

De las coníferas al mirtanal: procesos mejorados de una síntesis sostenible

Lisbeth Tatiana Castro-Lugo

Estudiante de Ingeniería Química
Universidad de Antioquia
lisbeth.castro@udea.edu.co

Edwin Alexis Alarcón

Ingeniero Químico y doctor en Ciencias Químicas
edwin.alarcon@udea.edu.co

Luis Alfonso Gallego Villada

Ingeniero Químico, magíster en
Ingeniería y doctor en Ingeniería
Química
alfonso.gallego@udea.edu.co

Grupo de Investigación Catálisis
Ambiental, Facultad de Ingeniería
Universidad de Antioquia

El aroma de las coníferas guarda una gran riqueza bioquímica. Estas plantas albergan compuestos con aplicaciones en cosmética, salud y otras industrias en las que hoy la química avanza en el desarrollo de procesos más eficientes y sostenibles para extraer y sintetizar aceites esenciales.

Fotografía: Freepik.es



El universo de plantas que despiden aromas como un indicador de la presencia de ciertos compuestos que podrían poseer propiedades terapéuticas, aromáticas o industriales hace parte del objeto de estudio de un subcampo de la química: la fitoquímica, rama que estudia los compuestos químicos de las plantas. La fitoquímica se interesa en encontrar estas sustancias en el eucalipto, el romero, la cáscara de las naranjas, los tallos y semillas de los pinos, el enebro y otras más de 200 especies que es posible hallar en Colombia para la extracción de líquidos esenciales y la búsqueda de compuestos químicos promisorios en las industrias farmacéutica, cosmética, sanitaria y alimentaria.

La búsqueda de terpenos —nombre que en función de su estructura química les damos a los compuestos que tienen la propiedad de evaporarse fácilmente y estar implicados, por ejemplo, en la producción de fragancias— en las plantas aromáticas hace parte de una de las áreas de investigación más fértiles de la química de la síntesis orgánica por su utilidad para diversas industrias y su rol en el logro de procesos ambientalmente limpios. El método es la extracción de aceites esenciales: líquidos presentes en diversas partes

de las plantas, como las flores, las hojas, las raíces, las cortezas o los frutos, que concentran tanto el aroma como las propiedades naturales de la especie. Estos aceites son de gran interés, por ejemplo, por sus propiedades terapéuticas al mostrar efectos antiinflamatorios, antimicrobianos y ansiolíticos. A nivel industrial se utilizan en la elaboración de cosméticos, perfumes, alimentos y productos de limpieza, lo que ha incrementado su demanda y, con ello, la necesidad de desarrollar métodos de extracción sostenibles.

Desafíos experimentales para una extracción más limpia

La obtención de los aceites esenciales enfrenta diversos desafíos experimentales tanto en la producción como en la estandarización de las sustancias que varían según la planta de origen, el método de extracción y el uso final del aceite esencial. Uno de los principales retos en esta serie de pasos es la variabilidad en la composición química —es decir, en la cantidad y calidad de los compuestos clave—, pues depende de factores ambientales como el clima, la altitud, el tipo de suelo en el que se cultiva la planta, la genética de la planta y los métodos de cultivo y el uso de pesticidas.

Una sustancia llamada beta-pineno o β -pineno, presente en los tallos, hojas y resinas de materias primas comunes de especies de coníferas como los pinos y los abetos (también presente en los aceites esenciales extraídos de plantas aromáticas como el romero, la salvia, y el eucalipto) tiene el potencial de transformarse en compuestos de alto valor comercial mediante procesos químicos controlados y mejorados.

Por eso, otro reto adicional en este proceso es el de la optimización de los métodos de extracción. En general, los aceites esenciales se extraen mediante destilación al vapor, un proceso en el que se hace pasar vapor de agua caliente a través de las plantas para arrastrar los aceites. El vapor se enfría, los aceites se condensan en un líquido y, posteriormente, se separa el aceite esencial puro del agua. Sin embargo, este proceso presenta distintos niveles de eficiencia, por lo que optimizarlo para maximizar la obtención de β -pineno sin comprometer las propiedades del aceite continúa siendo un reto importante. Por último, la escalabilidad, la estandarización y el control de calidad son otros desafíos que cobran relevancia a medida que crece la demanda de estos productos.

La obtención de un compuesto a partir de coníferas

El grupo Catálisis Ambiental de la Universidad de Antioquia investigó la obtención de mirtanal, un compuesto de alto valor comercial que se obtiene del β -pineno. Este compuesto ha despertado interés tanto en las ciencias químicas como en la industria debido a su aroma fresco similar al del limón y el mirto o arrayán y a sus propiedades químicas y volatilidad en condiciones ambientales. El último es un atributo llamativo para la industria de fragancias. Además, el mirtanal es empleado en la industria de alimentos como saborizante cítrico ideal para alimentos y bebidas. Aunque aún se están realizando investigaciones, algunos estudios sugieren que podría tener aplicaciones medicinales debido a su actividad antimicrobiana y antiinflamatoria.

Para obtener mirtanal desde el β -pineno, primero se realiza una reacción química en la que ocurre un proceso de oxidación del β -pineno para obtener el epóxido de β -pineno y luego se lleva a cabo la isomerización. La oxidación puede definirse como el proceso en el que una molécula pierde electrones, mientras que la isomerización implica una reorganización de los átomos dentro de la molécula. Tradicionalmente, este proceso se lleva a cabo en dos etapas independientes: primero, el β -pineno se oxida en un reactor para obtener el epóxido, que luego se somete a un proceso de purificación. Luego, el epóxido purificado sufre una reorganización estructural en otro reactor, produciendo mirtanal como el principal producto. Sin embargo, este método genera una gran cantidad de residuos debido a los procesos intermedios requeridos.

Procesos mejorados de síntesis

En 2011, una patente propuso la producción de mirtanal a partir del epóxido de β -pineno puro. No obstante, nuestra investigación se enfoca en la obtención eficiente de mirtanal directamente del β -pineno mediante una reacción *one-pot* —que implica que toda la secuencia de transformaciones químicas, en este caso la epoxidación y la isomerización, ocurra en un solo recipiente— y utilizando catalizadores heterogéneos —llamados así por estar en una fase distinta (sólido) a la de los reactivos (líquidos) que ayudan a transformar—.

Aquí está el núcleo de nuestro aporte: usar una mezcla de catalizadores sólidos, polvillos compuestos de hierro o estaño con óxido de magnesio, que presentaron una valiosa función: ser reutilizados

Comparación del tiempo en las reacciones

Sin catalizador	Con catalizador
 1 día	 30 minutos 1 hora
 30 días	 Reacción observada mediante el cambio de color con el tiempo. Se resalta la importancia de los catalizadores, pues optimizan las reacciones.

una vez cumplieron su trabajo de transformación, pues, al estar en una fase distinta al resto de la mezcla, se pudieron recuperar fácilmente y reutilizarse sin perder significativamente su efectividad. Los resultados más relevantes en este punto se obtuvieron con catalizadores de hierro sobre un soporte llamado SBA-15: se alcanzó rendimientos del mirtanal de entre 59 y 62,3 % después de 48 horas a unos 50 °C (normalmente estos procesos requerirían de temperaturas mucho más elevadas).

Una reacción con menos residuos es más sostenible

Este tipo de transformaciones químicas adquiere gran relevancia en la investigación de procesos ambientales responsables ya que, al realizarse en un solo reactor, generan menos residuos al evitar etapas intermedias de purificación y separación. Además, se redujo el consumo de energía utilizando un único reactor durante todo el pro-

ceso. Otro de los desarrollos clave del grupo de investigación en esta ruta fue el de preparar un sistema con catalizadores heterogéneos selectivos hacia el mirtanal y lograr una serie de pasos ambientalmente más sostenible. Se obtuvieron altos rendimientos del producto de interés sin etapas intermedias, lo que resultó en una menor generación de residuos en comparación con los procesos tradicionales para un producto químico de alto valor comercial, debido a su aroma y sus potenciales propiedades antiinflamatorias y antibacterianas. ✕

Glosario

Aceite esencial: Mezcla de sustancias aromáticas responsable de la fragancia de las flores cuya extracción se lleva a cabo mediante arrastre en corriente de vapor de agua o por expresión del pericarpio en el caso de los cítricos.

Monoterpeno: Un tipo de molécula natural que forma parte de los aceites esenciales de muchas plantas y tiene aromas intensos, como los de la menta, el pino o los cítricos.

Epóxido: Molécula con un anillo pequeño en su estructura química que incluye oxígeno, lo que la hace muy reactiva y útil en la fabricación de plásticos y químicos.

Material mesoporoso: Material que presenta un tamaño de poro de entre 2 y 50 nanómetros.

Catalizador heterogéneo: Sustancia que, generalmente, acelera la velocidad de reacción y se encuentra en una fase diferente a la fase en la que ocurre la reacción.

Este texto se deriva del proyecto de investigación Transformación de monoterpenos mediante reacciones *one Pot* sobre catalizadores heterogéneos (PRG2022-53000), desarrollado desde el año 2023 por el grupo de investigación Catálisis Ambiental de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Antioquia.