

Determinación de Factores de Emisión de Compuestos Orgánicos Volátiles de Dos Especies Arbóreas Nativas de La Región Metropolitana, Chile

M. Préndez y H. Peralta

Laboratorio de Química de la Atmósfera, Facultad de Ciencias Químicas y Farmacéuticas, Universidad de Chile, Olivos 1007, Santiago-Chile (e-mail: mprendez@ciq.uchile.cl)

Resumen

En este trabajo se informa sobre algunos factores de emisión para seis monoterpenos emitidos por *Cryptocarya alba* (peumo) y *Schinus molle* (pimiento), especies que corresponden al 2,5% de las especies arbóreas de la Región Metropolitana de Chile. Los compuestos orgánicos volátiles biogénicos (COVsB) participan en la formación de ozono troposférico y los modelos para elaborar estrategias de control y disminución de las concentraciones de ozono requieren de los factores de emisión. En este sentido, existe poca información para las especies arbóreas nativas chilenas, como las consideradas en este estudio. Se usó el encierro estático y la adsorción en Tenax para el muestreo y GC-FID para la cuantificación de COVsB. Los mayores factores de emisión en peumo fueron: 0.0049 a 0.0165 $\mu\text{gg}^{-1}\text{hsh}^{-1}$ para cineol y 0.0030 a 0.0117 $\mu\text{gg}^{-1}\text{hsh}^{-1}$ para limoneno. En pimiento los valores extremos fueron: 0.0097-0.128 $\mu\text{gg}^{-1}\text{hsh}^{-1}$ para α -pineno y 0.0029 a 0.108 $\mu\text{gg}^{-1}\text{hsh}^{-1}$ para 3-careno. Los resultados muestran que los factores de emisión son muy dependientes de las condiciones ambientales y de la especie arbórea.

Determination of Emission Factors of Volatile Organic Compounds of Two Native Tree Species in Chile's Metropolitan Region

Abstract

The present study reports on some emission factors for six monoterpenes released by *Cryptocarya alba* (peumo) and *Schinus molle* (pimiento) which represent 2.5 % of the tree species occurring in Chile's Metropolitan Region. Biogenic volatile organic compounds (BVOCs) participate in tropospheric ozone formation, and models used to design strategies to control and/or lower ozone concentrations require knowing the emission factors of these BVOCs. In this context, there is very little information about Chilean native tree species as those considered in this study. The static enclosure method and Tenax adsorption were used for sampling and GC-FID was used for quantification of BVOCs. The highest emission factors for peumo were 0.0049 to 0.0165 $\mu\text{gg}^{-1}\text{dwh}^{-1}$ for cineole and 0.0030 to 0.0117 $\mu\text{gg}^{-1}\text{dwh}^{-1}$ for limonene; for pimiento, the highest values were 0.0097 to 0.128 $\mu\text{gg}^{-1}\text{dwh}^{-1}$ for α -pinene and 0.0029 to 0.108 $\mu\text{gg}^{-1}\text{dwh}^{-1}$ for 3-carene. The emission factors were highly dependent on environmental conditions and the tree species.

Keywords: monoterpene emissions, Chilean trees, BVOC emission factors, ozone precursors

INTRODUCCIÓN

Algunos compuestos orgánicos volátiles (COVs) son emitidos a la atmósfera en grandes cantidades desde la vegetación, (COVsB). En algunos lugares exceden las emisiones por fuentes antrópicas (Fuentes et al., 2000) y juegan un papel significativo en la formación de ozono troposférico (Chameides et al., 1988; McCarthy et al., 2001; Bell y Ellis, 2004). Globalmente, las emisiones naturales de COVs no metánicos representan los mayores flujos hacia la atmósfera, con isopreno y otros 19 compuestos terpenoides en torno a un 60%, lo cual implica la emisión de un flujo de alrededor de $50,4 \cdot 10^{12}$ g de C (Guenther et al., 2000).

Los monoterpenos son COVsB emitidos por una gran variedad de especies vegetales como mecanismos de defensa contra insectos, herbívoros, atracción para polinizadores y enemigos naturales de los herbívoros o en los mecanismos de crecimiento de las plantas, existiendo una relación directa entre un determinado monoterpeno y su función específica (Guenther et al., 2000). La emisión de isopreno por ejemplo, beneficia a la planta aumentando su tolerancia a la temperatura (Heiden et al, 1999, Litvak et al, 1999, Sharkey et al, 1999).

Por tratarse de dienos conjugados el isopreno y los monoterpenos son compuestos muy reactivos. Interactúan en la tropósfera durante el día y la noche (Stockwell et al, 1997, Alvarado et al, 1998), formando ozono como producto final, y otras especies orgánicas como productos intermediarios o interviniendo en la formación o crecimiento de aerosoles secundarios (Kavouras et al., 1998; Claeys et al., 2004). Su papel entonces no es menor cuando se pretende establecer adecuadas estrategias para el control del ozono troposférico.

Existe bastante información acerca de las emisiones de las especies vegetales del hemisferio norte (Lamb et al., 1987; Stockwell et al, 1997; Bell y Ellis, 2004), pero las emisiones de COVsB dependen de muchos factores locales, por ejemplo clima y uso del suelo (Bell y Ellis, 2004) y por lo tanto no son directamente utilizables bajo condiciones naturales diferentes. Para Chile casi no existe a la fecha información respecto de las especies nativas (Préndez et al., 2004).

El presente trabajo busca contribuir al conocimiento de la naturaleza química de los compuestos emitidos a la atmósfera y a la obtención de sus factores de emisión, en el caso de dos especies nativas chilenas, vía la cuantificación de los monoterpenos emitidos en las condiciones naturales a las cuales están expuestas en la Región Metropolitana.

ANTECEDENTES

Generación de ozono troposférico

La formación de ozono troposférico se produce en la atmósfera por reacciones químicas entre compuestos orgánicos y óxidos de nitrógeno, en general favorecidas por la presencia de luz solar (Calogirou et al, 1999; Aschmann et al, 1998). Dichos compuestos comprenden una variedad enorme de especies químicas, con muy distintas volatilidades, vidas medias y reactividades químicas en la atmósfera. Entre ellos se encuentran los (COVs), para los cuales no existe una definición internacionalmente aceptada; la mayoría se basa en descripciones estrictamente químicas (Atkinson, 1990; Winer et al, 1992; Arey et al, 1995; Bowman y Seinfeld, 1994).

Los COVs emitidos a la atmósfera provienen de fuentes naturales y antrópicas. Las principales fuentes naturales son: la vegetación (COVsB), los océanos y aguas superficiales, los suelos, los sedimentos, la descomposición microbiana de material orgánico, los depósitos geológicos de hidrocarburos y los volcanes (Fehsenfeld et al., 1992). Los COVsB tienen un papel importante en la formación fotoquímica de ozono. Diferentes autores han modelado la contribución de las emisiones biogénicas (Chameides et al., 1988; Chock et al., 1995; Nowak et al., 2000; Tao et al., 2003). La importante contribución a las concentraciones de ozono de las emisiones biogénicas proviene de una sinergia con las contribuciones antrópicas (Tao et al., 2003). Para estas modelaciones es necesario el uso de inventarios de emisión.

Inventarios de emisión

Los inventarios de emisión conducen al establecimiento de estrategias de control efectivas en la medida en que se evalúa adecuadamente el papel que desempeñan las emisiones biogénicas y las antropogénicas en

la producción y/o formación de contaminantes fotoquímicos (Lamb et al., 1987; 1993; Bell y Ellis, 2004).

La mayoría de los programas computacionales que calculan las concentraciones potenciales de ozono generadas en la atmósfera, se basan en estimar como un todo las emisiones biogénicas de isopreno y terpenos, mezclando numerosos compuestos con reactividades químicas muy diferentes y por ende efectos muy distintos sobre la atmósfera. Contar con inventarios de emisión más eficientes requiere el cálculo de factores de emisión por especie vegetal, y separadamente para isopreno y monoterpenos (Guenther et al., 1995).

Un factor de emisión representa la velocidad de emisión de un determinado compuesto con respecto a la biomasa considerada y está afectado por variados factores que influyen en el comportamiento de la emisión de la especie vegetal. Los principales y más estudiados son la luz y la temperatura, pero afectan también los procesos fenológicos propios de la especie, así como las condiciones de estrés provocadas a la planta, por ejemplo, daño a las hojas causado por la contaminación atmosférica (Guenther et al., 1991; 1995; 2000; Harley et al., 1996; Litvak et al., 1999; Priemé et al., 2000). También la localización geográfica, estación del año y especies vegetales consideradas muestran diferencias discretas (Sabillón y Cremades, 2001).

Situación de la Región Metropolitana

El D.S.N°131/96 del Ministerio Secretaría General de la República, declaró a la Región Metropolitana zona saturada para cuatro contaminantes atmosféricos, entre ellos ozono troposférico, con una norma de 160 $\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$, media aritmética horaria, superable sólo una vez al año. La norma actual establece 120 $\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$ promedio de 8 horas (D.S.N°112/02). En esas condiciones, algunas áreas de la región superan la norma, especialmente en la zona nororiental y en verano (Fig. 1).

El inventario de emisiones realizado por la Comisión Nacional de Medio Ambiente calculó emisiones de COVsB de 9.379 t/año de un total de 80.682 t/año de COVs, lo que corresponde al 11,62 % (CONAMA, 2000). Mlot (1995) afirma que en el área de Atlanta (EEUU) las emisiones diarias de los hidrocarburos antropogénicos alcanzan al

24% y el de los biogénicos al 76%, con el 59% correspondiente a isopreno. Bell y Ellis (2004) en la región atlántica media atribuyen mayor impacto a las emisiones biogénicas que a las antropogénicas.

En la Región Metropolitana de Chile (Fig. 1), situada a 33,5° lat. S y 70,6° long O y 500 m promedio snm (IGM, 1979), las especies nativas peumo (*Cryptocaria alba*) y pimientillo chileno (*Schinus molle*), se encuentran entre las cinco especies arbóreas nativas más abundantes en calles (Hernández et al., 2004). El peumo tiene hojas perennes, alternas y opuestas con abundantes aceites esenciales y olor muy agradable al romperse (Hoffmann, 1978). El pimientillo, es de follaje perenne, denso o abierto, con ramas y ramillas notablemente colgantes, de color verde claro y de forma más bien alargada; produce, abundantemente un fruto rojo muy pequeño, que le da su nombre (Serra, 1997).

METODOLOGÍA

Se muestrearon las dos especies arbóreas nativas mediante encierro estático y los monoterpenos emitidos se cuantificaron por cromatografía gaseosa usando el sistema de adsorción/desorción térmica.

Sitio de muestreo

El sistema de muestreo por encierro estático (Rinne, 2001) se instaló en la sede Olivos de la Facultad de Ciencias Químicas y Farmacéuticas de la Universidad de Chile. La proximidad al laboratorio de los especímenes muestreados permitió el análisis inmediato de las muestras, reduciendo significativamente una posible alteración o pérdida de los compuestos por almacenaje. Las especies arbóreas estudiadas fueron peumo y pimientillo chileno.

Técnica de encierro estático

La construcción de la cámara se realizó en acuerdo con los trabajos de Guenther et al. (1991 y 1996); Janson (1993); Hakola et al. (1998); Janson et al. (1999); Geron et al. (2000); Boissard et al. (2001); Pétron et al. (2001) y Sabillón y Cremades (2001). Se construyó en plexiglas de 4 mm de espesor, material que permite el paso de la radiación solar entre los 300 y 900 nm, rango de radiación que incluye la radiación fotosintéticamente activa (RFA) que es la

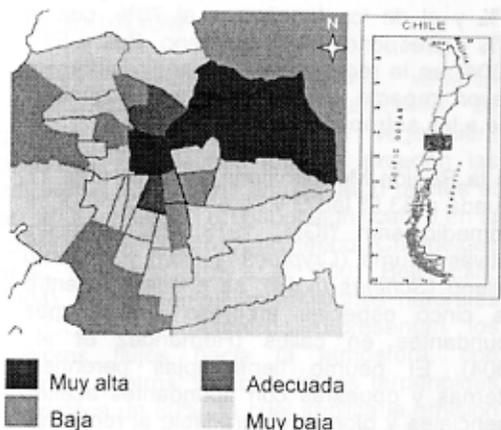


Fig. 1: Cuenca de Santiago indicando densidad de áreas verdes.

utilizada por los vegetales en la fotosíntesis. El volumen de la cámara fue de 80 litros (50 cm de largo, 40 cm de ancho y 40 cm de alto) con una entrada al frente, para introducir la rama y los instrumentos para medir las variables ambientales de temperatura, humedad relativa y RFA.

Toma de muestra

Para la retención de la muestra (COVsB) se utilizaron tubos de acero inoxidable (6,1 mm de diámetro externo y 90 mm de longitud), rellenos con 200 mg de Tenax TA. Se utilizaron dos tubos de absorción en serie, para asegurar una absorción cuantitativa en el primer tubo. Se trabajó con un flujo de aire de 100 mL/min durante 30 min para lograr volúmenes de aire de 3 L, aproximadamente. Los niveles de flujo fueron calibrados por medio de un flujómetro manual.

Las ramas seleccionadas se encontraban a unos 4 m de altura, utilizándose siempre la misma rama. El muestreo se realizó entre los días 19 y 27 de septiembre de 2003 (primavera), entre las 9 y las 17 horas, a intervalos de alrededor de 1,5 horas, durante 3 o 4 días, según la especie. Al final del experimento las ramas se cortaron y secaron en una estufa de temperatura y tiempo controlados, durante 48 horas a 60°C, para obtener la biomasa seca de hojas.

Cuantificación

La desorción y el análisis de los monoterpenos se realizó utilizando un equipo

de desorción térmica PE-ATD 400, conectado vía una línea de transferencia (250°C) a un cromatógrafo de gases HP 5890 II, con detector de ionización de llama (FID). Los compuestos atrapados fueron desorbidos a 280°C por 8 minutos a un gas portador (He) a una presión de unos 11,5 psi; luego, la muestra fue pre-concentrada en una trampa empacada con Tenax TA a -30°C. La separación de los compuestos se efectuó utilizando una columna Ultra-2HP (25 m x 0,25 mm diámetro interno x 0,25 µm) y He como gas portador a alrededor de 1 mL/min. La temperatura inicial del horno de 50°C se mantuvo por 3 min; luego, se aumentó a 150°C a razón de 6°C/min y luego se mantuvo 5 minutos. La temperatura del detector se fijó en 280°C. Regularmente, se hicieron blancos en los tubos de muestreo y en la cámara de muestreo, sin detectarse terpenos en los tubos de muestra previamente al muestreo.

Para la identificación de los compuestos se creó una base de datos de todos los compuestos de interés usando estándares individuales de pureza cromatográfica. La identificación cualitativa consideró los tiempos de retención de cada compuesto en la columna. La calibración del sistema de detección se llevó a cabo determinando el intervalo de linealidad para los patrones de los compuestos en estudio. El análisis de muestras y patrones se realizó con una interfase directa entre los tubos de muestreo adsorbentes y el análisis (GC-FID), lo que disminuye considerablemente el error en la inyección. Para demostrar esto, se realizó tres veces al día, durante los días de muestreo, el análisis de una alícuota de una solución multiestándar de concentración 100 mg/L.

Para la cuantificación se prepararon disoluciones multiestándares de concentración elevada de los compuestos de interés (1000 mg/L), las que se utilizaron como patrones de referencia; por dilución se obtuvieron las concentraciones intermedias utilizadas para los estudios de linealidad y calibración. Todas las disoluciones se prepararon en metanol.

Cálculo de los factores de emisión

La emisión de monoterpenos se calculó de acuerdo a la siguiente expresión:

$$FE = C \cdot Q / M \quad (1)$$

donde: FE es el factor de emisión, expresado

en $\mu\text{g}\cdot\text{hsh}^{-1}$; C la concentración del compuesto, expresada en $\mu\text{g}/\text{m}^3$; Q el caudal de aire muestreado desde el interior de la cámara, expresada en m^3/h y M la masa de biomasa seca expresada en gramos de hoja seca (ghs).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Análisis cualitativo y cuantitativo

En la emisión de las hojas de pimienta de un ejemplar mayor de 50 años, se identificaron seis monoterpenos: α -pineno, β -mirreno, camfeno, 3-careno, limoneno y cineol. La tabla 1 muestra las concentraciones promedio de los diferentes monoterpenos para las distintas horas del día de los días estudiados, así como las desviaciones estándar de la población total y las concentraciones máximas y mínimas. Se observa menor variación en los valores de las emisiones de β -mirreno, limoneno y cineol y mayor variación en las de α -pineno, camfeno y 3-careno. Además, las concentraciones máximas totales de monoterpenos, son casi siete veces mayores que las mínimas.

En la emisión de las hojas de un ejemplar de peumo de entre 10 y 15 años, se identificaron, durante el periodo de estudio, los mismos

seis monoterpenos ya indicados, no obstante que el 3-careno no se pudo cuantificar por encontrarse bajo los límites de detección de la técnica utilizada. La tabla 2 muestra las concentraciones promedio de los diferentes monoterpenos para cuatro días estudiados, así como las desviaciones estándar de la población total y las concentraciones máximas y mínimas. La mayor variación corresponde a β -mirreno y la menor a cineol, al igual que en el caso del pimienta. En este caso, las concentraciones máximas totales de monoterpenos, son sólo cuatro veces las concentraciones mínimas.

Factor de emisión promedio diario

Las tablas 3 y 4 muestran los factores de emisión promedio diario (Fedp), medidos como $\mu\text{g}\cdot\text{hsh}^{-1}$ de hoja seca por hora, esto es $\mu\text{g}\cdot\text{hsh}^{-1}$ y calculados a partir de las emisiones a diferentes horas del día, con las desviaciones estándar para la población total en porcentaje, para cada monoterpeno emitido respectivamente, por pimienta y peumo, en primavera. Se observa una gran variabilidad para algunos factores de emisión los que dependen de la especie vegetal y del monoterpeno específico analizado. La variación con las horas del día se aprecia, para pimienta, en las figuras 2a y 2b.

Tabla 1: Concentraciones promedio diarias, máximas y mínimas y porcentaje de la desviación estándar de la población total (Desvestpa) de monoterpenos emitidos por el pimienta

Pimienta				
Monoterpeno	Conc.Promedio $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Conc.Máximas $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Conc.Mínimas $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Desvestpa, %
α -pineno	88,6	315,7	24	83,8
camfeno	39,5	127,1	12,2	73,0
β -mirreno	79,2	144,6	41,6	38,8
3-careno	56,6	265,2	7,2	114,3
limoneno	81,7	127,9	33,4	38,3
cineol	78,8	135,8	41,1	32,2
Total		1116,3	159,5	

Tabla 2: Concentraciones promedio diarias, máximas y mínimas y porcentaje de la desviación estándar de la población total (Desvestpa) de monoterpenos emitidos por el peumo.

Peumo				
Monoterpeno	Conc.Promedio $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Conc.Máximas $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Conc.Mínimas $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Desvestpa, %
α -pineno	14,7	45,6	7,7	61,4
camfeno	9,0	16,4	7,2	41,8
β -mirreno	14,2	67,4	4,6	104,6
limoneno	45,1	107,4	27,6	47,1
cineol	90,6	151,8	45,1	32,0
Total		388,6	92,2	

En pimienta, los monoterpenos con mayores factores de emisión son α -pineno, limoneno, 3-careno y cineol, los cuales se emitirían en mayor cantidad hacia las 10 h, 12-14 h, 16 h y 14 h, respectivamente. Las emisiones mínimas varían también con el día considerado; como lo muestran los perfiles diarios de las

emisiones para limoneno y cineol (figs. 2a y 2b). En peumo, los monoterpenos con mayores factores de emisión son limoneno y cineol, pero las mayores emisiones ocurren de manera relativamente uniforme a las distintas horas del día (figs. 3a y 3b).

Tabla 3: Factores de emisión promedio diario (Fepd) y porcentaje de la desviación estándar de la población total (Desvestpa) para cada monoterpeno emitido por pimienta

Pimiento Compuestos	(Fepd), $\mu\text{g g}^{-1}\text{hsh}^{-1}$; Desvestpa, %		
	19 Sept	20 Sept	22 Sept
alfa-pineno	0,022 ; 32,89	0,065 ; 93,32	0,037 ; 29,39
camfeno	0,010 ; 32,13	0,029 ; 79,38	0,016 ; 26,93
beta-mirceno	0,022 ; 22,58	0,067 ; 9,67	0,034 ; 11,33
3-careno	0,009 ; 61,18	0,052 ; 102,50	0,026 ; 72,26
limoneno	0,019 ; 20,41	0,065 ; 5,44	0,045 ; 21,15
cineol	0,026 ; 17,78	0,046 ; 30,45	0,051 ; 25,56

Tabla 4: Factores de emisión promedio diario (Fepd) y porcentaje de la desviación estándar de la población total (Desvestpa) para cada monoterpeno emitido por peumo

Peumo Compuestos	(Fepd), $\mu\text{g g}^{-1}\text{hsh}^{-1}$; Desvestpa, %			
	23 Sept	24 Sept	25 Sept	26 Sept
Alfa-pineno	0,0026; 52,81	0,002 ; 21,91	0,0009 ; 6,10	0,0012; 16,21
camfeno	0,001 ; 45,22	0,0008 ; 1,70	-	-
Beta-mirceno	0,003 ; 73,87	0,0020 ; 36,63	0,0007 ; 4,06	0,0007 ; 0,84
limoneno	0,007 ; 35,85	0,006 ; 28,44	0,004 ; 8,83	0,0030 ; 4,66
cineol	0,011 ; 24,65	0,011 ; 34,11	0,008 ; 42,14	0,010 ; 7,57

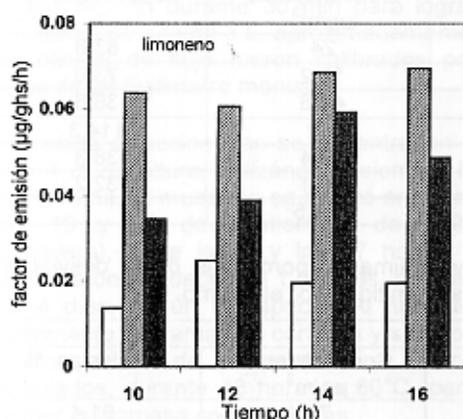


Fig. 2a: Perfiles diarios de los factores de emisión de limoneno en pimienta. Cada bloque en la figura corresponde al 19, 20 y 22 de septiembre, respectivamente.

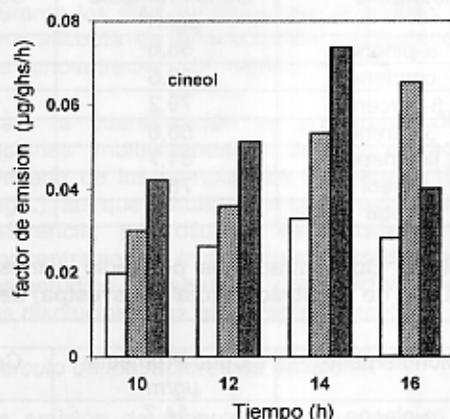


Fig. 2b: Perfiles diarios de los factores de emisión de cineol en pimienta. Cada bloque en la figura corresponde al 19, 20 y 22 de septiembre, respectivamente.

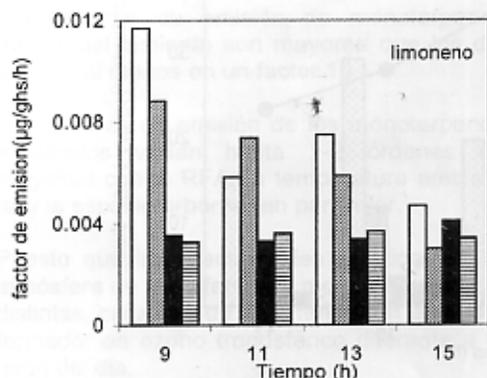


Fig. 3a: Perfiles diarios de los factores de emisión de limoneno en peumo. Cada bloque en la figura corresponde al 23, 24, 25 y 26 de septiembre, respectivamente.

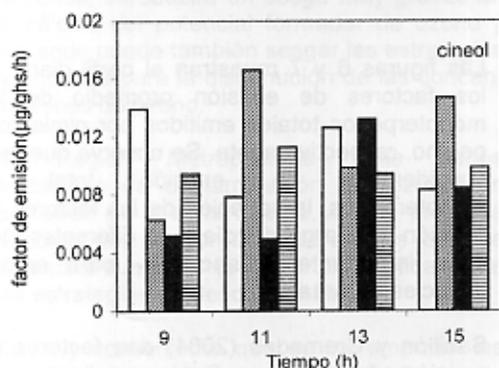


Fig. 3b: Perfiles diarios de los factores de emisión de cineol en peumo. Cada bloque en la figura corresponde al 23, 24, 25 y 26 de septiembre, respectivamente.

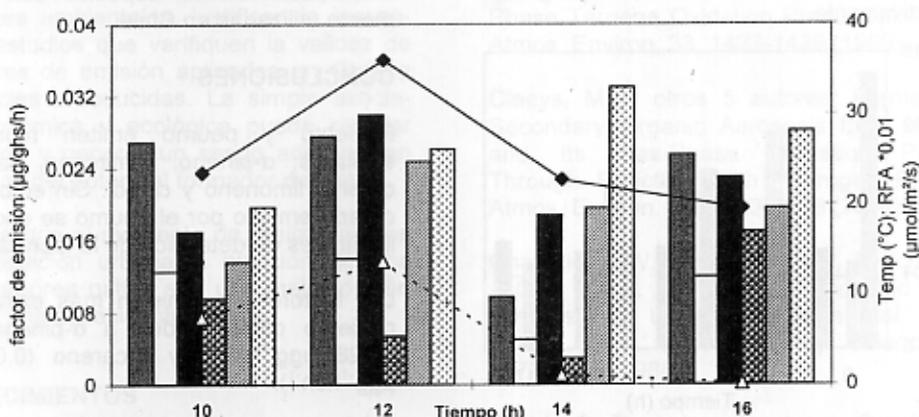


Fig. 4: Perfiles diarios promedio de los factores de emisión de pimienta correlacionados con la radiación fotosintéticamente activa (RFA) y la temperatura ambiente. Cada bloque en la figura corresponde a los compuestos: a-pineno, camfeno, b-mirceno, 3-careno, limoneno y cineol, respectivamente. Además ----♦---- es la temperatura y ---Δ--- es RFA

Los factores de emisión varían con las condiciones ambientales, RFA y temperatura ambiente, como se muestra en la figura 4 para pimienta. Se observa que los factores de emisión promedio de cada monoterpeno varían de manera diferente con la RFA a lo largo del día. En especial, destaca el aumento del factor de emisión del cineol a las 14 horas contrario a la disminución de los otros monoterpenos junto con la RFA y el aumento de los factores de emisión a las 16 horas con la disminución de la RFA, excepto para cineol.

Con respecto a la temperatura, los factores de emisión se comportan de manera similar que con la RFA, excepto para 3-careno cuyos factores de emisión disminuyen hasta las 14 horas, para aumentar hacia las 16 horas, cuando la temperatura ambiente ya ha disminuido.

La figura 5 muestra la correlación de los factores de emisión con la RFA y la temperatura ambiente para peumo. En general, en las primeras horas de la mañana, los factores de emisión aumentan con la RFA, pero al mediodía disminuyen, mientras que la RFA sigue aumentando; en la tarde, los factores de emisión disminuyen con la disminución de la RFA, excepto en el caso del cineol que aumenta primero para luego disminuir. Con respecto a la temperatura, el comportamiento es similar, excepto que su disminución después de las 14 horas no es tan acentuada como la de la RFA.

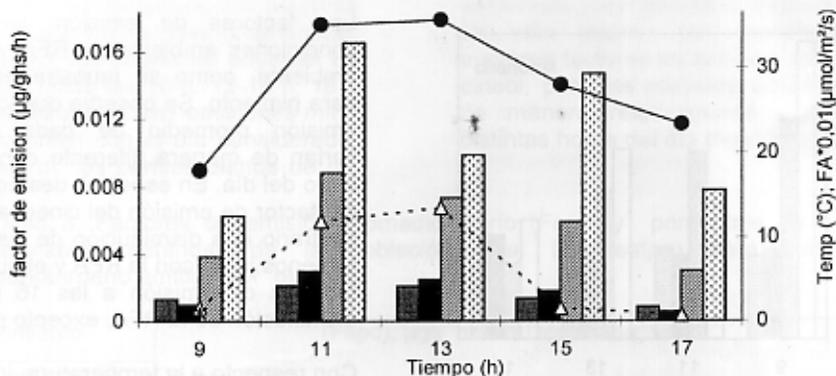


Fig. 5: Perfiles diarios promedio de los factores de emisión de peumo correlacionados con la radiación foto sintéticamente activa (RFA) y la temperatura ambiente. Cada bloque en la figura corresponde a los compuestos: a-pineno, b-mirceno, limoneno y cineol, respectivamente. Además \bullet es la temperatura y Δ es RFA

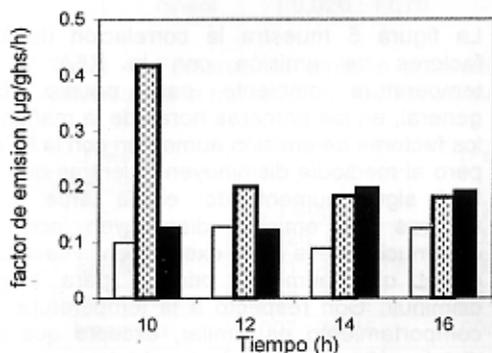


Fig. 6: Perfil diario de los factores de emisión promedio diario de los monoterpenos totales emitidos por pimienta. Cada bloque en la figura corresponde al 19, 20 y 22 de septiembre, respectivamente.

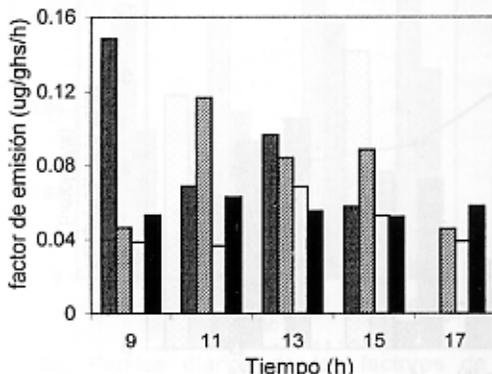


Fig. 7: Perfil diario de los factores de emisión de los monoterpenos totales emitidos por peumo. Cada bloque en la figura corresponde al 23, 24, 25 y 26 de septiembre, respectivamente

Las figuras 6 y 7 muestran el perfil diario de los factores de emisión promedio de los monoterpenos totales emitidos por pimienta y peumo, respectivamente. Se observa que, aun considerando la emisión total de monoterpenos, la variación de los factores de emisión a lo largo del día y en diferentes días tiene importantes variaciones, para ambas especies arbóreas.

Sabillón y Cremades (2001) dan factores de emisión para α -pineno, β -mirceno, limoneno y cineol, emitidos por *Pinus pinea* y *Quercus ilex*, en la región de Cataluña, España, que son 2-4 órdenes de magnitud mayores ($0,003$ - $10 \mu\text{g g}^{-1}\text{hsh}^{-1}$) a los de las especies nativas estudiadas. Dichas especies son frecuentemente utilizadas en Chile.

CONCLUSIONES

Pimiento y peumo emiten monoterpenos similares: α -pineno, β -mirceno, camfeno, 3-careno, limoneno y cineol. Sin embargo, el 3-careno emitido por el peumo se encontró bajo los límites de detección de la técnica utilizada.

Los factores de emisión más extremos para pimienta corresponden a α -pineno ($0,0097$ - $0,128 \mu\text{g g}^{-1}\text{hsh}^{-1}$) y 3-careno ($0,0029$ - $0,108 \mu\text{g g}^{-1}\text{hsh}^{-1}$).

En peumo los mayores factores de emisión corresponden a cineol ($0,0049$ - $0,0165 \mu\text{g g}^{-1}\text{hsh}^{-1}$) y limoneno ($0,0030$ - $0,0117 \mu\text{g g}^{-1}\text{hsh}^{-1}$).

Los factores de emisión de monoterpenos totales del pimiento son mayores que los del peumo, al menos en un factor 10.

Los factores de emisión de los monoterpenos estudiados varían hasta 1-2 órdenes de magnitud con la RFA, la temperatura ambiental y la especie arbórea, en particular.

Puesto que las reactividades químicas en la atmósfera de los diferentes monoterpenos son distintas, cada uno de ellos tendrá un potencial formador de ozono troposférico diferente a lo largo del día.

Al elegir los factores de emisión de los COVsB para su inclusión en los programas computacionales, tomar la simple suma de isopreno y terpenos, introducirá un sesgo muy grueso en el cálculo del potencial formador de ozono y por ende puede también sesgar las estrategias adecuadas para la disminución de las concentraciones de ozono.

La Región Metropolitana tiene serios problemas de contaminación por ozono, en particular en la zona oriente, la que presenta también una mayor área verde. Es urgente entonces aumentar la eficiencia y eficacia de las estrategias de descontaminación.

Es muy conveniente que se incrementen los estudios para determinar los factores de emisión experimentales de los distintos monoterpenos y del isopreno de las especies nativas.

La dependencia de las emisiones con las condiciones ambientales, justifican la realización de estudios que verifiquen la validez de los factores de emisión aplicados en Chile a las especies introducidas. La simple asociación taxonómica y ecológica puede resultar inapropiada y generar un sesgo adicional en los cálculos del potencial formador de ozono.

Es posible que al momento de realizar planes de reforestación urbana la elección de una especie arbórea nativa sea una mejor opción que la de una especie introducida.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo fue parcialmente financiado por los proyectos Fondef D001-1078 y TNAC 05/03. Los autores agradecen a CENMA por la utilización del equipo ATD-400.

REFERENCIAS

- Alvarado, A. y otros 4 autores, Products Of The Gas-Phase Reactions Of O(³P) Atoms And O₃ With α-Pinene And 1,2-Dimethyl-1-Cyclo-hexene. J. Geophys. Res. 103, 25541-25551 (1998).
- Arey, J., D.E. Crowley, M. Resketo y J. Lester, Hydrocarbon Emissions from Natural Vegetation in California's South Coast Air Basin. Atmos. Environ. 29, 2977-2988 (1995).
- Aschmann, S.M., A. Reissell, R. Atkinson y J. Arey, Products Of The Gas Phase Reactions of the OH Radical With A- and B-Pinene in the Presence of NO, J. of Geophys. Res. 103(D19), 25553-25561 (1998).
- Atkinson, R. Gas-Phase Tropospheric Chemistry of Organic Compounds: A Review. Atmos. Environ. 24A, 1-41 (1990).
- Bell, M. y H. Ellis. Sensitivity analysis of tropospheric ozone to modified biogenic emissions for the Mid-Atlantic region. Atmos. Environ. 38, 1879-1889 (2004).
- Boissard, C. y otros 4 autores, Seasonal Variations in VOC Emission Rates from Gorse (*Ulex europaeus*). Atmos. Environ. 35, 917-927 (2001).
- Bowman, F. y J. H. Seinfeld. Ozone Productivity of Atmospheric Organics. J. of Geophys. Res. 99 (D3), 5309 (1994).
- Calogirou, A., B.R. Larsen y D. Kotzias, Gas-Phase Terpene Oxidation Products: A Review. Atmos. Environ. 33, 1423-1439 (1999).
- Claeys, M. y otros 5 autores, Formation of Secondary Organic Aerosols from Isoprene and Its Gas-Phase Oxidation Products Through Reaction With Hydrogen Peroxide. Atmos. Environ. 38, 4093-4098 (2004).
- Chameides, W.L., R.W. Lindsay, J. Richardson y C.S. Kiang. The Role of Biogenic Hydrocarbons In Urban Photochemical Smog: Atlanta As A Case of Study. Science 241, 1473-1475 (1988).
- Chock, D. P. y otros 5 autores, Sensitivity of Urban Airshed Model Results for Test Fuels to Uncertainties in Light-Duty Vehicle and Biogenic Emissions and Alternative Chemical Mechanisms-Auto/Oil Air Quality Improvement

Research Program. Atmos. Environ. 29, 3067-3084 (1995).

CONAMA-RM Resumen ejecutivo: mejoramiento del inventario de emisiones año 2000. <http://www.conama.cl/rm/568/article-2584.html> (2000).

D.S.N.º 112/02 del Ministerio Secretaría General de la Presidencia de la República. Norma de Calidad Primaria de Aire para Ozono (2003).

D.S.N.º 131/96 del Ministerio Secretaría General de la Presidencia de la República. Declara zona saturada por ozono, material particulado respirable, partículas en suspensión y monóxido de carbono y zona latente por dióxido de nitrógeno, al área que indica (1997).

Fehsenfeld, F. y otros 10 autores, Emission of Volatile Organic Compounds from Vegetation and the Implications for Atmospheric Chemistry. Global Biogeochem. Cycles 6, 389-430 (1992).

Fuentes, J.D. y otros 11 autores, Biogenic Hydrocarbons in the Atmosphere Boundary Layer: A Review. Bull. of the American Meteorological Soc. 81, 1537-1575 (2000).

Geron, C., A.B. Guenther, T. Sharkey y R.R. Arnst. Temporal Variation in Basal Isoprene Emission Factor. Tree Physiology 20, 799-805 (2000).

Guenther, A.B., R.K. Monson y R. Fall. Isoprene and Monoterpene Emission Rate Variability: Observations with Eucalyptus and Emission Rate Algorithm Development. J. of Geophys. Res. 96(D6), 10799-10808 (1991).

Guenther, A. y otros 15 autores, A Global Model of Natural Volatile Organic Compound Emissions. J. Geophys. Res. 100, 8873-8892 (1995).

Guenther, A.B. y otros 7 autores, Leaf, Branch, Stand and Landscape Measurement of Volatile Organic Compound Fluxes from U.S. Woodlands, Tree Physiology 16, 17-24 (1996).

Guenther, A.B. y otros 5 autores, Natural Emissions of Non-Methane Volatile Organic Compounds, Carbon Monoxide and Oxides of Nitrogen from North America. Atmos. Environ. 34, 2205-2230 (2000).

Hakola, H., J. Rinne y T. Laurila. Hydrocarbon Emission Rates of Tea-Leafed Willow (*Salix phylicifolia*), Silver birch (*Betula pendula*) and European Aspen (*Populus tremula*). Atmos. Environ. 32, 1825-1833 (1998).

Heiden, A.C. y otros 9 autores, Emission of Volatile Organic Compounds from Ozone-Exposed Plants. Ecological Applications 9(4), 1160-1167. (1999).

Harley, P., A.B. Guenther, y P. Zimmerman. Effects of Light, Temperature and Canopy Position on Net Photosynthesis and Isoprene Emission from Sweetgum (*Liquidambar styraciflua*) Leaves. Tree Physiology 16, 25-32 (1996).

Hernández, J., H. Bown, C.L. de la Maza y D. Raby. La necesidad de inventariar el arbolado urbano: El caso de la comuna de La Reina en Santiago de Chile. Fac. Ciencias Forestales, U. de Chile, Publ. Misc. N.º5, 26-50, 2004.

Hoffmann, A. La flora silvestre de Chile: Zona Central. Ed. Fundación Claudio Gay (1978)

I.G.M. (Instituto Geográfico Militar) Atlas de las formas del relieve de Chile (1979).

Janson, R.W. Monoterpene Emissions from Scot Pine and Norwegian Spruce. J. of Geophys. Res. 98, 2839-2850 (1993).

Janson, R. W., C. De Serves y R. Romero. Emission of Isoprene and Carbonyl Compounds from a Boreal Forest and Wetland in Sweden. Agric. For. Meteorol. 98-99, 671-681 (1999).

Kavouras, I.G., N. Mihalopoulos y E.G. Stephanou. Formation of Atmospheric Particles from Organic Acids Produced by Forests. Nature, 395, 683-686 (1998).

Lamb, B., A. Guenther, D. Gay y H. Westberg, A National Inventory of Biogenic Hydrocarbon Emissions, Atmos. Environ. 20, 1-8 (1987).

Lamb, B. y otros 4 autores, A Biogenic Hydrocarbon Emissions Inventory for the USA Using a Simple Forest Canopy Model. Atmos. Environ. 27 A, 1673-1690 (1993).

Litvak, M., S. Madronich y M. Russell, Herbivore-Induced Monoterpene Emission from Coniferous Forest: Potencial Impact on

Local Tropospheric Chemistry. Ecological applications 9(4), 1147-1159. (1999).

McCarthy, J.J., O.F. Canziani, N.A. Leary, D.J. Dokken y K.S. White (Eds.) Climate Change 2001: Impacts, Adaptation, Vulnerability. Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). Cambridge University Press, N.Y. (2001).

Mlot, C. A Clearer View of Why Plants Make Haze. Science 268, 641-642. (1995).

Nowak, D.J. y otros 5 autores, A modeling study of the impact of urban trees on ozone. Atmos. Environ. 34, 1601-1613 (2000).

Pétron, G., P. Harley, J. Greenberg y A. Guenther. Seasonal Temperature Variations Influence Isoprene Emission. Geophys. Res. Lett. 28, 1707-1710 (2001).

Préndez, M., L. Valle y H. Peralta. Caracterización preliminar de compuestos orgánicos volátiles de origen biogénico en especies arbóreas de la comuna de La Reina. Fac. Ciencias Forestales, U. de Chile, Publ. Misc. N°5, 81-104, 2004.

Priemé, A., T.B. Knudsen, M. Glasius y S. Christensen. Herbivory by the Weevil, *Strophosoma Melanogrammum*, Causes Several-fold Increase in Emission of Monoterpenes from Young Norway Spruce (*Picea abies*). Atmos. Environ. 34(5), 711-718 (2000).

Rinne, J. Application and Development of Surface Layer Flux Techniques for Measurements of Volatile Organic Compound Emissions from Vegetation. Finnish Meteorological Institute N°31 (2001).

Sabillón, D. y L. Cremades. Diurnal And Seasonal Variation of Monoterpene Emission Rates for Two Typical Mediterranean Species (*Pinus Pinea* And *Quercus Ilex*) from Field Measurements-Relationship With Temperature and PAR, Atmos. Environ. 35, 4419-4431 (2001).

Sharkey, T.D., E.L. Singas, M. T. Lerdau y C.D. Geron. Weather Effects on Isoprene Emission Capacity and Applications in Emissions Algorithms. Ecological Applications 9(4), 1132-1137. (1999).

Serra, M. T. Especies arbóreas y arbustivas para las zonas áridas y semiáridas de América Latina. Programa Conjunto FAO-PNUMA de Control de la Desertificación en América Latina y el Caribe. Ed. Oficina regional FAO para América Latina y el Caribe. 237-243 (1997).

Stockwell, W.R., F. Kirchner, M. Kuhn y S. Seinfeld. A New Mechanism for Regional Atmospheric Chemistry Modeling. J. of Geophys. Res 102, 25847-25879 (1997).

Tao, Z., y otros 4 autores, A Summer Simulation of Biogenic Contributions to Ground-Level Ozone over the Continental United States. J. of Geophys. Res. 108. D14, 4404 (2003).

Winer, A.M. y otros 6 autores, Emission Rates of Organics from Vegetation in California's Central Valley. Atmos. Environ. 26A, 2647-2659 (1992).

INFORMACION TECNOLÓGICA

Revista Internacional Anual de

Índice de Información

Edición

Centro de Información Tecnológica

Caracas, Venezuela

1980

1

1

1

1

1

1

1