



Variación Estacional en la Composición Química de Resinas y Aceites Esenciales de *Liquidambar styraciflua* de Hidalgo, México

FÁTIMA A. RASGADO-BONILLA¹, RAMÓN MARCOS SOTO-HERNÁNDEZ^{1,3}, VÍCTOR CONDE-MARTÍNEZ¹, HEIKE VIBRANS¹ Y DAVID CIBRIÁN-TOVAR²

Botanical Sciences
94 (2): 331-344, 2016

DOI: 10.17129/botsci.286

Resumen

La resina de *Liquidambar styraciflua* (Altingiaceae) fue colectada en temporada de sequía y lluvia durante 2013, en las comunidades Santa Lucía, Tianguistengo, Xochimilco y Xalapa en el estado de Hidalgo, México. El aceite esencial de la resina se obtuvo por hidrodestilación. Xalapa obtuvo el mejor rendimiento de aceite esencial con 9.3 %, en época de sequía. La resina y el aceite se analizaron por cromatografía en capa fina y cromatografía de gases acoplada a espectrometría de masas, respectivamente. El análisis por cromatografía en capa fina mostró mayor número de compuestos en época de sequía. Se calculó la relación de frentes en ambas temporadas, algunos valores coincidieron con los valores reportados para los ácidos cinámico y benzoico, así como del cinamato de cinamilo. Un total de 52 compuestos fueron encontrados por cromatografía de gases acoplada a espectrometría de masas, los cuales variaron en cada temporada. Los compuestos mayoritarios correspondieron al alcohol dihidro cinámico, estireno, cardeno, alcohol de cinamilo y alfa-pineno. Tres de los compuestos encontrados han sido reportados en el aceite esencial de hojas y tallos de *L. styraciflua*, estos son el beta-mirceno, allo-aromadendreno y gama-cadineno. Los compuestos principales encontrados en los aceites esenciales coinciden entre las diferentes procedencias, por lo que el aprovechamiento comercial del styrax mexicano debe ser viable desde el punto de vista de su composición.

Palabras clave: cromatografía de gases-espectrometría de masas, cromatografía en capa fina, temporada de lluvia, temporada de sequía, Liquidambar.

Seasonal Variation in the Chemical Composition of Resins and Essentials Oils of *Liquidambar styraciflua* from Hidalgo, Mexico

Abstract

The resin of *Liquidambar styraciflua* (Altingiaceae) was collected during the dry and rainy season of 2013, in the communities of Santa Lucia, Tianguistengo, Xochimilco and Xalapa in Hidalgo, Mexico. The essential oil from the resin was obtained by hydro-distillation. Resin samples from Xalapa during the dry season produced the highest amount of essential oil (9.3 %). Resin and oils were analyzed through thin layer chromatography and gas chromatography-mass spectrometry, respectively. The thin layer chromatography analysis showed a higher number of compounds during the dry season. The retardation factors were calculated for both seasons some values agreed with reports for cinnamic and benzoic acids, also for cinnamyl cinnamate. A total of 52 compounds were found by the gas chromatography-mass spectrometry and varied with the season. The major compounds were dihydro cinnamic alcohol, styrene, cardene, cinnamyl alcohol and alpha-pinene. Three of the compounds, namely beta-myrcene, allo-aromadendrene and gamma-cadinene, had been reported only for essential oil from leaves and stem of *L. styraciflua*. The main essential oils coincide between the different sources, so the commercial use of Mexican styrax should be viable from the standpoint of its composition.

Key words: dry season, gas chromatography-mass spectrometry, rainy season, thin layer chromatography, Liquidambar.

¹ Postgrado en Botánica, Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo Estado de México, México

² Departamento de Bosques-División de Ciencias Forestales, Universidad Autónoma Chapingo. Texcoco, Estado de México, México

³ Autor para la correspondencia: msoto@colpos.mx

Liquidambar *styraciflua* L. es un árbol de la familia Altingiaceae nativo de América; en México es una especie característica del bosque húmedo de montaña (Villaseñor, 2010; Gual-Díaz y Rendón-Correa, 2014). Esta especie forestal produce una resina aromática conocida comercialmente como *styrax*, utilizada como fijador y aromatizante en la industria de la perfumería y la cosmética (Vázquez-Yanez *et al.*, 1999; Ciesla, 2002). Otra especie forestal que también produce resina comercial es *Liquidambar orientalis* Mill., cuyo mayor productor es Turquía (Langenheim, 2003). La resina de *L. styraciflua* tiene algunas propiedades medicinales, dentro de las cuales destaca su uso para tratar enfermedades respiratorias (Bolt, 2012). En estudios recientes se menciona su potencial para tratar a futuro, enfermedades como la hipertensión (Ohno *et al.*, 2008). Aunque la resina de liquidámbar posee múltiples propiedades terapéuticas, su uso principal ha sido como componente de cosméticos y sustancias aromáticas. Honduras destaca como principal productor y exportador de América. En este país algunas poblaciones se dedican exclusivamente a la extracción de este exudado vegetal, obteniendo atractivos dividendos anualmente (Reitenstein, 2007; Gutiérrez, 2011).

En México, en el estado de Hidalgo existen grandes rodales donde podemos encontrar esta especie forestal (Monterroso-Rivas 2009; Cibrián-Tovar y Cibrián-Llanderol, 2011). Sin embargo, la extracción de la resina, así como el aceite esencial obtenido de la misma, no se han explotado comercialmente. El alto valor comercial de la resina de *Liquidambar styraciflua* en el mercado internacional (Reitenstein, 2007; Gutiérrez, 2011), la perfila como una opción importante como producto forestal no maderable.

El aprovechamiento sustentable de los recursos forestales no maderables es una alternativa económica para las comunidades humanas que habitan los bosques, además de una opción de preservar la biodiversidad (FAO, 2010, 2011). Actualmente la extracción de la resina de liquidámbar en México es escasa y no existen estudios de su composición química. La información existente describe los compuestos químicos del aceite de la resina de *Liquidambar styraciflua* de Honduras (Fernandez *et al.*, 2005), así como de *L. orientalis* proveniente de Turquía (Chalchat *et al.*, 1994; Gurbuz *et al.*, 2013).

En este trabajo se identificaron compuestos de la resina y del aceite esencial, extraídos a partir de la resina de *Liquidambar styraciflua* de México, obtenidas de dos colectas hechas en enero y en julio (temporada de sequía y lluvia, respectivamente) de 2013, en cuatro comunidades situadas a diferentes altitudes en el estado de Hidalgo, México. El objetivo fue analizar la composición química de las resinas, así como la producción y composición de los aceites esenciales extraídos de éstas, tomando en cuenta la temporada de colecta y el lugar de procedencia, como posibles factores de variación.

Materiales y métodos

Colecta de material vegetal. La producción de resinas en los árboles de *Liquidambar styraciflua* se indujo meses antes a la fecha de colecta por medio de perforaciones y cortes en forma de canoa en la corteza de los árboles. Para la recolección en campo se eligieron los árboles que habían sido perforados y que presentaron abundante resina. Estos árboles están ubicados en Santa Lucía, Tianguistengo, Xochimilco y Xalapa, comunidades localizadas en el estado de Hidalgo. Se colectaron 21 muestras de resina, cada muestra colectada representó un árbol, el número de árboles muestrados fue variable en cada comunidad (Tabla 1). Los árboles seleccionados durante la época de sequía para la recolección de resina, fueron los mismos árboles que se muestraron en época de lluvia. Todos los sitios muestrados se han identificado como zona de bosque húmedo de montaña (Villaseñor, 2010; Gual-Díaz y Rendón-Correa, 2014), nombre con el que se conoce comúnmente en México al bosque de niebla o bosque mesófilo de montaña (Rzedowski, 1978; Toledo, 2009).

Purificación de las resinas. El método que se utilizó para la purificación de las resinas, así como los demás protocolos utilizados en este trabajo fueron desarrollados en el laboratorio de fitoquímica del Colegio de Postgraduados (2013), campus Montecillo, Estado de México. Para la purificación de las resinas, las muestras se extrajeron de manera secuencial con 50 mL de clorometano (J.T Baker®). La primera extracción de cada muestra reposó por 72 h, las siguientes

Tabla 1. Relación de árboles de *Liquidambar styraciflua* muestreados en cada comunidad y municipio de Hidalgo.

Estado	Municipio	Comunidad	Predio	Altitud (m)	Coordinadas	No. Árboles
Hidalgo	Tianguistengo	Matlatenco	Tzacuala y los Amoladeros	1,379	20° 44' 59.5"; 98° 35' 44.1"	10
Hidalgo	Calnali	Santa Lucía	La Ciénega	762	20° 55' 43.2"; 98° 35' 44.1"	3
Hidalgo	Calnali	Tecpaco	Xochimilco	1,398	20° 55' 21.0"; 98° 35' 42.6"	4
Hidalgo	Zacualtipán	Xalapa	Xalapa	1,480	20° 40' 34.1"; 98° 31' 56.7"	4

dos extracciones se dejaron reposar 24 h cada una. Posteriormente, se reunió el volumen total de las extracciones correspondientes a cada muestra y se filtraron con papel filtro (Whatman®) de poro 110 mm, previamente saturado con diclorometano. Despues de la filtración se agregó Na_2SO_4 (J.T Baker®) como agente desecante y nuevamente las muestras se filtraron con ayuda de una bomba de vacío. El solvente fue eliminado de las muestras utilizando un equipo de rota evaporación (Büchi® R-114) con baño María a 30 °C. El residuo semisólido obtenido fue colocado en viales de vidrio, las muestras se almacenaron a 4 °C. Se calculó el peso de resina colectada.

Extracción de aceite esencial. Las muestras de resina obtenidas de los árboles de la misma comunidad y en la misma época de colecta, se mezclaron, fueron pesadas y etiquetadas. Los aceites esenciales fueron extraídos por hidrodestilación de las resinas. Se utilizó un equipo tipo Clevenger por un periodo de 4 h a partir de la ebullición. La emulsión de agua-aceite recuperada fue separada con un embudo de separación. Se hicieron tres extracciones con 50 mL de diclorometano (J.T Baker®). Se eliminó el diclorometano recuperado de las muestras con ayuda del equipo de rota evaporación, con baño María a 30 °C. El aceite obtenido se colocó en frascos de vidrio ámbar de 1 mL, se dejó evaporar el resto del disolvente durante 24 h a temperatura ambiente en una campana de extracción. Posteriormente, se pesó y almacenó a 4 °C hasta el momento de su análisis por CG-EM. El rendimiento de aceite se reporta como porcentaje de aceite esencial obtenido. Este porcentaje se obtuvo multiplicando el peso del aceite libre de solvente por 100 y dividiéndolo entre el peso del material vegetal. Debido a que sólo se hizo un muestreo por cada temporada, no contamos con repeticiones para hacer un análisis estadístico sobre el porcentaje de rendimiento de aceite esencial.

Análisis de resinas por cromatografía en capa fina. La cromatografía en capa fina (CCF) se hizo según el método descrito por Wagner y Blandt (2001) para la determinación de terpenoides y fenil propanoides en aceites esenciales, pero en este caso fue aplicado a las resinas. Se tomaron 5 mg de resina de cada muestra que se disolvieron en 500 μL de diclorometano, con un capilar de vidrio se tomó una porción y se aplicó en las placas cromatográficas. La fase estacionaria consistió en placas de aluminio de 20 × 20 cm cubiertas con gel de sílice 60, con grosor de 0.20 mm (Macherey-Nagel GmbH & Co. KG®). Las placas fueron marcadas con una línea horizontal en cada extremo, la distancia entre ambas líneas fue de 18 cm, correspondiente a la distancia recorrida por el solvente. La aplicación de las muestras se hizo en un extremo de la placa, que sirvió como referencia para el punto de migración de las mismas, la distancia entre muestras fue de 1.0 cm. La fase móvil estuvo formada de una mezcla de tolueno ($\text{C}_6\text{H}_5\text{CH}_3$) y acetato de etilo (AcOEt) ambos de grado analítico J.T. Baker®, en proporción 93:7 v/v, respectivamente. Los cromatogramas se desarrollaron en posición ascendente, dentro de una cámara de vidrio para CCF, saturada con la mezcla de solventes de la fase móvil. Se usó vainillina-ácido sulfúrico (VAS: mezcla de una solución en etanol de vainillina al 1 % y una solución en etanol de ácido sulfúrico al 10 %), como reactivo de derivación en los cromatogramas. Despues de la derivación las placas se colocaron en un horno previamente calentado a 110 °C durante 5-10 min, hasta observar cambio de color en las bandas (compuestos). Los compuestos fueron detectados con luz UV (254 nm) proveniente de una cámara de luz UV especial para CCF. Las bandas más

representativas se identificaron y marcaron. Se calculó la relación de frentes de las bandas (Rf); el Rf se reportó de acuerdo a un intervalo que abarcó desde el menor hasta el mayor valor y de acuerdo a su presencia en la muestra de cada comunidad, para cada época de colecta. Debido a que se identificaron los compuestos químicos en el análisis por CG-EM de los aceites esenciales extraídos de las resinas, no se utilizaron compuestos de referencia en los cromatogramas.

Análisis de la composición química de los aceites esenciales por CG-EM. Las muestras de aceites esenciales se analizaron en un cromatógrafo de gases (CG) Agilent Technologies 6890 Series®, acoplado a un detector de masas (EM) HP 5973. El sistema usó una columna HP-5MS (5 % fenil, 95 % polidimetilsiloxano), con longitud de 30 m × 0.250 mm i.d. y un grosor de película de 0.25 μ m, provisto por J & W Scientific Columns de Agilent Technologies®. El programa de temperatura del horno fue 60-220 °C, con aumento de 1 °C/min, la temperatura se mantuvo en 220 °C durante 3 min. La temperatura del inyector fue de 250 °C, el volumen de inyección fue 1 μ L (95:5) y la presión de entrada de 7.96 psi.

El gas portador fue He, la velocidad lineal (\bar{u}): 1 mL/min, el modo de inyección utilizado fue Splitless. La temperatura de interfase fue 280 °C. Para el detector de masas la temperatura de ionización fue 230 °C. Los compuestos se identificaron por comparación de su espectro de masas con la base de datos del GC-MS (biblioteca NIST versión 2002) y por el cálculo del índice de Kovats (IK). Los índices de Kovats se calcularon a partir de la fórmula de Van den Dool y Kratz (Hübschmann, 2009).

$$Ik=100 \cdot C + 100, ,t'-R..x-, ,t'-R..c-, ,t'-R..c+1-, ,t'-R..c.$$

Donde C es el número de carbonos en el compuesto, „ t' -R..x es el tiempo de retención corregido de los compuestos, el cual se calculó usando un compuesto de bajo tiempo de retención (tolueno), el tiempo de retención de este compuesto se restó al tiempo de retención de los n -alcanos y picos de muestra, „ t' -R..c+1 es el tiempo de retención corregido del alcano después del pico del compuesto de interés, y „ t' -R..c es el tiempo de retención corregido del alcano antes del mismo pico (Hübschmann, 2009). Los tiempos de retención se obtuvieron por inyección de una mezcla de n -alcanos (C8-C40 carbonos Supelco Analitical®), inyectados en las mismas condiciones que las muestras analizadas. Las muestras fueron analizadas por duplicado.

Resultados

Análisis de resinas por cromatografía en capa fina. En este análisis se reportan las bandas más sobresalientes de todas las comunidades, de acuerdo a cada temporada de colecta.

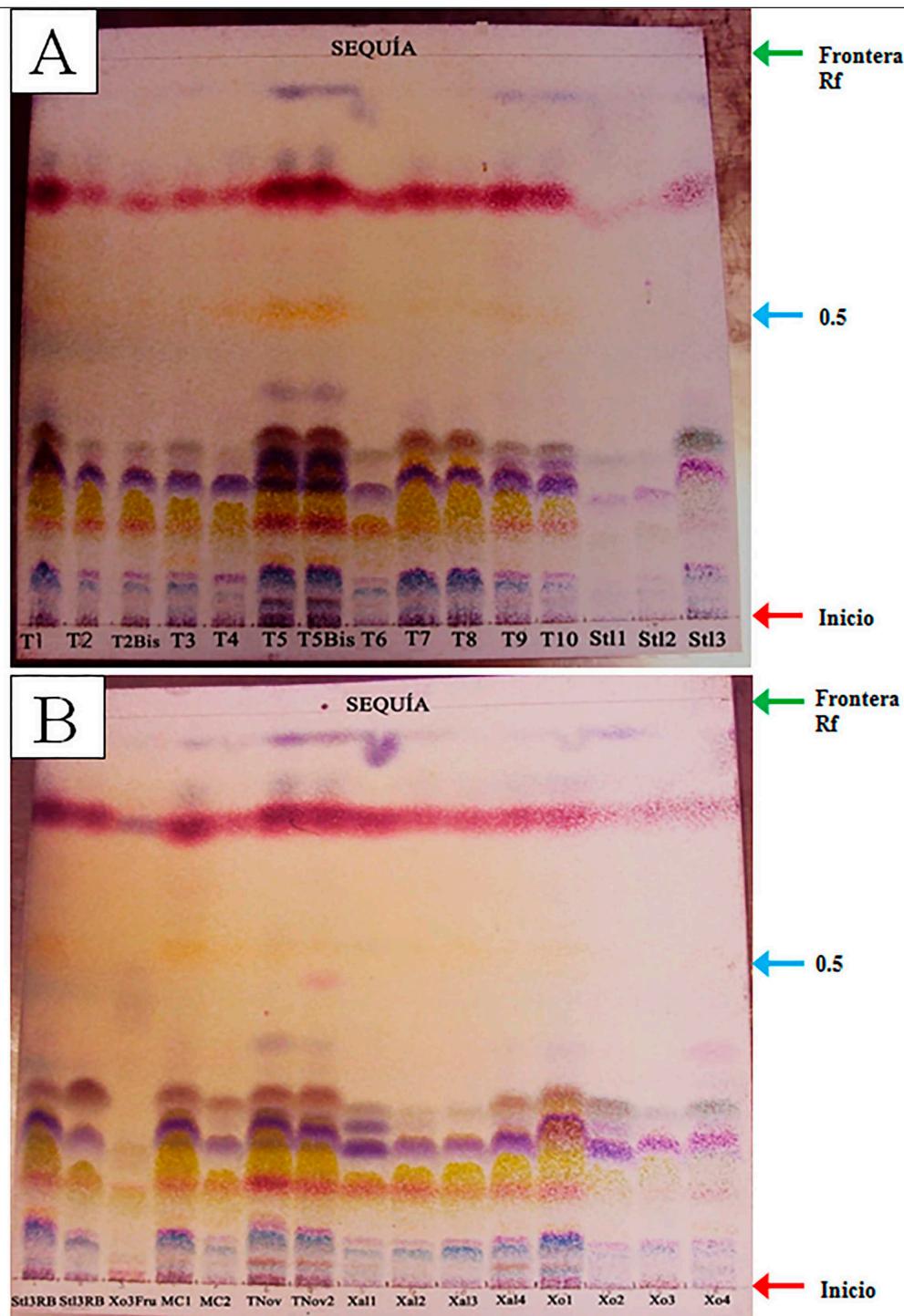
Los cromatogramas mostraron mayor número de bandas (compuestos) en época de sequía (Figura 1) comparado con la época de lluvia (Figura 2), estos resultados se observaron en las muestras de resina de todas las comunidades. En época de lluvia las resinas provenientes de la misma comunidad, tuvieron mayor similitud en el número y color de bandas con respecto a las bandas observadas en sequía (Tabla 2).

En sequía se observaron tres bandas en todas las muestras de resina, que corresponden a bandas en color púrpura (Rf entre 0.001-0.2), morado (Rf entre 0.2-0.3) y magenta (Rf entre 0.65-0.7). En la temporada de lluvia se observaron cinco bandas sobresalientes en todas las comunidades, las bandas corresponden a los colores azul (Rf entre 0.08-0.09), lila (Rf entre 0.09-0.12), morado (Rf entre 0.30-0.34), gris (Rf entre 0.21-0.24) y magenta (Rf entre 0.78-0.87).

Rendimiento de aceites esenciales. El porcentaje de rendimiento de aceite esencial obtenido no fue proporcional a la cantidad de resina utilizada en cada extracción. Así mismo, el número de muestras de resina destiladas por comunidad fue variable, por lo que también se esperaba variabilidad en el rendimiento de aceites esenciales entre las comunidades y en ambas épocas de colecta, así como se muestra en los resultados de la Tabla 3.

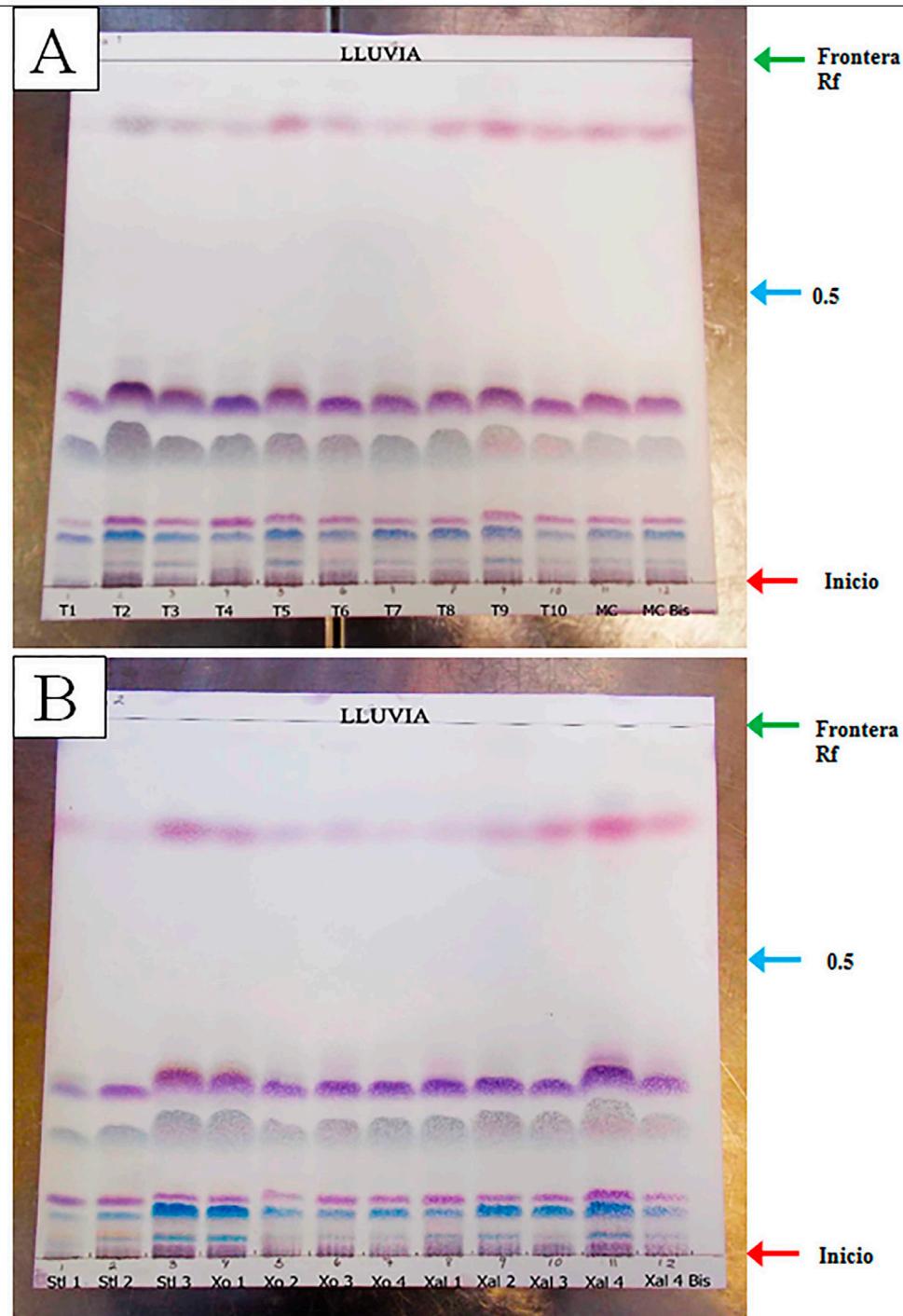
No se contó con un análisis estadístico del rendimiento de los aceites esenciales, debido a que se unió en una sola muestra el aceite esencial obtenido en cada comunidad por cada época de colecta. Sin embargo, los resultados mostraron que aparentemente en la época de lluvia se

Figura 1. Cromatograma de resinas de *Liquidambar styraciflua*, colectadas en época de sequía. Las muestras de resina de cada comunidad están colocadas según el orden de aparición. A) T1-T10, Tianguistengo y Stl1-Stl3 Santa Lucía. B) Xal1-Xal4, Xalapa. Xo1-Xo4, Xochimilco.



puede obtener mayor producción de aceite esencial en casi todas las comunidades. En contraste, Xalapa mostró el porcentaje de rendimiento de aceite esencial más alto en época de sequía (9.34 %) con respecto a la época de lluvia (7.06 %) y comparado con los porcentajes obtenidos por las otras comunidades en ambas temporadas. En Santa Lucía se observó el menor porcentaje de rendimiento de aceite en época de sequía (0.03 %); en época de lluvia no se extrajo aceite esencial. La resina colectada en esta época no fue suficiente para este proceso. Tianguistengo mostró casi el doble del porcentaje de rendimiento de aceite esencial en época de lluvia 1.60 %, con respecto a la época de sequía 0.85 %. Xochimilco produjo más aceite esencial en temporada de lluvia 1.66 %, que en sequía 0.22 %.

Figura 2. Cromatograma de resinas de *Liquidambar styraciflua* colectadas en época de lluvia. Las muestras de resina de cada comunidad, están colocadas según el orden de aparición. A) T1-T10, Tianguistengo. B) Stl1-Stl3, Santa Lucía; Xo1-Xo4, Xochimilco; Xal1-Xal4, Xalapa.



Compuestos encontrados en los aceites esenciales. El análisis por CG-EM mostró un total de 52 compuestos en los aceites esenciales de resinas de *Liquidambar styraciflua* (Tabla 4). El número de compuestos y la concentración de los mismos fue variable en cada comunidad y en cada época de colecta. En los compuestos encontrados sólo se tomaron en cuenta los compuestos más abundantes de cada sitio, los cuales representan el 52.13, 72.46, 88.0 y 67.77 % del porcentaje total de compuestos detectados en Santa Lucía, Tianguistengo, Xochimilco y Xalapa, respectivamente. La parte complementaria al 100 % estuvo formada por compuestos trazas, que se consideraron así por presentar menos del 0.10 % y no se reportan en este trabajo. Santa Lucía fue la única comunidad cuyo aceite esencial sólo fue analizado en época de sequía, debido a la falta de material para el análisis en época de lluvia.

Tabla 2. Bandas observadas en la cromatografía en capa fina de muestras de resina de *Liquidambar styraciflua*, colectadas en época de sequía y lluvia. Los colores de las bandas se obtuvieron por el revelado con vanillina-ácido sulfúrico. Los colores presentes en la Tabla son los observados en los cromatogramas de las Figuras 1 y 2.

Muestra	Sequía		Lluvia	
	Colores de banda	Rf	Colores de banda	Rf
Stl1	Púrpura, azul, morado, magenta, gris, azul violeta, lila	0.006, 0.04, 0.20, 0.70, 0.26, 0.82 y 0.91	Púrpura, azul, lila, morado, gris, magenta y amarillo	0.02, 0.08, 0.10, 0.32, 0.22, 0.78 y 0.04
Stl2	Púrpura, azul, morado y magenta	0.006, 0.04, 0.20 y 0.70	Púrpura, azul, lila, morado, gris, magenta y celeste	0.02, 0.08, 0.10, 0.32, 0.22, 0.78 y 0.03
Stl3	Púrpura, azul, morado, magenta, verde olivo, lila	0.006, 0.04, 0.20, 0.70, 0.20 y 0.91	Púrpura, azul, lila, morado, gris, magenta y celeste	0.02, 0.08, 0.10, 0.32, 0.22, 0.78 y 0.03
T1	Púrpura, verde olivo, morado, magenta, azul, azul violeta, lila	0.01, 0.20, 0.22, 0.72, 0.07, 0.80 y 0.92	Púrpura, celeste, azul, lila, morado, gris y magenta	0.01, 0.04, 0.08, 0.11, 0.33, 0.24 y 0.87
T2	Púrpura, verde olivo, morado, magenta, azul, gris, azul violeta	0.01, 0.20, 0.22, 0.72, 0.07, 0.80	Púrpura, celeste, azul, lila, morado, gris y magenta	0.01, 0.04, 0.08, 0.11, 0.33, 0.24 y 0.87
T3	Púrpura, verde olivo, morado, magenta, azul, gris, lila	0.01, 0.20, 0.22, 0.72, 0.07 y 0.92	Púrpura, celeste, azul, lila, morado, gris y magenta	0.01, 0.04, 0.08, 0.11, 0.33, 0.24 y 0.87
T4	Púrpura, verde olivo, morado, magenta, gris, azul violeta	0.01, 0.20, 0.22, 0.72, 0.28, 0.80	Púrpura, celeste, azul, lila, morado, gris y magenta	0.01, 0.04, 0.08, 0.11, 0.33, 0.24 y 0.87
T5	Púrpura, verde olivo, morado, magenta, azul, azul violeta, lila	0.01, 0.20, 0.22, 0.72, 0.07, 0.80 y 0.92	Púrpura, celeste, azul, lila, morado, gris y magenta	0.01, 0.04, 0.08, 0.11, 0.33, 0.24 y 0.87
T6	Púrpura, verde olivo, morado, magenta, azul, gris, azul violeta, lila	0.01, 0.20, 0.22, 0.72, 0.07, 0.28, 0.80 y 0.92	Púrpura, celeste, azul, lila, morado, gris y magenta	0.01, 0.04, 0.08, 0.11, 0.33, 0.24 y 0.87
T7	Púrpura, verde olivo, morado, magenta, azul, azul violeta, lila	0.01, 0.20, 0.22, 0.72, 0.07, 0.80 y 0.92	Púrpura, celeste, azul, lila, morado, gris y magenta	0.01, 0.04, 0.08, 0.11, 0.33, 0.24 y 0.87
T8	Púrpura, verde olivo, morado, magenta, azul, azul violeta	0.01, 0.20, 0.22, 0.72, 0.07 y 0.80	Púrpura, celeste, azul, lila, morado, gris y magenta	0.01, 0.04, 0.08, 0.11, 0.33, 0.24 y 0.87
T9	Púrpura, verde olivo, morado, magenta, azul, gris, azul violeta	0.01, 0.20, 0.22, 0.72, 0.07, 0.28 y 0.80	Púrpura, celeste, azul, lila, morado, gris y magenta	0.01, 0.04, 0.08, 0.11, 0.33, 0.24 y 0.87
T10	Púrpura, verde olivo, morado, magenta, azul, gris, azul violeta, lila	0.01, 0.20, 0.22, 0.72, 0.07, 0.28, 0.80 y 0.92	Púrpura, celeste, azul, lila, morado, gris y magenta	0.01, 0.04, 0.08, 0.11, 0.33, 0.24 y 0.87
Xal1	Púrpura, azul, verde olivo, morado, magenta, gris, violeta	0.01, 0.08, 0.19, 0.24, 0.7, 0.3 y 0.94	Púrpura, celeste, azul, lila, morado, gris y magenta	0.002, 0.04, 0.08, 0.10, 0.31, 0.23 y 0.79
Xal2	Púrpura, azul, verde olivo, morado, magenta, gris, violeta	0.01, 0.08, 0.19, 0.24, 0.7, 0.3 y 0.94	Púrpura, celeste, azul, lila, morado, gris y magenta	0.002, 0.04, 0.08, 0.10, 0.31, 0.23 y 0.79
Xal3	Púrpura, azul, verde olivo, morado, magenta, gris	0.01, 0.08, 0.19, 0.24, 0.7, 0.3	Púrpura, celeste, azul, lila, morado, gris y magenta	0.002, 0.04, 0.08, 0.10, 0.31, 0.23 y 0.79
Xal4	Púrpura, azul, verde olivo, morado, magenta, azul violeta, violeta	0.01, 0.08, 0.19, 0.24, 0.7, 0.86 y 0.94	Púrpura, celeste, azul, lila, morado, gris y magenta	0.002, 0.04, 0.08, 0.10, 0.31, 0.23 y 0.79
Xo1	Púrpura, azul, verde olivo, morado, magenta, azul violeta	0.001, 0.08, 0.18, 0.23, 0.7 y 0.8	Púrpura, celeste, azul, lila, morado, gris y magenta	0.02, 0.03, 0.08, 0.10, 0.30, 0.22 y 0.78
Xo2	Púrpura, azul, verde olivo, morado y magenta y azul violeta	0.001, 0.08, 0.18, 0.23, 0.7 y 0.8	Púrpura, celeste, azul, lila, morado, gris y magenta	0.02, 0.03, 0.08, 0.10, 0.30, 0.22 y 0.78
Xo3	Púrpura, azul, verde olivo, morado y magenta	0.001, 0.08, 0.18, 0.23 y 0.7	Púrpura, celeste, azul, lila, morado, gris y magenta	0.02, 0.03, 0.08, 0.10, 0.30, 0.22 y 0.78
Xo4	Púrpura, azul, verde olivo, morado y magenta	0.001, 0.08, 0.18, 0.23 y 0.7	Púrpura, celeste, azul, lila, morado, gris y magenta	0.02, 0.03, 0.08, 0.10, 0.30, 0.22 y 0.78

En todas las comunidades se observó la presencia del alcohol bencílico, acetofenona y delta-cadineno y en las dos temporadas de colecta, cada uno de ellos presentó diferentes porcentajes.

Los compuestos que mostraron mayor porcentaje en los aceites esenciales de las comunidades analizadas fueron alcohol dihidro cinámico, estireno, cardeno, alcohol de cinamilo y alfa-pine-

Tabla 3. Rendimiento de aceites esenciales obtenidos de resinas de *Liquidambar styraciflua* colectadas a diferentes altitudes, en dos épocas del año. **TM (g):** Tamaño de la muestra en gramos; **RA (g):** Rendimiento de aceite en gramos; **RA (%):** Porcentaje de rendimiento de aceite. El número de árboles muestreados por comunidad puede observarse en la Tabla 1.

SEQUÍA				LLUVIA			
Altitud (m)	Muestra	TM (g)	RA (g)	RA (%)	TM (g)	RA (g)	RA (%)
762	Santa Lucía	4.80	0.002	0.03	0.00	0.00	0.00
1,379	Tianguistengo	33.94	0.29	0.85	48.66	0.78	1.60
1,398	Xochimilco	22.74	0.05	0.22	8.89	0.14	1.66
1,480	Xalapa	9.11	0.85	9.34	19.00	1.34	7.06

no. El alcohol dihidro cinámico se identificó en Tianguistengo, Xochimilco y Xalapa en ambas épocas de colecta. En época de lluvia se observó el mayor porcentaje en las tres comunidades y Tianguistengo presentó el porcentaje más alto en esta temporada. Santa Lucía no presentó este compuesto.

La proporción de estireno fue más abundante en Xalapa en las dos épocas de colecta, comparado con los porcentajes que presentaron las otras comunidades. En época de sequía Xalapa presentó mayor porcentaje con respecto a la época de lluvia. Xochimilco presentó estireno sólo en época de lluvia.

El cardeno sólo se detectó en Xochimilco y fue exclusivo de la época de sequía. El alcohol de cinamilo se observó en Santa Lucía y Tianguistengo durante la época de sequía. El alfa-pineno se presentó en las dos temporadas, pero fue más abundante en la época de lluvia en Tianguistengo, Xochimilco y Xalapa. En la época de sequía sólo se detectó en Tianguistengo y en Xochimilco.

Los compuestos con menor porcentaje observado en los aceites esenciales de las comunidades fueron benzaldehído, alcohol bencílico, cinamaldehído, mirtenol, 4-etil-fenol, alfa-cubebeno, beta-cubebeno, beta-cariofileno, acetato de cinamilo, gama-muruleno, epi-bicicloses-quifelandreno, cadinen-1,4-dieno, óxido de cariofileno, alfa-copaeno, cinamato de bencilo y cinamato de cinamilo.

Se encontraron compuestos que fueron exclusivos para cada comunidad. Los compuestos encontrados en Santa Lucía en época de sequía fueron alcanfor, ácido benzoico, ácido cinámico, ácido dihidro cinámico, cinamato de etilo, ácido trans cinámico, azuleno, ácido ftálico, himecromona, alfa-metil-alfa fenilsuccinimida y ácido adípico.

Tianguistengo en época de lluvia presentó tres compuestos, alcohol cinámico, cinamato de bencilo y alfa-canfolenal. El alfa-canfolenal también estuvo presente en época de sequía en esta comunidad. El gama-cadineno también fue un compuesto exclusivo de Tianguistengo, encontrado en época de sequía. Xochimilco en época de sequía presentó al cardeno, beta-mirceno, pinocarveol, acetato de dihidro cinamilo y allo-aromadendreno. En época de lluvia Xochimilco también presentó beta-mirceno y allo-aromadendreno, además del silvestreno, gama-terpineno, linalool y ácido hidrocinámico. Xalapa en época de sequía sólo presentó al alilbenceno y en época de lluvia presentó dos compuestos, el fenil ciclopropano y ciclozativeno.

Discusión

Este trabajo es el primer acercamiento al estudio de los metabolitos presentes en resinas y aceites esenciales de resinas de *Liquidambar styraciflua* en México, así mismo, es la primera contribución sobre el análisis del efecto estacional, en la variación de los compuestos químicos de la fracción volátil de resinas de esta especie.

Los resultados obtenidos del análisis por CCF de resinas de *Liquidambar styraciflua* mostraron notables diferencias y gran variabilidad en la composición química de las muestras, en las dos temporadas de colecta. En la temporada de sequía se observó que los compuestos químicos fueron más variables y más abundantes que los compuestos observados en la temporada de lluvia.

Aunque no se emplearon compuestos de referencia para el análisis de resinas, debido a que se analizó la fracción volátil por CG-EM, se encontró que algunas bandas observadas en las dos

Tabla 4. Compuestos de aceites esenciales extraídos de resinas de *Liquidambar styraciflua*, en dos épocas de colecta, provenientes de cuatro comunidades de Hidalgo.

COMPUESTO	TR	IK	QUAL	% del total de aceite ^a ± DS (Sequía)				% del total de aceite ^a ± DS (Lluvia)			
				Sta. Lucía	Tianguistengo	Xochimilco	Xalapa	Sta. Lucía	Tianguistengo	Xochimilco	Xalapa
Estireno	5.7	837	97	0.36 ± 0.06	1.26 ± 0.69	-	30.90 ± 0.34	~	1.74 ± 0.05	16.27 ± 0.6	22.04 ± 0.13
Cardeno	5.8	839	97	-	-	25.50 ± 2.44	-	~	-	-	-
Alfa-Pineno	6.9	1,055	96	-	0.45 ± 0.23	5.20 ± 0.28	-	~	0.62 ± 0.01	20.10 ± 0.6	8.47 ± 0.21
Alilbenceno	7.6	965	96	-	-	-	1.42 ± 0.07	~	-	-	-
Fenil ciclopropano	7.6	965	95	-	-	-	-	~	-	-	3.60 ± 0.07
Benzaldehído	8.6	780	96	0.09 ± 0.01	0.62 ± 0.31	0.60 ± 0.01	-	~	0.82 ± 0.002	-	-
Beta-Pineno	8.9	1,083	96	-	-	1.40 ± 0.04	-	~	-	4.60 ± 0.04	1.50 ± 0.05
Beta-Mirceno	9.7	1,096	90	-	-	0.20 ± 0.01	-	~	-	1.0 ± 0.02	-
Silvestreno	11.9	1,028	90	-	-	-	-	~	-	0.70 ± 0.02	-
Fenol	13.5	651	95	1.49 ± 0.16	0.45 ± 0.21	0.2 ± 0.01	-	~	0.57 ± 0.01	0.30 ± 0.01	1.20 ± 0.01
Gama-Terpineno	14	1,057	90	-	-	-	-	~	-	0.10 ± 0.01	-
Alcohol bencílico	14.6	767	96	1.75 ± 0.40	0.61 ± 0.23	0.50 ± 0.01	0.58 ± 0.01	~	0.89 ± 0.01	0.40 ± 0.03	0.04 ± 0.03
Acetofenona	15.6	880	94	3.60 ± 0.02	5.62 ± 2.69	14.30 ± 0.08	1.60 ± 0.02	~	7.79 ± 0.19	3.80 ± 0.1	4.10 ± 0.05
Alcohol-alfa-metil bencílico	16	890	96	2.16 ± 0.08	2.0 ± 0.83	-	1.20 ± 0.01	~	2.81 ± 0.08	2.30 ± 0.1	2.80 ± 0.04
Linalool	18.4	1,013	87	-	-	-	-	~	-	0.20 ± 0.01	-
Alfa-Canfolenal	20	1,030	88	-	0.16 ± 0.08	-	-	~	0.21 ± 0.01	-	-
Pinocarveol	21.5	1,046	93	-	-	0.30 ± 0.01	-	~	-	-	-
Alcanfor	21.5	1,046	98	1.03 ± 0.10	-	-	-	~	-	-	-
Mirtenol	28	1,010	92	-	0.71 ± 0.42	0.50 ± 0.03	-	~	-	-	0.7 ± 0.01
4-etil-fenol	31	837	94	-	-	5.20 ± 0.11	4.50 ± 0.09	~	6.24 ± 0.04	3.20 ± 0.2	3.30 ± 0.01
Alcohol dihidro-cinámico	34.2	966	96	-	35.24 ± 17.06	11.80 ± 0.38	22.02 ± 0.45	~	43.01 ± 0.59	13.2 ± 0.9	26.40 ± 0.11
Cinamaldehído	37.2	993	94	-	1.69 ± 1.29	0.4 ± 0.04	-	~	2.52 ± 0.01	0.60 ± 0.3	0.40 ± 0.06
Ácido benzoico	40.7	723	90	2.01 ± 0.15	-	-	-	~	-	-	-
Alfa-Cubebeno	43.2	1,544	96	-	0.73 ± 0.39	3.80 ± 0.16	-	~	1.41 ± 0.06	2.90 ± 0.2	-
Alcohol cinámico	44.16	951	94	-	-	-	-	~	8.50 ± 0.07	-	-
Ciclozativeno	44.63	1,555	90	-	-	-	-	~	-	-	0.50 ± 0.06
Ácido hidrocinámico	44.7	1,155	83	-	-	-	-	~	-	1.0 ± 0.01	-
Alcohol de cinamilo	45.9	967	94	22.80 ± 0.45	6.46 ± 3.18	-	-	~	-	-	-
Acetato de dihidro-cinamilo	47.24	1,177	90	-	-	0.30 ± 0.00	-	~	-	-	-
Beta-Cubebeno	50.1	1,106	97	-	0.51 ± 0.33	3.20 ± 0.13	-	~	-	1.70 ± 0.03	1.10 ± 0.04
Ácido cinámico	49.7	1,198	96	0.24 ± 0.02	-	-	-	~	-	-	-
Beta-Cariofileno	51.2	1,526	99	-	0.33 ± 0.15	5.10 ± 0.18	-	~	0.43 ± 0.01	3.20 ± 0.04	2.70 ± 0.04
Gama-Cadineno	54.7	1,541	94	-	1.54 ± 0.04	-	-	~	-	-	-
Ácido dihidrocinámico	54.8	942	89	0.59 ± 0.02	-	-	-	~	-	-	-
Allo-aromadendreno	55.8	1,550	98	-	-	0.20 ± 0.01	-	~	-	0.20 ± 0.01	-
Acetato de cinamilo	57.1	1,158	93	0.22 ± 0.01	-	0.20 ± 0.01	-	~	-	-	-
Gama-muroleno	58.4	1,560	98	0.25 ± 0.01	1.09 ± 0.27	2.10 ± 0.07	-	~	1.27 ± 0.01	1.70 ± 0.01	1.60 ± 0.03
Cinamato de etilo	59.7	1,184	96	0.71 ± 0.01	-	-	-	~	-	-	-
(+)-Epi-biciclosesquifelandreno	59.7	1,584	95	-	0.39 ± 0.08	0.60 ± 0.04	-	~	-	0.60 ± 0.01	-
Delta-Cadineno	64	1,528	97	0.41 ± 0.00	1.56 ± 0.64	3.20 ± 0.15	2.80 ± 0.32	~	2.09 ± 0.03	2.60 ± 0.00	2.60 ± 0.04
Cadineno-1,4-dieno	65	1,531	98	-	0.23 ± 0.05	0.50 ± 0.05	-	~	0.27 ± 0.01	0.3 ± 0.02	-
Ácido trans-cinámico	67	949	98	0.47 ± 0.04	-	-	-	~	-	-	-
Óxido de cariofileno	70.4	1,578	89	0.27 ± 0.01	-	0.50 ± 0.04	-	~	-	0.40 ± 0.02	-
Azuleno	76.8	1,536	83	1.36 ± 0.04	-	-	-	~	-	-	-
Alfa-Copaeno	79.1	1,556	95	3.06 ± 0.17	1.68 ± 0.69	2.20 ± 0.15	2.70 ± 0.35	~	2.18 ± 0.08	1.80 ± 2.1	-
Ácido ftálico	111.2	1,671	95	0.27 ± 0.04	-	-	-	~	-	-	-
Cinamato de bencilo	124	1,611	99	0.61 ± 0.10	-	-	-	~	0.13 ± 0.02	-	-
Himecromona	129.9	1,078	96	3.0 ± 0.50	-	-	-	~	-	-	-
Alfa-metil-alfa-fenilsuccinimida	142.3	1,263	72	1.45 ± 0.23	-	-	-	~	-	-	-
Ácido adípico	149	2,207	96	1.0 ± 0.11	-	-	-	~	-	-	-
Cinamato de cinamilo	152	1,640	88	3.0 ± 0.50	9.14 ± 9.11	0.90 ± 0.36	-	~	2.36 ± 0.39	0.60 ± 0.25	-

^a El porcentaje de composición en los aceites es el promedio de dos análisis. La identificación de los compuestos se basó en los datos del espectro de masas según la biblioteca NIST versión 2002. Para la validación de los compuestos se calculó el índice de Kovats, a partir de una serie de *n*-alcanos (Supelco Analytical®) de C8-C40 carbonos. **TR** = Tiempo de retención; **QUAL** = Indica el porcentaje de confiabilidad en la identificación del compuesto; **IK** = Índice de Kovats; **DS** = Desviación estándar. El guion indica que el compuesto no está presente en el aceite esencial. La tilde indica que el aceite esencial para la época de lluvia en la comunidad de Santa Lucía no se analizó.

Tabla 5. Compuestos de referencia utilizados en CCF por Wagner y Bladt (2001), comparados con las bandas y Rf de resinas de *Liquidambar styraciflua* de Hidalgo.

Compuesto de referencia	Intervalo de Rf	Banda con la que coincide	Intervalo de Rf de la banda que coincide
Ácido cinámico-ácido benzoico	0.05-0.1	Púrpura	0.001-0.2
Cinamato de cinamilo-cinamato de propilo	0.25-0.3	Gris	0.25-0.3
Benzoato de bencilo-benzoato de cinamilo	0.7-0.8	Azul-violeta	0.7-0.8

épocas de colecta concuerdan con bandas y valores de Rf de compuestos de referencia (Tabla 5) utilizados por Wagner y Bladt (2001), quienes manejaron las mismas condiciones de la fase móvil y la fase estacionaria en CCF que las usadas en el presente trabajo. Estos autores analizaron algunos tipos de exudados como el bálsamo del Perú (*Myroxylon pereirae* (Royle) Klotzsch), el bálsamo de Tolú (*M. balsamum* (L.) Harms), el benjuí de Sumatra (*Styrax benzoin* Dryand.) y el benjuí de Siam (*S. tonkinensis* (Pierre) Craib ex Hartwich). Para el análisis utilizaron como compuestos de referencia el ácido cinámico, ácido benzoico, cinamato de cinamilo, cinamato de propilo, benzoato de bencilo y benzoato de cinamilo.

El análisis por CG-EM de los aceites esenciales de las resinas de *Liquidambar styraciflua* de Hidalgo, demostró la presencia de algunos compuestos asociados a las resinas en el análisis por CCF. Se corroboró la presencia del ácido cinámico y ácido benzoico en la muestra de Santa Lucía de la época de sequía. Así mismo, el cinamato de cinamilo también fue identificado en los aceites esenciales de Santa Lucía, Tianguistengo y Xochimilco en las dos épocas de colecta.

Existen pocos estudios sobre el análisis por CCF de resinas, oleoresinas y bálsamos (Matuszewska y John, 2004; Paul *et al.*, 2012). De esos estudios ninguno toma en cuenta la estacionalidad como una causa de variación en su composición química. De acuerdo con nuestros resultados, la estacionalidad parece tener influencia en la composición química de las resinas.

El rendimiento de aceites esenciales de las resinas mostró diferencias entre las comunidades en las dos temporadas de colecta. En general la temporada de lluvia fue la época del año en la que se obtuvo mayor porcentaje de rendimiento de resinas y aceites esenciales, como se evidenció en la mayoría de las comunidades estudiadas.

Algunos porcentajes de rendimiento de aceites esenciales presentados en este estudio (Xalapa y Tianguistengo), fueron mayores a los reportados en la literatura (0.8% para *Liquidambar styraciflua* y 0.6 % para *L. orientalis*, Fernandez *et al.*, 2005; 0.5-1% para *L. orientalis*, Parry, 1921). Estos resultados podrían representar una ventaja comercial, con respecto a los aceites obtenidos de resinas de Honduras y Turquía.

Los índices más altos de producción en aceites esenciales, se han asociado a especies vegetales que producen secreciones o exudados de tipo resinoso. Estas especies pueden presentar rendimientos desde 30 - 70 % de aceite esencial (Başer y Demirci, 2007; Schmidt, 2010). En las plantas es muy común encontrar variabilidad en el rendimiento de aceites esenciales. Las diferencias están determinadas por caracteres genéticos de cada especie y por condiciones ambientales en el desarrollo (Langenheim, 2003; Schmidt, 2010). Los factores ambientales como la precipitación, el tipo de suelo, la temperatura y el ataque de patógenos o herbívoros, influyen en el aumento o disminución de la producción de aceites esenciales en las plantas (Llusia y Peñuelas, 2000; Schmidt, 2010).

Los datos confirman que el contenido de aceites esenciales en las plantas puede variar de acuerdo a las condiciones ambientales (Langenheim, 2003). El rendimiento en la producción de aceites es variable, que incluso puede llegar a cambiar en un mismo individuo, así como de un individuo a otro en la misma población, e incluso entre poblaciones (Langenheim, 2003; Schmidt, 2010), como se observó en las comunidades de Hidalgo. En las comunidades estudiadas del bosque húmedo montaña se observaron diferencias ambientales, resultado de las diferencias en la precipitación anual, tipo de suelo, clima, entre otras (INEGI, 2009a, b, c). Los bosques de *Liquidambar styraciflua* de Honduras son un ejemplo de que las condiciones de precipitación influyen en la producción de resina, ya que durante los meses de lluvia se obtiene la mayor producción (Reitzenstein, 2007). Sin embargo, no hay estudios que muestren que el incremento

de la resina en la temporada de lluvia, tenga un efecto sobre la cantidad producida de aceite esencial extraído de la misma.

El análisis por CG-EM de las resinas de Hidalgo mostró una gran variedad de compuestos con porcentajes diferentes. Algunos compuestos se presentaron en todas las comunidades y en las dos temporadas de colecta, otros sólo en alguna comunidad o temporada. La CG-EM demostró la presencia de alrededor de 20 compuestos que han sido reportados en aceites esenciales extraídos de resinas, hoja y tallo del género *Liquidambar* (Chalchat *et al.*, 1994; Fernandez *et al.*, 2005; Gurbuz *et al.*, 2013), estos compuestos pueden observarse en la Tabla 6.

El beta-mirceno y allo-aromadendreno observados en Xochimilco y el gama-cadineno en Tianguistengo (todos observados en época de sequía), sólo han sido reportados en el aceite esencial extraído de hojas y tallos de *Liquidambar styraciflua* (Wyllie y Brophy, 1989; El-Readi *et al.*, 2013), de colectas hechas en las cuatro estaciones del año.

Los resultados sugieren la presencia del alcohol dihidrocinámico, cardeno, himecromona (cumarina), alfa-metil-alfa-fenilsuccinimida (imida) y ácido ftálico, en algunas de las muestras analizadas. Sin embargo, con los estudios que se realizaron no es posible confirmar la presencia de estos compuestos como parte de la fracción volátil de las resinas, debido a que su presencia podría atribuirse a la contaminación durante la recolección, tratamiento y procesamiento de las muestras. Estos compuestos no se han reportado como parte de los aceites esenciales de *Liquidambar styraciflua* (Chalchat *et al.*, 1994; Fernandez *et al.*, 2005). Un caso particular es el

Tabla 6. Compuestos identificados en aceites esenciales extraídos de resina, hoja y tallo de *Liquidambar styraciflua* y de *L. orientalis*, provenientes de varios países. El guion indica la ausencia del compuesto en la muestra. tr: compuesto traza < 0.1%. *Resultados de *L. styraciflua* del presente estudio. **Los datos corresponden a la temporada de verano, en hoja y tallo. a: *L. styraciflua*; b: *L. orientalis*. 1: Fernandez *et al.*, 2005; 2: Chalchat *et al.*, 1994; 3: Gurbuz *et al.*, 2013; 4: Wyllie y Brophy, 1989; 5: El-Readi *et al.*, 2013.

COMPUESTO	% del total de aceite de resina					% del total de aceite de hoja		% del total de Aceite de tallo	
	México a*	Honduras a, 1	Honduras a, 2	Turquía b, 1	Turquía b, 3	Australia a, 4	Egipto a**, 5	Egipto a**, 5	
Estireno	30.9	30.9	1.8	70.4	81.9	-	-	-	
Alfa-pineno	20.1	19.6	-	19	3.5	18	26.17	11.08	
Benzaldehído	0.82	0.6	-	tr	0.1	-	-	-	
Beta-pineno	4.6	4.1	0.2	4.3	0.6	1.4	10.06	5.58	
Beta-mirceno	1	Tr	-	0.4	-	0.5	3.97	2.38	
Gama-terpineno	0.1	0.1	-	0.1	-	8.9	0.48	0.61	
Alcohol bencílico	1.75	-	-	-	0.1	-	-	-	
Acetofenona	14.3	3.2	0.2	0.2	0.3	-	-	-	
Linalool	0.2	-	-	-	Tr	-	-	-	
Pinocarveol	0.3	-	-	tr	-	-	-	-	
Mirtenol	0.71	0.1	-	tr	-	-	-	Tr	
4-etil-fenol	6.24	-	-	-	1.9	-	-	-	
Alcohol dihidro cinámico	43.01	-	-	-	3.4	-	-	-	
Cinamaldehído	2.52	Tr	-	tr	0.2	-	-	-	
Alfa-cubebeno	3.8	2.1	0.2	tr	-	-	-	-	
Alcohol cinámico	8.5	0.9	4.1	0.3	-	-	-	-	
Alcohol de cinamilo	22.8	-	-	-	6.9	-	-	-	
Beta-cariofileno	5.1	20.2	1.8	0.2	-	1.3	2.51	5.52	
Gama-cadineno	1.54	-	-	-	-	0.4	2.22	3.13	
Allo-aromadendreno	0.2	-	-	-	-	0.2	0.75	2.24	
Acetato de cinamilo	0.22	Tr	0.1	tr	Tr	-	-	-	
Gama-muroleno	2.1	Tr	-	tr	-	Tr	0.12	0.93	
Cinamato de etilo	0.71	-	0.2	-	0.1	-	-	-	
Delta-cadineno	3.2	1.6	-	0.1	Tr	0.6	2.37	4.17	
Óxido de cariofileno	0.5	0.4	0.4	tr	-	-	0.4	0.41	
Alfa-copreno	3.06	0.9	-	tr	Tr	Tr	0.21	0.24	
Cinamato de bencilo	0.61	0.1	1.7	tr	-	-	-	-	
Cinamato de cinamilo	9.14	0.2	38	0.4	-	-	-	-	

alcohol dihidrocinámico, que se ha observado en la fracción volátil de la resina de *L. orientalis* (Gurbuz *et al.*, 2013), con un porcentaje de 3.4 %, menor al de Tianguistengo (43.01 % en época de lluvia), y menor que el de las otras comunidades, en ambas temporadas de colecta.

Algunos de los compuestos observados en las resinas de *Liquidambar styraciflua* están presentes en otras especies del reino vegetal. El azuleno, por ejemplo, es un compuesto característico de la familia Asteraceae y particularmente del aceite esencial de *Matricaria chamomilla* L., utilizado ampliamente en los productos cosméticos para la piel (Singh *et al.*, 2011). Por otro lado, el ácido ftálico, así como algunos de sus derivados esteres, se ha utilizado en la fabricación de polímeros y plásticos, pinturas, barnices y algunos cosméticos. Algunas especies de algas cafés (*Sargassum spp.*) llegan a sintetizar esteres de ácido ftálico (Saeidnia y Abdollahi, 2013), así mismo se ha reportado la presencia de ácido ftálico en hojas de *Leea indica* (Burm. f.) Merr. (Srinivasan *et al.*, 2008). Otro compuesto que se observó fue la himecromona un tipo de cumarina. Las cumarinas son compuestos fenólicos que se han relacionado en la defensa contra el ataque de insectos y hongos en las plantas (Zobel y Brown, 1995; Hoult y Payá, 1996; Rehman *et al.*, 2012). Por otro lado, no se han encontrado reportes de la producción de imidas como la alfa-metil-alfa fenilsuccinimida en plantas. Este compuesto sólo se conoce sintetizado de manera industrial; se ha utilizado de forma médica para tratar las convulsiones epilépticas (Zhang *et al.*, 1996).

Los compuestos mayoritarios observados en los aceites esenciales de Hidalgo (estireno, alfa-pineno y beta-cariofileno), también presentaron altos porcentajes en la fracción volátil de resinas de Turquía y Honduras (Fernandez *et al.*, 2005), así que la calidad de los aceites esenciales producidos por árboles de la región de estudio debe ser competitiva con aquellos de procedencia más tradicional.

Los análisis por CG-EM de aceites de resinas de *Liquidambar styraciflua* que existen hasta ahora (Chalchat *et al.*, 1994; Fernandez *et al.*, 2005; Gurbuz *et al.*, 2013) presentan variabilidad en el número de compuestos, en la proporción del área de CG-EM dentro de los aceites esenciales y en el tipo de compuestos identificados. Estas diferencias pueden atribuirse a los diferentes métodos utilizados en cada caso de estudio, así como a las diferencias en la procedencia, manejo y almacenamiento de las muestras, a los procesos de extracción de las mismas, y a las características ambientales de cada sitio del que se obtuvieron. Algunos de estos estudios no toman en cuenta la temporada de colecta, hasta antes de este trabajo existía un sólo reporte sobre el efecto estacional en la variación de la composición química de aceites esenciales, pero extraídos de hojas y tallos de *L. styraciflua* (El-Readi *et al.*, 2013). En ese trabajo no se menciona el efecto estacional como un factor que influye en la composición química de aceites esenciales. Las evidencias obtenidas en este estudio muestran la influencia de las condiciones ambientales, de cada época de colecta, sobre la variación química y abundancia de los metabolitos.

Agradecimientos

Se agradece al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología por la beca para realizar estudios de maestría al primer autor, a Gabriel Arriola Pizano y María del Carmen Sánchez Carreón por su colaboración en el trabajo de campo; a los dueños de los predios muestreados Marcelino Castellano Jiménez, Eleuterio Melo Díaz, Marco Aurelio Camacho Martínez, Diego Albertin Arteaga Bautista, Valentín Hernández Ortega, al departamento de Ecología del municipio de Calnali, Hidalgo y a los revisores anónimos por sus sugerencias.

Literatura citada

- Bolt A. 2012. Plantas Medicinales del Macizo de Peñas Blancas. Centro de Entendimiento con la Naturaleza, Macizo de Peñas Blancas, Reserva de la Biósfera de BOSAWAS, Nicaragua. Disponible en: <http://www.enaturaleza.org/doc/1328225810_Plantas%20Medicinales%20%C3%A1rea%20protegida%20Macizo%20de%20Pe%C3%81as%20Blancas.pdf> (consultado 9 de abril 2012).
- Bašer K.H.C y Demirci F. 2007. Chemistry of essential oils. En: Berger R.G. Ed. *Flavours and Fragrances: Chemistry, bioprocessing and sustainability*, pp: 43-83, Springer, Heidelberg.
- Chalchat J.-C., Garry R.-P. y Mathieu J.-P. 1994. Composition of the volatile fraction from Honduras styrax, *Liquidambar styraciflua* L. *Journal of Essential Oil Research* 6:73-75.

- Cibrián-Tovar D. y Cibrián-Lladeral V.D. 2011. Distribución ecológica y propuesta de manejo integrado de muérdago *Phoradendron falcifer* del suchiate (*Liquidambar macrophylla*), en el bosque mesófilo de montaña de la sierra alta del estado de Hidalgo. *Innovando Juntos* 7:4-13.
- Ciesla W.M. 2002. Styrax. SAP and Resin. En: Non-wood forest product from temperate broad-leaved trees, Serie Non-Wood Forest Products Volume 15, pp: 37-46. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Roma.
- El-Readi M.Z., Eid H.H., Ashour M.L., Eid S.Y., Labib R.M., Sporer F. y Wink M. 2013. Variations of the chemical composition and bioactivity of essential oils from leaves and stems of *Liquidambar styraciflua* (Altingiaceae). *Journal of Pharmacy and Pharmacology* 65:1653-1663.
- FAO [Food and Agriculture Organization]. 2011. Situación de los Bosques del Mundo. La Creación de Industrias Forestales Sostenibles. Organización de las Naciones Unidas la Agricultura y la Alimentación. Roma. Disponible en: <<http://www.fao.org/docrep/013/i2000s/i2000s.pdf>> (consultado 31 de julio 2012).
- FAO. 2010. Casos ejemplares de Manejo Forestal Sostenible en América Latina y el Caribe. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, Roma. Disponible en: <http://www.fao.org/fileadmin/user_upload/training_material/docs/casejes.pdf> (consultado 15 de julio 2012).
- Fernandez X., Lizzani-Cuvelier L., Loiseau A.-M., Perichet C., Delbecque C. y Arnaudo J.-F. 2005. Chemical composition of the essential oils from Turkish and Honduras styrax. *Flavour and Fragrance Journal* 20:70-73.
- Gual-Díaz M. y Rendón-Correa A. (Comps.). 2014. *Bosques Mesófilos de Montaña de México: Diversidad, Ecología y Manejo*. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, México D.F.
- Gurbuz I., Yesilada E., Demirci B., Sezik E., Demirci F. y Başer K.H.C. 2013. Characterization of volatiles and anti-ulcerogenic effect of Turkish sweetgum balsam (*Styrax liquidus*). *Journal of Ethnopharmacology* 148:332-336.
- Gutiérrez, M.M. 2011. Análisis de la Cadena de Valor de la Resina de Liquidambar en el Departamento de Olancho, Honduras. Programa de Fomento al Manejo Sostenible de Recursos Naturales y Desarrollo Económico Local. Disponible en: <<https://prorena.wikispaces.com/file/view/Estudio+de+Liquid%C3%A1mbar.pdf>> (consultado 4 de marzo 2012).
- Hoult J.R.S. y Payá M. 1996. Pharmacological and biochemical actions of simple coumarins: natural products with therapeutic potential. *General Pharmacology*. 27:713-722.
- Hübschmann H.-J. 2009. The Retention Index. Evaluation of GC-MS. En: *Handbook of GC/MS. Fundamentals and Applications*, pp. 293-415, Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim.
- INEGI [Instituto Nacional de Estadística y Geografía]. 2009a. Prontuario de información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos. Calnali, Hidalgo. Clave geoestadística 13014. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. México, D.F. Disponible en: <<http://www.inegi.org.mx/geo/contenidos/topografia/compendio.aspx>> (consultado 20 de febrero 2014).
- INEGI. 2009b. Prontuario de información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos. Tlanguistengo, Hidalgo. Clave geoestadística 13060. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. México, D.F. Disponible en: <<http://www.inegi.org.mx/geo/contenidos/topografia/compendio.aspx>> (consultado 20 de febrero 2014).
- INEGI. 2009c. Prontuario de información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos. Zacualtipán, Hidalgo. Clave geoestadística 13081. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. México, D.F. Disponible en: <<http://www.inegi.org.mx/geo/contenidos/topografia/compendio.aspx>> (consultado 20 de febrero 2014).
- Langenheim J.H. 2003. *Plant Resins: Chemistry, Evolution, Ecology and Ethnobotany*. Timber Press. Portland.
- Llusia J. y Peñuelas J. 2000. Seasonal patterns of terpene content and emission from seven Mediterranean woody species in field conditions. *American Journal of Botany* 87:133-140.
- Matuszewska A. y John A. 2004. Some possibilities on thin layer chromatographic analysis of the molecular phase of Baltic amber and other natural resins. *Acta Chromatographica* 14:82-91.
- Monterroso-Rivas A.I. Ed. 2009. El Bosque Mesófilo de Montaña en el Estado de Hidalgo: Perspectiva Ecológica frente al Cambio Climático. Universidad Autónoma Chapingo y Gobierno del estado de Hidalgo, Chapingo.
- Ohno O., Ye M., Koyama T., Yazawa K., Mura E., Matsumoto H., Ichino T., Yamada K., Nakamura K., Ohno T., Yamaguchi K., Ishida J., Fukamizu A. y Uemura D. 2008. Inhibitory effects of benzyl benzoate and its derivatives on angiotensin-II, induced hypertension. *Bioorganic & Medicinal Chemistry* 16:7843-7852.
- Parry E.J. 1921. Monographs on Essential oils: Hamamelidaceae, Oil of Styrax. En: Parry E.J. The Chemistry of Essential Oils and Artificial Perfumes, Volume I. pp. 524-525. Scott, Greenwood & Son. Londres.

Recibido:
24 de octubre de 2014

Aceptado:
10 de febrero de 2015

- Paul M., Brüning G., Bergmann J. y Jauch J. 2012. A thin layer chromatography method for the identification of three different olibanum resins (*Boswellia serrata*, *Boswellia papyrifera* and *Boswellia carterii*, respectively, *Boswellia sacra*). *Phytochemical Analysis* **23**:184-189.
- Rehman F., Khan F.A. y Badruddin S.M.A. 2012. Role of phenolics in plant defense against insect herbivory. En: Khemani L.D., Srivastava M.M. y Srivastava S. Eds. *Chemistry of Phytopotentials: Health, Energy and Environmental Perspectives*, pp. 309-313. Springer, Heidelberg.
- Rzedowski J. 1978. *Vegetación de México*. Limusa, México D.F.
- Saeidnia S. y Abdollahi M. 2013. Are medicinal plants polluted phthalates? *DARU Journal of Pharmaceutical Sciences* **21**:43.
- Schmidt E. 2010. Production of essential oils. En: Bašer K.H.C. y Buchbauer G. Eds. *Handbook of Essential Oils. Science, Technology and Applications*, pp: 83-119, CRC Press, Boca Raton.
- Singh O., Khanam Z., Misra N. y Srivastava M.K. 2011. Chamomile (*Matricaria chamomilla* L.): An overview. *Pharmacognosy Review* **5**:82-95.
- Srinivasan G.V., Ranjith C. y Vijayan K.K. 2008. Identification of chemical compounds from the leaves of *Leea indica*. *Acta Pharmaceutica* **58**:207-214.
- Toledo T. 2009. El bosque de niebla. *Biodiversitas* **83**:1-6.
- Vázquez-Yanes C., Batis Muñoz A.I., Alcocer Silva M.I., Gual Díaz M. y Sánchez Dirzo C. 1999. Árboles y Arbustos Potencialmente Valiosos para la Restauración Ecológica y la Reforestación. Reporte técnico del proyecto J084. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, México D.F. Disponible en: <http://www.conabio.gob.mx/conocimiento/info_especies/arboles/doctos/inicio.pdf> (consultado 9 de abril 2012).
- Von Reitzenstein E. 2007. *El Ámbar Líquido de Honduras. Análisis de la Cadena Productiva de la Resina de Liquidambar (Liquidambar styraciflua) desde las Comunidades Rurales hasta los Mercados de Exportación*. Deutscher Entwicklungsdienst (DED), Olancha.
- Villaseñor J.L. 2010. *El Bosque Húmedo de Montaña en México y sus Plantas Vasculares: Catálogo Florístico-Taxonómico*. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad/Universidad Nacional Autónoma de México. México, D.F.
- Wagner H. y Bladt S. 2001. Drugs Containing Essential Oils (Aetherolea), Balsams and Oleo-Gum-Resins. En: Wagner H. y Bladt S. *Plant Drug Analysis. A Thin Layer Chromatography Atlas*, pp. 149-192, Springer-Verlag, Heidelberg.
- Wyllie G.S. y Brophy J.J. 1989. The leaf oil of *Liquidambar styraciflua*. *Planta Medica* **55**:316-317.
- Zhang Y.-F., Gibbs III J.W. y Coulter D.A. 1996. Anticonvulsant drug effects on spontaneous thalamocortical rhythms in vitro: Valproic acid, clonazepam, and α -methyl- α -phenylsuccinimide. *Epilepsy Research* **23**:37-53.
- Zobel A.M. y Brown S.A. 1995. Coumarins in the interactions between the plant and its environment. *Allelopathy Journal* **2**:9-20.