*, *P. barbatus*), *Hyptis* (*H. suaveolens*), *Mentha* (*Mentha x villosa*, *M. piperita* var. *citrata*) y *Ocimum* (*O. basilicum*, *O. campechianum*, *O. gratissimum*, etc.); Fam. Asteraceae (Compositae), e.g., géneros *Tagetes*, *Bidens*, *Verbesina*, *Centratherum*, *Ageratum*, *Chrysanthemum*, *Wedelia*, *Egletes*, *Pectis*, *Matricaria* y otros), Anacardiaceae, las plantas de los géneros *Anacardium*, *Schinus*, *Astronium*, *Spondias* y *Mangifera*; Fam. Myrtaceae, se estudiaron los aceites esenciales aislados de las plantas de los géneros *Eucalyptus*, *Psidium*, *Myrciaria*, *Eugenia*, entre otras; Fam. Annonaceae, las plantas de los géneros *Annona* y *Xylopia*; Fam. Burceraceae, se estudiaron los aceites esenciales de las plantas de los géneros *Bursera*, *Protium*, *Boswellia*; Fam. Poaceae (Gramineae), los géneros *Bambusa*, *Cymbopogon* y *Vetiveria*; Fam. Lauraceae, los árboles con maderas fragantes de los géneros *Aniba*, *Ocotea*, *Cinnamomum*; Fam. Fabaceae (Leguminosae) y subfamilias Mimosoideas, Cesalpinoideas y Faboidea, se estudiaron aceites esenciales de las especies vegetales de los géneros *Myroxylon*, *Myrocarpus*, *Dalbergia*, *Copaifera*, *Dypteryx*, *Acacia*, *Spartium*, *Genista* y



Lupinus, entre otros; Fam. Rutaceae, dentro de la cual se estudiaron aceites esenciales aislados de plantas (frutas) del género *Citrus* (lima, naranja, limón, mandarina, tangerina, etc.) y otros géneros de esta familia, e.g., *Ruta*, *Pilocarpus*, *Cusparia*, *Boronia*, *Baroama*, *Clausena*, *Xanthoxylon*; y de las otras familias de plantas con potencial esenciero, por ejemplo, Fam. Zingiberaceae, las plantas *Zingiber officinale*, *Curcuma longa*, *Alpinia speciosa*, y otras plantas pertenecientes a las familias Turneraceae, Siparunaceae, Passifloraceae y Aristolochiaceae, entre algunas otras familias.

El Programa de Investigación de las Plantas Aromáticas del Nordeste de Brasil, con apoyo estatal y privado, y liderado por la UFC, también comprende el estudio de las diferentes propiedades farmacológicas de los aceites esenciales con miras a utilizarlos en productos cosméticos, farmacéuticos, productos de aseo y de uso agrícola, con ello dando un valor agregado a las especies vegetales de la sin parangón inmensa biodiversidad brasileña. Este Programa incluye, dentro de los aspectos tecnológicos, la preparación de productos finales cosméticos, formulaciones de cremas y lociones, que incorporan aceites esenciales, así como el desarrollo de los procesos de transformación de los compuestos mayoritarios de los aceites a sus derivados con mayor valor agregado. Dentro del Programa se formaron también las incubadoras de empresas orientadas a la elaboración de ingredientes naturales para las industrias de alimentos, fármacos, química fina y fitocosméticos, entre otros.

A través de las investigaciones realizadas, se han seleccionado algunas plantas nativas promisorias. Entre ellas figuran: *Lippia sidoides*, su aceite posee propiedades antisépticas, antifúngicas, se usa para el tratamiento anti-moho del papel, como desinfectante, etc., es rico en timol y carvacrol, y es uno de los productos de exportación de la flora nativa brasileña, con destino, principalmente, a los países europeos; *Croton zehntneri* (canela silvestre), por sus propiedades aromáticas y como fuente de *estragol*, que se puede isomerizar al *trans*-anetol, por tratamiento simple, por ejemplo, con solución alcohólica de hidróxido de potasio; *Pectis apodocephalla*, por su potencial aromatizante y como importante fuente de *citral*; *Vanillosmopsis arborea*, por su uso en cosméticos como antiinflamatorio debido al contenido alto de *bisabolol* (70%); *Dipteryx odorata* (cumarú), cuyo aceite es una importante fuente de *cumarina*, precursor de muchas sustancias con poder aromatizante utilizadas en la perfumería y *Spilanthes acmeola*, por marcadas propiedades larvicida e insecticida, atribuidas al *es-pilantol*, amida bio-activa presente en su aceite esencial. En el Nordeste de Brasil, entre los cultivos industriales para destilar los aceites esenciales, se destacan limonaria, *Mentha x piperita*, *Mentha arvensis*, *Mentha villosa* y, la planta nativa ya mencionada, *Lippia sidoides*, descubierta y estudiada inicialmente por los investigadores de la UFC y cuyo aceite ahora es un importante producto de exportación.

II. El estudio sistemático de la flora aromática de la **Región Amazónica** durante más de 25 años fue liderado por el Prof. Dr. José Guilherme S. Maira y sus colaboradores de la Universidad Federal de Pará (*Universidade Federal do Pará*, UFPA) [3]. Durante estos años se llevaron a cabo más de 500 expediciones botánicas y se recolectaron más de 2.500 plantas, de las cuales se obtuvieron alrededor de 2000 aceites esenciales. Este titánico trabajo se materializó en una elaborada base de datos de plantas aromáticas y frutos de Amazonía, que contiene más de 1000 especies y alrededor de 350 aceites esenciales, completamente caracterizados. La búsqueda de muchas plantas en esta región de Brasil ha estado ligada con sus usos etnobotánicos, por ejemplo, las plantas aromáticas, *Ichthyothere terminalis* e *I. cunabi* (Fam. Asteraceae) fueron seleccionadas gracias a su empleo por pescadores amazónicos como repelentes de insectos en áreas donde éstos abundan.



Se han publicado más de 300 trabajos (libros, monografías, artículos) sobre las plantas de la región amazónica donde predominan, entre las aromáticas, las especies de las familias Piperaceae, Asteraceae, Myrtaceae, Lamiaceae, Annonaceae, Lauraceae, Euphorbiaceae, Verbenaceae, Scrophulariaceae, Anacardiaceae, Rutaceae y Burseraceae [3]. Desde hace unos 80 años, en esta región de Brasil, se han desarrollado la producción y la exportación de aceites esenciales de palo de rosa (*Aniba rosaeodora* y *A. duckei*), rico en linalool y su acetato, y de oleorresinas de *copaiba* (*Copaifera* sp.) y de *cumaru* (*Dipteryx odorata*). Se han explorado las especies de *Aniba fragrans* (Fam. Lauraceae), vetiver y *piprioca* (*Cyperus articulatus*, Fam. Cyperaceae), entre varias otras, junto con la producción, a pequeña escala, de sus aceites esenciales, para incorporarlos a diferentes productos cosméticos, perfumes naturales y *sachets*. Se han creado empresas regionales que utilizan aceites de plantas aromáticas de Amazonia y sus extractos, *e.g.*, Chamma de Amazônia (Belém), Ervativa (Belém) y Mysteres d'Amazonie (Manaus).

Muchas de las plantas aromáticas recolectadas en la región amazónica, llaman la atención de investigadores porque contienen aceites con fragancias atractivas, descomunales, que sorprenden, y son útiles para la industria de perfumes que siempre compite con base en novedad. Por ejemplo, el aceite destilado de hojas y frutos de *Siparuna guianensis* (Fam. Monimiaceae) se distingue por una nota *animal*, diferente, no usual y de interés para la fabricación de nuevos perfumes. Diferentes empresas nacionales, por ejemplo, la emblemática y mundialmente conocida NATURA, e internacionales, *e.g.* Takasago, Givaudan, IFF y Firmenich han desarrollado proyectos productivos en la región amazónica. Por más de 20 años, la empresa Takasago participó en el establecimiento de los cultivos de patchouli y alcanforero. Sin embargo, la mayoría de las empresas regionales son de pequeños productores y funcionan a mediana y pequeña escalas. Entre las especies promisorias de la región amazónica de Brasil se han destacado varias que pertenecen a la familia Piperaceae: *Piper hispidinervium*, interesante sucedáneo para sasafrás brasileño, cuyo aceite esencial es abundante en safrol (>90%), que es un importante precursor de *piperonal* (ingrediente de perfumes finos) y de *butóxido de piperonilo* (agente sinérgico de piretroides naturales, utilizados en insecticidas naturales) (Figura 5-3) y *Piper aduncum*, rico en *dilapiol*, componente que presenta actividades fungicida, bactericida, insecticida, larvicida y moluscida. En general, los aceites esenciales aislados de plantas del género *Piper* son ricos en fenilpropanoides, *e.g.*, safrol, dilapiol, miristicina, elemicina, y en terpenoides, *e.g.*, cariofileno, espatulenol, nerolidol, biciclogermacreno y cadinol; las estructuras químicas y los espectros de masas de algunas de estas sustancias aparecen en la Figura 5-4; todos estos compuestos poseen actividades biológicas y, en la mayoría de ellos, es notoriamente alta.

En colaboración con otras universidades e institutos (INPA, CEPLAC, UFRA, IEPA) de la región amazónica de Brasil y liderada por los investigadores de la UFPA [3], se ha creado una detallada base de datos de plantas aromáticas y frutos amazónicos (ca. 1000), que contiene, junto con todos los detalles botánicos, geográficos, aspectos agronómicos y ecológicos, composiciones de volátiles de frutas y aceites esenciales de plantas aromáticas, las referencias bibliográficas, cromatogramas y espectros de masas y las fotografías de cada especie vegetal.

III. Se estima que en Brasil, uno de los países megadiversos, se encuentran ca. 50 mil especies vegetales. La región **Centro-Oeste de Brasil** es el área de mayor producción agrícola y posee cultivos industriales de soya, algodón, caña, especies maderables, que representan ca. 23% de toda la biomasa del territorio brasileño [4]. En esta región del país se encuentran, según las estimaciones, alrededor de 7 mil especies vegetales, de la cuales 2 mil han sido clasificadas según su potencial como forrajeras, maderables, fructíferas, apícolas, esencieras, entre otras.

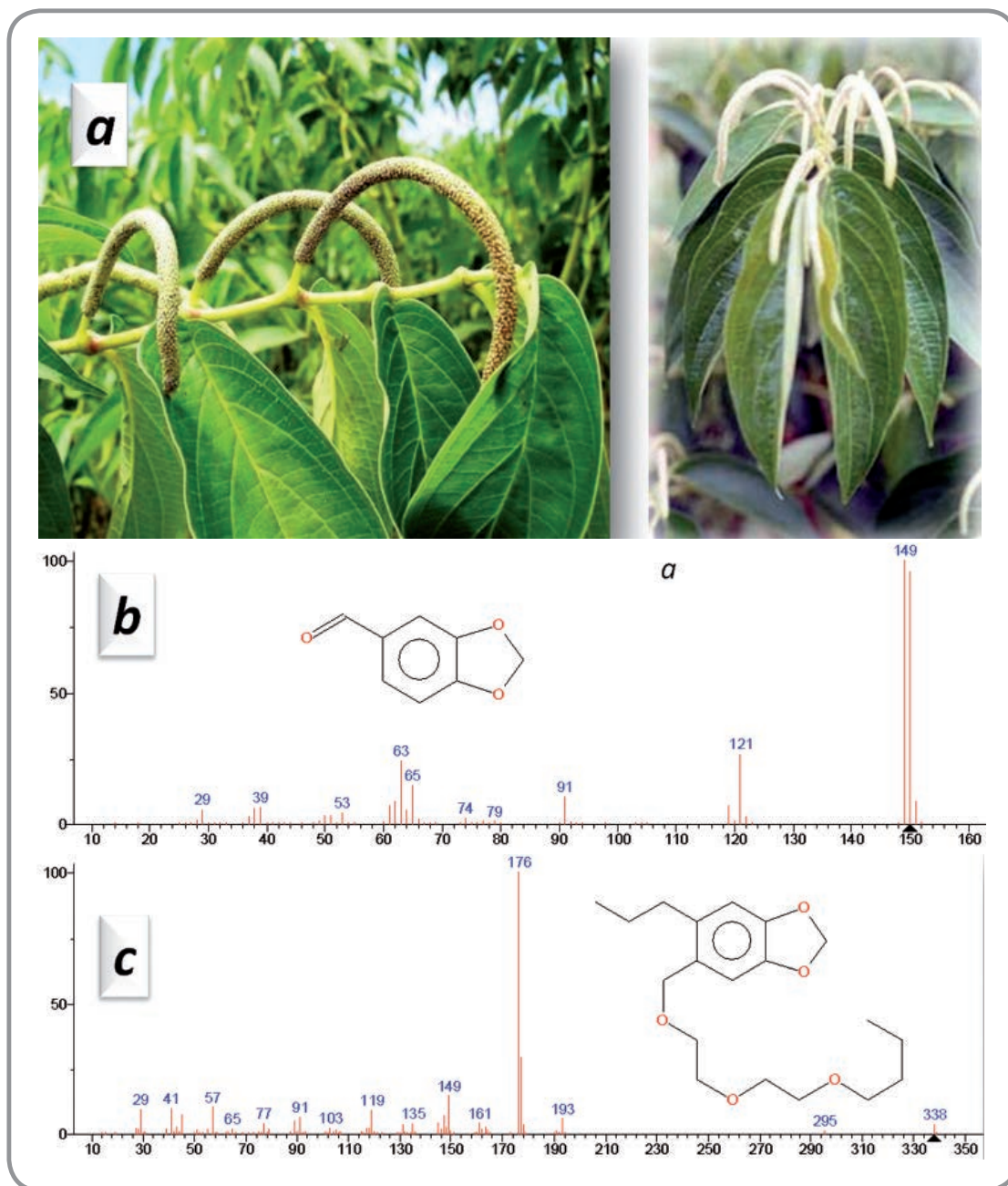


Figura 5-3. A. *Piper hispidinervium* (Fam. Piperaceae), cuyo aceite esencial es rico en safrol, precursor de piperonal, compuesto que se usa en fragancias y perfumes finos (Foto: EMBRAPA, Acre, Brasil). **B.** Estructura química y espectro de masas (EI, 70 eV) de piperonal. **C.** Estructura química y espectro de masas (EI, 70 eV) de butóxido de piperonilo, obtenido a partir de safrol, principio activo utilizado como sinergista en el extracto del insecticida natural de piretro (pelitre) *Chrysanthemum cinerariifolium* (Fam. Asteráceae).

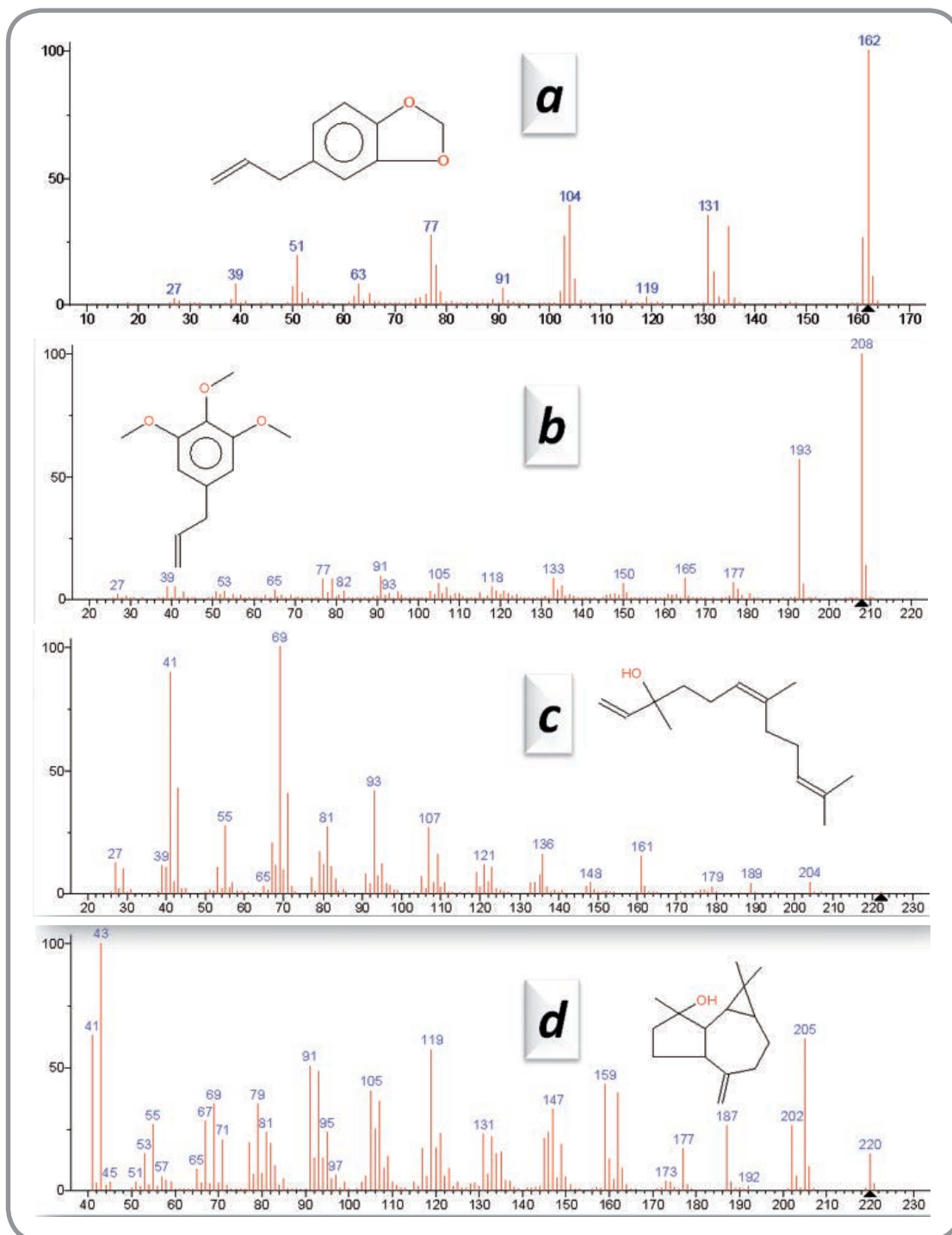


Figura 5-4. Estructuras químicas y espectros de masas (EI, 70 eV) de: **a.** Safrol; **b.** Elemicina; **c.** *cis*-Nerolidol y **d.** Espatulenol, componentes frecuentemente encontrados en los aceites esenciales extraídos de plantas del género *Piper* sp. (Fuente: Base de Datos NIST).



A pesar de que las industrias de cosméticos, farmacéutica, de productos de aseo y de perfumes claman por nuevas plantas aromáticas y nuevas esencias, en esta región del país, la fabricación de los aceites esenciales no ha sido desarrollada de manera intensa, aunque la información sobre las plantas aromáticas de la región se ha recolectado y documentado sistemáticamente.

Se han estudiado y cultivado, a pequeña y mediana escalas, algunas especies vegetales, a saber: manzanilla, *Chamomilla recutita* (Fam. Asteraceae); *candeia* o cambará, *Eremanthus erythropappus* y *E. incanus* (Fam. Asteraceae), los arbustos, cuyos aceites esenciales destilados de los troncos, son ricos en α -bisabolol y β -bisaboleno, principios activos con aplicación en fármacos y productos cosméticos, por sus efectos antibacterianos, antimicóticos, dermatológicos y antiespasmódicos. El precio del aceite de *candeia* (cambará) es relativamente alto en los mercados nacional e internacional (\$27-60 dólares por un kilogramo del aceite). Las plantas de la familia Lamiaceae, estudiadas en esta región, comprenden mentas, lavandas, albahacas, melisas (todas introducidas), y varias del género *Hyptis* (*H. crenata*, *H. suaveolens*, *H. pectinada*); de la familia Piperaceae, se destacan dos géneros, *Piper* y *Peperomia*; las plantas más estudiadas (16 especies) son del género *Piper*, ricas en fenilpropanoides (apiol, dilapiol, miristicina, eugenol, safrol y algunos de sus dímeros), sustancias, que ejercen un efecto sinérgico con los insecticidas naturales, entre otras propiedades biológicas aprovechables; de la familia Verbenaceae, las plantas más estudiadas pertenecen al género *Lippia*, e.g., *L. alba*, *L. elegans*, *L. eupatorium*, *L. filifolia*, *L. florida*, *L. grandulosa*, *L. rotundifolia*, *L. salviaefolia*, *L. origanoides*, *L. lupulina*, *L. sidoides*, y muchas otras, pero, entre todas, la más investigada ha sido la *Lippia alba*. En la Universidad de Brasilia, se encuentran colectados los especímenes de *Lippia alba*, provenientes de diferentes regiones de Brasil. Se han estudiado también algunas plantas de las familias Myrtaceae y Poaceae. En la región Centro-Oeste de Brasil existen algunos cultivos experimentales, a pequeña escala, pero su extensión se limita por la falta de estudios adicionales y las verificaciones de la viabilidad económica de la producción de los aceites [4].

IV. En la región **Sudeste de Brasil**, que comprende los Estados de Minas Gerais, Espírito Santo, Rio de Janeiro y São Paulo, está concentrado el “potencial esenciero” del país, es donde se encuentra la mayoría de empresas fabricantes de los aceites esenciales [5]. Brasil es el primer exportador en el mundo del aceite esencial de naranja –un producto secundario de la industria citrícola–, lo que genera para su economía divisas importantes. Es un país con larga tradición en la producción de esencias, que empezó en los años 20 del siglo XX, con la instalación de la fábrica para obtener el aceite de palo de rosa (*Aniba rosaeodora*), proveniente de los especímenes de la Amazonia brasileña, rico en linalool y su acetato. Durante la Segunda Guerra Mundial surgen en el Sudeste de Brasil empresas productoras de aceites de menta, naranja, sasafrás, eucalipto, patchouli. El despliegue de la industria de aceites esenciales en Brasil es acompañado de la selección de clones, mejoramiento genético de plantas, el estudio y la búsqueda de las mejores condiciones agro-ecológicas de su cultivo, mecanización y la producción de los aceites de alta calidad, i.e., los estudios que se realizan en diversos Institutos y Universidades (e.g., en Campinas, Estado de São Paulo). En los años 60 y 70, Brasil fue el líder mundial en la producción de *Mentha arvensis*, sasafrás, palo de rosa, eucalipto y naranja, mentol y aceites desmentolados. Actualmente, conserva su primer lugar en la producción del aceite de naranja, y es el cuarto país en el mundo, productor de aceites esenciales, cuyas exportaciones ascienden a 1.5 billones de dólares anuales, y tienen como principales destinos a los EE.UU., Francia, Países Bajos y Reino Unido.

Vale la pena mencionar, que las exportaciones de los aceites de naranja, limón, eucalipto y palo de rosa (en orden de su importancia) se caracterizan por su gran volumen, pero su precio en el mercado



internacional es bajo; en realidad, generan valor agregado pequeño, puesto que la mayoría de los aceites esenciales importados (Brasil es también un gran importador de aceites) de varios orígenes y con distintos grados de procesamiento, tienen valores más altos que los aceites esenciales que Brasil exporta. El 92,59% (2005) de todos los aceites esenciales se producen en la región Sudeste del país, 91,42% corresponden al Estado de São Paulo y el resto, 1,17% al Estado de Minas Gerais. Se destacan cultivos de cítricos (naranja, limón, lima, bergamota), eucalipto, *candeia*, citronela, palmarrosa y algunas plantas condimentarias. El 28,1% de todas las empresas brasileñas producen aceites de naranja y “*petit grain*” de naranja. Brasil se destaca también por ser el mayor productor de limoneno obtenido a partir de los aceites cítricos.

Los aceites de eucalipto se destilan en el país de las especies *E. citriodora*, *E. globulus* y *E. staigeriana*, su principal productor es el Estado de São Paulo, y sus exportaciones ascendieron a más de 1,3 mil toneladas durante el período de 2000-2005, mientras que las de naranja llegaron casi a 400 mil toneladas. La destilación de menta japonesa (*Mentha arvensis*) en Brasil, que fue en los años 70 su mayor productor en el mundo, se ha reducido sustancialmente, es más, ésta inclusive se importa, junto con los aceites de otras mentas. Las exportaciones de *M. arvensis* (menta japonesa) y *M. piperita* (menta inglesa) en los años 2000-2005 alcanzaron, respectivamente, ca. 40 y 100 toneladas. Otros países, importantes productores de aceites de mentas son la India, China, EE.UU. y, recientemente, Vietnam. La producción del aceite esencial destilado del tronco de *candeia* (cambará), arbusto nativo de Brasil y una especie con múltiples usos, llega a 170 toneladas al año. Otros aceites esenciales, producidos a menor escala y que se exportan de la región Sudeste de Brasil, son de palmarrosa (35 ton), citronela (14 ton), lavanda (ca. 2 ton), vetiver (82 kg), jazmín (200 kg), geranio, cedro, coriandro (todos, < 60 kg), etc. El volumen de producción corresponde a los años 2000-2005. Entre los productos de exportación figuran también los derivados (subproductos) terpénicos obtenidos por destilación fraccionada, congelamiento fraccionado u otros procesos físico-químicos y químicos y ascienden a unas 210 mil toneladas durante los años 2000–2005 [5].

V. La región del **Sur de Brasil** fue poblada principalmente por los colonos de origen europeo (italianos, alemanes, holandeses, ucranianos) y asiático (japoneses, chinos), que llevaron al país sus actividades y tradiciones agrícolas [6]. Junto con la alta fertilidad de los suelos, un clima templado, la región del Sur se destaca por extensos cultivos de café, soya, trigo, arroz y muchos otros. Inicialmente, se instalaron en la región los cultivos de hierba mate, pero en la mitad del siglo XX, inmigrantes japoneses introdujeron al Sur del país *Mentha arvensis* y sus primeros cultivos se desarrollaron en el Norte de Paraná. Entre los años de 1972 y 1975, Brasil producía alrededor del 70% del aceite de menta del mundo.

Otra especie de importancia en los Estados de Paraná y Santa Catarina ha sido el llamado *sasafrás brasileño* (*Ocotea odorífera*), la producción del aceite esencial, destilado de su madera, tuvo el auge en los años 70 y 80. Los altos rendimientos del aceite de sasafrás brasileño (>2%) y, sobre todo, el contenido de safrol mayor del 90%, permitieron a Brasil ocupar el primer lugar en el mundo en la producción de safrol. La explotación masiva de la madera de *Ocotea odorífera*, condujo prácticamente a la extinción de esta especie nativa y a la respectiva prohibición de su corte a partir de 1991. Actualmente, Brasil es importador de esencia, rica en safrol, de China y Vietnam, en donde ésta se obtiene de la especie de *Cinnamomum camphora*. *Piper hispidinervum* es otra especie nativa, alternativa, para obtener safrol, y reemplazar la *Ocotea odorífera*.

En la región del Sur de Brasil se cultivan plantas medicinales, que se utilizan en fresco o seco, junto con sus esencias destiladas, en productos fito-farmacéuticos; entre las plantas cultivadas figuran



romero, albahaca, ruda, caléndula, manzanilla, limonaria, citronela, *Lippias* (*L. alba*, *L. citriodora*, *L. geminata*), paico, hinojo, jengibre, mentas, naranja, ajeno, orégano, melisa, mejorana, perejil, salvia, tomillo, otros. En esta lista prevalecen plantas de origen europeo, que se adaptan bien a los climas templados de la región. En la región del Sur también se destilan a escala mediana los aceites esenciales de *Mentha arvensis*, citronela (*Cymbopogon winterianus*), limonaria (*Cymbopogon citratus*), palmarrosa (*Cymbopogon martinii*) y de *Cymbopogon flexuosus*, este último para el aislamiento del citral del aceite [6].

La experiencia de Brasil y su análisis son muy didácticos e importantes, puesto que la cadena productiva de aceites esenciales en este país goza de todos sus elementos y se extiende hasta formar la cadena de valor, o sea, a la producción de artículos terminados, con alto valor añadido, *e.g.*, cosméticos, productos de aseo e higiene personal, y es robusta, porque se cimenta sobre la investigación científica, desarrollos tecnológicos e innovación y posee la inversión económica continua por parte de varios sectores, estatales y privados. Ello ha permitido a los productos brasileños de origen natural, entre ellos, a los aceites esenciales u otros ingredientes naturales, lograr una buena “reputación” en el mercado mundial y ganar la confianza, necesaria para su comercialización. Similares experiencias se pueden encontrar en Argentina, principal exportador de aceite de limón, o en México que es el primer productor del aceite esencial de lima, y exportador de los aceites de la vainilla y del orégano mexicano (*Lippia graveolens*), o en Guatemala, que hace aportes importantes al mercado mundial, con los aceites de limonaria, citronela o cardamomo. En este panorama latinoamericano, Colombia figura como un importador neto de aceites esenciales, a pesar de que tiene grandes posibilidades para su producción en el país y la satisfacción del mercado nacional o para la exportación. La producción de aceites esenciales colombianos debe basarse sobre sus estudios detallados y

la aplicación de estos resultados, inicialmente, a pequeña escala, en cultivos experimentales; hay que establecer una infraestructura productiva primaria y adquirir la experiencia propia. Para todo ello, se requiere necesariamente una inversión económica.

Al tenor de la Ley 29 de 1990 (Artículos 1° y 2°), el 19 de marzo de 2004 el Consejo Nacional de Ciencia & Tecnología (CNCyT) aprobó el marco de la política para la creación del programa “Centros de Investigación de Excelencia” (CIE) en Colombia, después de un análisis detallado de varias experiencias internacionales en Canadá, Chile y otros países europeos. El 25 de junio de 2004 el CNCyT confirmó las ocho áreas estratégicas para el programa de los CIE. Con un presupuesto proyectado de *ca.* \$10.2 millones de dólares US, el 6 de agosto de 2004 se lanzó la Convocatoria de Colciencias para seis CIE (2004–2006), anunciando el aporte de \$2.8 millones US dólares por centro para 8 años, inicialmente con la financiación de 5 años, prorrogables - si la evaluación internacional al cabo de éstos es positiva-, a tres años más. Fue cuando se atendió el llamado de la Convocatoria por varios centros y grupos de investigación de cinco universidades públicas, a saber: Universidad Industrial de Santander, Universidad de Antioquia, Universidad Tecnológica de Pereira, Universidad de Cartagena, y Universidad Tecnológica del Chocó, para unir sus esfuerzos, presentar la Propuesta de In-



vestigación y competir con otros centros en el país, en el área estratégica de *“Biotecnología e Innovación Agroalimentaria y Agroindustrial”*, una de las ocho áreas priorizadas por el CNCyT. La Propuesta del futuro centro -ideado en el formato de la Unión Temporal-, que se llamó “CENIVAM”, léase el *“Centro nacional de investigaciones para la agroindustrialización de especies vegetales aromáticas y medicinales tropicales”*, se consideró como una de las mejores entre las 44 presentadas en la Convocatoria (39 de ellas se sometieron a la evaluación internacional y 5 fueron rechazados por no cumplir con requisitos mínimos no remediabiles).

El 18 de noviembre de 2004 el CNCyT, después de recibir y analizar varias evaluaciones de expertos internacionales, recomendó la financiación de la Propuesta del CENIVAM. Mediante la Resolución N° 01217 del 29 de

noviembre de 2004, y acogiendo las recomendaciones del CNCyT, la Dirección General de Colciencias decidió apoyar, entre otros, la conformación de la Unión Temporal-CENIVAM. La Propuesta Inicial de Investigación, presentada y aprobada, que forma parte integral del Contrato de la Unión Temporal CENIVAM con Colciencias, asciende a \$5.100 millones de pesos de financiación contingente, por parte de Colciencias, para 5 años de trabajo, y con casi \$4.900 millones de pesos de contrapartida de las universidades constituyentes de la Unión Temporal; con una posible prórroga del Contrato para tres años adicionales, en el caso de que la evaluación internacional del CENIVAM -al cabo de los cinco años-, fuese positiva.

El 22 de diciembre de 2004, la Directora y Representante Legal de CENIVAM, doctora Elena E. Stashenko, en una ceremonia solemne en Colciencias (Bogotá), presidida por la doctora María del Rosario Guerra de Mesa, la Directora



Figura 5-5. 22 de diciembre de 2004. Colciencias, Bogotá. Firma del Contrato N° RC -432 entre la Unión Temporal-CENIVAM y Colciencias. Sentados aparecen, de izquierda a derecha doctores John Mario Rodríguez (CIEBREG), Elena E. Stashenko (CENIVAM), María del Rosario Guerra de Mesa (Directora de Colciencias), Jaime Restrepo (CIE de Tuberculosis).



de Colciencias en esta época, firmó el Contrato N° RC-432 de 2004 entre la Unión Temporal CENIVAM y Colciencias (Figura 5-5). Con ello, empezó el camino largo y responsable de trabajo y dedicación de grupos de investigación constituyentes del Centro en Bucaramanga, Medellín, Pereira, Quibdó y Cartagena, para cumplir los compromisos y objetivos trazados

en la Propuesta aprobada y para responder a las expectativas de Colciencias y de toda la comunidad científica, en cuanto a esta novedosa forma de trabajar de varios grupos de investigación a través de la colaboración mutua, compartimiento de ideas e infraestructura, experiencias, y para lograr un efecto sinérgico en la obtención de los resultados de investiga-

Tabla 5-2. Investigadores líderes y grupos y centros de investigación integrantes del CENIVAM.

Universidad -Ciudad	Grupo/Centro	Categoría	Directores e investigadores líderes
Universidad Industrial de Santander <i>Bucaramanga, Santander</i>	Centro de Investigación en Biomoléculas, CIBIMOL	A1	Elena E. Stashenko Jairo R. Martínez M.
	Laboratorio de Química Orgánica y Biomolecular, LQOBio	A1	Vladimir V. Kouznetsov
	Laboratorio de Síntesis Orgánica, LSO	C	Alirio Palma R.
	Centro de Investigación en Enfermedades Tropicales, CINTROP	B	Patricia Escobar Raquel Ocazonez
	Centro de Investigación en Ciencia y Tecnología de Alimentos, CICTA	C	J. Aidé Perea V. Claudia Ortiz
	Grupo Nacional de Investigación en Ecofisiología & Metabolismo Vegetal, GIEFIVET	-	Nelson Rodríguez María I. Chacón C.
Universidad de Antioquia <i>Medellín, Antioquia</i>	Grupo de Catálisis Ambiental	A1	Consuelo Montes de Correa Aída Luz Villa
	Grupo de Infección y Cáncer	B	Gloria Sánchez Liliana Betancur G. Ana Cecilia Mesa
Universidad de Cartagena <i>Cartagena, Bolívar</i>	Grupo de Química Ambiental y Computacional	A	Jesús T. Olivero V. Beatriz E. Jaramillo
Universidad Tecnológica del Chocó <i>Quibdó, Chocó</i>	Grupo de Productos Naturales	B	Nayive Pino B.
Universidad Tecnológica de Pereira <i>Pereira, Risaralda</i>	Grupo de Polifenoles	C	José Hipólito Isaza Luz A. Veloza C. Luz S. Ramírez A.



Aceites Esenciales

ción esperados y su transferencia tecnológica.

El CENIVAM está conformado por 11 grupos de investigación de cinco universidades públicas (Tabla 5-2), que se dedican a su trabajo en varias áreas principales de investigación, que aparecen en la Tabla 5-3. Las actividades del Centro, su Misión, Visión, Estructura Administrativa y Productos consolidados, informes, entre otros, se encuentran plasmados en el portal del Centro: <http://cenivam.uis.edu.co>.

Se puede observar el carácter multidisciplinario del Centro (Tabla 5-3), donde cada grupo cumple sus objetivos y metas, pero el trabajo de la mayoría de los integrantes está interconectado, *i.e.*, transcurre en modo paralelo y sucesivo. Por ejemplo, las salidas botánicas se acompañan de la identificación taxonómica de las plantas colectadas (Área I) (Tabla 5-4), luego, vienen las extracciones y la caracterización cromatográfica y espectroscópica de aceites esenciales y extractos (Área II), seguidas del estudio de sus actividades bio-

lógicas (Área III). Componentes mayoritarios de esencias se someten a diferente tipo de transformaciones: química, catalítica, enzimática (Área IV). Los productos transformados, nuevamente, se someten al estudio de su actividad biológica (Área III). Se establecen las relaciones entre la estructura y la actividad de las sustancias representativas, para racionalizar la síntesis y guiar las rutas para la obtención de nuevos derivados (Área IV). Las plantas, económicamente promisorias o con una alta actividad biológica comprobada *in vitro*, se cultivan en el Complejo Experimental Piloto (*Campus* principal de la UIS, Bucaramanga) y se estudian sus diferentes aspectos fisiológicos; se diseñan y se construyen las plantas de extracción (destiladores) piloto e industriales y la experiencia obtenida se aplica en el campo (Municipios de Socorro, Bolívar, El Peñón, Sucre del Departamento de Santander) a escala piloto (Área V), para luego redundar en un proyecto a nivel industrial.





Tabla 5-3. Principales áreas de investigación del CENIVAM y los grupos participantes en cada línea de trabajo científico.

Áreas	Actividades	Grupos	Participantes
I. Etnobotánica y taxonomía	Salidas botánicas y recolección del material vegetal y preparación de <i>exsiccatae</i> . Fisiología. Identificación botánica. Banco de germoplasma. Base de datos de plantas, aceites esenciales y actividades biológicas	CIBIMOL GIEFIVET Productos Naturales Polifenoles	Botánicos-Taxónomos. Biólogos. Fisiólogos. Microbiólogos. Químicos. Ingenieros de sistemas.
II. Obtención y caracterización de aceites esenciales y extractos	Aislamiento de aceites esenciales y obtención de extractos de plantas. Caracterización de aceites y extractos por métodos cromatográficos (GC, HPLC) y espectroscópicos (IR, UV, MS, RMN). Fraccionamiento. Aislamiento de compuestos mayoritarios.	CIBIMOL Productos Naturales Polifenoles	Químicos. Ingenieros químicos.
III. Transformación de aceites esenciales, extractos y sus componentes mayoritarios	Transformación catalítica de los componentes mayoritarios de aceites esenciales.	Catálisis Ambiental	Químicos. Ingenieros químicos.
	Síntesis y <i>semi</i> -síntesis de nuevos derivados con potencial actividad biológica de los componentes mayoritarios de aceites esenciales y extractos	LQOBio LSO Polifenoles	Químicos.
	Transformación microbiana y enzimática de aceites esenciales y sus componentes mayoritarios	CICTA	Químicos. Ingenieros químicos. Microbiólogos.
IV. Estudio de la actividad biológica de los aceites esenciales, extractos, sus componentes mayoritarios y productos de síntesis y semi-síntesis	Actividad antifúngica y antimicobacteriana	CINTROP Infección y Cáncer INS*	Biólogos. Bacteriólogos. Microbiólogos. Médicos. Químicos-farmacéuticos. Químicos.
	Actividad antiparasitaria		
	Anti-tumoral		
	Antibacteriana	Polifenoles, Productos Naturales	
	Actividad antioxidante	CIBIMOL LQOBio	
	Otras: antimutagénica, citotóxica, insecticida, anti- <i>quorum sensing</i> , etc.	Química Ambiental y Computacional	
V. Transferencia de tecnología y conocimiento	Diseño y construcción de plantas de destilación piloto e industriales. Transferencia de tecnología a cultivadores, cadena productiva de plantas aromáticas y aceites esenciales. Capacitaciones, cursos y talleres.	CIBIMOL	Químicos. Ingenieros químicos. Ingenieros mecánicos. Ingenieros industriales. Ingenieros de sistemas. Economistas.

* INS – Instituto Nacional de Salud, grupo de apoyo, Dr. Juan Gabriel Bueno.



Tabla 5-4. Listado de especies botánicas recolectadas por el CENIVAM (2005 – 2009).

Fam. Acanthaceae	Fam. Amaranthaceae	Fam. Apocynaceae	Fam. Araliaceae
<i>Justicia secunda</i> Vahl	<i>Alternanthera lanceolata</i> (Benth.) S.	<i>Rauvolfia</i> cf. <i>leptophylla</i>	<i>Oreopanax</i> sp.
Fam. Anacardiaceae	Fam. Aristolochiaceae	Fam. Boraginaceae	Fam. Burseraceae
<i>Astronium graveolens</i>	<i>Aristolochia anguicida</i>	<i>Cordia bifurcata</i> Roem. & Schult.	<i>Bursera graveolens</i> (Kunth) T. P.
<i>Anacardium occidentale</i> L.	<i>Aristolochia maxima</i> Jacq.	<i>Cordia divaricata</i>	<i>Bursera graveolens</i> (Kunth) T. P.
<i>Justicia secunda</i> Vahl	<i>Aristolochia ringens</i> Vahl	<i>Cordia cylindrostachya</i>	<i>Bursera simaruba</i> Sarg.
<i>Mangifera indica</i> L.		<i>Cordia spinescens</i> L.	<i>Bursera tomentosa</i>
<i>Schinus molle</i> L.			<i>Protium</i> sp.
Fam. Annonaceae	Fam. Asclepiadaceae	Fam. Chloranthaceae	Fam. Clusiaceae
<i>Guatteria metensis</i>	<i>Marsdenia macrophylla</i>	<i>Hedyosmum racemosum</i>	<i>Symphonia globulifera</i> L.F.
<i>Cananga odorata</i>		<i>Hedyosmum scaberrimum</i> Standl.	<i>Vismia macrophylla</i> Kunth
Fam. Asteraceae			
<i>Achyrocline alata</i> (Kunth) D. C.	<i>Baccharis trinervis</i> Persoon	<i>Condylidium iresinoides</i> (H.B.K.)	<i>Smallanthus riparius</i> (Kunth) H. Rob.
<i>Achyrocline aff. bogotensis</i> (H.B.K.)	<i>Bidens squarrosa</i>	<i>Conocliniopsis prasiifolia</i> (D.C.)	<i>Sphagneticola trilobata</i> (L.) Puruski
<i>Achyrocline satureioides</i> (Lam.) DC.	<i>Bidens reptans</i> (L.) G. Don	<i>Conyza bonariensis</i>	<i>Stevia aff. lucida</i> Lag.
<i>Achyrocline</i> spp.	<i>Cabrerella oppositifolia</i>	<i>Chomolaena odorata</i>	<i>Stevia ovata</i> Willd.
<i>Acmella ciliata</i>	<i>Calea aff. berteriana</i> DC.	<i>Critoniella acuminata</i> (Kunth) R.M.	<i>Stevia rhombifolia</i>
<i>Acmella oppositifolia</i> (Lam.) R.K. J.	<i>Calea sessiliflora</i> Less.	<i>Cyrtocymura scorpioides</i> (Lam.) H. R.	<i>Tanacetum parthenium</i>
<i>Ageratina asclepiadea</i>	<i>Calea glomerata</i>	<i>Dysodia porophylla</i> subsp. <i>cancellata</i>	<i>Tagetes caracasana</i>
<i>Ageratina pichinchensis</i>	<i>Baccharis aff. buddleioides</i> Kunth	<i>Erechtites hieraciifolius</i> (L.) R. Ex D.C.	<i>Tagetes filifolia</i> Lag.
<i>Ageratum conyzoides</i> L.	<i>Baccharis aff. jelskii</i> Hieron.	<i>Eupatorium iresinoides</i> Kunth	<i>Tagetes heterocarpha</i>
<i>Ambrosia arborescens</i> Miller	<i>Calea peruviana</i> (K.) Benth. ex S.F.B.	<i>Heterospermum hachaetum</i> Blake	<i>Porophyllum ruderale</i>
<i>Ambrosia cumanenses</i> Kunth	<i>Calea prunifolia</i> Kunth	<i>Hyptis sidifolia</i> (L'Hér.) Briq.	<i>Tagetes heterocarpha</i> Rydb.
<i>Ambrosia peruviana</i> Willd.	<i>Calea trianae</i> Hieron.	<i>Ichthyothere terminalis</i> (S.) S.F. B.	<i>Tagetes lucida</i>
<i>Artemisia vulgaris</i> L.	<i>Centratherum punctatum</i> Cass.	<i>Lourtegia stoechadifolia</i>	<i>Tagetes verticillata</i> Lag. & Rod.
<i>Austroeupatorium inulaefolium</i>	<i>Chomolaena</i> sp.	<i>Melanpodium paniculatum</i> Gardn.	<i>Tagetes zipaquirensis</i>
<i>Baccharis trinervis</i> L. var. <i>trinervis</i>	<i>Chomolaena leivensis</i>	<i>Mikania micrantha</i> Kunth.	<i>Tithonia diversifolia</i> A. Gray
<i>Baccharis latifolia</i>	<i>Chomolaena odorata</i> (L.)	<i>Montanoa ovalifolia</i> Deless. ex DC.	<i>Verbesina centroboyacana</i>
<i>Baccharis macrantha</i> Kunth subsp. <i>cundinamarcensis</i>	<i>Clibadium eggersii</i> Hieron	<i>Montanoa ovalifolia</i> Deless ex DC.	<i>Wedelia calycina</i> Rich.



<i>Baccharis trinervis</i> (Lam.) Pers. var. <i>rhexioides</i> (Kunth)	<i>Condylidium cuatrecasasii</i> R.M.King & H. Rob.	<i>Ocimum campechianum</i> Mill	<i>Wedelia stuebelii</i>
Fam. Bixaceae	Fam. Bombacaceae	Fam. Cecropiaceae	Fam. Chenopodiaceae
<i>Bixa orellana</i> L.	<i>Matisia cordata</i> Bompl.	<i>Pourouma</i> sp.	<i>Chenopodium ambrosioides</i> L.
Fam. Caesalpiniaceae	Fam. Fabaceae (Leguminosae)		Fam. Monimiaceae
<i>Bauhinia aculeata</i> L.	<i>Dalea coerulea</i> (L.f.) Schinz & Thell.	<i>Caesalpinia pulcherrima</i> (L.) Sw.	<i>Siparuna conica</i> S.S.Renner & H.
<i>Brownea grandiceps</i> Jacq.	<i>Machaerium microphyllum</i>	<i>Gliricidia sepium</i> (Jacq.) K.ex W	<i>Siparuna gesnerioides</i> (Kunth) A. DC.
<i>Peltogyne purpurea</i> Pittier	<i>Otholobium mexicanum</i>	<i>Mimosa pudica</i> L.	<i>Siparuna guianensis</i> Aubl.
	<i>Senna alata</i> (L.) Roxb.		
Fam. Chloranthaceae	Fam. Combretaceae	Fam. Commelinaceae	Fam. Cochlospermaceae
<i>Hedyosmum scaberrimum</i> Standl.	<i>Terminalia catappa</i> L.	<i>Tripogandra serrulata</i> (Vahl) Handl.	<i>Cochlospermum vitifolium</i>
Fam. Flacourtiaceae	Fam. Geraniaceae	Fam. Hypericaceae	Fam. Menispermaceae
<i>Casearia ulmifolia</i>	<i>Pelargonium graveolens</i>	<i>Hypericum aff. martense</i> Robson	<i>Cissampelos ovalifolia</i> D.C.
Fam. Cucurbitaceae	Fam. Lauraceae	Fam. Malvaceae	Fam. Myricaceae
<i>Momorbica charantia</i> L.	<i>Nectandra acutifolia</i> (Ruiz & Pav.) M.	<i>Hibiscus rosa-sinensis</i> L.	<i>Morella parvifolia</i> (Benth.) C. Parra-O
<i>Tonina fluviatilis</i> Aubl.	<i>Persea americana</i> Mill.	<i>Sida rhombifolia</i> L.	
	Fam. Euphorbiaceae		
<i>Croton aff. chocoanus</i> Croizat	<i>Croton cf. fragrans</i> Kunth	<i>Croton magdalenensis</i> Müll. Arg.	<i>Croton trinitatis</i> Mill sp.
<i>Caperonia palustris</i> (L.) A. St-Hil.	<i>Croton leptostachyus</i> Kunth	<i>Croton pedicellatus</i> Kunth	<i>Phyllanthus acuminatus</i>
			<i>Ricinus communis</i> L.
	Fam. Gesneriaceae		
<i>Besleria barclayi</i> L. E. Skog	<i>Columnnea consaguinea</i> Hansa, var <i>consaguinea</i>	<i>Columnnea rubriacuta</i> (Wiehl.) L. P. Kuist & L. E. Skog	<i>Paradrymonia sericea</i> Wrehl.
<i>Columnnea cf. pulcherrima</i> C. V. M.	<i>Columnnea picta</i> H. Karst.	<i>Paradrymonia darrenensis</i> (S.) W.	
	Fam. Lamiaceae (Labiatae)		
<i>Hyptis sidifolia</i> (L'Her.) Briq.	<i>Hyptis pectinata</i> (L.) Poit	<i>Lepechinia salvifolia</i> (Kunth) Epling subsp. <i>salvifolia</i>	<i>Ocimum basilicum</i>
<i>Hyptis suaveolens</i> (L.) Poit.	<i>Hyptis perbullata</i> Fern.Alonso	<i>Lepechinia vulcanicola</i>	<i>Rosmarinus officinalis</i>
<i>Mentha suaveolens</i>	<i>Hyptis recurvata</i> Poit.	<i>Mentha piperita</i>	<i>Salvia aratocensis</i> subsp. <i>suratensis</i>
<i>Ocimum campechianum</i> Mill	<i>Hyptis sidifolia</i> (L'Her.) Briq.	<i>Mentha viridis</i>	<i>Salvia aratocensis</i> .
<i>Salvia leucantha</i> Cav.	<i>Hyptis sinuata</i> Pohl ex Benth.	<i>Minthostachys mollis</i> (Kunth) Griseb.	<i>Salvia bogotensis</i> Benth



<i>Eriope crassipes</i> Benth	<i>Hyptis obtusiflora</i> C. Presl ex Benth.	<i>Minthostachys tormentosa</i>	<i>Salvia occidentalis</i>
<i>Hyptis atrorubens</i> Poit.	<i>Hyptis suaveolens</i> (L.) Poit.	<i>Ocimum americanum</i>	<i>Salvia pallifolia</i>
<i>Hyptis brachiata</i> Briq.	<i>Leonorus japonicus</i> Houtt.	<i>Ocimum campechianum</i> Mill	<i>Salvia rubescens</i> ssp. <i>rubescens</i>
	<i>Leonotis nepetifolia</i> (L.) R. Br.	<i>Ocimum gratissimum</i> L.	<i>Salvia rubriflora</i>
<i>Hyptis brevipes</i> Poit.	<i>Lepechinia betonicifolia</i>	<i>Ocimum tenuiflorum</i> L	<i>Salvia sagittata</i> Ruiz & Pav.
<i>Hyptis capitata</i> Jacq. S.L.	<i>Lepechinia bullata</i> (Kunth) Epling	<i>Plectranthus amboinicus</i>	<i>Satureja</i> aff. <i>andrei</i> Epling
<i>Hyptis lantanifolia</i> Poit.	<i>Lepechinia conferta</i>	<i>Pogostemon cablin</i>	<i>Satureja brownei</i>
<i>Hyptis mutabilis</i> (Rich.) Briq.	<i>Marsypianthes chamaedrys</i> (Vahl) K.	<i>Salvia bogotensis</i> Benth.	<i>Lepechinia salviifolia</i>
		<i>Salvia leucantha</i> Cav.	
Fam. Melastomataceae			
<i>Aciotis purpurascens</i> (Aubl.) Triana	<i>Bellucia pentamera</i> Naudin	<i>Leandra chaetodon</i> (D.C.) Cogn.	<i>Miconia</i> sp
	<i>Clidemia hirta</i>	<i>Miconia albicans</i>	
<i>Bellucia grossularioides</i>	<i>Clidemia rubra</i> (Aubl.) Mart.	<i>Miconia</i> cf. <i>cionatricha</i> L. Uribe	<i>Tibouchina urvilleana</i> (DC.) Cogn.
Fam. Moraceae			
<i>Artocarpus a Hilis</i> (Parkinson) F.	<i>Craniolaria annua</i> L.	<i>Ficus</i> cf. <i>hartwegii</i> (Miq.) Miq.	<i>Syzygium malaccense</i> (L.) Merr. & L.M. Perry
<i>Compsonneura atopa</i> A. C. Sm.	<i>Dorstenia contrajerva</i>	<i>Inyanthera</i> cf. <i>ulei</i> Warb.	
Fam. Myrtaceae			
<i>Pimenta racemosa</i>	<i>Cymbopogon citratus</i>	<i>Cymbopogon martinii</i>	<i>Vetiveria zizanioides</i> Stapt
<i>Corymbia calophylla</i>	<i>Cymbopogon nardus</i>	<i>Cymbopogon flexuosus</i>	
Fam. Olacaceae			
<i>Ximenia americana</i>		Fam. Polypodiaceae	Fam. Polygalaceae
		<i>Phlebodium decumanum</i>	<i>Polygala smithii</i> .
Fam. Orchidaceae			
<i>Vanilla planifolia</i> Andrews	Fam. Passifloraceae	Fam. Turneraceae	Fam. Zingiberaceae
	<i>Passiflora foetida</i> L.	<i>Turnera</i> aff. <i>diffusa</i> Willd. ex Schult.	<i>Curcuma longa</i> L.
<i>Vanilla</i> cf. <i>pompona</i> Shiede	<i>Passiflora quadrangularis</i> L.	<i>Turnera ulmifolia</i>	<i>Hedychium coronarium</i>
Fam. Piperaceae			
<i>Piper aduncum</i> L.	<i>Piper gorgonillense</i> Trel. & Yunck.	<i>Piper reticulatum</i> L	<i>Piper cinereum</i> C. D.C.
<i>Piper auritum</i> Kunth	<i>Piper gutierrezii</i> Yunck.	<i>Piper tricuspe</i> (Miq.) C. DC.	<i>Piper coruscans</i> Kunth
<i>Piper bogotense</i> C. DC.	<i>Piper hispidum</i> Sw	<i>Piper tuberculatum</i> Jacq.	<i>Piper el-bancoanum</i> T. Y.
<i>Piper bredemeyeri</i> Jacq.	<i>Piper marginatum</i> Jacq.	<i>Manekia sydownii</i> (Trel.) T. A. C. B.	<i>Piper lanceifolium</i> Kunth
<i>Piper carpunya</i>	<i>Piper marginatum</i> var. <i>anisatum</i>	<i>Peperomia pellucida</i> (L.) Kunth	



<i>Piper brachypodon</i> var. <i>hirsuticaute</i>	<i>Piper multiplinervium</i> C. DC.	<i>Piper aduncum</i> L.	<i>Piper ottoniaefolium</i> C. D.C.
<i>Piper cf. divaricatum</i> G.Mey.	<i>Piper munchanum</i> C.DC	<i>Piper brachypodon</i> (Benth.) C. DC.	<i>Piper peltatum</i> L.
<i>Piper dilatatum</i> Rich.	<i>Piper ottoniifolium</i> C. DC.	<i>Piper cf. longispicum</i> C. DC.	<i>Piper septuplinervium</i> (Miq.) C. D.C.
<i>Piper eriopodon</i> (Miq.) C.DC	<i>Piper peltatum</i>	<i>Piper cf. obliquum</i> Ruiz & Pav.	
Fam. Rubiaceae			
<i>Chiococca alba</i>	<i>Morinda royoc</i> L.	<i>Palicourea lyristipula</i>	<i>Sabicea colombiana</i> Wernham
<i>Coccocypselum hirsutum</i> Bartl.	<i>Palicourea angustifolia</i>	<i>Posoqueria latifolia</i>	<i>Spermacoce assurgens</i> Rutz & Pav
<i>Hamelia patens</i> <i>Isertia laevis</i> (Triana) Boom	<i>Palicourea guianensis</i> Aubl.	<i>Psychotria cooperi</i> Standl.	<i>Warszewiczia coccinea</i>
		<i>Psychotria poeppigiana</i>	
Fam. Siparunaceae	Fam. Smilacaceae	Fam. Strelitziaceae	Fam. Tiliaceae
<i>Siparuna sessiflora</i>	<i>Smilax spinosa</i>	<i>Phenacospermum guyanense</i>	<i>Luehea seemannii</i> Triana & Planch.
Fam. Rutaceae			
<i>Amyris pinnata</i> Kunth.	<i>Swinglea glutinosa</i>	<i>Achetaria bicolor</i> Pennell	<i>Clematis</i> sp.
	<i>Zanthoxylum caribaeum</i> .	<i>Conobea scoparioides</i>	
<i>Amyris sylvatica</i>		<i>Conobea scoparioides</i> (C.&S.) B.	
Fam. Verbenaceae			
<i>Aloysia triphylla</i>	<i>Lantana armata</i>	<i>Lantana maxima</i>	<i>Lantana canescens</i> Kunth
<i>Cornutia odorata</i>	<i>Lantana lopez-palacii</i> Mold.	<i>Lantana soatensis</i> Moldenke	
<i>Lantana trifolia</i> L.	<i>Lippia alba</i> (Mill.) N.E.Br.	<i>Lippia micromera</i> Schauer	<i>Phyla dulcis</i>
<i>Lantana fucata</i> Lindl.	<i>Lippia americana</i> L.	<i>Lippia origanoides</i> Kunth	<i>Stachytarpetta ambica</i>
<i>Lantana boyacana</i> Moldenke	<i>Lippia americana</i> L.f. var. <i>pilosa</i>	<i>Lippia schlimii</i> Turcz.	<i>Verbesina centroboyacana</i> Díaz



Etnobotánica y taxonomía

En la línea de *Etnobotánica y Taxonomía* (Área I), entre las actividades principales, se llevaron a cabo salidas botánicas, para recolectar las plantas con potencial esenciero. Las salidas botánicas y la recolección de plantas se hicieron en diferentes Departamentos de Colombia, *i.e.*, Santander (principalmente), Boyacá, Cundinamarca, Antioquia, Risaralda, Bolívar, Tolima, Sucre, Cesar, Meta, Arauca, Valle del Cauca, Nariño y Chocó. Los siguientes fueron los criterios o guías que se usaron para la selección y la colecta de plantas: (1) plantas tropicales y sub-tropicales de las familias dentro de las cuales ya se han encontrado especies vegetales aromáticas con cantidad de aceite esencial “extraíble”; (2) los estudios bibliográficos y publicaciones científicas sobre las especies vegetales aromáticas silvestres o cultivadas en Centroamérica, Región Caribe, Venezuela, Brasil, Perú o Ecuador; (3) las características sensoriales y morfológicas de la planta, su olor, la atracción que ejerce sobre los insectos; (4) la distribución y la abundancia de plantas a recolectar, su hábitat, que no fuesen escasas y de muy lento crecimiento como, por ejemplo, los frailejones, y que no estuviesen en peligro de extinción y (5) la información sobre propiedades biológicas y los usos etno-botánicos de las plantas, entre otras propiedades documentables. Obviamente, no se podría descartar un hallazgo serendípico.

La colección del material vegetal se llevó a cabo con los respectivos permisos de “*Estudio con fines de investigación científica en*

diversidad biológica” (Resolución 0041) y de “*Acceso a productos de derivados con fines de investigación y prospección biológica*” (Resolución 0390), otorgados por el Ministerio del Medio Ambiente y Desarrollo Territorial. La Fundación Colombiana para la Farmacia Natural (Fundacofan, Cali) fue el grupo de apoyo del CENIVAM y colaboró durante los primeros dos años, 2005-2006, con la realización de salidas botánicas, durante las cuales se recolectaron 135 accesiones. Los años 2006-2007 de trabajo del Centro se caracterizaron por una participación activa del profesor Dr. José Luis Fernández (Instituto de Ciencias Naturales, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá); gracias a su gran colaboración se pudieron analizar 251 accesiones de plantas recolectadas en los Departamentos de Santander, Boyacá y Cundinamarca. Los investigadores del CIBIMOL (UIS) colectaron 80 accesiones (2005-2008) con el apoyo del biólogo Robert Tulio González (Universidad del Pacífico, Buenaventura); el grupo de biólogos del GIEFIVET de la UIS (2005-2007) recolectaron 197 accesiones botánicas, básicamente en el Departamento de Santander. El GIEFIVET llevó a cabo la recolección de plantas, principalmente, del género *Lippia*. Los grupos de investigación Polifenoles y Productos Naturales, de las Universidades Tecnológicas de Pereira y del Chocó, aportaron con la recolección de 14 y 152 accesiones, respectivamente; el material vegetal se colectó básicamente en los Departamentos de Risaralda y Chocó. La colección botánica del grupo de Polifenoles constó fundamentalmente de las plantas de la familia



Melastomatácea. En total, durante los años 2005-2009 se recolectaron 829 accesiones botánicas de más de 55 familias y 140 géneros (Tabla 5-4). Más de la mitad de las especies vegetales recolectadas contenían aceites esenciales en cantidades suficientes para su caracterización y la realización de pruebas biológicas del aceite, la mayoría provenía, por general, de plantas de las familias Labiada, Asterácea, Piperácea y Verbenácea.

El grupo de Productos Naturales de la Universidad Tecnológica del Chocó (Dra. Nayive Pino Benítez y colaboradores) ha elaborado dos monografías. La primera es “*El Libro de plantas usadas con fines mágico-religiosos*”, basada en el intercambio de saberes con los curanderos del Pacífico colombiano norte (personas de 50 a 90 años de edad). De las 129 plantas descritas y catalogadas como benéficas (94), maléficas (31) y rituales (13), sólo nueve eran comunes para más de una categoría, entre ellas: *Capsicum annuum* L. (ají), *Petiveria alliaceae* L. (anamú), *Selaginella* sp., *Peperomia emarginella*, *Senna alata* (barbasco o frisolato), *Hedychium coronarium* (heliotropo), *Cordyline fruticosa* L. (palmacristi), *Ruta graveolens* L. (ruda) y *Piper auritum* (anisillo o Santamaría de anís). Durante la recolección de información etnobotánica, se observó, con preocupación, una acelerada pérdida del conocimiento ancestral; a la fecha de terminación del trabajo, el 25% de los curanderos entrevistados se habían muerto, el 50% eran analfabetas y la mayoría no logró transmitir la información y sus conocimientos a nuevas generaciones, entre otras causas, por no encontrar a personas idóneas a quienes hubieran podido ceder su sabiduría y conocimientos que -para ellos-, ha sido un

legado sagrado. La segunda monografía es el estudio titulado “*Plantas útiles del Departamento del Chocó*”, donde se hizo énfasis en la descripción de plantas promisorias clasificadas según las cuatro categorías, alimenticia, medicinal, mágico-religiosa y combustible. Se destacó, entre otras, la especie vegetal de *Bellucia pentamera* Naudin (Fam. Melastomatácea), cuyos frutos se usan en jugos, helados, o se consumen como fruta fresca madura; las hojas tienen aplicaciones en remedios caseros y se emplean también durante los ritos mágico-religiosos. Se compiló también la información -con base en las encuestas hechas a los curanderos del municipio de Lloró-, sobre las plantas utilizadas para el manejo de angustia, ansiedad y el estrés; entre ellas, las más utilizadas, según el análisis estadístico aplicado, fueron descansel (*Alternanthera lanceolata*, Fam. Amaranthaceae) (>50% casos), seguida de albahaca silvestre o albahaca morada (*Ocimum campechianum*, Fam. Labiatae) y toronjil (*Melissa officinalis*, Fam. Labiatae). En el libro se presentan los resultados de estudios de actividad antibacteriana de extractos etnólicos y fracciones obtenidas con diferentes solventes, de plantas de 77 especies, agrupadas en 57 géneros y 26 familias; el 49% de las especies pertenecen a las familias Piperaceae, Gesneriaceae, Asteraceae y Rubiaceae. Los resultados de esta pesquisa permiten una mejor orientación para la selección correcta de plantas promisorias y para extraer de ellas principios activos, ya que ello constituye una base fundamental para la síntesis guiada de nuevas moléculas, y también para la implementación de planes de manejo y el aprovechamiento sostenible de la inmensa biodiversidad vegetal chocoana.



Aceites Esenciales

Todos los especímenes de plantas recolectados en diferentes salidas botánicas y las cultivadas en el Complejo Agroindustrial Piloto del CENIVAM (Banco de germoplasma, colección de especies *ex vivo*) poseen su respectiva identificación botánica, número de *voucher*, con muestras depositadas en los herbarios COL (Instituto de Ciencias Naturales, UN, Bogotá), CENIVAM (Bucaramanga) y del Chocó (Quibdó). El grupo de investigación GIEFIVET (doctores. Nelson F. Rodríguez y María I. Chacón y colaboradores) llevó a cabo estudios sobre la plasticidad fenotípica de plantas de la familia Verbenaceae (*Lippia* sp., *Lantana* sp.), estudiando efectos fisiológicos en estas plantas a los diferentes estreses hídrico, nutricional, lumínico, entre otros. Así mismo, se llevaron a cabo los estudios de genética molecular de las plantas de géneros *Lippia* y *Lantana*, recolectadas en diferentes sitios del Departamento de Santander, para vislumbrar las diferencias a nivel molecular que presentan los quimiотipos de estas especies. Algunos resultados de trabajos de la línea de *Etnobotánica* y *Taxonomía* se encuentran ya publicados [7-20] o sometidos a la publicación en diferentes revista indexadas nacionales e internacionales.

La construcción del *banco de germoplasma* (colección de especies vegetales *ex vivo*) ha tenido también su historia emocionante. En la Figura 5-6 aparecen algunas imágenes actuales (2009) de la colección de especies vegetales aromáticas, medicinales, condimentarias, ornamentales y decorativas, varias de ellas autóctonas con connotación o usos mágico-religiosos y artesanales. En total se encuentran alrededor de 100 especies nativas e introducidas y su colección está en permanente renovación. En 2005, el sitio donde ac-

tualmente se encuentra la colección vegetal *ex vivo*, constituía un espacio de ca. 0.3 ha, totalmente abandonado y convertido en un basurero. En 2005 entre todos los estudiantes del grupo del CIBIMOL (UIS), integrante del CENIVAM, y sus profesores, se limpió y recuperó este espacio y, en 2006, ya se instalaron los primeros cultivos experimentales de plantas aromáticas. Con el aval del Consejo Superior de la Universidad Industrial de Santander y el apoyo económico -a través de la aprobación de varias propuestas presentadas al Banco de Proyectos de Inversión de la Oficina de Planeación de la UIS-, se financiaron las Fases I, II y III de la construcción de la sede del CENIVAM, que comprende áreas industriales (destilería), laboratorios físico-químicos y de análisis instrumental, junto con oficinas administrativas y para estudiantes, sala de conferencias, el herbario y los espacios (quioscos) para impartir talleres de capacitación. Los recursos de la contrapartida de la UIS para CENIVAM, junto con los recursos propios del Laboratorio de Cromatografía (CIBIMOL-UIS) y las donaciones recibidas por parte de algunas empresas colombianas, permitieron construir el Complejo Agroindustrial Piloto de la Cadena productiva de plantas aromáticas, medicinales, condimentarias, aceites esenciales y sus productos derivados. En la Figura 5-7 se pueden observar algunas imágenes -en su orden cronológico-, de la construcción del Complejo Agroindustrial piloto.





Figura 5-6. Banco de germoplasma – colección de especies vegetales *ex vivo*, que forma parte del Complejo Agroindustrial Piloto del CENIVAM (UIS, Bucaramanga). Algunas imágenes con plantas ornamentales, decorativas, medicinales y aromáticas nativas e introducidas. (Fotos: *Elena E. Stashenko*).



Aceites Esenciales

Obtención y caracterización de aceites esenciales



En el Área II del Proyecto desarrollado por CENIVAM, se llevaron a cabo las extracciones y la caracterización de aceites esenciales y extractos obtenidos de plantas colectadas o cultivadas en las parcelas experimentales. El material vegetal recolectado se recibía en el Laboratorio de Cromatografía del CIBIMOL-UIS (doctores Elena Stashenko, Jairo René Martínez y colaboradores), se registraba debidamente; se preparaban las *exsiccatae*, una de ellas para el COL (Herbario Nacional del Instituto de Ciencias Naturales, UN, Bogotá), y la otra se depositaba en el herbario del CENIVAM. Todas las plantas se sometían al aireado por 36-48 horas, luego, el material se pesaba y se destilaba para extraer aceites esenciales; para algunas especies se obtuvieron extractos, usando alcoholes etílico, *iso*-propílico o butílico. En total, se extrajeron 438 aceites esenciales y se obtuvieron 309 extractos. Los aceites se caracterizaron por cromatografía de gases (GC) con detectores de ionización en llama (FID) y espectroscópico de masas (MS). Los análisis de la composición química de los aceites esenciales se llevaron a cabo en modernos equipos cromatográficos *Agilent Technologies* GC 6890 ó GC 7890, con detectores de masas *Agilent* MSD 5973 ó 5975. Para todos los análisis GC se usaron 2 columnas cromatográficas de 60 m x 0.25 m x 0.25 μ m, y con fases estacionarias diferentes, polar y apolar. Se usaron más de 100 sustancias patrón (muestras o estándares certificadas de terpenos y fenil-



propanoides), para llevar a cabo un análisis cualitativo (confirmatorio) y cuantitativo de componentes mayoritarios presentes en los aceites, usando las respectivas curvas de calibración de los estándares. Se emplearon diferentes bases de datos de espectros de masas, NIST, Wiley y Adams, para la identificación tentativa de componentes y su confirmación a través de patrones analizados bajo las mismas condiciones operacionales de GC-FID o GC-MS. Más de 500 diferentes compuestos, pertenecientes prácticamente a todas las familias de sustancias orgánicas (hidrocarburos, alcoholes, cetonas, ácidos, ésteres y éteres, compuestos nitrogenados, azufrados y otros) han sido identificados en los aceites esenciales obtenidos, que se clasificaron según las familias de compuestos mayoritarios, *i.e.*, monoterpenoides, sesquiterpenoides o fenilpropanoides. Para algunos componentes mayoritarios en los aceites esenciales (limoneno, citral, carvona, mentona), se determinó su configuración enantiomérica, usando cromatografía de gases bidimensional con columnas quirales de ciclodextrinas modificadas.

Los metabolitos secundarios de algunas plantas aromáticas han sido aislados -además de la hidrodestilación-, por una combinación de técnicas de extracción. Esto, con el fin de caracterizarlos lo más completamente posible, teniendo en cuenta tanto fracciones o componentes muy volátiles (que se escapan cuando se hace la hidrodestilación), como aquellos con volatilidad más baja (que no se alcancen a destilar). Entre las técnicas empleadas figuran *headspace* estático (HS), *headspa-*





Aceites Esenciales



Figura 5-7. Imágenes que muestran -en su orden cronológico-, las etapas de construcción del Complejo Industrial Piloto del CENIVAM en la parte nororiental del *Campus* principal de la UIS, Bucaramanga. (Fotos: Martha Cervantes y Elena E. Stashenko).

ce dinámico (P&T, purga & trampa con solvente), destilación-extracción simultánea con solvente, micro-extracción en fase sólida (SPME) y extracción con fluido supercrítico (CO_2). De las flores, se obtuvieron sus respectivos concretos y absolutos, que también se caracterizaron por GC-FID y GC-MS.

Los procesos de destilación (hidrodestilación y arrastre con vapor) en los equipos semi-industriales diseñados en el CENIVAM, se optimizaron variando diferentes parámetros, *e.g.*, duración de la destilación, presión de vapor, sistemas de refrigeración, tamaño de partícula y empaquetamiento del material vegetal, entre otros; todo ello, para maximizar el rendimiento del aceite obtenido, sin sacrificar sus calidades sensorial y composicional. Un equipo de destilación fraccionada (destilación molecular) se usó para separar

las mezclas (extractos o aceites), ello, con miras a: (1) aislar un componente mayoritario, por ejemplo, citral o carvona, y (2) obtener fracciones de aceites esenciales para determinar su actividad biológica. Se determinaron las propiedades físico-químicas de los aceites esenciales obtenidos y se elaboraron sus fichas técnicas, algunos aceites se evaluaron sensorialmente por los expertos de las compañías Mane, IFF o Bel Star. En varios trabajos [21-26] se describen las metodologías de extracción y caracterización de aceites esenciales obtenidos de plantas recolectadas durante las salidas botánicas realizadas durante 2005-2009. El grupo de Polifenoles de la Universidad Tecnológica de Pereira (doctores J. Hipólito Isaza, Luz. S. Ramírez, Luz A. Vellozo y colaboradores) enfocaron su trabajo en el aislamiento de compuestos fenólicos de las plantas de la familia Melastomataceae, mientras que el grupo de Productos Naturales de la Universidad Tecnológica del Chocó (Dra. Nayive Pino y colaboradores) lo hizo en la extracción de aceites esenciales de plantas recolectadas en el Departamento del Chocó. La metodología de extracción de aceites esenciales por hidrodestilación asistida por radiación de microondas (MWHD) ha sido estandariza-



da en varios grupos del CENIVAM, para poder comparar los resultados de análisis composicionales de los aceites esenciales obtenidos de plantas de la misma especie vegetal, pero cultivadas en diferentes regiones del país y analizadas por diferentes grupos de investigación, integrantes del CENIVAM.

Transformación de aceites esenciales

El Área III del Proyecto de CENIVAM es de un gran interés en la investigación de aceites esenciales y comprende sus transformaciones por métodos químicos (*semi-síntesis* y *síntesis*), procesos catalíticos o enzimáticos, a nuevas mezclas o a nuevos productos funcionales. Estas transformaciones permiten obtener moléculas nuevas, con un valor agregado más alto y con propiedades y características nuevas y actividades biológicas potencializadas, que pueden aprovecharse en perfumería, cosméticos, productos de aseo, como conservantes o en la industria farmacéutica.

En el grupo de investigación CICTA de la Universidad Industrial de Santander (Dra. Aidé Perea V. y sus colaboradores) se han desarrollado dos líneas de investigación: (1) Bio-oxidación de monoterpenos empleando microorganismos y (2) Obtención de ésteres de monoterpenos usando lipasas. Para la bio-oxidación de limoneno, α -pineno y aceites esenciales de naranja y mandarina se usaron los microorganismos *Aspergillus niger*, *Penicillium spp.* y bacterias como *Rodhococcus opacus*. Para la obtención de ésteres de monoterpenos, el citranelol se usó como sustrato.

Los productos de biotransformación obtenidos poseen importantes aplicaciones en las industrias de alimentos, cosmética y farmacéutica. En general, las biotransformaciones conducen a productos nuevos, también “naturales”, puesto que se parte de un producto natural y su transformación también es guiada por un catalizador natural, *e.g.*, enzima de una bacteria o de un hongo, y permiten “aumentar” el valor de un aceite esencial de bajo costo, por ejemplo, el de la naranja, por medio de la conversión de sus componentes mayoritarios (limoneno) a nuevas mezclas de moléculas, menos asequibles o las que se encuentran presentes en bajas concentraciones en los aceites.

Por ejemplo, la bio-oxidación del limoneno, componente mayoritario de muchos aceites cítricos, permite obtener α -terpineol, *p*-mentano-1,8-diol y alcohol perílico, como principales productos con valor agregado alto. α -Pineno, compuesto abundante en muchos aceites esenciales destilados, por ejemplo, de especies de *Pinus spp.*, fue sometido a diferentes transformaciones en presencia de varios microorganismos (hongos y bacterias), lo que permitió obtener borneol, fenchol, α -terpineol y otros monoterpenos, como compuestos mayoritarios o en mezclas, de gran interés para la industria de fragancias. Citranelol, otro compuesto abundante en varios aceites esenciales, por ejemplo, en los de *Cymbopogon sp.* y *Eucalyptus sp.*, se usó como sustrato para la obtención de ésteres de monoterpenos en presencia de lipasas. Varios ésteres de citranelilo, obtenidos durante estas transformaciones poseen diversas aplicaciones como aromatizantes en industrias de alimentos, productos de aseo y perfu-



mería. En total, durante los años 2006-2009, usando los tres sustratos, limoneno, α -pineno y citronelol, se realizaron 1482 ensayos de sus transformaciones enzimáticas, incluyendo los estudios cinéticos de estos procesos. La línea de transformación de aceites esenciales o sus compuestos mayoritarios en presencia de microorganismos o enzimas constituye un campo de investigación con mucho futuro en química de aromas, puesto que, sin perder su carácter “natural”, los productos finales se obtienen con gran selectividad a través de la transformación “guiada” de acuerdo con el proceso bio-catalítico usado, tal como se puede encontrar en algunos trabajos recientes, realizados por CICTA (UIS) [26-30].

Dentro de la línea de transformación de los componentes de aceites esenciales figura la desarrollada por el grupo de Catálisis Ambiental de la Universidad de Antioquía (doctoras Consuelo Montes de Correa y Aída Luz Villa y sus colaboradores). El grupo participó dentro del Proyecto CENIVAM con las siguientes actividades, entre otras: 1). Preparación de nuevos catalizadores heterogéneos; 2). Evaluación de la actividad catalítica de los materiales sintetizados y 3). Estudio cinético de los sistemas catalíticos más promisorios para su escalamiento. Los nuevos materiales se han caracterizado con varias técnicas, *e.g.*, difracción de rayos X, espectroscopias IR, UV-Vis, métodos SEM (microscopía electrónica de barrido) y reducción y desorción térmica programada, TPR/TPD, entre otros. Como principales sustratos, para su conversión a nuevos productos, se utilizaron limoneno, α -pineno y β -pineno, compuestos comunes, abundantes en muchos aceites esenciales (cítricos, pino). Se estudiaron la conversión de estos sustratos

y la selectividad de catalizadores a los productos deseados, los procesos y los mecanismos de la epoxidación de monoterpenos y la oxidación alílica de monoterpenos, con énfasis en la *enantio*-selectividad de las reacciones catalizadas. Productos de valor como la carvona, la verbenona, el nopol, entre otros, se han obtenido a partir de limoneno y pinenos, monoterpenos económicos y de fácil acceso de diversos orígenes naturales, por ejemplo, a partir de desechos de la industria de jugos cítricos. En total, durante los años 2005-2009 se han sintetizado y caracterizado 232 catalizadores heterogéneos y se han realizado 2190 pruebas catalíticas. Los resultados obtenidos se publicaron en diversas revistas nacionales e internacionales indexadas, para mencionar solo algunos trabajos recientes [31-48].

En el Laboratorio de Química Orgánica y Biomolecular (LQOBio, Universidad Industrial de Santander), dirigido por el Prof. Dr. Vladimir Kouznetsov, junto con sus colaboradores, durante los años 2005-2009, se sintetizaron 605 nuevas moléculas de importancia biológica a partir de los compuestos fenólicos (timol, carvacrol, eugenol, anetol, sus éteres y derivados), típicos constituyentes de muchos aceites esenciales (orégano, anís, coriandro, tomillo, etc.), así como nuevos compuestos N- y O-heterocíclicos, que han enriquecido las quimiotecas (librerías) de sustancias con potencial actividad biológica. Se desarrollaron nuevas rutas sintéticas y se obtuvieron las estructuras funcionalizadas, novedosas, de gran interés para la química medicinal; las diferentes actividades biológicas de estas moléculas (anti-Leishmania, antimaláricas, antifúngica, antitumoral, antiparasitaria, citotóxica, genotóxica, antimicobacteriana, entre otras) han



Estudio de la actividad biológica

sido estudiadas por diferentes grupos del CENIVAM (CINTROP-UIS, CIBIMOL-UIS, Química Ambiental y Computacional-Universidad de Cartagena, Infección y Cáncer-Universidad de Antioquia), así como por los grupos de investigación de las Universidades del Rosario (Argentina), Complutense de Madrid (España), Central de Caracas (Venezuela), en la Universidad de Panamá y en el Instituto Nacional de Salud (INS, Bogotá). Entre las metodologías novedosas figuran, a saber: el uso del material vegetal directamente (*e.g.*, semillas), sin separación previa de sus metabolitos y la realización de reacciones asistidas por el fluido CO₂ sub-crítico. Los resultados de investigación se han publicado durante los años 2005-2009 en diversas revistas indexadas, nacionales e internacionales, para mencionar algunos trabajos recientes [49-63].

En el Laboratorio de Síntesis Orgánica (LSO) de la Universidad Industrial de Santander (Dr. Alirio Palma Rodríguez y colaboradores) se sintetizaron 118 moléculas heterocíclicas nuevas, funcionalizadas, cuya actividad biológica se verificó en los grupos CINTROP-UIS [64], Infección y Cáncer (Universidad de Antioquia) y Polifenoles (Universidad Tecnológica de Pereira). Todas las moléculas nuevas se caracterizaron debidamente a través de la determinación de su composición elemental, espectros IR, UV-Vis, RMN, difractogramas (si es el caso), espectros de masas y algunos estudios de química computacional [65-67].

Una de las líneas de investigación más importantes del Proyecto CENIVAM la constituye el Área IV, relacionada con el estudio de diferentes actividades biológicas de aceites esenciales, sus constituyentes mayoritarios, extractos, productos de síntesis y semi-síntesis. Los aceites esenciales, moléculas sintéticas o extractos obtenidos se dirigían a diferentes grupos integrantes del CENIVAM (CINTROP, Infección y Cáncer, Polifenoles, Química Ambiental y Computacional, Productos Naturales, CIBIMOL), para realizar los respectivos ensayos y determinar diferentes actividades biológicas.

En el CINTROP (Dra. Patricia Escobar y colaboradores, Laboratorio de Quimioterapia) se llevaron a cabo los ensayos de bioactividad contra *Trypanosoma cruzi* (epimastigotes y amastigotes), *Leishmania chagasi* (promastigotes y amastigotes), los ensayos en células Vero y células THP. Del total de las 464 muestras de aceites esenciales (181), compuestos sintéticos (229) y extractos (54), respectivamente, 48, 89 y 61% resultaron activos contra *T. cruzi*. Los aceites esenciales (182), compuestos sintéticos (229) y extractos (54) se ensayaron también contra *L. chagasi* (promastigotes y amastigotes) y de éstos (total 465 muestras), 19, 21 y 20%, respectivamente, resultaron activos. También, en el CINTROP - UIS (Dra. Raquel Ocazonez y colaboradores, Laboratorio de Arbovirus) se estudió la actividad virucida de algunos aceites esenciales, contra los virus de dengue (serotipo 2) y fiebre amarilla: de los 30 aceites esenciales



ensayados, respectivamente, 83 y 66% resultaron activos contra este tipo de virus, constituyéndose este resultado en un aporte muy interesante, sobre todo, teniendo en cuenta que no hay muchos datos en la literatura sobre la actividad de aceites esenciales contra este tipo de virus. Los aceites esenciales de dos quimiotipos de *Lippia origanoides* (Fam. Verbenaceae) resultaron *in vitro* potentes agentes contra los virus de dengue y fiebre amarilla, lo que amerita el futuro estudio de mecanismo de su acción antiviral.

En diferentes grupos del CENIVAM, entre ellos, en CIBIMOL-UIS (doctores. Elena E. Stashenko, Jairo R. Martínez y colaboradores), Química Ambiental y Computacional de la Universidad de Cartagena (doctores Jesús Olivero V., Beatriz E. Jaramillo y colaboradores), Polifenoles de la Universidad Tecnológica de Pereira (doctores J. Hipólito Isaza, Luz S. Ramírez, Luz A. Veloza y colaboradores) se analizó la actividad antioxidante de aceites esenciales, sustancias sintéticas y extractos orgánicos de plantas, por diferentes técnicas, e.g., oxidación lipídica, medición de productos secundarios finales de la lipoxidación, prueba TBARS y ensayos de atrapamiento de radicales libres (ABTS⁺ y DPPH[•]). *Grosso modo*, alrededor del 40% de las muestras analizadas resultaron activas en diferentes pruebas de actividad antioxidante. En el grupo de Química Ambiental y Computacional (Dr. Jesús Olivero V. y colaboradores) se realizó el estudio de la actividad citotóxica (toxicidad aguda, CL₅₀) de los aceites esenciales (156), compuestos sintéticos (5) y extractos orgánicos (29); más de 30% de todas las muestras analizadas en estos ensayos no tuvieron ningún grado de toxicidad. En el mismo grupo, se estudiaron

las actividades anti-*quorum sensing*, efectos teratogénicos y antigenotóxicos, y la actividad repelente de insectos de los aceites esenciales. Más de 50% de los aceites esenciales ensayados (25) y terpenos puros (10) resultaron ser buenos repelentes de insectos (56 y 80%, respectivamente). También en los ensayos de la actividad anti-genotóxica y quimiopreventiva, realizados en el grupo CIBIMOL-UIS (Dr. Jorge Luis Fuentes y colaboradores), se demostró un efecto protector de DNA de los aceites esenciales de varios quimiotipos de *Lippia alba* y *Lippia origanoides* (Fam. Verbenaceae). Los resultados de la actividad antibacteriana de los aceites esenciales (141 y 59) y extractos orgánicos de plantas (91 y 52), realizada, respectivamente, por los grupos de Polifenoles (UTP, doctores J. Hipólito Isaza, Luz S. Ramírez, Luz A. Veloza y colaboradores) y Productos Naturales (UTCh, Dra. Nayive Pino y colaboradores), demostraron que 69 y 34%, 21 y 23% de los aceites esenciales y extractos fueron activos por lo menos contra una de las 7 sepas bacterianas ensayadas, respectivamente, por los dos grupos de investigación. En el grupo de Polifenoles (UTP) se hicieron también pruebas de las actividades ictiotóxica (30 extractos) y alelopática (46 extractos) de los extractos acuosos y orgánicos (butanol, diclorometano) de las plantas, principalmente, de la familia Melastomataceae, resultando ca. 30% de muestras activas en este tipo de actividades.

En la Universidad de Antioquia, en el grupo de Infección y Cáncer (doctores Gloria Sánchez, Liliana Betancur, Ana Cecilia Mesa, Juan Gabriel Bueno y colaboradores) se llevaron a cabo los ensayos antimicóticos (*Aspergillus sp.* y *Candida sp.*) y antitumorales (células



HeLa, Jurkat, HepG2 y Vero) de los aceites esenciales, extractos y compuestos sintéticos. En total, para la actividad antifúngica se ensayaron 62 aceites esenciales, 13 compuestos sintéticos y 10 extractos orgánicos de plantas; de éstos, respectivamente, 35, 20 y 14% resultaron activos contra una de las 4 cepas de hongos ensayados. Los ensayos de la actividad antitumoral en células demostraron que 14 y 4% de los aceites esenciales (100) y compuestos sintéticos (34) son activos. En el Instituto Nacional de Salud (Bogotá) en el grupo de micobacterias (Dr. Juan Gabriel Bueno y colaboradores), se evaluó la actividad antimicobacteriana *in vitro* de 34 aceites esenciales y 17 monoterpenos provenientes de plantas aromáticas recolectadas en el país por CENIVAM, así como de 40 compuestos derivados de quinolina obtenidos en el grupo LQOBio-UIS (Dr. Vladimir Kouznetsov y colaboradores) del CENIVAM. 33 Aceites esenciales presentaron actividad contra *Mycobacterium tuberculosis* H37Rv y 28 fueron activos contra *M. chelonae*. Los aceites esenciales más activos se aislaron de las plantas de *Swinglea glutinosa* (Fam. Rutácea) y *Achyrocline alata* (Fam. Asterácea) (actividad bacteriostática), *Salvia aratocensis* (Fam. Labiadas) y *Turnera diffusa* (Fam. Turnerácea) (actividad bactericida), y los compuestos fenólicos, timol y carvacrol, fueron los más activos entre otros compuestos puros (terpenos) ensayados. De los 40 compuestos quinolinícos probados, 8 resultaron con una actividad moderada y 5 activos contra 10 microorganismos ensayados, uno de estos derivados se encuentra actualmente en estudios de fase clínica II como promisorio agente antituberculoso.

El CENIVAM hizo un énfasis particular de sus estudios en las plantas de la familia Verbenácea, género *Lippia*, sus aceites esenciales y extractos. En la Figura 5-8 aparecen algunos datos relacionados con el análisis cuantitativo sobre las plantas de la familia Verbenácea y sus principales géneros. Entre los aceites esenciales ensayados en CENIVAM, en diferentes pruebas de la actividad biológica (antifúngica, antibacteriana y otras) figuran los aceites aislados de plantas del género *Lippia* y, en particular, *Lippia origanoides*, cuyo aceite fue activo como agente antimicrobiano en diferentes ensayos.

El extenso estudio *in vitro* realizado a nivel de *screening* de diferentes actividades biológicas de miles de muestras de aceites esenciales, extractos y compuestos sintéticos constituye una base sólida y de mucho valor para la profundización en esta investigación, sobre todo, de aquellas muestras que resultaron activas, y en estudio de su mecanismo de acción, para que se pueda continuar con la búsqueda de nuevas plantas y moléculas sintéticas de una manera guiada, cimentada sobre los resultados obtenidos en el CENIVAM. En la Tabla 5-5 se resumen los datos estadísticos sobre diferentes pruebas de actividad biológica realizadas por varios grupos del CENIVAM. Los resultados de estas pesquisas se han publicado en revistas indexadas e internacionales, fueron expuestos en numerosos congresos científicos en Colombia y en el exterior; algunos resultados de la investigación se resumen en los trabajos recientemente publicados [68-105].



Dinámica de publicaciones científicas durante los años 1981 – 2008 sobre las plantas y extractos de principales géneros de la familia Verbenaceae.

AÑOS	<i>Lantana</i>	<i>Lippia</i>	<i>Verbena</i>
1981-1985	-	-	2
1986-1990	3	3	1
1991-1995	7	23	3
1996-2000	40	53	12
2001-2005	126	128	64
2006-2008	68	90	68
Total	244	297	150

TITLE-ABS-KEY(Verbenaceae) AND DOCTYPE(ar) AND PUBYEAR AFT 1979 Base de datos: *Scopus* (Elsevier B.V) Número de registros: 934. Fecha de consulta: 4 de mayo de 2009. Los cálculos están basados en la información de la base de datos de *Scopus* (Elsevier, B.V) y procesados con *VantagePoint* (Search Technology, consultoría facilitada por Triz XXI). Vigía del Centro: Martha Cervantes.

A

Dinámica de publicaciones científicas durante los años 1981 – 2008 sobre las plantas y extractos del género *Lippia* (Fam. Veberaceae)

AÑOS	1981-1985	1986-1990	1991-1995	1996-2000	2001-2005	2006-2008
<i>Lippia</i> spp.	-	1	2	6	50	37
<i>L. alba</i>	-	-	-	16	25	9
<i>L. multiflora</i>	1	1	2	4	10	5
<i>L. turbinata</i>	-	-	2	3	5	2
<i>L. integrifolia</i>	2	-	4	1	1	3
<i>L. dulcis</i>	-	-	2	3	2	2
<i>L. graveolens</i>	-	-	-	5	-	3
<i>L. javanica</i>	-	-	1	-	4	2
<i>L. sidoides</i>	-	-	-	5	-	3
<i>L. adoensis</i>	-	-	1	-	4	2
<i>L. juneliana</i>	-	-	4	-	3	-
<i>L. nodiflora</i>	-	1	-	-	-	5
<i>L. citriodora</i>	-	-	2	-	-	1

TITLE-ABS-KEY(Verbenaceae) AND DOCTYPE(ar) AND PUBYEAR AFT 1979 Base de datos: *Scopus* (Elsevier B.V) Número de registros: 934. Fecha de consulta: 4 de mayo de 2009. Los cálculos están basados en la información de la base de datos de *Scopus* (Elsevier, B.V) y procesados con *VantagePoint* (Search Technology, consultoría facilitada por Triz XXI). Vigía del Centro: Martha Cervantes.

B



Dinámica y número de publicaciones sobre la actividad biológica de las plantas de la familia Verbenaceae (1981 – 2008)



Género	Antioxidante	Antiinflamatoria	Antimicrobial	Antineoplásica
<i>Lippia</i>	41	29	90	16
<i>Lantana</i>	6	19	60	6
<i>Verbena</i>	25	19	28	10

TITLE-ABS-KEY(Verbenaceae) AND DOCTYPE(ar) AND PUBYEAR AFT 1979 Base de datos: Scopus (Elsevier B.V) Número de registros: 934.
Fecha de consulta: 4 de mayo de 2009. Los cálculos están basados en la información de la base de datos de Scopus (Elsevier, B.V) y procesados con VantagePoint (Search Technology, consultoría facilitada por Triz XXI). Vigía del Centro: Martha Cervantes.

C

Actividad antifúngica: aceites esenciales más activos

Nº	Nombre	Alta	Media	Baja
1	<i>Lippia origanoides</i> (timol)	X		
2	<i>Hyptis mutabilis</i>	X		
3	<i>Lippia alba</i> (cital)	X		
4	<i>Lippia citriodora</i>	X		
5	<i>Turnera diffusa</i>	X		
6	<i>Achyrocline alata</i>	X		
7	<i>Chenopodium ambrosioides</i>	X		
8	<i>Thymus vulgaris</i>		X	
9	<i>Minthostachys mollis</i>		X	
10	<i>Baccharis latifolia</i>		X	
11	<i>Myrcia cucullata</i>	X		
12	<i>Morrellia parvifolia</i>		X	
13	<i>Lepechinia bullata</i>			X
14	<i>Lantana boyacana</i>			X
15	<i>Hypericum martense</i>			X
16	<i>Eugenia cf. uniflora</i>			X
17	<i>Morinda royoc</i>			X
18	<i>Montana ovalifolia</i>			X
19	<i>Lippia micromera</i>		X	
D 20	<i>Lippia dulcis</i>		X	

D



Aceites Esenciales

Actividad antibacteriana: aceites esenciales más activos			
Nº	Nombre	Alta	Media
1	<i>Pimenta racemosa</i>		X
2	<i>Lippia origanoides</i> (timol)	X	
3	<i>Achyrocline alata</i>		X
4	<i>Lippia micromera</i>	X	
5	<i>Lippia alba</i> (citral)		X
6	<i>Condylidium iresinoides</i>	X	
7	<i>Calypttranthes</i> sp.	X	
8	<i>Croton pedicellatus</i> Kunth	X	
9	<i>Baccharis</i> aff. <i>buddleioides</i> Kunth	X	
10	<i>Cochlospermum vitifolium</i>		X
13	<i>Bidens reptans</i>	X	
14	<i>Lepechinia bullata</i>	X	
16	<i>Piper brachypodon</i>	X	
17	<i>Lepechinia betonicifolia</i>	X	
18	<i>Minthostachys mollis</i>		X
E 19	<i>Lepechinia salviifolia</i>		X

Aceites esenciales estudiados más activos			
Nº	Nombre	Nº	Nombre
1	<i>Montana ovalifolia</i>	31	<i>Salvia aratocensis</i>
2	<i>Bidens reptans</i>	32	<i>Ocimum campechianum</i>
3	<i>Baccharis</i> aff. <i>buddleioides</i> Kunth	33	<i>Hyptis suaveolens</i>
4	<i>Condylidium iresinoides</i>	34	<i>Minthostachys mollis</i>
5	<i>Conyza bonariensis</i>	35	<i>Hyptis mutabilis</i>
6	<i>Tagetes heterocarpa</i>	36	<i>Morrelia parvifolia</i>
7	<i>Achyrocline alata</i>	37	<i>Siparuna guianensis</i>
8	<i>Baccharis latifolia</i>	38	<i>Calypttranthes</i> sp.
9	<i>Ambrosia arborescens</i>	39	<i>Myrcia cucullata</i>
10	<i>Condylidium cuatrecasasii</i>	40	<i>Eugenia</i> cf. <i>uniflora</i>
11	<i>Chromolaena odorata</i>	41	<i>Pimenta racemosa</i>
12	<i>Cordia</i> sp.	42	<i>Piper brachypodon</i>
13	<i>Hedyosmum racemosum</i>	43	<i>Piper bogotense</i>
14	<i>Hedyosmum</i> sp.	44	<i>Piper marginatum</i>
15	<i>Cochlospermum vitifolium</i>	45	<i>Piper</i> cf. <i>divaricatum</i>
16	<i>Croton leptostachyus</i> Kunth	46	<i>Morinda rayoc</i>
17	<i>Croton pedicellatus</i> Kunth	47	<i>Amirys pinnata</i>
18	<i>Dalea coerules</i>	48	<i>Canoea scoparioides</i>
19	<i>Chenopodium ambrosoides</i>	49	<i>Achetaria bicolor</i> Pennell
20	<i>Hypericum martense</i>	50	<i>Turnera diffusa</i>
21	<i>Ocimum tenuiflorum</i>	51	<i>Lippia dulcis</i>
22	<i>Thymus vulgaris</i>	52	<i>Lippia alba</i> (citral)
23	<i>Mentha suaveolens</i>	53	<i>Lantana bayacana</i>
24	<i>Hyptis mutabilis</i>	54	<i>Lippia micromera</i>
25	<i>Hyptis brachiata</i>	55	<i>Lippia origanoides</i> (timol y carvacrol)
26	<i>Lepechinia bullata</i>	56	<i>Lippia citriodora</i>
27	<i>Lepechinia betonicifolia</i>	57	<i>Lantana fucata</i> Lindl.
28	<i>Ocimum campechianum</i>	58	<i>Lippia origanoides</i> (felandreno)
29	<i>Minthostachys mollis</i>		
F 30	<i>Lepechinia salviifolia</i>		



Figura 5-8. A. Dinámica de publicaciones científicas durante los años 1981-2008 sobre las plantas y extractos de los principales géneros de la familia Verbenaceae. **B.** Dinámica de publicaciones científicas durante los años 1981-2008 sobre las plantas y extractos del género *Lippia* de la familia Verbenaceae. **C.** Dinámica de publicaciones científicas durante los años 1981-2008 sobre las actividades biológicas de plantas y extractos de la familia Verbenaceae. **D.** Aceites esenciales de plantas recolectadas por CENIVAM durante los años 2005-2009, con la actividad antifúngica más alta. **E.** Aceites esenciales de plantas recolectadas por CENIVAM durante los años 2005-2009, con la actividad antibacteriana más alta. **F.** Aceites esenciales de plantas recolectadas por CENIVAM durante los años 2005-2009, que mostraron una o varias actividades biológicas altas.



En el CENIVAM -como uno de sus productos importantes-, fue elaborado un *software* especializado que permite a través de su base de datos acceder a la información sobre las plantas recolectadas (identificación botánica,

hábitat, sitios de recolección, etc.), aceites esenciales o extractos obtenidos (composiciones, métodos usados, etc.) y sus distintas actividades biológicas.

Tabla 5-5. Datos estadísticos sobre los ensayos de actividad biológica de diferentes aceites, extractos y compuestos, realizados por los grupos de investigación del CENIVAM durante los años 2005-2009.

Grupo	Universidad	Número de ensayos de actividad biológica				Total	Resultados positivos	
		Aceites esenciales	Extractos	Compuestos	Fracciones		Nº	%
CINTROP	UIS	761	123	1175	-	2059	1260	61
CIBIMOL	UIS	77	4	23	-	104	23	22
Infección y Cáncer	U. de Antioquia	292	69	88	-	449	111	25
Qca Ambiental y Computacional	U. de Cartagena	275	29	40	-	344	128	37
Polifenoles	UTP	179	177	16	193	565	160	28
Productos Naturales	UTCh	59	52	-	-	111	32	29
Total		1643	454	1342	193	3632	1714	47

Transferencia de tecnología y conocimiento

Una de las importantes líneas de trabajo del CENIVAM es la transferencia de tecnología y conocimiento. Es saber, qué se puede hacer con todos estos datos obtenidos y los resultados de investigación logrados, para qué sirven, serán útiles, podrán traducirse en bienes y provecho para cultivadores de plantas aromáticas, para diferentes sectores de la industria. El trabajo en el Área V, se ha dividido en las siguientes cuatro líneas, a saber: (1). Cursos y talleres de capacitación en el área de la Cadena Productiva de plantas aromáticas, medicinales y condimentarias, aceites esenciales y productos derivados; (2). Elaboración de productos terminados con base en

los aceites esenciales y en los conocimientos adquiridos sobre sus propiedades, composición y actividades biológicas; (3). Diseño y construcción de plantas piloto e industriales para destilación de aceites esenciales; (4). Desarrollo de proyectos productivos (cultivo de plantas aromáticas y destilación de aceites) con cultivadores asociados, a nivel experimental piloto en campo.

Durante los años 2005-2009, el CENIVAM ha celebrado convenios y contratos, ha brindado asesorías técnicas y servicios de análisis a 7 asociaciones de productores y campesinos, 10 empresas nacionales e internacionales, 3 ONG, 3 alcaldías y 3 entidades (institutos) de investigación. Se han dictado 31 talleres de transferencia de tecnología a los cultivadores en Cubará, Saravena, Arauquita, Arauca



Aceites Esenciales

(Departamento de Arauca), Simití, San Pablo, Monterrey, San Blas y Cantagallo (Departamento de Bolívar), Tunja y Chiquinquirá (Departamento de Boyacá), Armenia (Quindío), Montería, Sahagún, Tierra Alta (Departamento de Córdoba), Rionegro, Playón, Floridablanca, Piedecuesta, San Gil, Socorro, Sucre, Bolívar (Departamento de Santander), para más de 1500 personas, se realizaron 42 talleres de capacitación “Química con esencia” para estudiantes de colegios, universidades y particulares (alrededor de 600 personas) y se han firmado 24 convenios, contratos o alianzas estratégicas. El tema de las plantas aromáticas y aceites esenciales ha sido ampliamente difundido y socializado en varias regiones del país.

Con base en los estudios de las plantas recolectadas, aceites esenciales obtenidos y sus actividades biológicas (antimicrobiana, repe-

lente de insectos y propiedades sensoriales) se diseñaron, por el grupo CIBIMOL-UIS, tres productos terminados (marca “*Chicamocha magic*”), que incluyen aceites esenciales cuyas composiciones y propiedades han sido establecidas en los laboratorios del CENIVAM, a saber: (1) **Ambientador – repelente de insectos** (aceites de *Cymbopogon citratus*, *Cymbopogon nardus*, *Eucalyptus citriodora*, *Cananga odorata* y *Citrus sinensis*); (2) **Gel antiséptico para manos** (aceites de *Lippia alba*, *Lippia origanoides*, *Turnera diffusa*, *Cananga odorata*) y (3) **Aceite para masaje** (aceites de *Cananga odorata*, *Lippia alba*, *Lippia origanoides*, *Swinglea glutinosa*). Los productos desarrollados aparecen en la Figura 5-9 y su presentación (“lanzamiento”) se llevó a cabo en la *XI Expociencia-Expotecnología*, realizada durante los días 19- 24 de octubre de 2009 en Bogotá.



Figura 5-9. Productos terminados funcionalizados: (1) Ambientador – repelente de insectos, (2) Gel antiséptico para manos y (3) Aceite para masaje, elaborados con base en los aceites esenciales de plantas aromáticas cultivadas orgánicamente, cuyos propiedades biológicas (antimicrobianas y sensoriales) se estudiaron y comprobaron científicamente en el CENIVAM. (Foto: Elena E. Stashenko).



En el CENIVAM, por el grupo multidisciplinario de CIBIMOL-UIS (químicos, ingenieros químicos, ingenieros mecánicos), se diseñaron y se construyeron varios sistemas para la destilación de aceites esenciales, con diferente capacidad y materiales distintos y con sistemas de refrigeración y calentamiento hechos

“a medida”, de acuerdo con el tipo de especie vegetal y combustible (gas, ACPM, caldera, calderín, etc.). En la Figura 5-10 aparecen diferentes destiladores en el proceso de montaje y pruebas, con capacidades de 1 m³ para la obtención de aceites esenciales por hidrodestilación y arrastre con vapor.

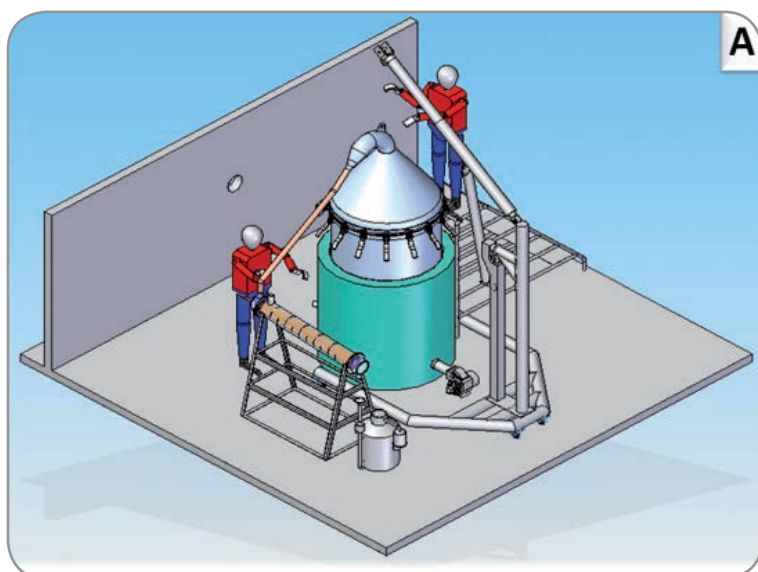


Figura 5-10. A. Diseño de un destilador para la obtención de aceites esenciales. **B.** Destiladores construidos, en el proceso de su montaje y pruebas, en el Complejo Industrial Piloto del CENIVAM (UIS, Bucaramanga). (Foto: *Elena E. Stashenko*).



El Centro de Investigación en Biomoléculas de la UIS (CIBIMOL, grupo integrante del CENIVAM) obtuvo financiación del Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, para el programa de investigación denominado “Fortalecimiento y aumento de la competitividad de la cadena productiva nacional de aceites esenciales y productos derivados”. Este Programa busca desarrollar fortalezas competitivas en el cultivo, la extracción, la estandarización de la composición, el aseguramiento de la calidad, la generación de derivados de alto valor y la diversificación de aplicaciones para los aceites esenciales. Está conformado por tres proyectos, que reflejan etapas fundamentales de la cadena productiva de aceites esenciales y derivados, y conducen a un producto, *e.g.* aceite esencial crudo o certificado, alguno de sus componentes o una mezcla comercial -en la cual se aprovechan las propiedades biológicas de aceites constituyentes o sus componentes para uso agrícola, *i.e.* biorreguladores, bioinsecticidas, o similares.

Los primeros 2 Proyectos comprenden un conjunto de actividades de investigación agrícola participativa que conducen a modelos productivos adaptados a las condiciones locales de las regiones de Socorro y Sucre, en Santander. Los cultivos son desarrollados por asociaciones de agricultores, quienes además de recibir insumos agrícolas, herramientas e infraestructura, reciben asesoría técnica en el cultivo, en el tratamiento post-cosecha y en asociatividad. APROACESCO, COOAGROSCORRO y Manuela Beltrán, son las asociaciones participantes en el proyecto del municipio de Socorro. En el segundo proyecto, 22 familias constituyen la Asociación Municipal de Usuarios Campesinos el Retiro Veredas Aldea-

ñas Sucre Santander. En estos proyectos se aplica un diseño experimental factorial que incluye tres niveles de densidad de siembra y tres niveles de fertilización para cultivos experimentales de 4 especies aromáticas, a los que se aplican podas en diferentes etapas de desarrollo fenológico. Las 4 especies aromáticas bajo estudio en el municipio de Sucre son: prontoalivio (*Lippia alba*), orégano de monte (*Lippia origanoides*), tarragón (*Artemisia dracunculus*) y palmarrosa (*Cymbopogon martinii*). Las 4 especies estudiadas en el municipio de Sucre son: romero (*Rosmarinus officinalis*), salvia (*Salvia officinalis*), cidrón (*Lippia citriodora*) y tomillo (*Thymus vulgaris*). Como resultado de estos 2 proyectos, se dispondrá de información para relacionar la composición y el rendimiento de la extracción de los aceites esenciales de las especies estudiadas, con su período de crecimiento, tres diferentes densidades de siembra, tres condiciones agronómicas diferentes de cultivo y la combinación de cultivos, para estudiar posibles sinergias. La información recopilada en estos estudios servirá como base fundamental para decidir cuáles especies pueden recomendarse para una fase posterior de agroindustrialización bajo las condiciones agronómicas y ambientales de los 2 municipios santandereanos. En la Figura 5-11 aparecen algunas imágenes relacionadas con las actividades de estos proyectos.

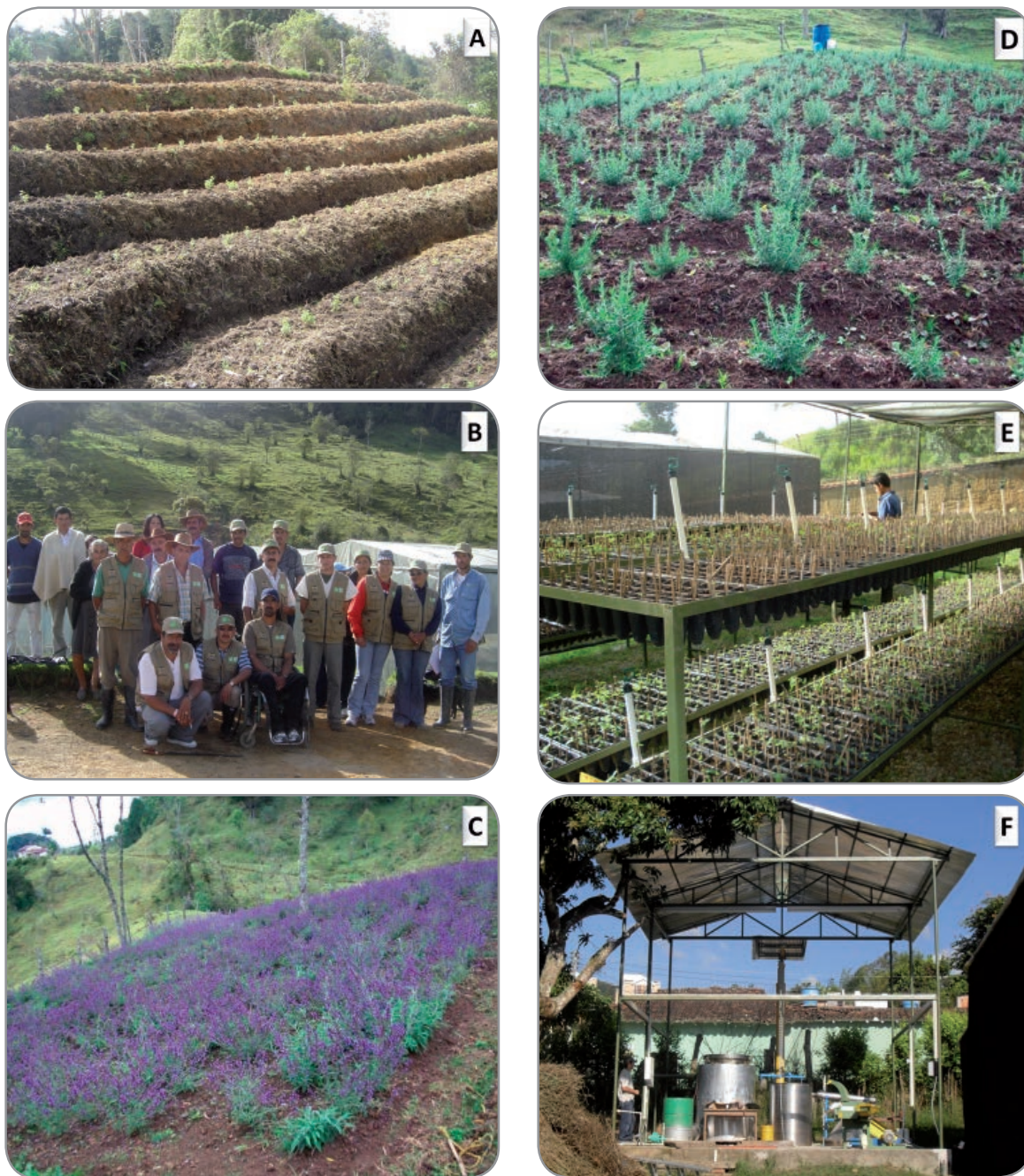


Figura 5-11. A. Preparación de terreno en el municipio de Sucre (vereda El Retiro) para la siembra de plantas aromáticas. B. La Asociación Municipal de usuarios Campesinos el Retiro Veredas Aledañas Sucre Santander, participante en el Proyecto. C. Cultivo de salvia (*Salvia officinalis*) en plena floración (vereda El Retiro, Municipio de Sucre, Santander). D. Cultivo de romero (*Romero officinalis*) (vereda El Retiro, Municipio de Sucre, Santander). (Fotos: Carlos Ávila). E. Propagación del material vegetal en los viveros de Socorro. F. Instalación del destilador para la hidrodestilación de aceites esenciales en Socorro. (Fotos: Camilo Durán).



En el tercer Proyecto del programa, se determinan la composición y las propiedades fisicoquímicas de los aceites esenciales investigados, para construir sus fichas técnicas y definir criterios de calidad que permitan su comercialización bajo la denominación de origen como aceites esenciales colombianos. En este proyecto también se determinan las condiciones a emplear durante la destilación fraccionada de los aceites esenciales crudos extraídos en el campo, a fin de uniformizar su composición. Todas las tareas que se desarrollan en los 3 Proyectos constituyen el núcleo de la estrategia de aseguramiento de la calidad en la producción de aceites esenciales, inicialmente a nivel piloto. Tal como se ha descrito en secciones anteriores de este libro, el aseguramiento de la calidad es actualmente un componente ineludible de toda actividad productiva que pretenda ser competitiva.

En conclusión, se podría afirmar, que a través del Proyecto de CENIVAM desarrollado durante los años 2005-2009, como la primera etapa del proceso de fomento de nuevas alternativas en el sector agrícola colombiano, se establecieron bases científico-técnicas sólidas para apoyar desde el sector académico a la Cadena productiva y de valor de plantas aromáticas, medicinales y condimentarias, aceites esenciales y productos afines, así como para desarrollar nuevos productos, competitivos a nivel internacional, de Biocomercio colombiano, entre éstos, los ingredientes naturales y sus derivados, para las industrias de alimentos, perfumes, cosméticos, productos de aseo personal, fitofármacos, entre otros.

REFERENCIAS

- [1]. A. L. Bandoni, M. P. Czepak (Eds). Os Recursos Vegetais Aromáticos no Brasil. Seu aproveitamento Industrial para a produção de aromas e sabores. Edufes, Vitória, 2008, 624 p.
- [2]. A. Aragão Craveiro. *Plantas aromáticas da região Nordeste*. En: A. L. Bandoni, M. P. Czepak (Eds). Os Recursos Vegetais Aromáticos no Brasil. Seu aproveitamento Industrial para a produção de aromas e sabores. Edufes, Vitória, 2008, pp. 429-482.
- [3]. J. G. S. Maia. *Plantas aromáticas da região Amazônica*. En: A. L. Bandoni, M. P. Czepak (Eds). Os Recursos Vegetais Aromáticos no Brasil. Seu aproveitamento Industrial para a produção de aromas e sabores. Edufes, Vitória, 2008, pp. 483-561.
- [4]. R. Fontes Vieira, M. Potzemheim. *Plantas aromáticas da região Centro-Oeste*. En: A. L. Bandoni, M. P. Czepak (Eds). Os Recursos Vegetais Aromáticos no Brasil. Seu aproveitamento Industrial para a produção de aromas e sabores. Edufes, Vitória, 2008, pp. 562-580.
- [5]. M. Ortiz M. Marques, L. Lima Haber, Lin Chau Ming, R. Souza Mattana. *Plantas aromáticas da região Sudeste*. En: A. L. Bandoni, M. P. Czepak (Eds). Os Recursos Vegetais Aromáticos no Brasil. Seu aproveitamento Industrial para a produção de aromas e sabores. Edufes, Vitória, 2008, pp. 581-596.
- [6]. M. P. Czepak, C. Correa Junior, M. C. Scheffer, E. Romais Schmildt, N. Gonçalves de Almeida. *Plantas aromáticas da região Sul*. En: A. L. Bandoni, M. P. Czepak (Eds). Os Recursos Vegetais Aromáticos no Brasil. Seu aproveitamento Industrial para a produção de aromas e sabores. Edufes, Vitória, 2008, pp. 597-624.



- [7]. N. Pino-Benítez, G. Ramírez. Traditional knowledge of vegetable species used with magic-religious purpose in communities of the Northern Colombian Pacific. *BLACPMA*, 2009, 8 (3), 180-183.
- [8]. A. R. Suárez González, G. A. Castillo Villamizar, M. I. Chacón. Genetic diversity and spatial genetic structure within a population of an aromatic shrub, *Lippia origanoides* (Verbenaceae), in the Chicamocha Canyon, northeastern Colombia. *Genet. Res.*, 2008, 90 (6), 455-465.
- [9]. A. R. Suárez González, F. O. Martínez Nuñez, G. A. Castillo Villamizar, and M. I. Chacón. Molecular characterization of aromatic species of the genus *Lippia* from the Colombian neotropics. *Acta Hort.* (ISHS), 2007, 756, 129-138.
- [10]. N. Pino Benítez. Botánica y *screening* fitoquímico de doce plantas usadas en medicina tradicional en el Departamento del Chocó – Colombia. *Rev. Latinoam. Rec. Nat.*, 2006, 2, 33–44.
- [11]. G. Ramírez, E. D. Ledesma, N. Pino Benítez. Géneros de palmas con potencial ornamental en el Corregimiento de Raspadura, Municipio de Unión Panamericana, Chocó, Colombia. *Lyonia*, 2006, 10 (2), 47–63.
- [12]. A. A. Camargo, N. Rodríguez López. Expresión fenotípica de la asignación de biomasa en *Lippia origanoides* y *Lippia alba*: Repuestas a la disponibilidad de agua en el suelo. *Acta Biol. Colomb.*, 2008, 13 (3), 133-148.
- [13]. C. A. Antolinez Delgado, N. Rodríguez López. Plasticidad fenotípica en *Lippia alba* y *Lippia origanoides* (Verbenaceae): Respuesta a la disponibilidad de nitrógeno. *Acta Biol. Colomb.*, 2008, 13 (1), 53-64.
- [14]. K. Palacio, N. Rodríguez López. Plasticidad fenotípica de dos poblaciones de *Lippia alba* (Verbenaceae) sometidas a déficit hídrico bajo dos condiciones lumínicas. *Acta Biol. Colomb.*, 2008, 13 (1), 187-198.
- [15]. J. D. Guzmán Vásquez, L. E. Cuca Suárez, J. H. Isaza Martínez. Fragmentación diastereoespecífica en NCI de dos lignanos dibencilbutánicos de la corteza de *Dugandiodendron argyrotichum* (Magnoliaceae). *Rev. Prod. Nat.*, 2008, 2 (1), 6-12.
- [16]. J. H. Isaza Martínez. Taninos o Polifenoles Vegetales. *Scientia et Technica*, 2007, año XIII, 33, 13-18.
- [17]. D. Colorado, S. Díaz, J. H. Isaza Martínez, L. Tapias, L. A. Veloza, L. S. Ramírez. Flavonoides del extracto isopropanol-agua de *Tibouchina ciliaris* (Melastomataceae). *Scientia et Technica*, 2007, año XIII, 33, 355-357.
- [18]. E. Parra Torres, N. Rodríguez López, Plasticidad fenotípica en *Lippia alba* y *Lippia origanoides* en respuesta a la disponibilidad de luz. *Acta Biol. Colomb.*, 2007, 12 (S1), 91–102.
- [19]. D. Camargo Rodríguez, N. Rodríguez López. Nuevas perspectivas para la evaluación de la asignación de biomasa de plantas en ecosistemas neo-tropicales. *Acta Biol. Colomb.*, 2006, 11 (S1), 75-78.
- [20]. N. Pino Benítez, T. Yurgaky, J. Cuesta. Aspectos botánicos y química preliminar de 6 especies del género Piper usadas como medicinales en el Municipio de Quibdó – Chocó. *Revista Institucional de la Universidad Tecnológica del Chocó*, 2005, 23, 20-25.
- [21]. E. E. Stashenko, S. A. Ordóñez, N. A. Marín, J. R. Martínez. Determination of the volatile and semi-volatile secondary metabolites, and aristolochic acids in *Aristolochia ringens* Vahl. *J. Chromatogr. Sci.*, 2009, 47 (October) Accepted.
- [22]. E. E. Stashenko, C. A. Ruíz, G. Arias, D. C. Durán, W. Salgar, M. Cala, J. R. Martínez, *Lippia origanoides* chemotype differentiation based on essential oil GC-MS analysis and PCA, *J. Sep. Sci.*, 2009, October, Accepted.
- [23]. A. Muñoz Acevedo, J. R. Martínez, E. E. Stashenko, Cromatografía de gases como herramienta de estudio de la composición química y capacidad antioxidante de especies vegetales ricas en timol y carvacrol, cultivadas en Colombia. *Scientia Chromatographica*, 2009, 1 (1), 67-78.
- [24]. E. E. Stashenko, J. R. Martínez. Sampling flower scent for chromatographic analysis. Review. *J. Sep. Sci.*, 2008, 31, 2022–203.
- [25]. E. E. Stashenko, J. R. Martínez. Sampling volatile compounds from natural products with headspace/solid-phase micro-extraction. *J. Biochem. Biophys. Meth.*, 2007, 70 (2), 235–242.
- [26]. J. P. Rojas L., A. Perea, E. E. Stashenko. Obtención de aceites esenciales y pectinas a partir de subproductos



- de jugos cítricos. *Rev. Vitae*, 2009, 16 (1), 110-115.
- [27]. E. Rodríguez Peña, F. E. Castellanos, A. Perea. Producción enzimática de ésteres de Citronelol. *Scientia et Technica*, 2007, año XIII, 33, 37-40.
- [28]. F. E. Castellanos, A. Perea, C. Ortiz López. Biotransformación de α -pineno empleando *Aspergillus niger*. *Scientia et Technica*, 2007, año XIII, 33, 71-74.
- [29]. F. E. Castellanos, A. Perea, C. Ortiz López. Obtención de alcohol perílico por biotransformación del limoneno. *Scientia et Technica*, 2007, año XIII, 33, 137-140.
- [30]. S. J. Lozano Vergel, F. E. Castellanos, A. Perea. Evaluación de la biotransformación de citronelol utilizando como biocatalizador *Aspergillus niger*. *Scientia et Technica*, 2007, año XIII, 33, 235-236.
- [31]. J. A. Cubillos, J. Reyes, A. L. Villa, C. Montes de Correa. Effect of the oxidizing agent and catalyst chirality on the diastereoselective epoxidation of R-(+)-limonene, in: M. Prunier, E. Lilly (Eds.). *Catalysis of Organic Reactions, Twenty-Second Conference, Indianapolis, CRC Press*, 2008, 123, 568p.
- [32]. L. M. González, A. L. Villa, C. Montes de Correa. A. Sorokin, Synthesis of α , β -unsaturated ketones, in: M. Prunier, E. Lilly (Eds.), *Catalysis of Organic Reactions, Twenty-Second Conference, Indianapolis, CRC Press*, 2008, 123, 568p.
- [33]. R. Barrera, A. L. Villa, C. Montes de Correa. Limonene epoxidation: Diffusion and reaction over PW-amberlite in a triphasic system. *Ind. Eng. Chem. Res.*, 2006, 45 (13), 4589-4596.
- [34]. L.M. González, A.L. Villa, C. Montes de Correa, A. Sorokin, Allylic oxidation of cyclohexene over silica immobilized iron tetrasulfophthalocyanine. *Tetrahedron Lett.*, 2006, 47, 6465-6468.
- [35]. R. Barrera, A. L. Villa, C. Montes de Correa. Liquid-Liquid equilibrium for the water + acetonitrile + limonene system at different temperatures. *J. Chem. Eng. Data*, 2005, 50, 1353-1356.
- [36]. J. Reyes Calle, J. A. Cubillos Lobo, A. L. Villa, C. Montes de Correa. Efecto de la quiralidad del sustrato y catalizador en la epoxidación diastereoselectiva de R-(+)-limoneno con complejos de sales de manganeso (III). *Revista Facultad de Ingeniería Universidad de Antioquia*, 2009, 48, 18.
- [37]. E. Alarcón, A.L. Villa, C. Montes de Correa, Efecto de las condiciones de síntesis hidrotérmica de Sn-MCM-41 en la producción de nopol. *Revista Facultad de Ingeniería Universidad de Antioquia*, 2009, 49, 19.
- [38]. J. Reyes Calle, J.A. Cubillos Lobo, C. Montes de Correa, A.L. Villa. Efecto del agente oxidante y la quiralidad del catalizador en la epoxidación de R-(+)-limoneno con catalizadores tipo *Jacobsen*. *Rev. Ing. Invest.*, 2008, 28 (2), 37-44.
- [39]. R. Barrera, E. Alarcón, L. González, A. L. Villa, C. Montes de Correa. Síntesis de carveol, carvona, verbenol y verbenona. *Rev. Ing. Competitiv.*, 2008, 10 (1), 43-63.
- [40]. E. Alarcón, A. L. Villa, C. Montes de Correa. Síntesis de nopol a partir de β -pineno y aceite de trementina con el catalizador heterogéneo Sn-MCM-41. *Revista Facultad de Ingeniería Universidad de Antioquia*, 2006, 36, 44-55.
- [41]. R. Barrera, A. L. Villa, C. Montes de Correa. Modelado de la epoxidación de limoneno con PW-Amberlita. *Scientia et Technica*, 2007, año XIII, 33, 451-454.
- [42]. E. Alarcón, A. L. Villa, C. Montes de Correa, Evaluación de catalizadores Sn-MCM-41 en la producción de nopol. *Scientia et Technica*, 2007, año XIII, 33, 447-449.
- [43]. L. M. González, A. L. Villa, C. Montes de Correa. A. Sorokin, Oxidación alílica de monoterpenos con metaloftalocianinas. *Scientia et Technica*, 2007, año XIII, 33, 111-115.
- [44]. R. Barrera, A. L. Villa, C. Montes de Correa, C. T. Williams. *In situ* fourier transform infrared spectroscopic studies of limonene epoxidation over PW-amberlite, *Appl. Catal. A: Gen.*, 2009, 365, 42-47.
- [45]. J. Cubillos, I. Montilla, C. Montes de Correa. Easy separation and reutilization of the *Jacobsen's* catalyst in olefin oxidation, *Appl. Catal. A: Gen.*, 2009, 366 (2), 348-352.
- [46]. R. Barrera, A. L. Villa, C. Montes de Correa. Measurement of activity coefficients at infinite dilution for acetonitrile, water, limonene, and limonene epoxide and their binary pairs. *Fluid Phase Equilib.* 2009, 275, 46-51.



- [47]. R. Barrera, A. L. Villa, C. Montes de Correa. Kinetic modeling of limonene epoxidation over PW-amberlite. *Ind. Eng. Chem. Res.*, 2009, **48** (2), 647–653.
- [48]. E. Alarcón, A. L. Villa, C. Montes de Correa. Characterization of Sn- and Zn- loaded MCM-41 catalysts for nopol synthesis. *Microporous and Mesoporous Mater.*, 2009, **122**, 208–215.
- [49]. V. V. Kouznetsov, A. Gómez Barrio. Recent developments in the design and synthesis of hybrid molecules based on aminoquinoline ring and their antiplasmodial evaluation, *Eur. J. Med. Chem.*, 2009, **44** (8), 3091–3113.
- [50]. V. V. Kouznetsov, D. R. Merchan Arenas. First green protocols for the large scale preparation of γ -diisoeugenol and related dihydro(1H)indenenes via formal [3+2] cycloaddition reactions. *Tetrahedron Lett.*, 2009, **50** (14), 546–549.
- [51]. J. G. Hernandez Barajas, L. Y. Vargas Mendez, V. V. Kouznetsov, E. E. Stashenko. Efficient synthesis of new N-benzyl- or N-(2-Furylmethyl)cinnamamides promoted by the “Green” catalyst boric acid, and their spectral analysis, *Synthesis*, 2008, **3**, 377–382.
- [52]. V. V. Kouznetsov, L. Y. Vargas Mendez, M. Sortino, Y. Vásquez, M. P. Gupta, M. Freile, R. D. Enriz, S. A. Zacchino. Antifungal and cytotoxic activities of some N-substituted aniline derivatives bearing a hetaryl fragment, *Bioorg. Med. Chem.*, 2008, **16**, 794–809.
- [53]. C. M. Meléndez Gómez, V. V. Kouznetsov, M. Sortino, S. A. Álvarez, S. A. Zacchino. *In vitro* antifungal activity of polyfunctionalized 2-(Hetero)arylquinolines prepared through imino Diels-Alder reactions, *Bioorg. Med. Chem.*, 2008, **16**, 7908–7920.
- [54]. V. V. Kouznetsov, L. Y. Vargas Mendez. Recent developments in three component Grignard-Barbier-type reactions, *Synthesis*, 2008, **4**, 491–506.
- [55]. V. V. Kouznetsov, J. S. Bello Forero, D. A. Amado Torres. A simple entry to novel spiro dihydroquinoline-oxindoles using Povarov reaction between 3-N-aryliminoisatins and isoeugenol, *Tetrahedron Lett.*, 2008, **49**, 5855–5875.
- [56]. V. V. Kouznetsov, D. R. Merchan Arenas, A. R. Romero Bohórquez, PEG-400 as green reaction medium for Lewis acid-promoted cycloaddition reactions with isoeugenol and anethole, *Tetrahedron Lett.* 2008, **49**, 3097–3100.
- [57]. V. V. Kouznetsov, C. M. Melendez, J. M. Urbina Gonzalez, E. E. Stashenko, A. Bahsas, L. J. Amaro. Synthesis and spectral data of quinoline products obtained by reaction of N-(4-Pyridinyliden)anilines and N-Benzylidenaniline with 2,2-Dimethoxypropane (Kametani Reaction), *J. Heterocycl. Chem.*, 2007, **44**, 551–555.
- [58]. V. V. Kouznetsov, A. R. Romero Bohórquez, E. E. Stashenko. Three-component imino Diels-Alder reaction with essential oil and seeds of anise generation of new tetrahydroquinolines, *Tetrahedron Lett.*, 2007, **48**, 8855–8860.
- [59]. V. V. Kouznetsov, U. Mora Cruz, F. I. Zubkov, E. V. Nikitina. An efficient synthesis of isoindolo[2,1-a]quinoline derivatives via Imino Diels–Alder and intramolecular Diels-Alder with furan methodologies. *Synthesis*, 2007, **3**, 375–384.
- [60]. L. Y. Vargas Mendez, V. V. Kouznetsov. An Efficient Synthesis of New 1-H-4'-Methyl-3',4'-Dihydrospiro[piperidine-4,2'(1'H)quinoline] Scaffolds, *Tetrahedron Lett.*, 2007, **48**, 2509–2512.
- [61]. V. V. Kouznetsov, U. Mora Cruz, C. M. Melendez Gómez, A. R. Romero Bohorquez, S. M. Leal, C. A. Coronado, P. Escobar. Target-oriented synthesis of antiparasitic 2-hetaryl substituted quinolines based on imino Diels-Alder reactions. *Lett. Drug Des. Discovery*, 2007, **4**, 293–296.
- [62]. V. V. Kouznetsov, U. Mora Cruz. Transformations of 2-(α -furyl)-4-(2-oxopyrrolinidyl-1)-1,2,3,4-tetrahydroquinolines, cycloadducts of the imino Diels-Alder reaction: A simple synthesis of new quinoline derivatives. *Lett. Org. Chem.*, 2006, **3**(9), 699–702.
- [63]. V. V. Kouznetsov, J. M. Urbina Gonzalez, E. E. Stashenko. N-Functionalization of dihydrocarvone: obtaining aminocyclohexane derivatives and their spectrometric study, *J. Chil. Chem. Soc.*, 2005, **50** (3), 447–451.



- [64]. A. Palma, A. F. Yépes, S. M. Leal, C. A. Coronado, and P. Escobar. Synthesis and *in vitro* activity of new tetrahydronaphtho[1,2-b]azepine derivatives against *Trypanosoma cruzi* and *Leishmania chagasi* parasites. *Bioorg. Med. Chem. Lett.*, 2009, 19, 2360-2363.
- [65]. E. E. Stashenko, J.R. Martínez, G. Tafurt-García, A. Palma, J.M. Bofill. A computational study and valence bond approach to the intramolecular electrophilic aromatic substitution mechanism of ortho-allyl-N-benzylanilines, *Tetrahedron*, 2008, 64 (30-31), 7407-7418.
- [66]. E. Solano, E. E. Stashenko, J.R. Martínez, U. Mora Cruz, V.V. Kouznetsov. Linear free energy relationships in C-N bond dissociation in molecular ions of 4-substituted N-(2-furylmethyl)anilines in the gas phase. *J. Mass Spectrom.*, 2007, 42, 1496-1503.
- [67]. E. Solano, E. E. Stashenko, J.R. Martínez, U. Mora Cruz, V.V. Kouznetsov. Ion $[C_5H_5O]^{(+)}$ formation in the electron-impact mass spectra of 4-substituted N-(2-furylmethyl)anilines. Relative abundance prediction ability of the DFT calculations. *J. Mol. Struct.*, 2006, 769 (1-3), 83-85.
- [68]. L. S. Nerio, J. Olivero-Verbel, E. E. Stashenko. Repellent activity of essential oils: A review. *Bioresour. Technol.*, 2010, 101 (1), 372-378.
- [69]. G. C. Vicuña, E. E. Stashenko, J.L. Fuentes. Chemical composition of the *Lippia origanoides* essential oils and their antigenotoxicity against bleomycin-induced DNA damage, *Fitoterapia*, 2009, Aceptado.
- [70]. A. C. Mesa Arango, L. A. Betancur Galvis, J. E. Montiel, J. G. Bueno, E. E. Stashenko, J. R. Martínez, *et al.*. Chemical composition and antifungal and cytotoxic activity of colombian *Lippia alba* (Mill.) N.E. Brown citral and carvone chemotypes and some of their components. *Mem. I. Oswaldo Cruz*, 2009, 104 (6), 878-884.
- [71]. R. Meneses, R. Ocazonez, J. R. Martínez, E. E. Stashenko. Inhibitory effect of essential oils obtained from plants grown in Colombia on yellow fever virus replication *in vitro*. *Ann. Clin. Microbiol. Antimicrob.*, 2009 8 (8), <http://www.ann-clinmicrob.com/content/8/1/8>.
- [72]. J. Olivero Verbel, J. Güette Fernández, B. Jaramillo Colorado, E. E. Stashenko. Acute toxicity against *Artemia franciscana* of essential oils from plants of the genus *Lippia* and *Piper* genera collected in Colombia, *BLACPMA*, 2009, 8 (5), 419-427.
- [73]. N. Pino Benítez, E. E. Stashenko. Antibiotic validation of medicinal plants of the Northwest of Colombia against *Staphylococcus aureus*. *BLACPMA*, 2009, 8 (2), 145-150.
- [74]. N. Pino Benítez, E. Melendez, E. E. Stashenko. Chemical composition and antibacterial activity of the essential oil from the leaves of *Piper lanceaefolium* a plant traditionally used in Colombia. *BLACPMA*, 2009, 8 (4), 301-304
- [75]. L. Neuro, J. Olivero Verbel, E. Stashenko. Repellent activity of essential oils from seven aromatic plants grown in Colombia against *Sitophilus zeamais* Motschulsky (Coleoptera), *J. Stored Prod. Res.*, 2009, 45 (3), 212-214.
- [76]. J. Olivero Verbel, L.S. Neuro, E. E. Stashenko, Bioactivity against *Tribolium castaneum* Herbst (Coleoptera: Tenebrionidae) of *Cymbopogon citratus* and *Eucalyptus citriodora* essential oils grown in Colombia, *Pest Manag. Sci.*, 2009. Aceptado.
- [77]. M.A. González, J. Correa-Royero, L. Agudelo, A.C. Mesa Arango, L.A. Betancur Galvis, Synthesis and biological evaluation of abiestic acid and derivatives, *Eur. J. Med. Chem.*, 2009, Aceptado.
- [78]. E. E. Stashenko, C. Ruiz, A. Muñoz, M. Castañeda, J. R. Martínez, Composition and antioxidant activity of essential oils of *Lippia origanoides* H.B.K. grown in Colombia, *Nat. Prod. Commun.*, 2008, 3 (4), 563-566.
- [79]. A. C. Mesa Arango, J. Montiel, L. A. Betancur Galvis, J. G. Bueno, A. Baena, D. C. Durán García, J. R. Martínez, E. E. Stashenko, Antifungal activity and chemical composition of the essential oils of *Lippia alba* (Miller) N.E Brown grown in different regions of Colombia, *J. Essent. Oil Res.*, 2009, Aceptado.
- [80]. J. Güette Fernández, J. Olivero-Verbel, I. O'Byrne-Hoyos, B. Jaramillo Colorado, E. E. Stashenko, Chemical composition and toxicity against *Artemia franciscana* of the essential oil of *Callistemon speciosus* (Sims) D.C., collected in Bogota (Colombia), *J. Essent. Oil Res.*, 2008, 20 (3), 272-275.



- [81]. V.V. Kouznetsov, C.M. Meléndez Gómez, Búsqueda de nuevos agentes antiprotozoarios selectivos, *Revista MedUNAB*, 2009, 12 (1), 33-45.
- [82]. J.G. Bueno, J.R. Martínez, E. Stashenko, W. Ribón. Anti-tubercular activity of some aromatic and medicinal plants, grown in Colombia. *Biomédica*, 2009, 29 (1), 51-60.
- [83]. N. Pino Benítez, E. Ledesma, L. Martínez. Actividad antibacteriana de extractos de siete especies de la familia Gesneriaceae, *Rev. Salud UIS*, 2008, 40, 137-139.
- [84]. N. Pino Benítez, E. Ledesma, L. Martínez. Actividad antibacteriana del aceite esencial de *Siparuna conica* y *Siparuna guianensis* de la familia Monimiaceae. *Rev. Salud UIS*, 2008, 40, 140-142.
- [85]. N. Pino Benítez, Actividad antibacteriana a partir de extractos de hojas de seis especies del género *Piper* L. (Piperaceae). *Revista Institucional de la Universidad Tecnológica del Chocó*. 2008, 27 (1), 67- 75.
- [86]. J. G. Hernández, L. Y. Vargas Mendez, S. A. Zacchino, V. V. Kouznetsov. Evaluación de la actividad antifúngica de los extractos de *Avicennia germinans* sobre diversas cepas de hongos patógenos. *Rev. Salud UIS*, 2008, 40 (2), 154-156.
- [87]. V.V. Kouznetsov, D.F. Amado Torres. Antimaláricos: construcción de híbridos moleculares de la cloroquina. *Universitas Scientiarum*, 2008, 13 (3), 303-317.
- [88]. A. Muñoz, C. Y. Cardenas, E. J. Bottia, J. G. Patiño, O. L. Díaz, V. V. Kouznetsov, J. R. Martínez, E. E. Stashenko. Capacidad de atrapamiento del catión radical ABTS⁺. por los aceites esenciales de especies aromáticas con alto contenido de *trans*-anetol y estragol. *Scientia et Technica*, 2007, año XIII, 33, 117-120.
- [89]. A. Muñoz, C. Y. Cardenas, J. A. Reyes, M. L. Castañeda, K. M. Blanco, V. V. Kouznetsov, E. E. Stashenko. Composición y capacidad antioxidante de especies aromáticas y medicinales con alto contenido de timol y carvacrol. *Scientia et Technica*, 2007, año XIII, 33, 125-128.
- [90]. A. Vásquez, M. Cala, I. Miranda, G. Tafurt, J. R. Martínez, E. E. Stashenko. Actividad antioxidante y contenido total de fenoles de los extractos etanólicos de *Salvia aratocensis*, *Salvia bogotensis*, *Bidens retton* y *Montanea ovalifolia*. *Scientia et Technica*, 2007, año XIII, 33, 205-207.
- [91]. M. L. Castañeda, A. Muñoz, J. R. Martínez, E. E. Stashenko., Estudio de la composición química y la actividad antioxidante de 10 aceites esenciales de plantas aromáticas colombianas. *Scientia et Technica*, 2007, año XIII, 33, 165-166.
- [92]. J. Montiel, A. C. Mesa Arango, D. C. Durán García, J. G. Bueno, L. A. Betancur Galvis, E. E. Stashenko. Evaluación de la actividad anti-*Candida* y anti-*Aspergillus* de aceites esenciales de *Lippia alba* (Miller) N.E Brown y su asociación con sus componentes mayoritarios. *Scientia et Technica*, 2007, año XIII, 33, 243-246.
- [93]. A. C. Mesa Arango, J. Montiel, C. Martínez, B. Zapata, N. Pino Benítez, J. G. Bueno, E. E. Stashenko. Actividad *in vitro* anti-candida y anti-aspergillus de aceites esenciales de plantas de la familia Piperaceae. *Scientia et Technica*, 2007, año XIII, 33, 247-249.
- [94]. C. N. Celis, P. Escobar, J. H. Isaza Martínez, E. E. Stashenko, J. R. Martínez. Estudio comparativo de la composición química y la actividad biológica de los aceites esenciales de *Lippia alba*, *Lippia origanoides* y *Phyla dulcis*, especies de la familia Verbenaceae. *Scientia et Technica*, 2007, año XIII, 33, 103-105.
- [95]. N. Pino Benítez, Y. Córdoba. Actividad antimicrobiana y fitoquímica preliminar de plantas usadas como colorantes en el municipio de Quibdó- Chocó. *Scientia et Technica*, 2007, año XIII, 33, 387-390.
- [96]. B. Jaramillo Colorado, J.F. Cantillo, R. Baldiris, J. Güette Fernández. Evaluación de la toxicidad aguda (CL₅₀) frente a *Artemia franciscana* de los extractos acuosos, en diclorometano y metanólico parcial de *Justicia secunda* (Valh.). *Scientia et Technica*, 2007, año XIII, 33, 257-258.
- [97]. M. F. Algaráin, M. Quintero Romo, J. Güette Fernández, R. Baldiris, J. Olivero Verbel, B. Jaramillo Colorado, Evaluación del efecto protector del aceite esencial *Ocotea sp.* frente a los efectos citogenéticas del cadmio sobre raíces de *Allium cepa*. *Scientia et Technica*, 2007, año XIII, 33, 277-278.
- [98]. B. Jaramillo Colorado, J. Olivero Verbel, K. Muñoz, Composición química volátil y toxicidad aguda CL₅₀ frente a *Artemia franciscana* del aceite esencial del *Croton malambo* colectado en la costa norte colombiana. *Scientia et Technica*, 2007, año XIII, 33, 299-302.



- [99]. O. Valencia, J. Silva, M. Gómez, J. H. Isaza Martínez. Actividad insecticida de extractos de *Bocconia frutescens* L. sobre *Hypothenemus hampei* F. *Scientia et Technica*, 2007, año XIII, 33, 251-252.
- [100]. J. H. Isaza Martínez, F. Jiménez, J. Galván, J. Restrepo. Actividad alelopática de algunas especies de los géneros *Miconia*, *Tibouchina*, *Henriettella*, *Tococa*, *Aciotis* y *Bellucia* (Melastomataceae). *Scientia et Technica*, 2007, año XIII, 33, 409-413.
- [101]. J. H. Isaza Martínez, J. Tapias, J. López, D. Marín, L. M. Orozco, D. Rivera, L. A. Veloza, L. S. Ramírez. Nuevo flavonoide glicosilado de *Miconia coronata* (Bonpl.) y actividad antibacterial. *Scientia et Technica*, 2007, año XIII, 33, 311.
- [102]. E. Ledesma, N. Pino Benítez. Estudio fitoquímico y actividad antibacteriana de *Drymonia killipi* Wieahl y *Paradrymonia darienensis* Seem en el Municipio de Quibdó, *Revista Institucional de la Universidad Tecnológica del Chocó*, 2006, 24, 29-36.
- [103]. J. H. Isaza Martínez, L. A. Veloza, L. S. Ramírez, F. J. Jiménez. Actividad alelopática de *Henriettella tracyphylla* (Melastomataceae). *Actual. Biol.*, 2005, 27 (1), 17-20.
- [104]. J. H. Isaza Martínez, L. A. Veloza, L. S. Ramírez, L. M. Calle, F. J. Jiménez, J. Ramírez, L. C. Gómez. Actividad ictiotóxica de *Miconia coronata* (Bonpl.) D.C. (Melastomataceae). *Scientia et Técnica*, 2005, año XI, 28, 197-201.
- [105]. G. Tafurt, E. E. Stashenko, J. R. Martínez. Evaluación de la actividad antioxidante en emulsiones degradadas por radiación ultravioleta. *Rev. Colomb. Quím.*, 2005, 31 (1), 43-55.