

03060



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

POSGRADO EN CIENCIAS DE LA TIERRA

CENTRO DE CIENCIAS DE LA TIERRA

ESTANDARIZACIÓN DE LAS TÉCNICAS
PARA LA EVALUACIÓN DE LAS EMISIONES
DE HIDROCARBUROS BIOGÉNICOS
TOTALES EN DIFERENTES VEGETALES EN
EL SUR DE LA CIUDAD DE MÉXICO

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL GRADO ACADEMICO DE

MAESTRO EN CIENCIAS

(Física de la Atmósfera)

P R E S E N T A:

JEPHTE RAQUEL CRUZ ALIPHAT

DIRECTOR DE TESIS: Dr. LUIS GERERDO RUIZ SUÁREZ



MEXICO, D.F.

2005

m347769



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

“Al éxito no se lo encuentra, se lo busca incansablemente”

DEDICATRIAS

A Edgar por los malos y buenos momentos que hemos pasado juntos y a ese angelito que algún día llegara a nuestras vidas.

A mi madre por todo ese amor que siempre me demuestra y por enseñarme el significado de la tenacidad.

A mis hermanos Jerem y Armando, que aunque lejos, siempre están a mi lado en los momentos difíciles de mi vida.

A mi padre por su apoyo.

Al Rex por que siempre me acompaña en mis momentos de soledad.

AGRADECIMIENTOS.

A ese algo o alguien que me da siempre la fuerza necesaria para seguir adelante.

A la U.N.A.M. y en especial al Centro de Ciencias en la Atmósfera por haberme abierto las puertas de la ciencia.

Al apreciable jurado: Dra. Irma Rosas, Dra. Telma Castro, Dr. Armando Báez, Dr. Luis Gerardo Ruiz, Dr. Michael Grutter por el tiempo invertido en revisar y mejorar éste trabajote tesis.

Dr. Luis Miguel Trejo Candelas por su enseñanza, paciencia y apoyo incondicionales.
Facultad de Química

M. en C. Víctor Corona Nava Esparza., por sus valiosas observaciones y sugerencias bibliográficas. Jardín Botánico “Faustino Miranda”, Instituto de Biología.

Dr. Javier Caballero Nieto, por permitimos el libre acceso al Jardín Botánico. Jefe del Jardín Botánico exterior, Instituto de Biología.

Dr. Rainer Steinbrecher. Por sus sabios consejos. Intitut für Meteorologie und Klimaforschung Atmosphärische Urmweltforschung (IMK-IFU).

Departamento de Instrumentación Meteorológica. CCA
Escalante González Jorge Antonio, Gutiérrez López Wilfredo.

Área de Instrumentación - Taller Mecánico. CCA
Meneses Pérez Miguel Ángel, Alfredo Rodríguez Manjares, David Mendoza Chino.

Sección Cómputo, CCA
Rosa Ma. Ayala Beltrán, Carlos Contreras González.

Departamento de físico-química atmosférica
Bertha Mar, Patricia Domínguez, Yazmín Jarquín, Margarita Islas, Alejandro Torres, Faustino Reyes, José Manuel Hernández.

A Gaby, Lety, Margarita y Abraham

A CONACYT, por ser aceptada la solicitud de la Beca, de la convocatoria enero febrero 2002.

A DGEP, por ser aceptada la solicitud de la Beca complementaria, de la convocatoria enero febrero 2002.

ÍNDICE

	Página
Capítulo I	
INTRODUCCIÓN.	1
Capítulo II	
OBJETIVOS.	3
II.1. Objetivo general.	3
II.2. Objetivos particulares.	3
Capítulo III	
ANTECEDENTES.	4
III.1. Aspectos generales.	4
III.2. Química troposférica de los hidrocarburos biogénicos.	6
III.3. Emisiones de hidrocarburos biogénicos.	7
III.4. Los hidrocarburos biogénicos: isopreno y monoterpenos.	8
III.5. Biosíntesis y ruta de emisión de los hidrocarburos biogénicos.	10
III.6. Mecanismos de emisión de VOC's por las plantas.	11
III.7. Factores que influyen en la concentración de compuestos emitidos.	14
III.7.1. Variables ambientales (luz, temperatura y humedad).	14
III.7.1.1. Modelo de la temperatura (Tingey et al., 1980).	15
III.7.1.2. Modelo de la luz y temperatura (Guenther et al., 1993).	16
III.8. Procesos fisiológicos de la planta.	19
III.8.1. Estrés ambiental.	19
III.8.1.1. Estrés hídrico.	19
III.8.1.2. Estrés físico.	20
III.9. Métodos de muestreo.	21
III.9.1. Método de encierro.	21
III.9.2. Método de encierro a régimen dinámico.	22
III.9.3. Método de sistema abierto al aire.	23

	Página
III.10. Método de análisis.	23
III.10.1. Termodesorción (TD).	24
III.10.2. Cromatografía de gases (GC).	24
III.10.3. Detector de ionización de flama (FID).	25
III.11. Especies vegetales considerados en el presente estudio.	26
III.12. La importancia de las emisiones de hidrocarburos biogénicos en la calidad del aire.	27
III.12.1. El caso de la ciudad de México.	28
 Capítulo IV.	
MÉTODO.	30
IV.1. Equipo de muestreo.	30
IV.1.1. Cámara.	30
IV.1.1.1. Líneas de inyección.	31
IV.1.1.2. Soporte.	32
IV.1.2. Cartucho colector de muestra.	32
IV.1.2.1. Sistema acondicionador.	33
IV.2. Método de muestreo.	35
IV.2.1. Sitio de muestreo.	35
IV.2.2. Instalación del sistema de muestreo.	36
IV.2.3. Toma de muestra.	37
IV.2.4. Procedimiento de muestreo.	40
IV.3. Equipo de análisis.	41
IV.4. Método de análisis.	43
IV.4.1. Sistema de termodesorción (TD).	43
IV.4.1.1. Condiciones para la termodesorción (TD)	44
IV.4.2. Análisis cromatográfico.	44
IV.4.2.1. Condiciones para el análisis por GC.	45
IV.5. Cálculo para obtener los factores de emisión.	45
IV.6. Calibración.	46

Capítulo V.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN.	47
V.1. Programa de muestreo.	48
V.2. Factores de emisión.	49
V.2.1. Blanco general.	50
V.2.2. Blanco de muestra.	51
V.2.3. Muestra.	52
V.2.4. Factores de emisión.	53
V.2.5. Clasificación.	54

Capítulo VI

CONCLUSIONES.	58
---------------	----

Bibliografía

	60
--	----

Anexo I. Fichas técnicas sobre las especies vegetales.	71
Anexo II. Curva de calibración (estándar isobutylene).	91
Anexo III. Cromatogramas.	92
Anexo IV. Resultados obtenidos.	95
Anexo V. Sistema acondicionador.	97

Índice de ecuaciones.	99
Índice de figuras.	100
Índice de tablas.	101

Capítulo I

INTRODUCCIÓN

La emisión biogénica de compuestos orgánicos al ambiente es un fenómeno universal característico de todos los organismos (Isidorov, 1990). La presencia en la atmósfera de gases tan importantes como el oxígeno o el nitrógeno está íntimamente relacionada a procesos biológicos como la fotosíntesis y la actividad microbiana. Sin la continua regeneración biológica del oxígeno y nitrógeno, la composición de la atmósfera sería substancialmente diferente de lo que actualmente es. Cada día es más claro que el acoplamiento entre la biosfera y la atmósfera debe verse como un sistema altamente complejo e interactivo (Brasseur, 1991).

El estudio de las fuentes, sumideros y dinámicas de los gases emitidos por la vegetación es de suma importancia, ya que éstos afectan la química y la física de la atmósfera, y por lo tanto, alteran características tan diversas como el contenido energético de la atmósfera, la concentración de oxidantes en la troposfera y la absorción de la radiación ultravioleta en la estratosfera. Así mismo, los gases traza o sus productos afectan la biota terrestre de manera más o menos particular por especie, hasta alterar la productividad o habilidad competitiva y en ocasiones derivado en la mortalidad (Mooney, 1987).

Los compuestos volátiles orgánicos (VOC's, por sus siglas en inglés) que son emitidos por la vegetación también juegan un importante papel en la formación de las asociaciones vegetales e inclusive de la biocenosis como un todo (Isidorov, 1990). Aún cuando estos estudios sugieren la existencia de un sumidero biológico, la participación de los VOC's en la química atmosférica es importante como precursores de PAN (nitrato de peroxiacetilo), O₃ (ozono) y aerosoles. Se cree que los aerosoles son los responsables del fenómeno atmosférico natural asociado a comunidades vegetales conocido como "niebla azul" (Went, 1960).

Las plantas emiten de 400 a 800Tg C/año hidrocarburos en Estados Unidos, una cantidad equivalente a la suma de emisiones antropogénicas y biogénicas de metano (Guenther, 1995). A diferencia del metano, el cual puede encontrarse bien mezclado en la atmósfera, debido a sus grandes tiempos de residencia atmosférica (de 8 a 11 años), los VOC's producidos por la vegetación son extremadamente reactivos en la troposfera, con períodos de vida atmosféricos que van de unos minutos a unas horas (NRC, 1991).

Existen estudios recientes acerca de las variadas especies de vegetación que son productoras de hidrocarburos (Rasmussen, 1999), logrando con estos estudios el desarrollo de bases de datos, en las cuales se puede encontrar los diferentes factores de emisión para cada tipo de especie (Hewitt, 1997).

Capítulo II

OBJETIVOS

II.1. *Objetivos generales.*

El objetivo principal de este estudio es determinar las emisiones de hidrocarburos totales, a 20 especies de árboles o arbustos distribuidos en la zona sur de la Ciudad de México.

De esta manera, se pretende jerarquizar las 20 especies seleccionadas en función de sus niveles de emisiones de hidrocarburos totales (VOC's).

II.2. *Objetivos particulares.*

Seleccionar 20 especies arbóreas, bajo el criterio de ser especies multipropósitos.

Adaptar el equipo de termodesorción y modificar el equipo de cromatografía de gases para el análisis adecuado de las muestras que contienen los hidrocarburos biogénicos totales.

Realizar el muestreo y determinar las emisiones de hidrocarburos totales, correspondiente a 20 especies de árboles o arbustos, ubicados en la zona sur de la Ciudad de México.

Capítulo III

ANTECEDENTES

III.1. *Aspectos generales.*

La vegetación emite de manera natural compuestos orgánicos volátiles a la atmósfera. Entre estos compuestos, podemos destacar al CO_2 , y N_xO como gases relativamente estables, y como gases reactivos a los hidrocarburos no-metano (NMHC's, por sus siglas en inglés) y al CO . Además del oxígeno, los hidrocarburos son los compuestos reactivos más abundantes producidos y emitidos como resultado del metabolismo de los vegetales. Algunas plantas pueden emitir compuestos oxigenados en una gran variedad de formas, llamados Compuestos Orgánicos Volátiles (VOC's). Los VOC's más estudiados hasta la fecha son el isopreno (C_5H_8) y los monoterpenos ($\text{C}_{10}\text{H}_{16}$). Al menos 50% de los gases emitidos a la atmósfera pertenecen a otras especies de hidrocarburos, muchos de los cuales son aún desconocidos en cuanto a composición y estructura química. Dentro de estos compuestos se mencionan parafinas, hidrocarburos insaturados, alcoholes, ésteres, éteres, carbonilos, furanos y halogenados (Isidorov, 1985). Estos compuestos pueden jugar un papel importante en el balance de la química atmosférica de una región.

La calidad del aire de las zonas urbanas y semiurbanas, se ve afectada por las emisiones biogénicas, ya que pueden actuar como precursores o limpiadores de ozono dependiendo de la proporción VOC's / NO_x y de la escala de tiempo considerada (Calogirou, 1999).

En algunas ciudades de los Estados Unidos se han estimado que en días cálidos la cantidad de emisiones biogénicas pueden alcanzar hasta un 20% del total de emisiones producidas por el hombre (Kreuzwieser, 1999). Para la región del Valle de México, una estimación realizada en 1995 (D.D.F. 1995) indica que la emisión total de hidrocarburos generada por fuentes biogénicas asciende a 134,493 ton/año (Tabla 1).

TABLA 1

Estimación de emisión de hidrocarburos en el Valle de México (D.D.F.1995).

Ton/ año			
Estación	Seca caliente	Lluvias	Seca fría
Emisiones	54,058	40,682	39,753

En Barcelona, España se hizo una comparación de diversas fuentes de emisión, obteniendo un panorama de cuales son las fuentes que contribuyen en mayor concentración de VOC's, dando como resultado que los bosques tienen un porcentaje mucho mayor que las demás fuentes (Tabla 2).

TABLA 2

Estimación de la emisión global de VOC's por fuente y clase de compuesto (Tg/año), España. (Sabillón 2001).

Fuente	Isopreno	Monoterpenos	OCOVB ^a	Total de COVB ^b
Bosques	372	95	177	821(71%)
Cultivos	24	6	45	120(10%)
Matorrales	103	25	33	194(17%)
Mares y océanos	0	0	2.5	5(1%)
Otras	4	1	2.0	9(1%)
Total	503(44%)	127(11%)	260(23%)	1150(100%)

^a Otros VOC's biogénicos reactivos (OCOVB)

^b En el total se incluyen otros VOC's no reactivos que no están incluidos en la tabla.

Entre los compuestos que emiten los vegetales, encontramos hidrocarburos pertenecientes a los terpenoides como el isopreno y algunos monoterpenos (por ejemplo el μ -pineno). Los terpenoides se encuentran de forma natural en los vegetales formando parte de la esencia y resina, cuya estructura química se encuentra conformada de por lo menos 5 átomos de carbono y al menos 2 insaturaciones, pueden ser cíclicos o lineales, y por esta estructura química son muy reactivos.

El isopreno es uno de los mayores constituyentes de las emisiones biogénicas, es altamente foto reactivo y es importante considerarlo en cualquier inventario que se utilice para predecir los niveles de ozono, siendo esencial para la modelación fotoquímica de la calidad del aire.

III.2. Química troposférica de los hidrocarburos biogénicos.

Las plantas generan una amplia variedad de moléculas orgánicas para un rango de procesos bioquímicos y algunos de estos compuestos, al ser volátiles, son emitidos a la atmósfera. Se sabe que son emitidos cerca de 400 VOC's, entre los cuales se incluyen aldehídos, cetonas, ácidos orgánicos, alcoholes, alcanos, alquenos, isoprenoides y/o terpenoides (Graedel, 1979).

Los VOC's de origen biológico se pueden clasificar en gases relativamente estables (CO_2 , N_xO) y gases reactivos, de los que destacan los hidrocarburos no-metano (NMHC's) y el CO. Estos gases reactivos generan un problema totalmente diferente al de los gases relativamente estables ya que sus concentraciones son generalmente bajas y efímeras, por lo que es más difícil identificar con certeza fuentes y sumideros (Mooney, 1987).

El CO y los NMHC's se encuentran relacionados, la oxidación de los NMHC's a través de reacciones con OH, O_3 , NO_3 , y O, es la mayor fuente de CO en la atmósfera (Demerjian, 1974). Otros productos de estas reacciones incluyen aldehídos y radicales orgánicos oxigenados. A su vez, estos radicales pueden oxidar NO a NO_2 con la subsecuente producción de ozono mediante la fotodisociación del NO_2 (Crutzen, 1979).

A través de reacciones que involucran NO_x y acetaldehído se forma PAN (peroxiacetilnitrato) como un intermediario en la descomposición fotoquímica de muchos NMHC's (Crutzen, 1979; Demerjian, 1974). Debe acumularse suficiente concentración de NMHC's en la atmósfera para producir cantidades significativas de PAN, a partir de NO_x . Esto puede generar una reserva significativa de NO_x (Greenberg, 1984). Otras reacciones que involucran al isopreno y los monoterpenos son con el ozono y como consecuencia de esta reacción funciona como sumidero de O_3 , especialmente a bajas concentración de NO_x . Esto quiere decir, que en función de la composición de la atmósfera, los monoterpenos y el isopreno son capaces de ser sumideros de ozono o generadores del mismo.

III.3. *Emisiones de hidrocarburos biogénicos.*

Las emisiones de fuentes biológicas incluyen las emisiones generadas por los procesos metabólicos de los vegetales y por la desnitrificación de los suelos. Las emisiones procedentes de la vegetación son principalmente hidrocarburos, las cuales dependen de la cantidad de vegetación presente en un área determinada así como de las características de la vegetación. Por parte de la desnitrificación del suelo, la acción de las bacterias, genera emisiones de óxidos de nitrógeno.

Se considera como fuentes biológicas a todas las especies vegetales (agrícolas, forestales y otras) que como resultado de sus procesos metabólicos generan hidrocarburos; entre las especies vegetales que están presentes en la zona de la Ciudad de México podemos mencionar al pino y el oyamel como forestales, al maíz y al sorgo como agrícolas y a otros como pastizales, ubicadas dentro del D.F. en las delegaciones Milpa Alta, Xochimilco, Magdalena Contreras, Cuajimalpa, Tláhuac y Gustavo A. Madero en su mayor parte.

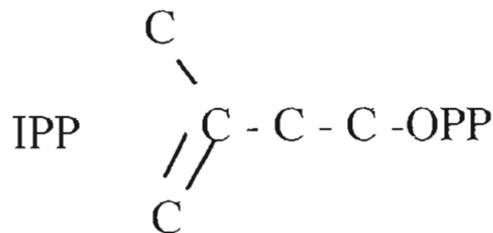
El estudio de las tasas de emisión de compuestos orgánicos volátiles se remonta a 1920, cuando se desarrolló un procedimiento para la determinación cuantitativa de emisiones en coníferas (Isidorov, 1990). Las tasas de emisiones biológicas se han determinado para un limitado número de especies de plantas usando métodos de encierro en laboratorio y en campo (Zimmerman, 1979; Cronn, 1982; Evans, 1982, Winner, 1983). Los trabajos de investigación son realizados mediante técnicas diferentes, y la comparación entre especies es posible por la estandarización de las emisiones a una temperatura común usando algoritmos experimentalmente determinados (Tingey, 1980). Existe una tendencia del isopreno y los monoterpenos a dominar las emisiones provenientes de una especie dada. (p.e. especies que emiten principalmente monoterpenos, las tasas de emisión caen entre 0.1 y 10 $\mu\text{g g}^{-1} \text{h}^{-1}$ por gramos de biomasa seca).

Las revisiones realizadas hasta ahora desafortunadamente están limitadas en principio a especies de plantas en los Estados Unidos de Norteamérica y Canadá (Guenther, 1995; Tingey, 1991), aunque recientemente se han publicado muchos estudios en Europa (Sabillón 2001; Steinbrecher, 1996, 1997, 1999).

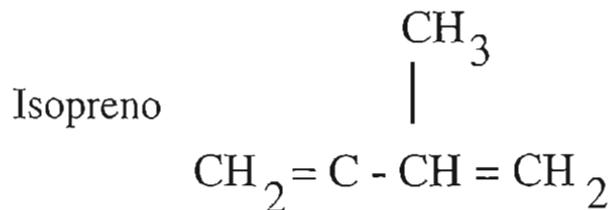
La producción y consumo de estos gases en los ecosistemas terrestres indican la presencia y magnitud de procesos fisiológicos particulares (factores de emisión) o ecosistémicos (flujos de emisión), o ambos. La medición y entendimiento de los flujos de estos gases redundará en un mejor conocimiento de la dinámica, tanto de los ecosistemas terrestres como de la atmósfera, y evidentemente de la interacción entre ambos sistemas (Mooney, 1987).

III.4. *Los hidrocarburos biogénicos: isopreno y monoterpenos.*

Existen diversos tipos de hidrocarburos constituidos a partir de la variación de unidades de isopreno (C₅H₈), denominados genéricamente terpenoides (Kramer, 1979). Los terpenoides varían en tamaño, desde 5 a 5x10⁵ átomos de carbono por molécula. Lerdaun (1991) describe al Isopentenyl Pirofosfato (IPP) como precursor de la unidad básica o hemiterpeno:



A su vez, los hemiterpenos o isopreno, presentan dos dobles enlaces. Los monoterpenos (C₁₀H_x) y el isopreno (2-metil-1,3-butadieno; C₅H₈), pertenecen a la clase de los terpenoides cuyo esqueleto carbónico característico tiene como estructura básica al isopreno, con la unidad C₅ o con números múltiplos de 5 unidades de carbono (McGarvey, 1995).



De acuerdo al número de unidades C_5 , los terpenoides se subdividen de la siguiente manera:

- Hemiterpenos: (C_5H_8), p.e. isopreno.
- Monoterpenos: ($C_{10}H_{16}$), p.e. α -pineno, limoneno, geraniol, mentol.
- Sesquiterpenos: ($C_{15}H_{24}$), p.e. β -cariofileno, β -bisaboleno.
- Diterpenos: ($C_{20}H_{32}$), p.e. fitol, tocoferol, retinol.
- Triterpenos: ($C_{30}H_{48}$), p.e. esteroides y saponinas.
- Tetraterpenos: ($C_{40}H_{64}$), p.e. carotenoides.
- Politerpenos: ($>C_{40}H_n$), p.e. plastoquinonas, ubiquinonas, goma india.

Esta subdivisión es un indicio de la multiplicidad de los terpenoides presentes dentro de la naturaleza. El monoterpeno básico, con 10 átomos de carbono y 16 de hidrógeno ($C_{10}H_{16}$), puede orientarse y unirse de muchas maneras distintas, lo que resulta en una gran diversidad de compuestos.

El grupo de monoterpenos comprende los acíclicos, los mono-, bi- y tricíclicos, pueden ser solamente hidrocarburos o hidrocarburos oxigenados, como el linalol, mentol, alcanfor, y geraniol (Sabillón, 2001).

Podemos identificar a los terpenos en las plantas como componentes de aceites esenciales, resinas, carotenoides, goma arábica o caucho, giberelinas, esteroides y el lado fitol de la cadena de clorofila (Kramer, 1979; Lerdau, 1991).

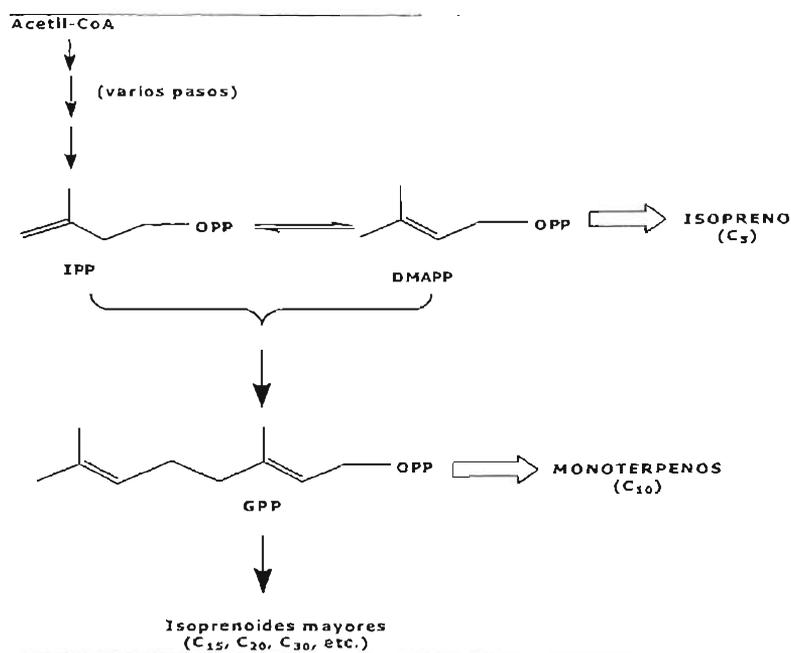
III.5. Síntesis y rutas de emisión de los hidrocarburos biogénicos.

Es importante conocer el lugar de síntesis y potencial de almacenamiento de los VOC's en las plantas, ya que estas características determinan el camino que el compuesto seguirá dentro de la atmósfera. El proceso básico de síntesis de terpenoides (isoprenoides mayores y monoterpenos) es similar en todas las plantas, siendo el *Generanildifosfato* (GPP) el precursor universal (Tingey 1991).

Los monoterpenos son sintetizados, como se muestra en la figura 1, a partir del proceso general que se inicia con el Acetil coenzima A (más conocido como Acetil CoA, intermediario en el metabolismo mitocondrial), siendo el Isopentenil-pirofosfato (IPP) y su isómero el Dimetilalil-difosfato (DMAPP), que se deriva del ácido mevalónico, los precursores del isopreno. La condensación de estos dos compuestos da lugar al Generanildifosfato (GPP), una unidad de 10 carbonos a partir de la cual se forman los monoterpenos y unidades de VOC's más complejas.

FIGURA 1.

Síntesis de isopreno, monoterpenos y otros compuestos terpenoides (Sabillón 2001).



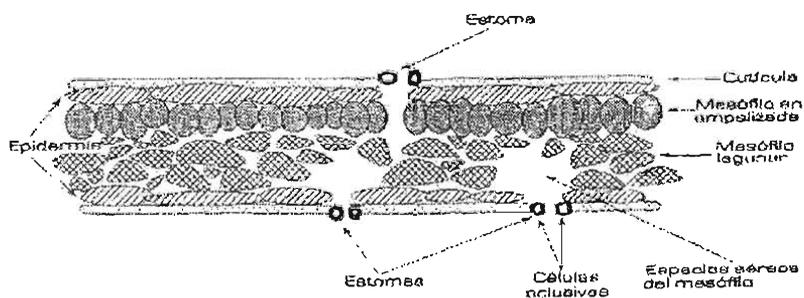
El mecanismo de síntesis, tanto para el isopreno como para los monoterpenos, parece ser llevado a cabo en los cloroplastos. El proceso se deduce debido a que las condiciones intracelulares que presenta este orgánulo, son las óptimas para la acción de un enzima indispensable en la síntesis del isopreno, la *enzima isopreno-sintetasa*, además de la presencia de cofactores enzimáticos que hace posible tal biosíntesis (Sabillón, 2001).

III.6. *Mecanismos de emisión de VOC's por las plantas.*

Según Tingey et al.(1991), el comportamiento de las emisiones depende de: *i)* la fuente dentro de la hoja, *ii)* el camino de difusión, *iii)* la volatilidad de los compuestos y *iv)* las condiciones ambientales.

Un gas producido dentro de las hojas sale a la atmósfera ya sea a través de los estomas, o por medio de las cutículas hidrofóbicas. Ya que la hoja es el órgano funcional que presenta mayor densidad de estomas por superficie (Barcelo, 1986), sería la vía estomática la más importante para la salida de los VOC's sintetizados en la hoja. Los estomas son aberturas o poros en la epidermis de las hojas y tallos rodeadas de células oclusivas, y estos intervienen en el intercambio gaseoso, figura 2.

FIGURA 2.
Corte transversal de una hoja mostrando la comunicación de los estomas con los espacios intercelulares (Sabillón 2001).



Se distinguen dos tipos de gases generados por la planta (Kesselmeier, 1999): *i*) el que se almacena en células u órganos especiales después de la fotosíntesis que es liberado posteriormente, y *ii*) aquel en el que la síntesis y la emisión están directamente relacionadas.

Los posibles mecanismos de difusión desde la hoja a la atmósfera que se conocen son:

1) mediante control estomático, 2) difusión cuticular, y 3) mediante las vellosidades externas (trichomas).

La importancia de los estomas en la emisión de monoterpenos presenta controversia ya que, mientras que en algunos ensayos en laboratorio se ha observado que existe relación entre las emisiones y la conductancia estomática, en otros el resultado ha sido opuesto. Por ejemplo, la medición de isopreno en varias especies como *Quercus virginiana* (Tingey, 1981), *Populus tremuloides* (Monson, 1989), *Eucaliptus globulus* (Guenther, 1991), *Quercus alba*, y *Pueraria lobata*, mostraron que no hay una influencia significativa de la conductancia estomática en los niveles de emisión. Lo mismo sucedió con las emisiones de monoterpenos medidas en *Pinus eliottii* (Tingey, 1980), *Eucaliptos globulus* (Guenther, 1991), *Quercus ilex* (Loreto, 1990) *Picea abies* (Steinbrecher, 1988).

Sin embargo, en investigaciones realizadas en hojas individuales para identificar el lugar en donde es liberado el isopreno, que permitían distinguir por medio de microcámaras el lado abaxial de la hoja (*Quercus virginiana*, *Platanus occidentalis* (Tingey, 1981); *Quercus rubra* (Loreto 1990); *Eucaliptus globulus*, (Guenther, 1991), se detectó una emisión significativa de isopreno por el lado adaxial que contiene los poros estomáticos.

También se han reportado experiencias similares para la emisión de monoterpenos en dos especies de plantas; Loreto (1990) encontró que la emisión de monoterpenos se produce solo por el lado abaxial (envés) de las hojas de *Quercus ilex*, a diferencia de Guenther (1991) quienes reportaron que la emisión de las hojas de *Eucaliptus globulus* se produce por el lado adaxial (haz).

Una explicación por el que no existe control estomático, es que un incremento en las concentraciones intercelulares del gas en la hoja produce el cierre de los estomas y la difusión se produce a través de la membrana cuticular (figura 2).

Se ha comprobado que los monoterpenos, al igual que otros gases como el CO₂, SO₂ y O₂, se difunden potencialmente a través de la cutícula que cubre la epidermis de la hoja. Además, existe evidencia de que la emisión de monoterpenos desde la hoja está fuertemente influenciada por la hidratación de la cutícula (Croteau, 1987; Lamb, 1985).

Para el caso de las coníferas, en los géneros *Pinus*, *Larix* y *Pseudotsuga*, los monoterpenos son producidos en las células parenquimáticas, localizadas en la epidermis de la hoja y secretados por los conductos de resina adyacentes (Hanover, 1972). Las células secretoras (llamadas células epiteliales) son más especializadas en el género *Pinus* que en otros géneros. En las acículas del *Pinus pinaster*, los monoterpenos son preferentemente sintetizados en células epiteliales en línea con los conductos de resina (Bernard, 1979). Estas células son muy activas solamente en la base de la acícula, pero se ha observado una degradación de las células epiteliales en la parte superior de estas. Por la cual, la parte de las acículas tiene una mayor concentración de monoterpenos que la parte superior.

A diferencia de los monoterpenos, los sesquiterpenos son sintetizados a lo largo de la acícula en células desprovistas de funciones secretoras especializadas (Bernard, 1979).

También se ha demostrado que la emisión desde la hoja puede ocurrir por la vellosidad superficial (tricomas). Una amplia variedad de hierbas y arbustos poseen glándulas epidérmicas aceitosas por los cuales emiten monoterpenos (Croteau, 1987). Por ejemplo, en las especies de la familia Labiateae (p.e., romero y salvia) la cantidad de monoterpenos está muy relacionada con el número de tricomas en la superficie de la hoja. La acumulación de monoterpenos en los tricomas ha sido medida en una variedad de especies (Venkatachalam, 1984; Yamaura, 1989). Estas observaciones indican que los tricomas pueden ser también el lugar de síntesis y almacenamiento de monoterpenos (Tingey, 1991).

III.7. Factores que influyen en la concentración de compuestos emitidos.

Se sabe que cada especie emite distinta cantidad de compuestos, resultado de las complejas interacciones entre el organismo y su entorno (US-EPA). Las emisiones de estos compuestos se van a ver alteradas por diferentes factores. Estos factores (bióticos y abióticos) que afectan las emisiones de VOC's son: *i)* las variables ambientales como: *la luz, la temperatura y la humedad; ii)* procesos fisiológicos de la planta (mecanismos de emisión, etapas de desarrollo); *iii)* condiciones físicas como el *estrés ambiental* (mecánico, hídrico o la contaminación del aire). Por lo que para llegar a predecir un modelo adecuado de emisiones se requiere de un amplio estudio de la vegetación del lugar, así como de las condiciones que prevalecen en el mismo (Steinbrecher, 1997).

A continuación se describen algunos aspectos relevantes encontrados en la literatura sobre los factores antes mencionados.

III.7.1. Variables ambientales (luz, temperatura y humedad).

Muchos autores han encontrado que emisiones de VOC's en algunas especies vegetales dependen solamente de la temperatura; en cambio, en otras especies existe la influencia de temperatura y PAR (Radiación fotosintéticamente activa, por sus siglas en inglés) (Tingey, 1980; Lamb, 1987; Juuti, 1990; Guenther, 1991, 1993, 1995).

III.7.1.1. *Modelo de la temperatura (Tingey et al., 1980).*

En la familia Panacea los monoterpenos son producidos en las células epiteliales circundantes a los canales de resina donde se almacenan estos compuestos (Bernard, 1989). Estos depósitos son lo suficientemente grandes comparados con el nivel de emisión (Schindler, 1989; Lerdau, 1994) y constituyen una fuente permanente de emisión en la hoja. Por lo tanto, se asume que la emisión de monoterpenos es producida principalmente de la volatilización que se produce de estos órganos de depósitos, y así sólo se consideran los efectos de la temperatura sobre la presión de vapor del gas contenido en el tejido de la planta y la resistencia de transporte a lo largo del paso de difusión (Tingey, 1991; Simon, 1994; Monson 1995).

El modelo propuesto por Tingey et al. (1980) para las emisiones de monoterpenos provenientes del pino no considera influencia de la luz en periodos, sino asume que la emisión es una volatilización de los monoterpenos provenientes de los órganos de depósitos de la hoja, que se incrementa en forma exponencial con la temperatura. Se describe de la siguiente manera:

$$E = E_S * \exp[\beta * (T - T_S)] \quad (\text{Ec. 1})$$

E , es la emisión medida a temperatura T , β es la pendiente de la relación $\ln E/dT$, y E_S , la emisión a temperatura estándar. Los valores de la pendiente reportados en la literatura están en el rango de 0.057 y 0.144 K^{-1} , aunque se acepta generalmente el valor medio de 0.09 K^{-1} (Guenther et al., 1993).

III.7.1.2. Modelo de la luz y temperatura (Guenther et al., 1993).

A diferencia de los monoterpenos, se ha demostrado que la emisión de isopreno es dependiente de la luz y la temperatura. Hasta la fecha no se han encontrado depósitos importantes de isopreno en plantas emisoras de isopreno y se ha demostrado que la emisión es consecuente con la síntesis del isopreno (Staudt, 1997). Asimismo, la dependencia de la luz por la emisión de isopreno se atribuye a la necesidad de que se produzcan algunos productos foto-dependientes que son necesarios para la síntesis de isopreno (Monson, 1991; Loreto, 1993). En cambio, la dependencia a la temperatura por la emisión podría ser resultado de la dependencia a ésta por la *isopreno-sintetasa*, una enzima cloroplástica que produce finalmente el isopreno a partir del Dimetilalil-difosfato (DMAPP) (Monson, 1992; Silver, 1991).

Como no existen depósitos de isopreno, la síntesis y, la emisión disminuyen en pocos minutos bajo condiciones de oscuridad (Tingey, 1981; Evans, 1985; Guenther, 1991; Sanadze, 1991; Sharkey, 1991; Monson, 1991).

Tomando en cuenta lo anterior, Guenther et al. (1993) desarrollaron un modelo para simular la respuesta en periodos cortos de la emisión de isopreno a la luz (L) y a la temperatura (T), basándose en el supuesto de que la emisión esté directamente relacionada con la síntesis que se lleva a cabo en el tejido mesófilo de la hoja. La descripción matemática, de uso generalizado, del modelo es la siguiente:

$$E = E_S * C_L * C_T \quad (\text{Ec. 2})$$

E , es la emisión medida y E_S , el factor de emisión en condiciones estándar ($T=30^\circ\text{C}$ y $\text{PAR}=1000\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$). C_L y C_T , son función de la temperatura y la PAR, expresadas de la manera siguiente:

$$C_L = \frac{\alpha C_{L1} L}{\sqrt{1 + \alpha^2 L^2}} \quad (\text{Ec. 3})$$

$$C_T = \frac{\exp(C_{T1}(T - T_S) / RT_S T)}{1 + \exp(C_{T2}(T - T_M) / RT_S T)} \quad (\text{Ec. 4})$$

Siendo T , la temperatura ambiental en K, L , el flujo de PAR en $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$, R , la constante de los gases ideales ($= 8.314 \text{ JK}^{-1} \text{ mol}^{-1}$), T_S , la temperatura estándar ($= 303 \text{ K}$) y el resto son coeficientes empíricos: $\alpha = 0.0027$, $C_{LJ} = 1.066$, $C_{T1} = 95000 \text{ J mol}^{-1}$, $C_{T2} = 230000 \text{ J mol}^{-1}$ y T_M , la temperatura de la muestra ($= 314 \text{ K}$).

Este modelo pronostica un incremento asintótico de la emisión con respecto a radiación hasta un límite de donde la radiación llega a un valor alrededor de $2342 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ y un incremento exponencial con la temperatura hasta un óptimo alrededor de los 31°C , por encima del cual las emisiones disminuyen (Ruiz ,1999).

Los parámetros anteriores sugeridos por Guenther y colaboradores han sido confirmados en muchos otros estudios (Guenther, 1995). Sin embargo, existe evidencia de que las respuestas a la luz y la temperatura, así como los valores propuestos para los parámetros difieren entre las especies de plantas y aún puede variar entre hojas expuestas a la sombra y/o la luz dentro de la misma copa del árbol (Tingey, 1987; Monson, 1992; Lerdau, 1997; Harley, 1996, 1997; Sharkey, 1996).

En la actualidad se acepta que el régimen de luz y temperatura experimentado por las hojas puede influenciar o incluso predeterminar su capacidad de emisión. Por ejemplo, en los bosques se ha observado que las hojas expuestas a niveles altos de radiación y temperatura tienen una mayor capacidad de emisión para isopreno o monoterpenos que las hojas expuestas en la sombra, localizadas tanto dentro como en la parte superior de la copa del árbol (Harley, 1994; Sharkey, 1991, Street, 1997).

Estudios realizados en el laboratorio con plantas emisoras de isopreno, han demostrado que el crecimiento de la planta bajo condiciones moderadas de luz y temperatura provoca un incremento en la capacidad de emisión (Harley, 1994; Monson, 1989; Sharkey, 1991; Loreto, 1993). Asimismo, el crecimiento bajo condiciones de alta temperatura produce altas emisiones de isopreno. Algunas especies emisoras de isopreno mantenidas a baja temperatura no han emitido isopreno hasta que no han sido expuestas a altas temperaturas (Monson, 1992; Loreto, 1993). Para el caso de los monoterpenos, en un primer estudio

Dement (1975) reportó que las temperaturas frías nocturnas incrementaban la emisión de estos compuestos en la salvia (*Salvia officinalis*).

Con respecto a los monoterpenos, la independencia de la luz de sus emisiones es cuestionada. Yokouchi y Ambe (1984) demostraron que los cambios en emisión de *Pinus desinflora* en condiciones de temperatura constante, están íntimamente relacionados con la radiación solar. Steinbrecher (1988) mostró que la emisión de α -pineno proveniente de esta misma especie es provocada por la luz.

La humedad relativa del aire parece no afectar la emisión de monoterpenos, según concluyen en sus investigaciones Yokouchi y Ambe (1984), Juuti, (1990), y Guenther, (1991), estudiando especies como pino, picea y eucalipto, respectivamente. Sin embargo, otros estudios sugieren que la humedad ejerce una leve pero positiva influencia en la emisión, p. e.: en la emisión de monoterpenos proveniente de la salvia, menta y encina (Dement, 1975; Croteau 1987; Loreto, 1990) y en la emisión de isopreno proveniente del eucalipto y del álamo (Guenther, 1991; Monson, 1989). Se ha observado también un incremento significativo en la emisión de monoterpenos en el follaje húmedo de diversas coníferas y arbustos aromáticos (Croteau, 1987; Lamb, 1985; Street, 1997). Este efecto puede estar relacionado con la hidratación de la cutícula de la hoja, aunque no se conoce el mecanismo exacto por el cual ocurre el aumento evidente de la emisión (Kesselmeier, 1999).

III.8. *Procesos fisiológicos de la planta.*

Se han realizado varios estudios para determinar la relación fisiológica entre la producción de VOC's y el proceso fotosintético (Monson, 1989; Loreto, 1990; Hewitt, 1990; Sharkey, 1991). Se han encontrado que la emisión de isopreno esta ligada a la asimilación fotosintética de CO₂ y por tanto a la concentración de CO₂ en el ambiente. Esta dependencia sin embargo no se observa con los monoterpenos (Sharkey, 1991).

Los procesos fenológicos de la planta (floración, producción de brotes y frutos, envejecimiento y la inactividad) influyen naturalmente en la emisión, aunque generalmente se relacionan con los efectos estacionales (largo plazo).

III.8.1. *Estrés ambiental.*

El estrés ambiental ejercido sobre las plantas afecta a su estado fisiológico. Este factor en la vegetación es de dos tipos estrés hídrico y estrés físico.

III.8.1.1. *Estrés hídrico.*

El impacto producido por el estrés hídrico (sequía) en la emisión de monoterpenos fue evaluado en el *Quercus ilex* y diversas coníferas, la emisión de isopreno fue evaluado en el *Quercus virginianus*, *Pueraria lobata* y *Liquidambar styraciflua*. Sin considerar las diferencias en el desarrollo experimental, las plantas investigadas, y los compuestos, los resultados de estos estudios muestran similitud en las respuestas de emisión a la sequía. Bajo condiciones moderadas de estrés, cuando el intercambio de CO₂ y vapor de agua disminuyen, las emisiones permanecen sin cambio. Pero en condiciones severas de sequía las emisiones se reducen, aunque pueden aumentar nuevamente después de hidratarse. Todos estos estudios se han hecho en plantas jóvenes desarrolladas en invernadero, por lo cual no se conocen en el campo los cambios en la emisión debido a este tipo de estrés (Tingey, 1980; Sharkey, 1991).

III.8.1.2. *Estrés físico.*

El estrés producido por manipulación de las hojas, así como por el ataque de herbívoros y organismos patógenos, puede tener impactos a corto y largo plazo en la emisión de VOC's por las plantas. (Los compuestos comúnmente encontrados en la emisión de hojas dañadas son los aldehídos-C₆, alcoholes y sus derivados). Por ejemplo, la procesionaria (oruga) es el principal desfoliador de los pinares españoles, este daño se produce debido a la alimentación de las orugas durante el invierno y puede extenderse de un árbol a otro (Sharkey, 1996).

Muchos VOC's, como los monoterpenos, están involucrados en mecanismos de defensa no espontáneos de las plantas contra los ataques de herbívoros y patógenos. Por ejemplo, el daño a la corteza de un pino puede provocar la liberación de monoterpenos en dos procesos independientes en dos diferentes escalas de tiempo: primero, por la liberación instantánea de resina en la superficie de la planta, y segundo, por la inducción de un compuesto monoterpénico en una nueva síntesis dentro de los tejidos adyacentes que se llevan a cabo en días o semanas (Croteau, 1987).

Estudios en plantas emisoras de monoterpenos utilizando el método de encerramiento, reportan una interrupción en la emisión después de un leve estrés mecánico como sería la colocación de la cámara de encerramiento sobre la rama (Juuti, 1990; Arey, 1995). En un reciente estudio realizado en el laboratorio en un ejemplar joven de *Pinus pinea* (3 años), Loreto et al., (2000) estudiaron la diferencia de emisiones entre acículas intactas y otras seccionadas y encontraron que las acículas seccionadas, ya sea en la luz o en la oscuridad, emiten masivamente los monoterpenos contenidos en los conductos de resina, principalmente limoneno y α -pineno. A partir de lo anterior, estos autores sugieren que la emisión de monoterpenos es una función defensiva de las plantas, especialmente cuando son jóvenes.

Además, este fenómeno sólo ha sido observado en plantas que almacenan monoterpenos en órganos secretores (p.e., familias Pinaceae y Labiaetae), y son una fuente potencial de error cuando se estudia la emisión con cámaras de encerramiento dinámico en periodos cortos.

La emisión de isopreno por el contrario, no parece ser afectada o inhibida por daños producidos a la planta (Monson, 1994; Loreto, 1993).

III.9. *Métodos de muestreo.*

Muchos métodos están disponibles actualmente, cada método tiene su propio rango de aplicación para un muestreo preciso y confiable. Los métodos más empleados para el muestreo en aire de NMHC's son los métodos abiertos i) aproximación por gradientes de concentración, ii) Trazadores y los métodos de encerramiento iii) cámara con flujo dinámico.

La selección del método a utilizar es un elemento importante del presente trabajo. Los métodos que sustentan trabajos previos realizados en el campo suelen variar de un grupo de investigadores a otro, desde los métodos de obtención de las muestras, como en su almacenamiento y manejo en el laboratorio. Básicamente los métodos se agrupan entre métodos de encierro, semi-encierro y método al aire libre. Como su nombre lo indica, el método de encierro aísla el objetivo de muestreo, ya sea una hoja, una rama, o un individuo entero, del medio que le rodea (Rasmussen, 1972; Tyson, 1974; Zimmerman, 1979; Lamb, 1985; Tingey, 1991; Arey, 1990).

III.9.1. *Método de encierro.*

Los primeros trabajos que emplearon esta técnica generaban un encierro estático, en el cual la temperatura, la humedad y la propia concentración de gases en el interior del sistema se alteraban fuertemente, provocando en muchas ocasiones mediciones erróneas. Algunos autores consideran que estos sistemas arrojan buenos resultados en la identificación de especies de hidrocarburos que son emitidas en bajas concentraciones (Evans, 1982). La evolución de este método se ha inclinado hacia la generación de cámaras o encierros donde se presenta un efecto de encerramiento cada vez menor. Así se ha desarrollado el método de encierros semi-estáticos (Zimmerman, 1979) y sistemas de intercambio y flujo en cámaras (Loreto, 1990; Sharkey, 1991; Monson, 1989, 1992; Hewitt, 1990; Juuti, 1990; Lerda, 1991).

III.9.2. Método de encierro a régimen dinámico.

El empleo de sistemas de encierro bajo régimen dinámico son métodos que permiten el libre flujo e intercambio de gases dentro de la cámara de muestreo, evitando con ello cambios importantes en la humedad, temperatura, y concentración de gases en el interior de la cámara, estos cambios pueden alterar la apertura natural del estoma y por consiguiente el grado de emisión normal de hidrocarburos de la planta.

En este método se mide la emisión de una parte de la planta. Para la retención de la muestra es necesario el uso de un material absorbente (Tenax-TA, Tenax-GR, Carbotrap, Chromsorb, Carbón Activado, etc.). El absorbente comúnmente empleado para el muestreo de monoterpenos es el Tenax (TA o GC), a pesar de su excelente característica hidrofóbica, presenta bajos volúmenes de retención para los hidrocarburos más volátiles, por lo que no es recomendable para el muestreo de hidrocarburos menores a C₅ (Evans, 1982). A diferencia de los al aire libre, éste es un método simple, fácil de llevar a cabo y tiene la ventaja de poder medir individualmente diferentes especies. Puede ser utilizado tanto en campo como en el laboratorio, donde se puede experimentar con diferentes condiciones ambientales controladas.

El método de encierro presenta desventajas, ya que el confinamiento físico a que es sometida la planta durante el encerramiento, puede perturbar su funcionamiento biológico normal y por lo tanto registrar flujos de emisión no representativos. Además, si los datos van a ser utilizados en un inventario de emisiones, es necesario contar con factores de biomasa precisos para extrapolar la emisión de una rama individual a un bosque o una región (Juuti, 1990; Tingey, 1981, 1980).

III.9.3. Método de sistema abierto al aire.

Los métodos de sistemas abiertos al aire permiten coleccionar muestras de la presencia de NMHC's en el aire, sin conocer al emisor. Al igual que en los métodos de encierro a régimen dinámico, existen diferentes formas de realizar el muestreo: Con gradiente de concentración, con trazadores (Hexafluoruro), absorción con carbón activado, simple difusión. Este es un método micrometeorológico que da una estimación global de las emisiones para un área muy grande, reduciendo así los problemas de heterogeneidad de la muestra. Además posee la ventaja, a diferencia de los métodos de encerramiento, de que no perturba la vegetación. Sin embargo presenta el inconveniente de que no se puede utilizar en áreas e orografía complicada, como es el caso del Valle de México, por lo que es exigente en cuanto a la localización, necesitando espacios rurales donde la interferencia con contaminantes antropogénicos pueda ser despreciable, aparte de requerir sensores sumamente precisos (Tingey, 1991; Oystein, 1993; Greenberg, 1984 y 1985; Lamb, 1986; Yokouchi, 1988).

III.10. Método de Análisis.

Dado la complejidad de la mezcla de hidrocarburos biogénicos emitidos por las plantas, se requiere de un método analítico que pueda resolver un compuesto de otro. La Cromatografía de Gases Capilar (CG) ofrece excelentes posibilidades de análisis y junto con el detector de ionización de flama (FID, por sus siglas en inglés) y un sistema de inyección vía termodesorción (TD) en línea (TD/GC/FID) es posible alcanzar muy bajos límites de detección.

III.10.1. *Termodesorción (TD).*

Los inyectores vía termodesorción (TD/CG) son sistemas que permiten desorber térmicamente toda la muestra de los cartuchos colectores al cromatógrafo de gases en un solo paso, lo cual permite alcanzar muy bajos límites de detección.

III.10.2. *Cromatografía de Gases (GC).*

La cromatografía de gases depende de un método físico de separación en el cual los componentes a separar se distribuyen entre dos fases, una de las cuales constituyen la fase estacionaria, de gran área superficial, y la otra es un fluido (fase móvil) que pasa a través o a lo largo de la fase estacionaria. La fase estacionaria puede ser un sólido o un líquido dispuesto sobre un sólido que actúa como soporte, de gran área superficial. La fase móvil es un fluido (puede ser gas, líquido o fluidos supercríticos) que se usa como portador de la mezcla. En la cromatografía ocurren dos fenómenos muy importantes y que son prácticamente los rectores del proceso de separación:

La *adsorción* es la retención de una especie química en los sitios activos de la superficie de un sólido, quedando delimitado el fenómeno a la superficie que separa las fases o superficie interfacial. Esta retención superficial puede ser física o química. La adsorción depende de la naturaleza de la sustancia absorbida, de la temperatura, de la naturaleza y estado de subdivisión del absorbente, y de la concentración.

La *absorción* es la retención de una especie química por parte de una masa y depende de la tendencia que tiene ésta a formar mezcla o reaccionar químicamente con la misma (Mc Nair 1981).

En esta técnica la cromatografía consta de hacer pasar el analito en forma gaseosa a través de la columna, arrastrado por una fase móvil gaseosa, llamada el gas portador (He, N₂ o H₂). Los analitos después de pasar por la columna llegan al detector, cuya respuesta aparece

en la pantalla de un ordenador o en un registrador. La columna debe estar suficientemente caliente a fin de que los analitos alcancen una presión de vapor suficiente para que se eluyan en un tiempo razonable. El detector se mantiene a una temperatura más alta que la columna, de forma que los analitos se encuentran en formas gaseosas.

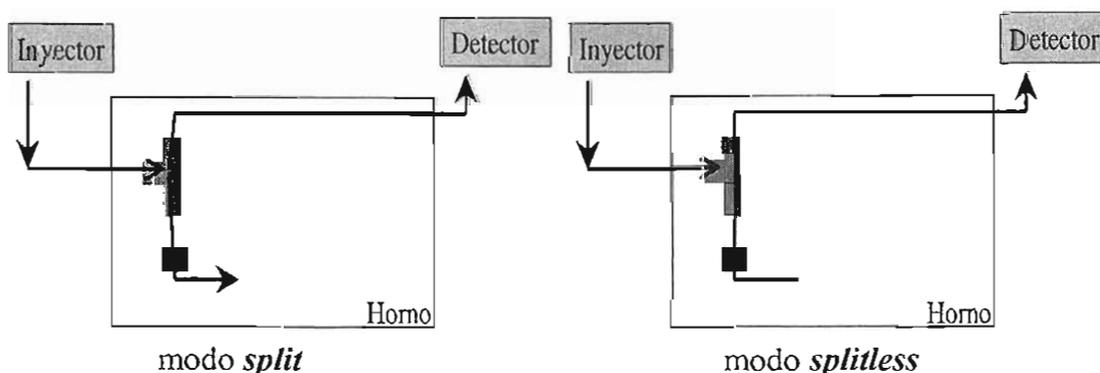
III.10.3. *Detector de ionización de flama (FID).*

El FID es por mucho la técnica de detección más empleada, responde prácticamente a todos los VOC's, se ha utilizado ampliamente en la determinación de VOC's en el aire (Sharkey, 1991). El límite de detección para el sistema GC-FID, depende del modo de inyección split o splitless, junto con un sistema TD en línea (TD/GC/FID) puede alcanzar de 5 a 50 pg.

En el modo *split*, el flujo que lleva la muestra se divide en dos partes, una parte pasa al detector y otra parte pasa al interior del horno, la relación de flujos que existe entre las dos partes es controlado por medio de una válvula, teniendo un factor de relación 6.25.

En tanto el modo *splitless*, la muestra pasa completa al detector, saturando a este, por lo tanto se tiene un mal funcionamiento. Por esto se decide utilizar el modo split para el análisis de las muestras (figura 3).

FIGURA 3.
Diagrama de los modos Split & Splitless.



III.11. *Especies vegetales considerados en el presente estudio.*

Las especies se seleccionaron bajo el criterio de ser especies “multipropósito”, esto es, importantes por los servicios que presentan al ambiente, por su utilidad para el hombre, por presentar características prometedoras para emplearse en programas de restauración y reforestación en las diferentes regiones ecológicas del país y su uso como plantas ornamentales en parques y jardines de la zona sur del valle de la ciudad de México (Vázquez, 1999).

En la tabla 3 se enlistan las especies escogidas, con su nombre científico y su nombre común.

TABLA 3
Especies arbóreas elegidas para su estudio.

No.	Nombre Científico	Nombre Común
1	<i>Acer negundo</i>	Acezintle
2	<i>Buddleia cordata</i>	Tepozán
3	<i>Dodonaea schiedeana</i>	Dodonea viscosa
4	<i>Jacaranda mimosifolia</i>	Jacaranda
5	<i>Juniperus deppeana</i>	Táscate
6	<i>Libocedrus decurrens.</i>	Cedro de incienso
7	<i>Lingustrum lucidum</i>	Trueno.
8	<i>Liquidambar styraciflua</i>	Liquidambar
9	<i>Picea concolor</i>	Pinabete mexicano
10	<i>Pinus ayacahuite</i>	Pino real
11	<i>Pinus cembroides</i>	Piñonero
12	<i>Pinus edulis</i>	Pino piñon
13	<i>Pinus patula</i>	Pino colorado
14	<i>Pinus radiata</i>	Pino Monterrey
15	<i>Pinus teocote</i>	Ocote
16	<i>Pittosporum undulatum</i>	Pitosporo de bayas anaranjadas
17	<i>Podocarpus reichei</i>	Podocarpus
18	<i>Prunus serotin</i>	Capulín
19	<i>Quercus rugosa</i>	Encino
20	<i>Taxodium mucronatum</i>	Ahuehuete

En el anexo I se explica con mayor detalle lo referente a cada especie y la razón específica para la selección de cada una.

III.12. La importancia de las Emisiones de hidrocarburos biogénicos en la calidad del aire.

Básicamente debido al fracaso de las políticas de abatimiento de los niveles de ozono en las grandes urbes de Estados Unidos, se ha incorporado la visión de que las emisiones biogénicas de hidrocarburos no metano pueden jugar un papel importante en la calidad del aire en las zonas urbanas que coexisten con áreas extensas de vegetación natural o cultivada (N.R.C., 1991; Flyckt, 1979; Graedel, 1979; Logan, 1981, 1985 y 1989; Trainer, 1988). En el estudio de Chameides et al. (1988) realizado en Atlanta se demostró que las emisiones biogénicas, aunque no se comparan en volumen con las emisiones antropogénicas, tienen un gran efecto en la producción de ozono. En ese estudio, al incorporar a un modelo de calidad de aire la presencia de los hidrocarburos biogénicos se encontró que para abatir los niveles de ozono por debajo de la norma de calidad del NAAQS (Nacional Ambient Air Quality Estandar: 0.12 ppm) se requería disminuir en 70% las emisiones antropogénicas de hidrocarburos.

La contribución biológica de hidrocarburos proporciona una concentración base que no es removible de la atmósfera mediante controles de emisión, y por ello debe ser considerada como punto de partida para estimar las reducciones necesarias en las fuentes antropogénicas. Negar o minimizar su participación ha sobrestimado la efectividad de las estrategias de abatimiento de ozono basadas en las reducciones de hidrocarburos antropogénicos. Actualmente parece haber aceptación en que la combinación de VOC's de origen biológico con los NOx antropogénicos pueden tener un efecto significativo en la formación fotoquímica del ozono en regiones urbanas y rurales (N.R.C., 1991).

Una de las razones, por las que los volúmenes de hidrocarburos biogénicos no deben ser comparados de manera directa con los volúmenes de origen antropogénico, es que los primeros son, en conjunto, mucho más reactivos que los segundos y por ello, a pesar de encontrarse en concentraciones menores, pueden jugar un papel muy importante, sobre todo a nivel local, en la formación de ozono.

III.12.1. El caso de la Ciudad de México.

En un estudio presentado a la Comisión Metropolitana para la Prevención y Control de la Contaminación Atmosférica en el Valle de México (Ruiz, 1994) se construyó un modelo de emisiones formado por uno o varios modelos de follaje y un modelo de cobertura vegetal.

Para los modelos de follajes se hicieron las siguientes suposiciones:

La existencia de un estrato superior compuesto sólo por el dosel de los árboles emergentes, expuestos a la misma irradiación ($800\mu\text{E m}^{-2}\text{s}^{-1}$) y temperatura.

La existencia de un estrato arbustivo y o de pastos, donde en ausencia del estrato superior, se les asignan las mismas condiciones de temperatura e irradiación que al dosel arbóreo.

La existencia de un estrato medio del dosel o sotobosque compuesto por una combinación de pastos y arbustos. La radiación que recibe este estrato se encuentra atenuada por la presencia del estrato arbóreo. Se supone que la cobertura del dosel de las coníferas del valle, permite el paso moderado de radiación hacia el sotobosque y se ha fijado en $400\mu\text{Em}^{-2}\text{s}^{-1}$. El follaje de latifoliadas es más denso y, por tanto, deja pasar menos radiación, la cual se ha definido en $100\mu\text{Em}^{-2}\text{s}^{-1}$.

Se supone además que las coníferas sólo emiten monoterpenos, las latifoliadas sólo isopreno y los cultivos, pastos y arbustos emiten una combinación de ambos.

Por otra parte, el modelo de cobertura del suelo incorpora 12 categorías, cada una de las cuales representa, ya sea a un tipo de uso, vegetación, o una combinación de tipos.

La siguiente tabla presenta la división de los meses en función de las condiciones climáticas:

TABLA 4
Condiciones climáticas.

	A	B	C
Estación	Seca caliente	Lluvias	Seca fría
Meses	Marzo a Junio	Julio a Octubre	Noviembre a Febrero

En la tabla 5 se puede observar que la obtención de datos a través del uso de medias de escala temporal mayor (diarias vs horarias) provoca una subestimación sistemática de las emisiones. El caso más evidente es el de seca caliente, donde la subestimación puede llegar hasta el 35% de la emisión calculada con las medias horarias.

TABLA 5

Emisiones estimadas de hidrocarburos biogénicos en la Ciudad de México (Ruiz, 1994).

<i>Época</i>	<i>Emisión estimada Temperatura media diaria (Mg día⁻¹)</i>	<i>Emisión estimada Temperatura media horaria (Mg día⁻¹)</i>	<i>Diferencia (%)</i>
Secas Frías	87.5	103.5	15.5
Secas Calientes	117.3	181.2	35.3
Lluvias	115.0	138.2	16.8

Las emisiones reportadas, por la Comisión Metropolitana para la Prevención y Control de la Contaminación Ambiente en el Valle de México oscilan (dependiendo de la época y temperatura media utilizada), entre el 8.5% y 17.7% del total de las emisiones de hidrocarburos antropogénicos estimados para la zona metropolitana (372,525 Mg año⁻¹ equivalente a 1,020 Mg día⁻¹). Sin embargo, del total de los hidrocarburos antropogénicos, sólo un 15%, correspondientes a las olefinas (153 Mg día⁻¹), se considera tan reactivo como los hidrocarburos naturales. Esto significa que las emisiones biogénicas pueden ser equivalentes a las especies reactivas de origen urbano. Es necesario hacer notar que los cálculos se hicieron con temperaturas medias, por lo que es posible que en días soleados de seca caliente las emisiones de hidrocarburos naturales puedan duplicarse en ciertos momentos del día. Así mismo, el grueso de las emisiones biogénicas estimadas se concentran en las zonas sur, oeste y este, siendo el primero el que participa con un mayor porcentaje.

Los resultados presentados en la tabla 5 son producto del primer estudio realizado en México en 1994. De ese año a la fecha, se han realizado mas estudios, tratando de mejorar el cálculo para estimar las emisiones biogénicas, dando resultados más reales (Ruiz, 1994, 1997, 2001; Cruz, 1995).

Capítulo IV

EQUIPO, MATERIALES Y MÉTODO.

En la realización del presente estudio, para capturar y determinar los hidrocarburos totales en 20 especies de árboles y/o arbustos se utiliza una técnica modificada descrita por Juuti, (1990); Heath, (1992); Imaz, (1995), Guenther, (1995), y Klinger, (1998) la cual consiste en un sistema de muestreo basado en una técnica de encierro bajo régimen dinámico, con cartuchos absorbentes para la colecta de muestra; en el análisis se utiliza la técnica de inyección por Termodesorción (TD), acoplado a un Cromatógrafo de Gases (CG) con un Detector de Ionización de Flama (FID, de sus siglas en inglés) y en lugar de columna, se tiene una línea de transferencia químicamente desactivada y de bajo volumen muerto.

IV.1. Equipo de muestreo.

El sistema de muestreo puede dividirse en dos subsistemas, el primero de acondicionamiento de cartuchos colectores, el segundo cámara y líneas de muestreo.

IV.1.1. Cámara.

La cámara de muestreo (figura 4) esta construida en forma de caja cilíndrica donde los bordes son de aluminio y las tapas son de acrílico de 18 cm. Diámetro interno por 20 cm. de diámetro externo y 5 cm. de longitud.

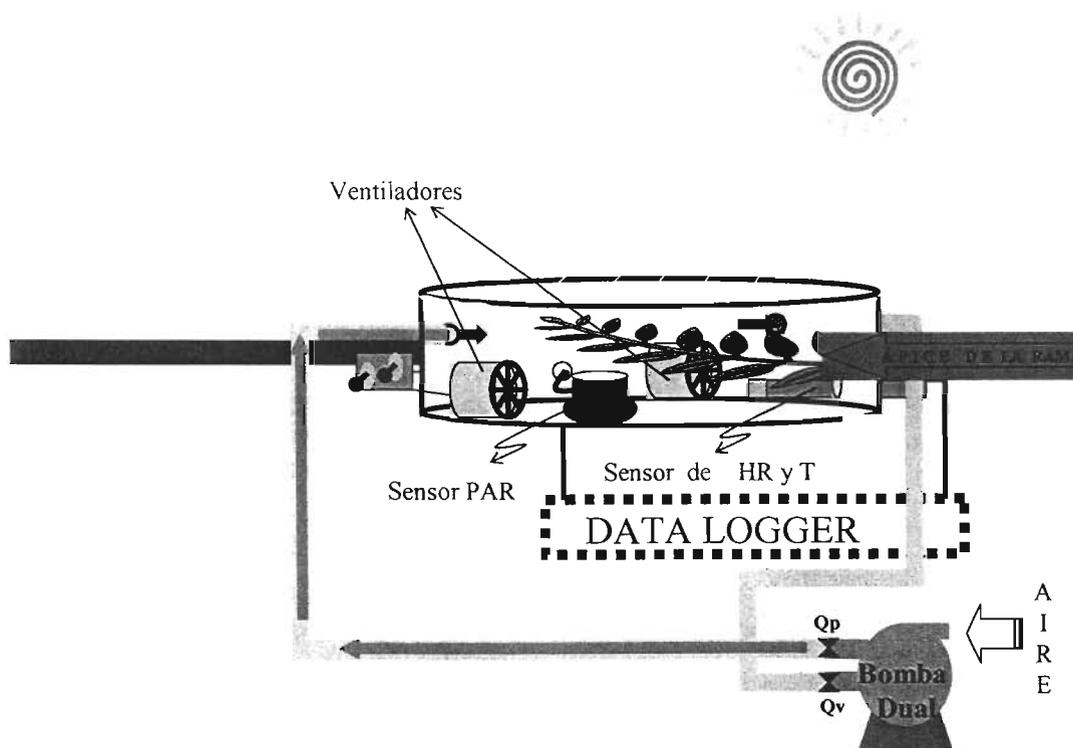
La cual esta diseñada para tener:

- i)* En su interior dos ventiladores para realizar una mezcla homogénea dentro de la cámara.
- ii)* Inserta dos conectores marca Swagelok, uno de los cuales es utilizado para suministrar aire del medio a la planta, el otro es para realizar el muestreo por absorción.
- iii)* Un orificio para el sensor de humedad y temperatura (VAISALA) y un segundo para el cable del sensor de radiación (PAR –LITE).
- iv)* Un tercer orificio donde queda el vástago de la rama.

IV.1.1.1. Líneas de inyección.

Las líneas de inyección de aire a la cámara y toma de muestra están fabricadas en teflón de 6 mm diámetro externo por 4 mm diámetro interno.

FIGURA 4
Cámara.



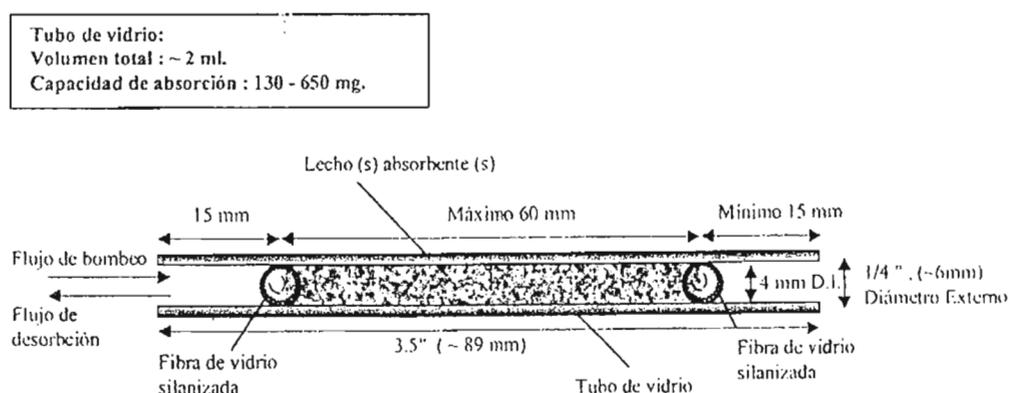
IV.1.1.2. Soporte.

Para poder sostener la cámara se diseñó un soporte (en el taller mecánico del Centro de Ciencias de la Atmósfera), que cuenta con una base en forma de pirámide realizado con ángulos de hierro, en el centro de la base se coloca un tubo de aluminio, que tiene un brazo móvil, en donde se pone la cámara.

IV.1.2. Cartucho colector de muestra.

Se utilizaron cartuchos diseñados con base en el método TO-I y TO-17 de la USEPA, figura 5, fabricados en tubos de vidrio con 6 mm de diámetro externo, 4 mm de diámetro interno, y 89mm de longitud de rugosidad mínima. El absorbente es empacado en la porción central de 60 mm del tubo. Estas dimensiones facilitan las condiciones de empaque tanto de enfriamiento como de calentamiento uniforme durante la desorción térmica. Se debe trabajar con guantes de poliéster limpios, durante todo el tiempo en que se manejen este tipo de cartuchos y su exposición abierta al aire ambiente debe ser mínima.

FIGURA 5
Ejemplo de la construcción de tubos absorbentes
(Método TO-I, USEPA).



Todos los cartuchos se limpian previamente. Siguiendo los pasos que a continuación se mencionan:

- Se lavan con una mezcla de jabón roma y agua, se enjuagan bien con agua.
- Se lava de nuevo con una mezcla de etanol al 0.2% y agua destilada, se enjuagan bien con agua destilada.
- Se ponen a secar dentro de una estufa a 150 °C con un tiempo mínimo de 24 horas.

Para el empaque de los cartuchos se utiliza fibra de vidrio silanizada la cual sigue también un proceso de limpieza el cual consiste en:

- Lavar con metanol en ultrasonido de 5 a 10 min:
- Después se lava con hexano ó diclorometano en el ultrasonido de 5 a 10 min.
- Se pone a secar en la estufa a 150 °C como mínimo 24 hrs.

El cartucho es empacado de la siguiente manera.

- Se coloca 5 mm de fibra de vidrio silanizada en la base del tubo.
- Se rellena con el absorbente Tenax (TA) 40 mm.
- Se coloca 5 mm de fibra de vidrio silanizada.
- Se rellena de Carbotrap X 40 mm.
- En la parte superior se coloca otra cantidad de 5 mm de fibra de vidrio silanizada.

Este proceso se realiza con ayuda de un vibrador de columnas marca Oster.

Los cartuchos son térmicamente acondicionados (ver punto **IV.1.2.1.**), se calientan durante 48 horas a 290°C, inyectando un gas inerte (nitrógeno grado cromatográfico) a un flujo entre 100-200 ml/min.

Después los cartuchos se enfrían y se tapan por los extremos con tapón (marca Swagelok), e inmediatamente son colocados en un contenedor color ámbar esterilizado, que tengan tapa roscada con asiento de teflón, colocando en el fondo carbón activado. Los cartuchos están listos para ser utilizados.

Los cartuchos deben ser utilizados preferentemente para el muestreo durante las siguientes 24 horas y la muestra debe ser analizada dentro de las siguientes 24 horas. después del muestreo. El cartucho puede ser analizado en un rango mayor de tiempo no sobrepasando las 72 horas., si esto sucede el cartucho debe almacenarse a -20°C en un congelador limpio (en ausencia de solventes u otras fuentes de orgánicos volátiles).

IV.1.2.1. Sistema acondicionador.

El sistema acondicionador de cartuchos tiene la finalidad de acondicionar los tubos colectores antes de su uso en el muestreo, mediante el calentamiento de éstos a 290 °C, inyectando un gas inerte el cual pasa por una trampa de hidrocarburos y oxígeno, a un flujo de 100-200 ml/min, durante 48 horas, este es el tiempo pertinente, siempre y cuando el cartucho se haya preparado recientemente, para cartuchos que han sido usados se pueden acondicionar por 1 hora a la misma temperatura antes de usarlos de nuevo.

Este sistema fue diseñado en el Centro de Ciencias de la Atmósfera y tiene capacidad para acondicionar hasta 9 cartuchos colectores al mismo tiempo. Para mayor referencia ver Anexo V.

IV.2. Método de Muestreo.

IV.2.1. Sitio de muestreo.

Las mediciones de campo fueron realizadas en:

Jardín botánico del instituto de Biología, enclavado en el corazón de la reserva ecológica del Pedregal de San Ángel, en terrenos de Ciudad Universitaria (UNAM), al sureste del Distrito Federal, con las siguientes coordenadas $x= 4790800$, $y=21360150$ UTM (carta cartográfica E14A39 INEGI de la ciudad de México con una escala de 1:5000).

Invernadero Faustino Miranda, ubicado en la zona escolar de Ciudad Universitaria (UNAM), con coordenadas $x=4810150$, $y=21370150$ UTM, (carta cartográfica E14A39 INEGI de la ciudad de México con una escala de 1:5000). Se considera de esta zona de

muestreo bajo el criterio de tener una corta distancia entre las especies a monitorear y el laboratorio, para que de esta manera se tome la muestra y se realice el análisis de la muestra el mismo día. Evitando con esto reacciones que puedan sufrir los VOC's al ser guardados en un refrigerador con otros compuestos.

La campaña de muestreo se realizó en temporada de Seca Fría (de Noviembre a Febrero).

La tabla 6 se refieren las 20 especies arbóreas, muestreadas por triplicado, escogidas para este estudio.

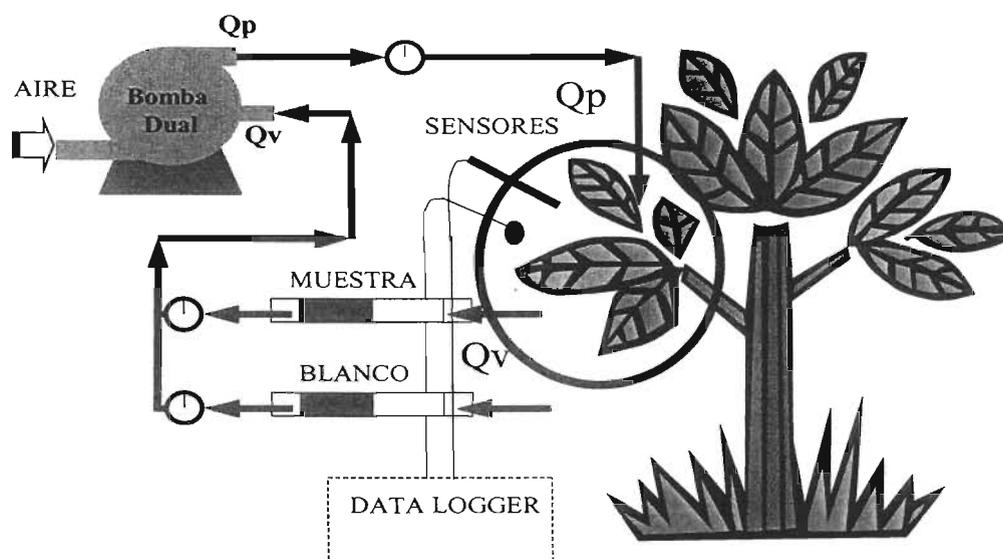
TABLA 6.
Especies arbóreas existentes en el área de experimentación.

No.	<i>Nombre Científico</i>	<i>Nombre Común</i>	<i>Edad</i>	<i>Estado visual</i>
1	<i>Acer negundo</i>	Acezintle	Adulto	Bueno
2	<i>Buddleia cordata</i>	Tepozán	Adulto	Bueno
3	<i>Dodonaea schiedeana</i>	Dodonaea viscosa	Adulto	Bueno
4	<i>Jacaranda mimosifolia</i>	Jacaranda	Adulto	Bueno
5	<i>Juniperus deppeana</i>	Táscate	Adulto	Bueno
6	<i>Libocedrus decurrens.</i>	Cedro de incienso	Adulto	Bueno
7	<i>Lingustrum lucidum</i>	Trueno.	Adulto	Bueno
8	<i>Liquidambar styraciflua</i>	Liquidambar	Adulto	Bueno
9	<i>Picea concolor</i>	Pinabete mexicano	Adulto	Bueno
10	<i>Pinus ayacahuite</i>	Pino real	Adulto	Bueno
11	<i>Pinus cembroides</i>	Piñonero	adulto	Bueno
12	<i>Pinus edulis</i>	Pino piñon	Adulto	Bueno
13	<i>Pinus patula</i>	Pino colorado	Adulto	Bueno
14	<i>Pinus radiata</i>	Pino Monterrey	Adulto	Bueno
15	<i>Pinus teocote</i>	Ocote	Adulto	Bueno
16	<i>Pittosporum undulatum</i>	Pitosporo de bayas anaranjadas	Adulto	Bueno
17	<i>Podocarpus reichei</i>	Podocarpus	Adulto	Bueno
18	<i>Prunus serotin</i>	Capulín	Adulto	Bueno
19	<i>Quercus rugosa</i>	Encino	Adulto	Bueno
20	<i>Taxodium mucronatum</i>	Ahuehuate	Adulto	Bueno

IV.2.2. Instalación del sistema de muestreo.

En la estructura metálica de soporte, se instala la cámara de emisiones biogénicas, colocando dentro de esta los sensores de radiación (marca PAR-LITE), humedad y temperatura (marca VAISALA), se conectan las líneas de flujo de aire que entra a la cámara, así como la línea de salida, de donde obtendremos la muestra por medio de absorción, los flujos son controlados con rotámetros (marca COLE-PARMER) y por último se pone con cuidado el ápice de la especie arbórea a estudiar, con el fin de evitar que el vegetal emita monoterpenos de defensa por a la perturbación, figura 6.

Figura 6
Sistema de muestreo.



El caudal o flujo de aire que entra a la cámara de muestreo Q_p (1 litro) siempre será mayor al caudal de aire que es tomado a través del cartucho colector Q_v (160 ml), logrando con ello una presión positiva al interior de la cámara (régimen dinámico), que evita la entrada de aire del exterior al sistema de muestreo y por consiguiente al cartucho colector.

Se utiliza una relación mínima de flujos de 1 a 6, es decir, el flujo de entrada a la cámara es seis veces mayor al flujo de muestreo, lo cual garantiza condiciones dinámicas de muestreo. El aire de muestreo de la cámara pasa por dos lechos absorbentes (Sharkey, 1991), el Tenax TA atrapa a los monoterpenos ($C_{10}H_{16}$) y el Carbotrap X, atrapa a los isoprenos (C_5H_8).

IV.2.3. Toma de muestra.

Para calcular el volumen máximo de aire que puede ser muestreado y la tasa máxima de flujo que puede ser utilizada sin sobrepasar la capacidad del colector de muestra, se utilizaron las fórmulas descritas en el método TO-1 de EPA (1979 y 1984). Cada compuesto tiene un volumen de retención característico (litro de aire por gramo de absorbente) el cual no debe ser excedido. Como el volumen de retención es una función de la temperatura y de otras variables de muestreo, se debe considerar un margen de seguridad adecuado para asegurar una buena eficiencia de recolección.

El volumen de muestreo máximo total, de aire se calcula mediante la siguiente ecuación 5.

$$V_{max} = \frac{Vb * W}{1.5} \quad (\text{Ec. 5})$$

donde: V_{max} , es el volumen máximo total calculado en litros, Vb , es el volumen de fuga limitante, del compuesto de interés con menor capacidad de retención por el agente absorbente (l/g), W , es la masa del material absorbente en el tubo colector (g), se utiliza un factor de seguridad de 1.5, sin unidades, a la variabilidad de la atmósfera. Este factor es apropiado para atmósfera entre 25 y 30 °C (método TO-1).

Con base en el procedimiento indicado en el punto 10.8 del “Determining and Validating Safe Sampli Volumes” del Método TO-17 de la USPEA, se determinó experimentalmente el Volumen Seguro de Muestra (SSV, por sus siglas en inglés), para el compuesto de interés con menor capacidad de retención en litros por el agente absorbente en gramos de Tenax TA y Carbotrap X, encontrando que puede utilizarse el valor de 23.88 l/g para la temperatura de 27°C.

Considerando que el SSV en la combinación analito /absorbente generalmente tiene un valor de dos terceras partes del Vb (~66%) esto es $SSV = 2/3 Vb$ (Woolfenden, 1997).

Por lo tanto

$$Vb = \frac{(3 * SSV)}{2}$$

$$Vb = 1.5 * SSV$$

$$Vb = \frac{35.82l}{gr \text{ de Tenax (TA)}} \quad (\text{Ec. 6})$$

Con base en lo anterior, el valor calculado para V_{max} es de 7.164 litros.

El flujo máximo para el muestreo de aire se calcula mediante la siguiente ecuación.

$$Q_{max} = \left(\frac{V_{max}}{t} \right) \times 100 \quad (\text{Ec. 7})$$

donde: Q_{max} , es el flujo máximo de muestreo para el aire (ml/min), t , es el tiempo de muestreo empleado por cada cartucho colector, siendo una de las variables a calcular y V_{max} , es el volumen máximo total calculado en mililitros.

La velocidad lineal correspondiente a la tasa de flujo máxima se calcula usando la siguiente ecuación.

$$B = \frac{Q_{max}}{r^2} \quad (\text{Ec. 8})$$

donde: B , es la velocidad de flujo lineal calculada en cm/min, r , es el radio interno del tubo colector de muestras en mm y Q_{max} , es el flujo máximo de muestreo para el aire (ml/min).

La velocidad de flujo lineal (B) será la que limite el flujo de muestreo empleado por el cartucho colector (Q).

En la tabla 7 se representan los valores del flujo lineal (B) y del flujo (Q) del cartucho colector a diferentes tiempos de muestreo.

TABLA 7
Valores del flujo máximo de muestra (Q_{max}) y la velocidad del flujo lineal (B) en función del tiempo para un volumen máximo total (V_{max}) de 7.164.

T (min)	V_{max} (ml)	Q_{max} (ml/min)	B (cm/min)
10	7.164	716.40	2280.37
20	7.164	358.20	1140.18
30	7.164	238.80	760.12
40	7.164	179.10	570.09
50	7.164	143.28	456.07
60	7.164	119.40	380.06
70	7.164	102.34	325.77
80	7.164	89.55	285.05
90	7.164	79.60	253.37
100	7.164	71.64	228.04

De acuerdo al cálculo anterior es posible concluir que los tiempos de muestreo óptimo van de los 40 a los 50 minutos, con flujos de muestreo máximos de 143 a 179 ml/min respectivamente. Una vez teniendo las condiciones optimas y la rama en su posición, se espera de 1 hora a 1 hora y media, para poder realizar la toma de la primera muestra, ya que la planta debe aclimatarse a su nueva condición.

El tiempo es factor importante debido a los cambios en temperatura que se provocan dentro de la cámara de colecta y que puede alterar el comportamiento de las emisiones. Mientras menos dure el encierro más confiables serán los datos.

IV.2.4. Procedimiento de muestreo.

Teniendo el equipo montado y en su lugar, tomamos una muestra del aire en el interior de la cámara, para identificar los VOC's que estén presentes antes de iniciar el muestreo, terminando este paso, enseguida introducimos la parte apical de la especie en estudio, esperando el tiempo pertinente para que la especie se estabilice con las condiciones de la cámara (1 hora a 1 hora y media). Empezamos con la toma de las muestras, se coloca el cartucho colector y por medio de absorción se obtiene la muestra durante 20 min., simultáneamente se coloca otro cartucho colector (blanco) al aire exterior de la cámara.

Se obtienen cuatro cartuchos de 20 min. cada uno en las mismas condiciones que el primero, por cada especie en estudio, dejando 45 minutos entre cada muestreo, durante todo este tiempo se registra la humedad, temperatura al interior de la cámara, temperatura ambiente y PAR con ayuda de un DATA LOGGER

Los tubos de colectores tapan con los tapones correspondientes, se cubren con papel aluminio y se guarda en un contenedor, se trasladan al laboratorio para su inmediata desorción térmica y análisis vía cromatógrafo de gases.

Las muestras tienen una referencia de comparación el blanco, este nos ayuda a discernir entre compuestos capturados en la cámara y compuestos ya presentes en el aire que se introdujo a la cámara, además de los compuestos inherentes al material absorbente, por diferencia de blancos.

Al finalizar el muestreo, se corta la parte apical de la especie desde donde se introdujo en la cámara se cubre con papel aluminio, para posteriormente ser deshojada y secada durante 72 horas a 70°C según procedimiento indicado por Imaz (1995), teniendo el material seco se pesa para obtener el peso seco de la misma en gramos.

IV.3. Equipo de análisis.

El sistema de análisis puede dividirse en dos subsistemas, uno de ellos es el de inyección por termodesorción (TD/GC), el otro es el Cromatografía de gases (GC) con un detector de Ionización de Flama (FID).

Como ya se mencionó, los hidrocarburos biogénicos emitidos por las especies de árboles ó arbustos escogidos para este trabajo, fueron colectados mediante absorción en tubos de vidrio empacados con los absorbentes Tenax (TA) y Carbotrap X.

Para realizar el análisis cualitativo de estos hidrocarburos absorbidos, es necesario desorberlos de las fases absorbentes e inyectarlos a un sistema de análisis (GC/FID). La desorción se realiza en base a la aplicación de calor al cartucho empacado, pasando un flujo de gas inerte (nitrógeno grado cromatográfico) realizando un proceso de extracción mediante la dinámica de un gas, este proceso es conocido como termodesorción (TD); este combina la alta eficiencia de extracción de la muestra con la selectividad de los analitos en concentración y la rápida transferencia de los compuestos de interés hacia el analizador /detector. Se selecciono la termo desorción para realizar el análisis en el presente estudio porque entre las ventajas que ofrece con respecto a los métodos convencionales basados en la extracción de muestras mediante solventes en este tipo de estudios se encuentran las siguientes: (Woolfenden, 1995)

Ahorro en costos.

Alta sensibilidad.

No requiere preparación manual.

No existe interferencia en el análisis debido al uso de solventes.

Eficiencia de desorción mayor al 99%.

Enfoque selectivo / extracción de los componentes de interés.

No genera productos de desecho como los solventes, por lo que se reduce la contaminación del aire en el laboratorio.

Ahorro efectivo en el uso de cartuchos reutilizables.

Tiene la posibilidad de automatizar la técnica.

La termodesorción empleada en este trabajo fue elaborada por estudiantes y personal del Centro de Ciencias de la Atmósfera, tomando en cuenta los siguientes criterios (Reyes, 2002).

Mínimo volumen muerto de las conexiones y líneas de transferencia.

Material químicamente inerte (Inactividad química de los materiales empleados).

Ausencia de zonas frías que contribuyan a la condensación de los analitos termodesorbidos.

Una TD rápida de los cartuchos.

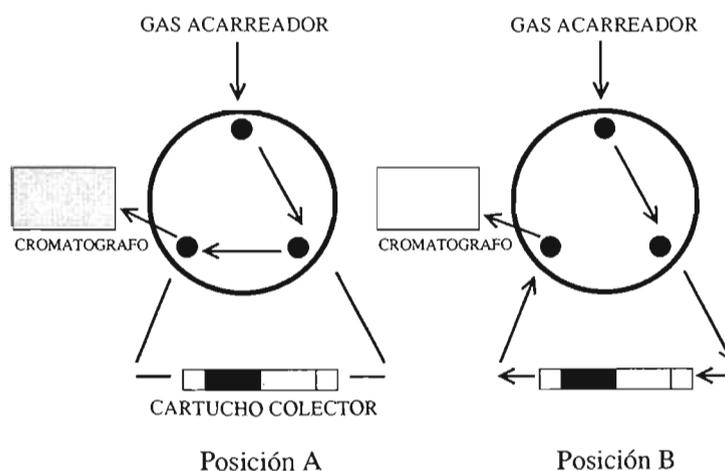
Preserva la función del inyector split –splitless.

Para desarrollar el inyector vía TD en línea o acoplado a un cromatógrafo de gases, se modificó un cromatógrafo de gases, marca PYE Unicam series 204, el cual trabaja a presión constante y cuenta con la posibilidad de utilizar una válvula manual adicional marca Whitey ss-41xs2 de tres posiciones para llevar a cabo las diferentes modalidades de inyección. También se modificó la columna, en lugar de columna convencional, se tiene una línea de transferencia químicamente desactivada y de bajo volumen muerto, marca Chrompack de 0.25mm de diámetro interno y 3mm de diámetro externo, se utiliza esta columna teniendo como criterio es de determinar las emisiones totales y no analizar por especie química.

La forma de operación de la válvula en la inyección vía TD en línea a un cromatógrafo de gases se muestra con claridad en la figura 7.

FIGURA 7

Formas de operación de la válvula de tres vías para llevar a cabo una inyección vía TD en línea a un cromatógrafo de gases.



Como se puede observar en la figura 7 el sistema permite dos eventos posibles: llevar directamente el gas acarreador a la columna cromatográfica (posición A), o bien, llevar el gas acarreador a través del cartucho colector hacia la columna cromatográfica (posición B), es en esta última posición donde se puede llevar a cabo una TD del cartucho colector a la columna cromatográfica.

El arreglo de los pasos de la válvula (Whitey ss-41xs2) y la oportuna colocación manual del bloque de calentamiento hacen posible llevar a cabo todas las etapas necesarias para realizar una inyección vía TD a un cromatógrafo de gases, como son: la purga de aire del cartucho colector, pre-calentar el cartucho colector, posición de inyección y posición de no inyección.

La velocidad del gas de purga del cartucho colector determina la velocidad de la desorción térmica de este. A mayor velocidad de la desorción térmica, menor es el ancho del pulso de la banda de inyección en la columna cromatográfica, es decir, menor y mayor será el ancho y la altura de las señales cromatográficas respectivamente, es por ello que se busca una desorción térmica rápida.

IV.4. Método de análisis.

IV.4.1. Sistema de desorción térmica (TD).

Una vez tomada la muestra, se lleva al laboratorio para su inmediata desorción térmica. La desorción implica el traspaso de los hidrocarburos atrapados en el colector de muestra al sistema de análisis. Este proceso es uno de los pasos más importantes en el método, ya que de la calidad de éste, depende que los VOC's biogénicos capturados por el material absorbente sean transportados al cromatógrafo.

IV.4.1.1. *Condiciones para la termodesorción (TD).*

Las condiciones experimentales de inyección vía TD se definieron de acuerdo a las condiciones óptimas encontradas para el análisis cromatográfico de hidrocarburos, tabla 8.

TABLA 8
Condiciones experimentales para la inyección vía TD.

Gas de inyección	Nitrógeno grado cromatográfico
Tiempo para purgar el aire	1 min
Tiempo de calentamiento	0.5 min
Tiempo de inyección	8 min.
Flujo de inyección	30 ml/min.
Temperatura de la válvula	Ambiente
Temperatura del bloque de calentamiento	290°C
Temperatura de las líneas de transferencia	250°C

IV.4.2. *Análisis cromatográfico.*

Una vez que los VOC's de origen biológico absorbidos en los cartuchos colectores fueron transferidos a un cromatógrafo de gases a través del inyector por TD, se obtienen dos grupos de datos del cromatograma de gases que resulta. La salida del detector es procesada, ya sea por un registrador de datos computarizados o bien por un simple registrador de tira de papel. El primer grupo de datos es el tiempo que le toma a un compuesto dado viajar a través de la columna, esto es, el tiempo desde el punto de inyección, hasta el máximo del pico que pasa a través del detector. Este tiempo es referido a un tiempo de retención (t_R) y esta información del valor de t_R es utilizada en un análisis cualitativo. El segundo grupo importante de información que es obtenido, es el tamaño del pico, y esta información es utilizada para realizar un análisis cuantitativo, el cual se aplicara a las muestras obtenidas de la campaña de muestreo (Frederick, 1985). El análisis cualitativo, no se utiliza ya que solo trataremos con hidrocarburos totales, por lo que en el cromatograma solo presentara un único pico.

IV.4.2.1. Condiciones para el análisis por GC.

La tabla 9 muestra las condiciones experimentales para el análisis cromatográfico de hidrocarburos biogénicos optimizados.

TABLA 9
Condiciones generales para el análisis GC de hidrocarburos mediante la inyección vía TD.

Columna cromatográfica	Se tiene como columna a una línea de transferencia químicamente desactivada y de bajo volumen muerto.
Largo	16 in (~40 cm.)
Diámetro interno	0.25mm
Diámetro externo	3mm
Gas acarreador	Nitrógeno grado cromatográfico
Velocidad del gas acarreador	30 ml/min.
Temperatura inicial Horno	240°C
Temperatura final Horno	240°C
Temperatura del detector FID	250°C

IV.5. Cálculo para obtener los factores de emisión.

Con el método experimental optimizado, se pueden realizar los cálculos para la determinación de factores de emisión de hidrocarburos biogénicos totales en muestras reales.

Considerado la masa calculada de la curva de calibración del compuesto de referencia, el tiempo de muestreo, los flujos de entrada y de salida de la cámara de muestreo y el peso seco de biomasa foliar, se calculó el factor de emisión a través de la siguiente ecuación 9 (Reyes, 2002).

$$\text{Factor de emisión} = \left(\frac{\mu\text{g}}{\text{grb.s.} * h} \right) = \frac{\left(\text{Masa de compuesto}(\mu\text{g}) \right) \left(\text{Relación de Flujos}^{**} \right)}{\left(\text{Masa Foliar Seca}(\text{g}) \right) \left(\text{Hora de Muestreo}(h) \right) (1000)} \quad (\text{Ec. 9})$$

*grb.s. gramos de biomasa seca

**Relación de flujos =100

IV.6. *Calibración.*

Cómo compuesto de referencia ó estándar se utilizo Isobutylene en fase gaseosa (de una bala de calibración de marca SCOTTY*V con numero de CAS Reg. 115-11-7, a 100ppm/m). En la preparación de diferentes concentraciones para la calibración se usa una cámara de mezclado en la cual entran dos flujos uno de ellos es el estándar y el otro es nitrógeno grado cromatográfico, los flujos de los gases son regulados por medio de rotámetros (marca COLE-PALMER), teniendo ya la mezcla dentro de la cámara de mezclado se hace pasar en línea la muestra a un LOOP (línea capilar graduada a un volumen constante) con un volumen de 5ml, con la muestra en el LOOP , se movía la válvula para realizar la inyección del estándar al cromatógrafo, de acuerdo al flujo y al tiempo propuesto para el análisis.

Para obtener los datos para la curva de calibración, se hizo la preparación de 5 concentraciones diferentes y las inyecciones por triplicado para cada concentración. La curva de calibración se puede consultar en el anexo II.

Capítulo V

RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

El factor de emisión se expresa como la cantidad de emisión, ya sea con base en el área de la hoja ($\mu\text{g m}^{-2} \text{h}^{-1}$) o con base biomasa seca [$\mu\text{g (g peso seco)}^{-1} \text{h}^{-1}$]. Este valor lleva implícito el comportamiento medio de la especie química liberada con relación a la magnitud y composición de esta emisión como resultado de actividades biológicas, para una determinada biomasa vegetal emisora (hojas) en un tiempo determinado.

Cada tipo de vegetación muestra un rango de emisión característico, ya que cada especie de planta tiene una razón y beneficio propio de la producción y emisión de ciertos hidrocarburos específicos. Por ejemplo, Kesselmeier et al. (1999) mostraron que aún dos especies no diferenciables anatómica ni morfológicamente como el *Quercus ilex* y el *Quercus agrifolia*, muestran un diferente esquema emisión. Por lo tanto, propusieron que en el caso de los quercus parece haber un proceso regulatorio con base genética, que da inicio ya sea a la producción de isopreno (*Quercus agrifolia*) o monoterpenos (*Quercus ilex*), siguiendo diferentes estrategias, ya sea para defensa o protección (Sabillón, 2001).

La obtención de los factores de emisión para las especies vegetales se ve condicionada por aspectos como: el método seguido para el muestreo, la localización geográfica, y las condiciones ambientales. Estos aspectos afectan la fiabilidad e ínter comparación entre los factores de emisión reportados en la literatura (Kesselmeier, 1999). Por otra parte, existe la limitación de que el factor de emisión total o global para una especie vegetal presentado por varios autores, sólo comprenda la suma de los compuestos más importantes

cuantitativamente. Por lo tanto se toma el factor de emisión total, y se jerarquizar las 20 especies en estudio.

V.1. Programa de muestreo.

Las mediciones experimentales fueron realizadas en el lugar descrito, en el capítulo 4, donde se ubicaron las especies consideradas y que están localizadas cerca del laboratorio de análisis.

El periodo de medición comprende la temporada de secas frías (Noviembre – Febrero). Los detalles de las fechas de muestreo y las condiciones ambientales promedio se muestran en la tabla 10. Las mediciones se realizaron durante el día, en las siguientes horas: 11:40-12:00, 12:20-12:40, 13:00-13:20 y 13:40–14:00, se selecciono este horario, por que se tiene referencia que en el Valle de México se encuentra una mayor radiación alrededor de las 12:30 horas en temporada de secas frías (Jauregui, 2000; Ruiz, 1999, Toro, 2001). Cabe señalar que a mayor radiación existe un aumento en la emisión, de algunas especies arbóreas, dando lugar a tener muestras óptimas para ser estudiadas.

La muestra es obtenida de 3 individuos diferentes por especie arbórea, para realizar una campaña en 60 especies durante 60 días con un promedio de 4 muestras y 4 blancos, por día. Las mediciones en campo fueron llevadas en una sola rama por especie para cada día de muestreo en condiciones ambientales no controladas. La rama es cortada al final del día y puesta a secar, con el objetivo de obtener los gramos de la biomasa seca.

Las variables ambientales medidas continuamente en este estudio fueron: temperatura (interior y exterior de la cámara de muestreo), humedad relativa y PAR.

TABLA 10

Periodo de muestreo, valores promedio de temperatura ambiente, humedad relativa y PAR.

Fecha (dd/mm/aa)	Especie *	Día Juliano	T (°C)	HR (%)	PAR ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)	Fecha (dd/mm/aa)	Especie *	Día Juliano	T (°C)	HR (%)	PAR ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)
11/11/03	19	315	23	64	1683	23/12/03	15	357	26	50	1874
12/11/03	14	316	25	33	1751	05/01/04	6	005	19	69	493
13/11/03	8	317	21	73	1548	06/01/04	3	006	25	42	1335
14/11/03	2	318	23	77	1010	07/01/04	1	007	20	46	1571
17/11/03	5	321	28	23	1144	08/01/04	13	008	18	19	1706
18/11/03	9	322	23	41	1548	09/01/04	4	009	22	34	1291
19/11/03	17	323	23	25	1750	12/01/04	10	012	19	47	1122
20/11/03	7	324	20	30	1750	13/01/04	18	013	20	52	1201
21/11/03	16	325	15	45	1683	14/01/04	11	014	19	26	2480
24/11/03	20	328	15	75	1414	15/01/04	12	015	20	48	336
25/11/03	15	329	25	48	1885	16/01/04	19	016	22	69	1751
26/11/03	6	330	19	77	1010	19/01/04	14	019	20	31	1672
27/11/03	3	331	23	27	2020	20/01/04	8	020	24	53	1237
28/11/03	1	332	21	46	1683	21/01/04	2	021	23	76	1201
01/12/03	13	335	22	19	2222	22/01/04	5	022	27	25	1156
02/12/03	4	336	22	38	1346	23/01/04	9	023	20	36	1829
03/12/03	10	337	19	48	1279	26/01/04	17	026	20	23	1829
04/12/03	18	338	19	48	1279	27/01/04	7	027	20	35	1706
05/12/03	11	339	16	27	1683	28/01/04	16	028	16	46	1616
08/12/03	12	342	22	42	740	29/01/04	20	029	16	74	1459
09/12/03	19	343	26	70	1717	30/01/04	15	030	25	51	1796
10/12/03	14	344	18	27	1818	02/02/04	6	033	19	77	831
11/12/03	8	345	27	51	1414	03/02/04	3	034	30	24	1840
12/12/03	2	346	22	75	1336	04/02/04	1	035	24	44	1560
15/12/03	5	349	27	21	1077	05/02/04	13	036	21	19	1279
16/12/03	9	350	22	34	1818	06/02/04	4	037	22	37	1560
17/12/03	17	351	22	19	1818	09/02/04	10	040	20	48	1403
18/12/03	7	352	20	43	1796	10/02/04	18	041	20	52	1414
19/12/03	16	353	13	42	1639	11/02/04	11	042	20	25	2323
22/12/03	20	356	16	73	1414	12/02/04	12	043	22	40	830

*Para saber que especie es consultar la tabla 6

V.2. Factores de Emisión.

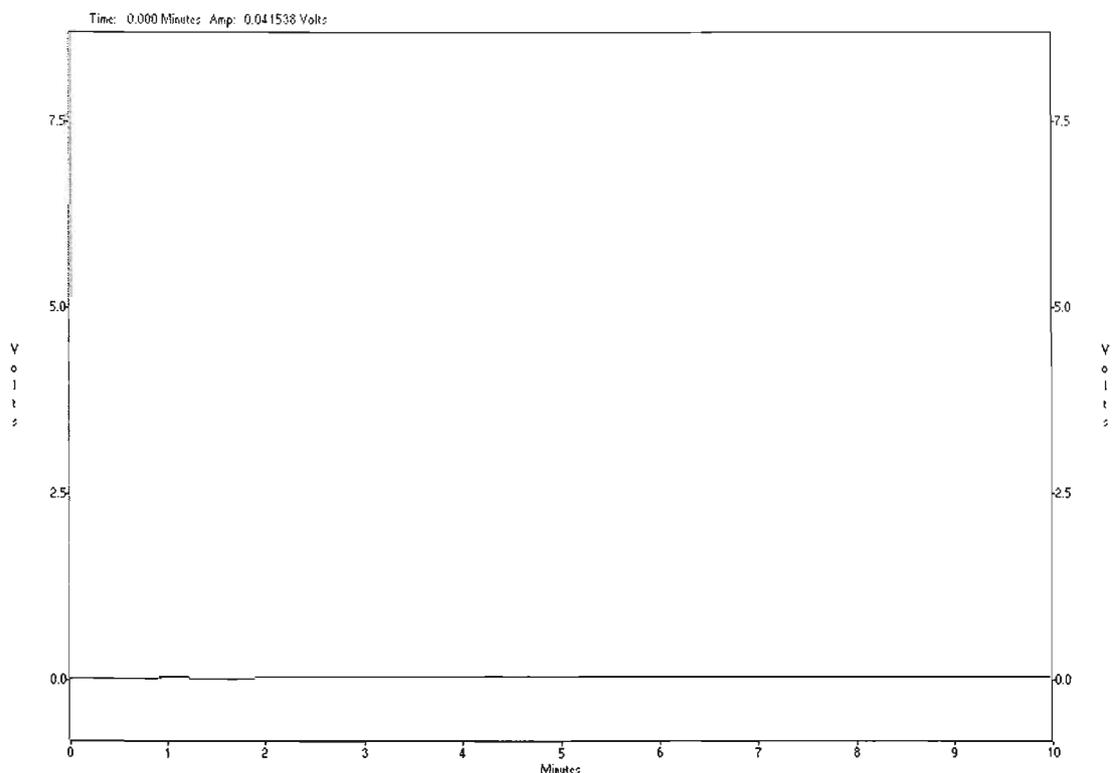
En el presente trabajo, no se hizo ningún tratamiento al aire de entrada ni al de salida de la cámara, con el fin de reproducir al máximo las condiciones naturales en campo. Para eliminar el efecto de los compuestos presentes en el aire de entrada a la cámara en la cuantificación de las emisiones, se tomó simultáneamente una muestra del aire que se encuentra alrededor de la especie arbórea (llamado Blanco de Muestra), y por medio de

diferencia de blancos obtener un factor de emisión determinado solo por la especie arbórea (Steinbrecher 2003).

V.2.1. Blanco general.

En la figura 8, se presenta un cromatograma del blanco general del sistema de muestreo, de acuerdo con lo indicado en el punto IV.2.2. Este blanco nos sirve para ver que tanto se va a ver involucrado la limpieza de la cámara, líneas de muestreo y el acondicionamiento de los cartuchos en el muestreo de los VOC's. Dicho blanco es analizado bajo las mismas condiciones preestablecidas para el muestreo y el análisis, puede apreciarse que el sistema es capaz de dar blancos bastante aceptables.

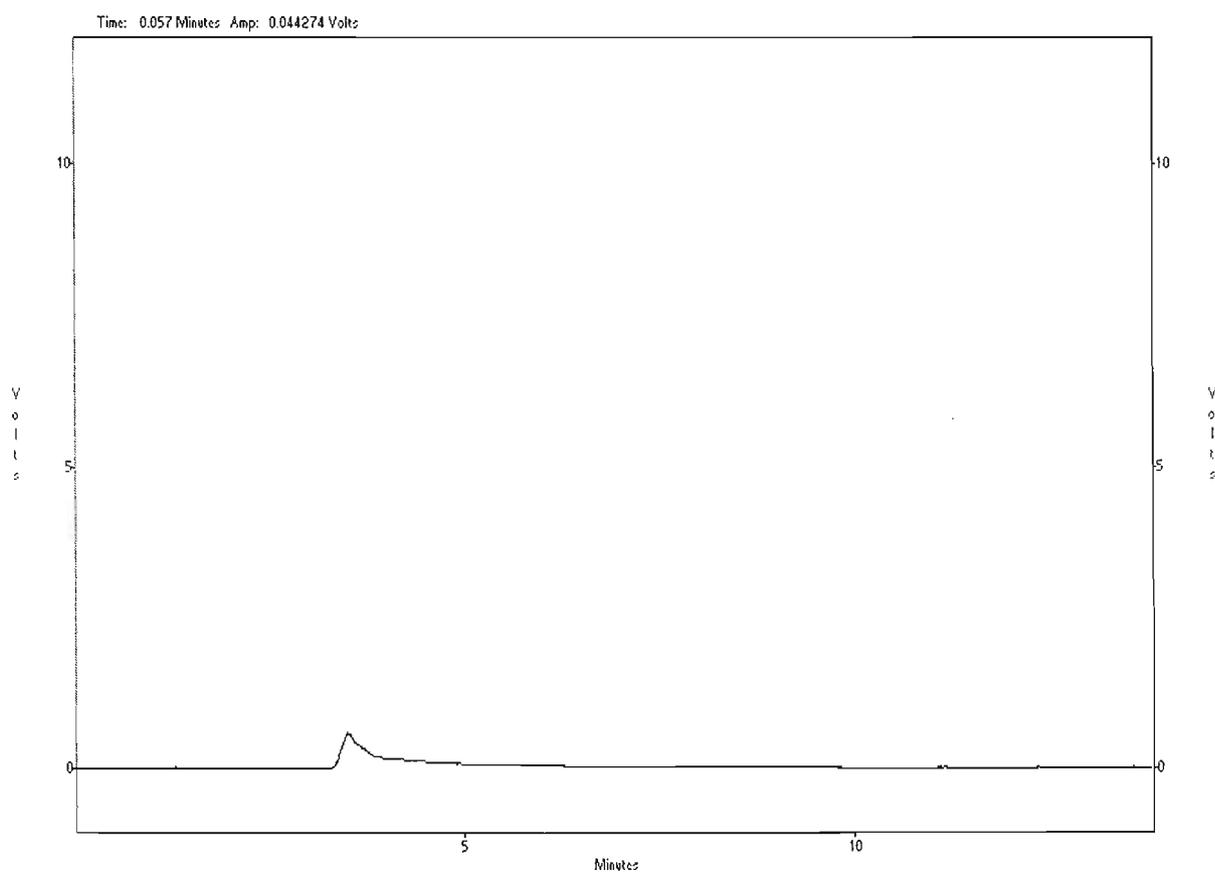
Figura 8
Cromatograma de un blanco general del sistema.



V.2.2. *Blanco de muestra.*

En la figura 9, se presenta el cromatograma de un blanco de muestra, el cual es obtenido al mismo tiempo que la muestra del Liquidambar *styraciflua*, del muestreo que se realizó el 13 de noviembre del 2003. Esta muestra involucra el aire que se encuentra alrededor de la cámara, y el acondicionamiento del cartucho. Dicho blanco de muestra es analizado bajo las mismas condiciones preestablecidas para el muestreo y el análisis.

Figura 9
Cromatograma de un blanco de muestra del Liquidambar *styraciflua*.

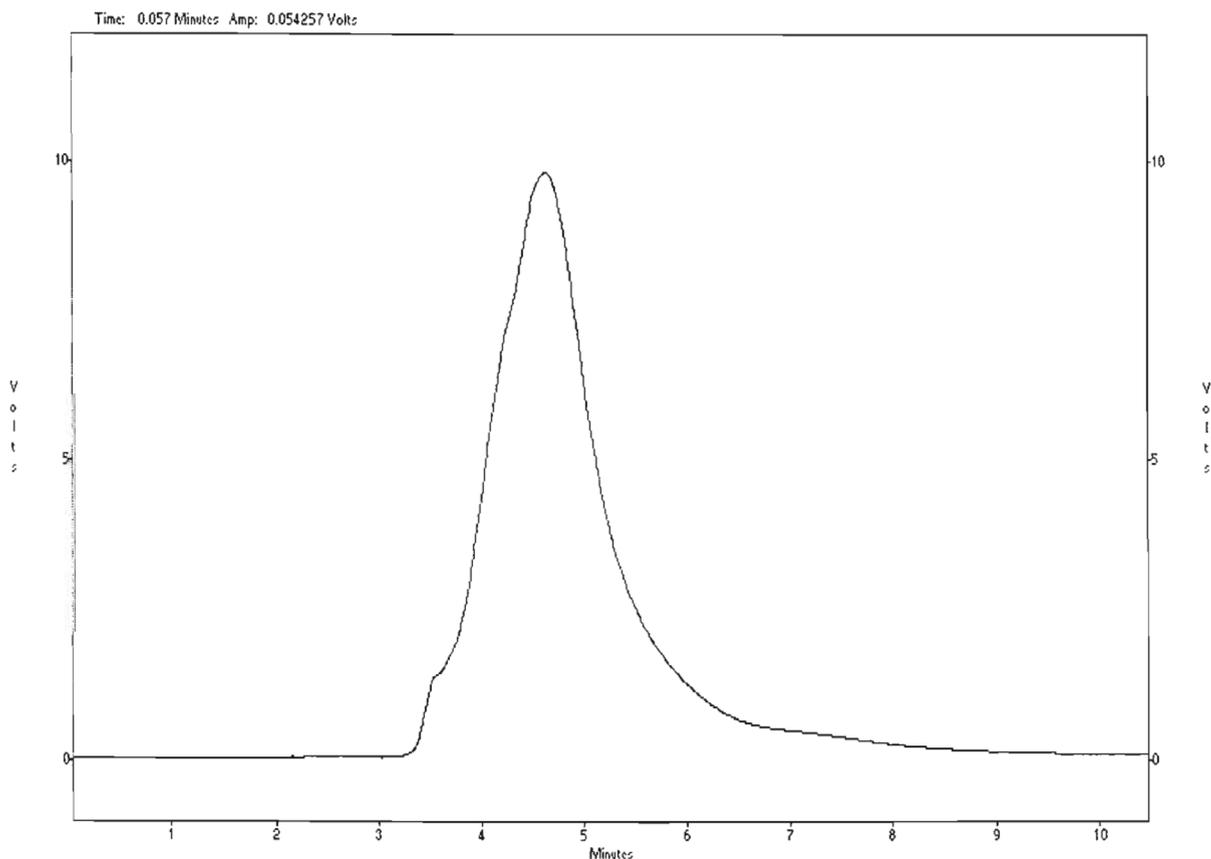


Como observamos en el cromatograma los hidrocarburos presentes en el aire de entrada a la cámara, podría ser despreciables, pero para una mejor referencia se obtiene la diferencia por blancos para obtener un factor de emisión más representativo del Liquidambar *styraciflua*.

V.2.3. Muestra.

En la figura 10, se presenta el cromatograma de una muestra del Liquidambar *styraciflua*, del muestreo que se realizo el 13 de noviembre del 2003, esta muestra involucra el aire que entra a la cámara, la emisión del Liquidambar *styraciflua* y el acondicionamiento del cartucho. La muestra es analiza bajo las mismas condiciones preestablecidas para el muestreo y el análisis.

Figura 10
Cromatograma de una muestra del Liquidambar *styraciflua*.



En este cromatograma observamos que la concentración de los hidrocarburos presentes en la muestra es mayor al del blanco del caso anterior, y muestra la magnitud de las emisiones totales de hidrocarburos producidos por el Liquidambar *styraciflua*. Estas son emisiones totales porque no se identifica si son isopreno o monoterpenos, u otro tipo de compuesto.

V.2.4. Factores de emisión.

El objetivo de este trabajo se enfoca a los hidrocarburos totales, es por este motivo que en los cromatogramas anteriores, solo se presenta un pico. Para obtener este resultado, se modifico el cromatógrafo de gases como ya se mencionó en el punto IV.3. En el anexo III, se presentan algunos ejemplos de cromatogramas analizados y a continuación se presentan los resultados obtenidos.

TABLA 11

Resultados obtenidos de una muestra de N = 3 por especie.

Nombre científico	Nombre Común	PROMEDIO FE ($\mu\text{g}/\text{ghr}$)	Desviación estándar	Media ($\mu\text{g}/\text{ghr}$)	Máximo ($\mu\text{g}/\text{ghr}$)	Mínimo ($\mu\text{g}/\text{ghr}$)
<i>Acer negundo</i>	Acezintle	2,52	0,5108	2,48	3,01	1,99
<i>Buddleia cordata</i>	Tepozán	11,58	2,7633	11,4	14,72	9,53
<i>Dodonaea schiedeana</i>	Dodonaea viscosa	0,20	0,1652	0,1	0,31	0,01
<i>Jacaranda mimosifolia</i>	Jacaranda	30,43	6,8436	29,9	36,51	23,02
<i>Juniperus deppeana</i>	Táscate	1,41	0,3403	1,38	1,79	1,14
<i>Libocedrus decurrens.</i>	Cedro de incienso	1,15	0,1097	1,15	1,28	1,09
<i>Lingustrum lucidum</i>	Trueno.	3,69	1,4232	3,52	5,33	2,86
<i>Liquidambar styraciflua</i>	Liquidambar	26,49	3,7818	26,3	30,65	23,26
<i>Picea concolor</i>	Pinabete mexicano	11,98	0,64	12	12,62	11,34
<i>Pinus ayacahuite</i>	Pino real	0,31	0,02	0,31	0,33	0,29
<i>Pinus cembroides</i>	Piñonero	0,24	0,212	0,17	0,47	0,05
<i>Pinus edulis</i>	Pino piñon	9,68	4,9797	8,83	15,03	5,18
<i>Pinus patula</i>	Pino colorado	1,46	0,369	1,42	1,77	1,05
<i>Pinus radiata</i>	Pino Monterrey	2,15	1,2007	1,86	3,22	0,85
<i>Pinus teocote</i>	Ocote	0,36	0,02	0,36	0,38	0,34
<i>Pittosporum undulatum</i>	Pitosporo de bayas anaranjadas	21,38	7,4986	20,3	26,5	12,77
<i>Podocarpus reichei</i>	Podocarpus	19,94	7,3316	19,1	28,19	14,17
<i>Prunus serotina</i>	Capulín	1,94	2,0001	1,38	4,25	0,69
<i>Quercus rugosa</i>	Encino	20,81	7,8309	19,8	28,95	13,33
<i>Taxodium mucronatum</i>	Ahuehuate	1,02	0,1587	1,01	1,14	0,84

V.2.5. Clasificación.

Con los resultados mostrados en la tabla 11, podemos jerarquizar a las especies arbóreas por medio de su factor de emisión de hidrocarburos totales obteniendo la tabla 12.

TABLA 12
Clasificación por factor de emisión.

Nombre científico	Nombre Común	PROMEDIO FE ($\mu\text{g/ghr}$)	Desviación estándar	Media ($\mu\text{g/ghr}$)	Máximo ($\mu\text{g/ghr}$)	Mínimo ($\mu\text{g/ghr}$)
<i>Jacaranda mimosifolia</i>	Jacaranda	30,43	6,8436	29,9	36,51	23,02
<i>Liquidambar styraciflua</i>	Liquidambar	26,49	3,7818	26,3	30,65	23,26
<i>Pittosporum undulatum</i>	Pitosporo de bayas anaranjadas	21,38	7,4986	20,3	26,5	12,77
<i>Quercus rugosa</i>	Encino	20,81	7,8309	19,8	28,95	13,33
<i>Podocarpus reichei</i>	Podocarpus	19,94	7,3316	19,1	28,19	14,17
<i>Picea concolor</i>	Pinabete mexicano	11,98	0,64	12	12,62	11,34
<i>Buddleia cordata</i>	Tepozán	11,58	2,7633	11,4	14,72	9,53
<i>Pinus edulis</i>	Pino piñon	9,68	4,9797	8,83	15,03	5,18
<i>Lingustrum lucidum</i>	Trueno.	3,69	1,4232	3,52	5,33	2,86
<i>Acer negundo</i>	Acezintle	2,52	0,5108	2,48	3,01	1,99
<i>Pinus radiata</i>	Pino Monterrey	2,15	1,2007	1,86	3,22	0,85
<i>Prunus serotin</i>	Capulín	1,94	2,0001	1,38	4,25	0,69
<i>Pinus patula</i>	Pino colorado	1,46	0,369	1,42	1,77	1,05
<i>Juniperus deppeana</i>	Táscate	1,41	0,3403	1,38	1,79	1,14
<i>Libocedrus decurrens.</i>	Cedro de incienso	1,15	0,1097	1,15	1,28	1,09
<i>Taxodium mucronatum</i>	Ahuehuate	1,02	0,1587	1,01	1,14	0,84
<i>Pinus teocote</i>	Ocote	0,36	0,02	0,36	0,38	0,34
<i>Pinus ayacahuite</i>	Pino real	0,31	0,02	0,31	0,33	0,29
<i>Pinus cembroides</i>	Piñonero	0,24	0,212	0,17	0,47	0,05
<i>Dodonaea schiedeana</i>	Dodonea viscosa	0,20	0,1652	0,1	0,31	0,01

Cabe destacar, que aún en el caso de trabajar con una misma especie, la emisión de cada individuo es diferente, y esto depende de varios factores:

- a) *Edad del individuo*: Se reconoce que las emisiones varían con la edad, alcanzando un máximo en su etapa joven y disminuyendo en su etapa adulta (Steinbrecher, 1997).
- b) *Nutrientes*: La disponibilidad de nutrientes puede afectar la concentración y perfil de las emisiones.
- c) *Emisión*: Para las especies **emisoras de isopreno**, la exposición permanente de las hojas a una mayor o menor concentración de radiación dependiendo de la posición de la rama en el follaje determinará la concentración de enzima sintetizada. Para las **especies emisoras de monoterpenos** la exposición permanente de las hojas a mayor radiación y por lo tanto a mayor temperatura podría modificar la composición de la resina por una pérdida más rápida de los compuestos más volátiles.

Por todo lo anterior se propone que en este trabajo una clasificación de las especies de la siguiente manera: Por tipo de emisión *i)* baja, *ii)* media y *iii)* alta, siguiendo los siguientes criterios se define como emisión baja cuando en promedio el factor de emisión sea menor de 3 $\mu\text{g}/\text{ghr}$, se define como emisión media cuando se encuentre en medio del rango 3.1 $\mu\text{g}/\text{ghr}$ y 15 $\mu\text{g}/\text{ghr}$ y alta cuando la emisión sea mayor de 15.1 $\mu\text{g}/\text{ghr}$. Estos datos nos ayudaran para que posteriormente se realice un estudio sistemático de las especies vegetales clasificadas como altas emisoras para obtener la especiación química de sus emisiones y los factores de emisión correspondientes.

TABLA 13
Clasificación por tipo de emisión.

No.	Nombre científico	Nombre Común	Tipo de emisión
1	<i>Jacaranda mimosifolia</i>	Jacaranda	Alta
2	<i>Liquidambar styraciflua</i>	Liquidambar	Alta
3	<i>Pittosporum undulatum</i>	Pitosporo de bayas anaranjadas	Alta
4	<i>Quercus rugosa</i>	Encino	Alta
5	<i>Podocarpus reichei</i>	Podocarpus	Alta
6	<i>Picea concolor</i>	Pinabete mexicano	Media
7	<i>Buddleia cordata</i>	Tepozán	Media
8	<i>Pinus edulis</i>	Pino piñon	Media
9	<i>Lingustrum lucidum</i>	Trueno.	Media
10	<i>Acer negundo</i>	Acezintle	Baja
11	<i>Pinus radiata</i>	Pino Monterrey	Baja
12	<i>Prunus serotin</i>	Capulín	Baja
13	<i>Pinus patula</i>	Pino colorado	Baja
14	<i>Juniperus deppeana</i>	Táscate	Baja
15	<i>Libocedrus decurrens.</i>	Cedro de incienso	Baja
16	<i>Taxodium mucronatum</i>	Ahuehete	Baja
17	<i>Pinus teocote</i>	Ocote	Baja
18	<i>Pinus ayacahuite</i>	Pino real	Baja
19	<i>Pinus cembroides</i>	Piñonero	Baja
20	<i>Dodonaea schiedeana</i>	Dodonea viscosa	Baja

Con esta clasificación en mente se puede observar que las especies pertenecientes a la familia de las coníferas, presentan emisiones bajas, considerando con este resultado que son propicias para usarse en programas de reforestación en bosques cercanos al Valle de México, así como las especies endémicas de la región como es el caso del *Acer negundo* y *Dodonea*. Sin contar a las especies endémicas que pueden adaptarse a las condiciones de la zona en la que se plante sin ningún problema, las especies pertenecientes a las coníferas

aunque se puede considerar aptas para la reforestación estas no se adaptan tan fácil a las condiciones de la zona en la que se plante.

En cuanto a las especies de alta emisión sería recomendable estudiar más a fondo que tipo de VOC's son los que presentan en mayor concentración, si encontramos que se componen en su mayoría por monoterpenos (C_{10}) o sesquiterpenos (C_{15}), estos terpenos reaccionan fácilmente con constituyentes atmosféricos como el ozono, los óxidos de nitrógeno, principalmente con el ión nitrato y los radicales hidroxilo lo cual genera una gran variedad de compuestos de oxidación, dando como resultado a grandes precursores de ozono fotoquímico y a la producción de aerosoles secundarios (Calogirou, 1999).

Capítulo VI

CONCLUSIONES.

Se logró el objetivo central del trabajo, al establecer una lista jerárquica de la intensidad de las emisiones de especies vegetales de interés por su uso o presencia en el Valle de México. Ahora es posible focalizar los esfuerzos de análisis químico detallado de VOC's biogénicos en las especies señaladas como altas emisoras y de aquellas con emisiones menores pero que su distribución geográfica en la cuenca las hagan también relevantes.

Esta información contribuirá a optimizar los recursos humanos y económicos destinados a reducir la incertidumbre de los inventarios de emisiones de hidrocarburos biogénicos para su aplicación a modelos de la calidad del aire y para el diseño de estrategias de control de la contaminación atmosférica.

Podemos decir que el equipo utilizado y el método desarrollado para el muestreo, análisis y cuantificación de las emisiones biogénicas totales cumplen con los objetivos generales y particulares. El sistema de muestreo desarrollado en el presente estudio, tiene grandes posibilidades para ser utilizado en una gran variedad de sistemas biológicos, lo cual permitirá hacer estudios de manera más puntual en el laboratorio ó en campo.

Es importante profundizar en el conocimiento de los fenómenos fisiológicos, bioquímicos y ambientales que afectan la producción de los hidrocarburos totales no metano, así como su liberación al medio ambiente. Estos son elementos que nos permitirán conocer mejor la relación que existe entre la atmósfera y la biota, una relación que cada día se revela más compleja e interdependiente.

El 50 por ciento de las especies evaluadas tienen emisiones bajas siendo en la gran mayoría de la familia coníferas, pero no podemos establecer una tendencia que esta familia tenga emisiones bajas, ya que el *Pinus edulis* presenta una emisión media, tomando esto en cuenta se tendría que hacer un estudio con más especies, para poder formarnos un criterio más amplio de la tendencia que presenta cada familia de especies.

Con la metodología e instrumentación desarrollada otro grupo de investigadores en el Centro de Ciencias de la Atmósfera ya se encuentra realizando determinaciones en campo, por lo que en corto tiempo será posible continuar con la determinación de factores de emisión de especies de plantas locales (endémicas y/o introducidas) necesario para la correcta estimación de flujos de gases traza que pueden afectar el balance de gases de efecto invernadero como es el ozono troposférico y alimentar con información propia los modelos de calidad del aire para tener una mejor estimación del impacto de los hidrocarburos biogénicos en los procesos fotoquímicos y la calidad del aire de la Ciudad de México.

BIBLIOGRAFÍA.

1. **Arey J.**, Crowley D.E., Crowley M., Resketo M., and Lester J., (1995). "Hydrocarbon emissions from natural vegetation in California's South Coast Air Basin", *Atmospheric Environment*. 29: **21**: 2977-2988.
2. **Arey J.**, Winer A.M., Atkinson, Aschmann R., Long S.M., and Morrison C.L., (1990). "The emission of (Z)-3-hexen-1-ol, (Z)-3-hexenylacetate, and other oxygenated hydrocarbons from agricultural species", *Atmospheric Environment*. **25**: 1063-1075.
3. **Barcelo J.**, Poschenrieder C., and Gunse B., (1986). "Water Relations of Chromium VI Treated Bush Bean Plants (*Phaseolus vulgaris*) L. cv. Contender) under both Normal and Water Stress Conditions", *Journal of Experimental Botany*. 37: **175**: 178-187.
4. **Bernard-Dagan C.**, Carbes G. and Gleizes M., (1979). "Etudes des composés terpéniques au cours de la croissance des aiguilles du pin maritime. Comparaison des données biochimiques et ultrastructurales." *Canadian Journal of Botany*. **57**: 255-263.
5. **Bernard-Dagan C.**, Negbi M., Dror A., Basker D., (1989). "Growth, flowering vegetative reproduction and dormancy in the saffron crocus (*Crocus sativus* L)" *Canadian Journal of Botany*. **38**: 95-113.
6. **Brasseur G.P.**, and Chatfield R.B., (1991). "The fate of biogenic trace gases in the atmosphere". En: Sharkey, T.D., E.A. Holland y H. Mooney (Eds) (1991) *Trace Gas Emissions by Plants*. Academic Press, San Diego: 1-27.
7. **Calogirou A.**, Larse, B., and Kotzias, D., (1999). "Gas-phase terpene oxidation products: a review". *Atmospheric Environment*. **33**: 1423-1439.
8. **Chameides W.L.**, Lindsay R.W., Richardsin J., and Kiang C.S., (1988). "The role of biogenic hydrocarbons in urban photochemical smog. Atlanta as a case study". *Science (Washington)* [SCIENCE (WASH.)], **241**:4872: 1473-1475.
9. **Cronn D.R.**, and Nutmagul W., (1982). "Analysis of atmospheric hydrocarbons during winter". *MONEX. Tellus*. **34**: 159-165.
10. **Croteau R.**, (1987). "Biosynthesis and catabolism of monoterpenoids" *Chemistry Review*. **87**: 929-954.
11. **Crutzen P.J.**, (1979). "The role of NO and NO₂ in the chemistry of the troposphere and the stratosphere". *Annual Review of Earth Planet Science*. **7**: 443-472.

12. **Cruz N.X.**, Alegre- González and Castellanos F. L., (1995). "Biogenic emissions inventory for Mexico City and the State of Mexico" en The emission inventory: Programs and progress, Air and Waste management Association ed., Pittsburg, PA. EUA. 153.
13. **Dement W.A.**, Tyson B.J. and Mooney H.A., (1975). "Mechanism of monoterpene volatilization in *Salvia mellifera*". *Phytochemistry*. **14**: 2555-2557.
14. **Demerjian K.L.**, Kerr J.A., and Calvert J.G., (1974). " The mecanism of photochemical smog formation". *Air Pollution Contr. Asocciation*. **31**: 229-235.
15. **Departamento del Distrito Federal**, Secretaría del medio Ambiente, Dirección de Proyectos Ambientales , Dirección de estudios y proyectos Ambientales (1995).
16. **EPA: Enviromental Protection Agency. (January 1999)** "Method for the Determination of Volatile Organic Compounds in Ambient Air Using Active Sampling Onto Sorbent Tubes" Method TO-17.
17. **EPA: Enviromental Protection Agency. (April 1997)** "Method for the Determination of Volatile Organic Compounds in Ambient Air Using Adsorption and Gas Chromatography /Mass Spectrometry (GC/MS)" Method TO-17.
18. **EPA: Enviromental Protection Agency. (April 1984)** "Method for the Determination of Volatile Organic Compounds in Ambient Air Using Tenax Adsorption and Gas Chromatography /Mass Spectrometry (GC/MS)" Method TO-1.
19. **EPA:** Método TO-17, "Determining and Validating Safe sampling Volumes (SSV)"
20. **Evans R.C.**, Tigey T.D., and Gumpertz M.L. (1985). "Interspecies variation in terpenoid emissions from Englemann and Sitka spruce seedlings". *For. Sci.* **31**: 303-310.
21. **Evans R.C.**, Tigey T.D., Gumpertz M.L. and Burns W.F., (1982). "Estimates of isoprene and monoterpene emissions rates in plants". *Bot. Gaz.* **143**: 303-310.
22. **Fall R.**, (1991) "Isoprene emissions from plants: summary and discussion". En Sharkey T.D., Holland E.A. and Mooney H. (eds) 1991 Trace Gas Emissions by Plant. *Academic Press*. San Diego: 209-216.
23. **Fehsenfeld F.**, and Zaitlin M., (1992). "Emission of volatile organic compounds from vegetation and the implication and the implications for atmospheric chemistry". *Global Biogeochemical Cycles*. **6**: 389-430.
24. **Flyckt D.**, Westburg H.T., and Holdren M.W., (1986). "Natural organic emissions and their impact on air quality" *Paper No. 80* , 73rd Annual Meeting of the Air Pollution Control Association Montreal Quebec, Canada.

25. **Flyckt D., (1979).** “Seasonal variation in the volatile hydrocarbon emissions from ponderosa pine and red oak”. *M.S. Thesis, Washington State University, Pullman, WA*, 52 p.
26. **Frederick J.D., (1985).** “Analytical Instrument Development”.
27. **Godish T., (1991).** Air quality. Lewis publishers, 2nd impression, Chelsea Michigan, USA.
28. **Graedel , T.E. (1979).** “Terpenoids in the atmosphere”. *Reviews of Geophysical Research*. **17**: 993-947.
29. **Greenberg J.P., Zimmerman P.R., and Chatfield R.B. (1985).** “Hydrocarbons and carbon monoxide in African Savannah air “. *Journal of Geophysical Research*. **12**: 113-116.
30. **Greenberg J.P., and Zimmerman P.R., (1984).** “Nonmethane hydrocarbons in remote tropical, continental and marine atmospheres“. *Journal of Geophysical Research*. **89**: 4767-4778.
31. **Guenther A., (1996).** “Seasonal and spatial variations in natural volatile organic compound emissions”. *Ecological Applications*. **7**-1
32. **Guenther A., Otter L., Zimmerman P., Greenberg J., Scholes R., and Scholes M., (1996).** “Biogenic hydrocarbon emissions from southern African savannas”. *Journal of Geophysical Research*. **101:D20**: 25859-25865.
33. **Guenther A.B., Hewitt C.N., Erickson D., Fall R., Geron C., Gruedel T., Harley P., Klinger L., Lerdau M., McKay W.A., Pierce T., Scholes B., Steinbreceher R., Tallamraju R., Taylor J., and Zimmerman P., (1995)** “A global model of natural volatile organic compound emissions”. *Journal of Geophysical Research*, 100: D5.
34. **Guenther A.B., Zimmerman P.R., Harley P.C., Monson R.K., and Fall R., (1993).** “Isoprene and Monoterpene Emission Rate Variability : Model Evaluation and Sensivity Analyses”. *Journal of Geophysical Research*. **98:D7**: 2609-12617.
35. **Guenther A.B., Monson R. and Fall R., (1991).** “Isoprene and monoterpene emission rate variability”. Observations and emission rate algorithm development.” *Journal of Geophysical Research*. **96**: 10799-10808.
36. **Hanover J.W., (1972).** “ Factors affecting the releases of volatile chemistry by forest trees”. *Mitt. Forstl. Bundesversuvhsanat Wien*. **97**: 625-644.
37. **Harley P., Guenther A., and Zimmerman P., (1997).** “Environmental controls over isoprene emission in deciduous oak canopies”. *Tree Physiology*. **17**:11: 705-714.

38. **Harley P.**, Guenther A., and Zimmerman P., (1996). "Effects of light, temperature and canopy position on net photosynthesis and isoprene emission from sweetgum (*Liquidambar styraciflua*) leaves" *Tree Physiology*. **16**:1-2: 25-32.
39. **Harley P.**, Deem G., Flint S., and Caldwell M., (1996). "Effects of growth under elevated UV-B on photosynthesis and isoprene emission in *Quercus gambelii* and *Mucuna pruriens*". *Global Change Biology*. **2**:2:149-154.
40. **Harley P.**, Litvak M., Sharkey T., and Monson R., (1994). "Isoprene emission from velvet bean leaves". *Plant Physiol*. **105**: 279-285.
41. **Heath R.R.**, Manukian, A., (1992). "Development and evaluation of systems to collect volatile semiochemicals from insects and plants using a charcoal- infused medium for air purifications" *Journal of Chemical Ecology*. **18**: 1695-1705.
42. **Hewitt C.N.**, Stewart H., R.A. Street and P.A. Scholefield, (1997). "*Isoprene and monoterpene emitting species survey*".
<http://www.es.lancs.ac.uk/es/people/pg/pas/download.html>.
43. **Hewitt C.N.**, Monson R.K. ,and fall R., (1990). "Isoprene emissions from the grass *Arundo donax* L. Arenot linked to photorespiration" *Plant Sci*. **66**: 139-144.
44. **Imaz M.A.** (1995). "Medición de la Emisión de Isopreno y Monoterpenos en cinco Razas de Maíz". Tesis de Maestría en Ciencias, Fac. de Ciencias., UNAM.
45. **Isidorov V.**, (1990) "Organic Chemistry of the Earth's atmosphere. Springer-Verlag". Berlin.
46. **Isidorov V.A.**, Zenkevich I.G., and Ioffe B.V., (1985) "Volatile organic compounds in the atmosphere of forests". *Atmos. Environ.*, **19**: 1-8.
47. **Jauregui O. E.**, (2000). " El clima de la Ciudad de México" Serie Temas Selectos de Geografía de México. **Instituto de Geografía .UNAM.**
48. **Juuti S.**, Arey J., and Atkinson R., (1990). "Monoterpenen emission rate measurements from a monterrey pine". *Journal of Geophysical Research*. **95**: 7515-7519.
49. **Karlik J.F.**, and Winer M.A., (2001). " Measured isoprene emission rates of plants in California landscapes: comparison to estimates from taxonomic relationships" *Atmospheric Environment*.**35**: 1123-1131
50. **Kesselmeier J.**,Kuhn U., Wolf A., Andreae M.O., Ciccioli P., Brancaleoni E., Frattoni M., Guenther A., Greenberg J., De Castro Vasconcellos P., Telles de Olivia, Tavares T., and Artaxo P. (2000). " Atmospheric volatile organic compounds (VOC) at a remote tropical forest site in central Amazonia". *Atmosph. Environ*. **34**: 4063-4072.

51. **Kesselmeier J.**, and Satudt M., (1999).” Biogenic volatile organic compounds (VOC). An overview on emission, physiology and ecology” *Journal of Atmospheric Chemistry*. **33**: 28-88.
52. **Kesselmeier J.**, Schäfer L., Ciccioli P., Brancaleoni E., Cecinato A., Frattoni M., Foster P., Jacob V., Denis J., Fugit J.L.; Dutaur L., and Torres L., (1996). “Emission of monoterpenes and isoprene from a mediterranean oak species *Quercus ilex*.L. measured within the bema (Biogenic emissins in the mediterranean areal Project)” *Atmosph. Environ.* **30**: 1840-1850.
53. **Klinger L.F.**, Greenberg J., Guenther A., Tyndall G., Zimmerman P., Bongui M.M., Moutsambote J.M., and Kenfack D., (1998). “Patterns in volatile organic compound emissions along a savvna-rainforest gradient in central Africa” *Journal of Geophysical Research*. **103:D1**: 1443-1454.
54. **Kramer P.J.**, and Kozlowski T.T., (1979). “*Physiology of Woody Plants*”. *Academic Press. New York*.
55. **Kreuzwieser J.**, Schnitzler J., and Steinbrecher R., (1999). “Biosynthesis of organic compounds emitted by plants”. *Plant Biol.* **1**:149-159.
56. **Lamb B.**, Guenter D., Gay D., and Westberg G., (1987). “ A national inventory of biogenic hydrocarbon emissions”. *Atmospheric Environment*. **21**: 1695-1705.
57. **Lamb B.**, Westberg H., and Allwine G., (1986). “ Isoprene emission fluxes determined by an atmospheric trace technique”. *Atmospheric Environment*. **20**: 1-8.
58. **Lamb B.**, Westberg H., Allwine G., and Quarles T., (1985). “Biogenic hydrocarbon emissions from deciduous and coniferous trees in the United States”. *Journal of Geophysical Research*. **90**: 2380-2390.
59. **Lerdau E.M.**, Iitvak M., Palmer P., and Monson R., (1997). “Control over monoterpene emissions from boreal forest conifers”. *Tree physiology*. **17**:563-569.
60. **Lerdau M.**, Matson P., Fall R., and Monson R., (1995). “Ecological controls over monoterpene emission from Douglas-fir”. *Ecology*. **76**:2640-2647.
61. **Lerdau M.**, Dilts S.B., Wetsberg H., Lamb B.A., and Allwine E.J., (1994). “Monoterpene emission from Ponderosa Pine”. *Journal of Geophysical Research*. **99:D8**: 16609-16615.
62. **Lerdau M.**, (1991).”Plant function and biogenic terpene emission”. En Sharkey, T.D., E.A. Holland y H. Mooney (Eds) (1991) *Trace Gas Emissions by Plants. Academic Press, San Diego*: 121-134.
63. **Logan J.A.**, (1989) “ Ozone in rural areas of the United States”. *Journal of Geophysical Research*. **94**: 8511-8532.

64. **Logan J.A., (1985).** “Tropospheric ozone: seasonal behavior, trends and anthropogenic influence”. *Journal of Geophysical Research*. **90**: 10463-10482.
65. **Logan J.A., Prater M.J., Wofsy S.C. and McElroy M.B., (1981).** “Tropospheric chemistry: a global perspective”. *Journal of Geophysical Research*. **86**:7210-7254.
66. **Loreto F., Nascetti P., Graverini A., and Mannozi M.,(2000).**” Emission and content of monoterpenes in intact and wounded needles of the Mediterranean Pine, *Pinus pinea*”. *Functional Ecology* **14**:589-595.
67. **Loreto F., Sharkey T.D., (1993).** “Water stress, temperature, and light effects on the capacity for isoprene emission and photosynthesis of kudzu leaves”. *Oecologia*, **95**:3: 328-333, 1993.
68. **Loreto F., Sharkey T.D., (1990).** “A gas-exchange study of photosynthesis and isoprene emission in *Quercus rubra*”. *Planta*, **182**:523-531.
69. **Mc Garvey D.J., and Croteau R., (1995).** “*Terpenoid metabolism*”. *The plant Cell*, **7**:1015-1026.
70. **Mc Nair H.M., (1981).**”Cromatografía de Gases” Washington D.C. Programa Regional de Desarrollo Científico y Tecnológico.
71. **Michel T.B., Sudal M., Bloch L., and Winer A.M., (1996).** “Low-emitting urban forests: a taxonomic Methodology for assigning isoprene and monoterpene emission rates”. *Atmospheric Environment*. **30**:9: 1437-1452.
72. **Monson R.K., Lerdau M, Matson P., and Fall R., (1995).** “Ecological controls over monoterpene emissions from Douglas-fir (*Pseudotsuga menziesii*)”. *Ecology*, **76**:8: 2640-2647.
73. **Monson R.K., Lerdau M, and Lityak M., (1994).** “Plant chemical defense: Monoterpenes and the growth-differentiation balance hypothesis”. *Trends in Ecology & Evolution*. **9**:2: 58-61.
74. **Monson R.K., Jaeger C., Adams W., Driggers E., Silver G., and Fall R., (1992).** “Relationships among isoprene emission rate, photosynthesis, and isoprene synthase activity as influenced by temperature” *Plant Physiol*, **92**: 1175-1180.
75. **Monson R.K., Hills A.J., Zimmerman P., and Fall R., (1991).** “Studies of the relationship between isoprene emission rate and CO₂ or photon- flux density using a real time isoprene analyser”. *The plant Cell Environment*, **14**: 517-523.
76. **Monson R.K., and Fall R., (1989),** “Isoprene emission from Aspen leaves”. *Plant Physiology*. **90**: 267-274.

77. **Mooney H.**, Vitousek P., and Matson P.A., (1987). "Exchange of materials between terrestrial ecosystems and the atmosphere". *Science*. **238**: 926-932.
78. **N.R.C. (National research Council)**, (1991). "Rethinking the ozone problem in urban and regional air pollution". *National Academic Press*. Washington, D.C.
79. **Oystein H.**, Schioldager J., and Wathne B.M., (1993). "Measurement and Modeling of Concentrations of Terpene in Coniferous Forest Air". *Journal of Geophysical Research*. **88**:C15: 10679-10688.
80. **Rasmussen R.A.**, (1999). "The emission of isoprene from oak leaves. International oaks". *Journal of Air Control Pollutants Association*. **9**:94-96.
81. **Rasmussen R.A.**, (1972). "What do the hydrocarbons from trees contribute to air pollution". *Journal of Air Control Pollutants Association*. **22**:537-543.
82. **Reyes F.**, (2002). "Determinación experimental de emisiones de Terpenos en Pinus ayacahuite y Pinus montezumae" Tesis de Maestría en Ciencias, Fac. de Ciencias., UNAM.
83. **Ruiz-Suárez L.G., et. al.** (2001). "Evaluación Experimental de modelos de emisiones de hidrocarburos biogénicos no-metano, para tres especies arbóreas bajo diferentes condiciones Ambientales en el Valle de México". Reporte técnico para el Departamento del Distrito Federal, *Centro de Ciencias de la Atmósfera.*, UNAM, México.
84. **Ruiz-Suárez L.G.**, Longoria R.R., Hernández F., Segura E.H., Trujillo A. y Conde C.,(1999). "Emisiones biogénicas de hidrocarburos no-metano y de óxido nítrico en la cuenca del Valle de México", *Atmósfera*. **12**:89-100.
85. **Ruiz-Suárez L.G.**, Imaz-Gispert M., Montero M., Sánchez O., Hernández-Galicia F., Conde C., y Castro T. (1994). "Cálculos y mediciones de hidrocarburos naturales en el Valle de México". Reporte técnico para el Departamento del Distrito Federal, *Centro de Ciencias de la Atmósfera.*, UNAM, México.
86. **Ruiz-Suárez L.G.**, Imaz M., y Mar B., (1993). "Calculations of natural hydrocarbons emissions in the Valley of Mexico" EN Zanetti P., Brebbia C.A. García J.E. and Ayala G., (Eds.) *Air Pollution*. Comp. Mech. Publ. & Elsevier Applied Sci. Southampton U.K.
87. **Sabillón R.D.**, (2001). "Determinación de los factores de emisión de monoterpenos en tres especies típicas de la vegetación terrestre mediterránea. Pinus pine, Pinus halepensis y Quercus ilex". Tesis Doctoral. Universidad Politécnica de Catalunya. Barcelona, España.
88. **Sanadze G.A.**, (1991). "Isoprene effect-light-dependent emission of isoprene by green parts of plants" En Sharkey T.D., Holland E.A., and Mooney H. (eds) . Trace Gas Emissions by plants. Academic Press. San Diego. 135-152.

89. **Schindler T.**, and Kotzias D., (1989). "Comparision of monoterpene voltilization and leaf-oil composition of conifers" *Natur wissens Chaflen.* **76**: 475-476.
90. **Seinfeld J.h.** y Pandis S.N., (1997). *Atmospheric chemistry and physics.* John wiley and Sons, New York, USA.
91. **Sharkey T.D.**, Loreto D.F. and Delwiche C.F., (1996). "The biochemistry of isoprene emission from leaves during Photosynthesis". En Cap.7 by Sharkey T. D. , Holland E.A., Mooney H.A. (Eds.) "Trace gas emissions by plants" Academic Press, San Diego: 93-119.
92. **Sharkey T.D.**, Vanderveer P.J., Arey J., and Crowley M., (1993). " Report of measurements of hydrocarbon emission from ". Final Report Submitted to Lake Michigan Air Directors Consortium.
93. **Sharkey T.D.**, Loreto D.F. and Delwiche C.F., (1991). "High carbon dioside and sun /shade effects on isoprenes emission from oak and aspen tree leaves". *Plant Cell Enviroment* **14**:333-338
94. **Silver G.M.**, and Fall R.,(1991). "Enzymatic Synthesis of isoprene from dimethylallyl diphosphate in aspen leaf extracts" *Plant Physiology.* 95:1588-1591.
95. **Simon V.**, Clemnet B., RibaM-L., and Torrez L., (1994). "The landes experiment:monoterpenes emitted from maritime pine" *Journal Gheophysical Research* **99**: D8:16501-16510.
96. **Staud M.**, Hansen U., Van Eijk J., Bertin N., Kotzias D., Seufet G., Fugit J-L., Torres L., Cecinato A., Brancaleoni E., Ciccioli P., and Bomboi T., (1997). "Biogenic emissions and CO sub (2 gas exchange investigate on four Mediterrane an Shrubs" *Atmospheric Environment* **31**: 1 : 157-166.
97. **Steinbrecher R.**, Stewart H.E., Hewitt C.N., Bunce R.G.H., Smiatek G., and Schoenemeyer T., (2003). " A highly spatially and temporally resolved inventory for biogenic isoprene and monoterpene emissions: Model description and application to Great Britain" *Journal Gheophysical Research D. Atmospheres.* **108**: D20.
98. **Steinbrecher R.**, Hauff K., Hakola H., Rossler L., (1999). "*A revised paramerisation for emission modelling of isoprenoids for boreal plants, in Biogenic VOC Emission and Photochemistry in the Boreal Regionas of Europe*", Th Laurila, V, Lindfors (eds) European Communities 1999 EUR 18910 EN, ISBN 92-828-69990-3,29-43.
99. **Steinbrecher R.**, (1997). "*Isoprene: production by plants and ecosystem-level estimates*". *Biogenic volatile hydrocarbons compounds in the atmosphere.* Helas. Nertherlands. 1st. edition. 101-104.

100. **Steinbrecher R.**, Ziegler H., (1997). "*Monoterpenes production by trees. Trees Contribution to modern tree physiology*". Heinz Rennenberg. Netherlands. 1st edition. 119-138.
101. **Steinbrecher R.**, Hauff K., (1996). "*Isoprene and monoterpene emission from Mediterranean oaks*". In: Proceeding EUROTRAC Symposium 1996, Borrell, P., Kelly, K., Cvitas T., Seiler, W. (eds). Volumen 2: Emissions, Depositions, Southampton, UK, 229-233.
102. **Steinbrecher R.**, Schonwitz R., and Ziegler H., (1988). "Emission of monoterpenes from needles of *Picea abies* (L.) Karst under field conditions". 19th Int. Symp. Essential Oils Other Nat. Substrates, Landerberghaus Greiffensee.
103. **Street R.A.**, Owen S., Duckham S.C., Boissard C., and Hewitt C.N., (1997a). "The BEMA-Project: Effect of habitat and age on variations in emissions from *Pinus pinea* and *Quercus ilex*". *Atmospheric Environment*, **31**(SI):89-100
104. **Street R.A.**, Hewitt C.N., and Mennicken S., (1997b). "Isoprene and monoterpene emissions from a *Eucalyptus* plantation in Portugal". *Journal of Geophysical Research*. **102**(D13): 15875-15887.
105. **Tingey D.T.**, Turner D.P. y Weber J.A., (1991). "*Factors controlling the emissions of monoterpenes and other volatile organic compounds*". En Sharkey, T.D., E.A. Holland y H. Mooney (Eds.) (1991) *Trace Gas Emissions by Plants*. Academic Press, San Diego: 93-119.
106. **Tingey D.T.**, Evans G.F., Bates E.H. and Gumpertz M.L. (1987) "Isoprene emissions and photosynthesis in three ferns the influence of light and temperature" *Plant Physiology*, **69**: 609-616.
107. **Tingey D.T.**, Evans G.F., and Gumpertz M.L. (1981). "*Effects of environmental conditions on isoprene emission from oak*". *Planta*. **152**:565-570.
108. **Tingey D.T.**, Manning M., Grotaus L.C. and Burns W.F. (1980). "*Influence of light and temperature on monoterpene emission rates from slash pine*". *Plant Physiol.* **65**:797-801.
109. **Toro G.M.V.**, Cremades O.L.V., y Jairo R.B., (2001). "Inventario de emisiones biogénicas en el Valle de Aburra". Grupo de Investigaciones Ambientales. Universidad Pontificia Bolivariana, Medellín (Colombia) y Departamento de Proyectos de Ingeniería. Universidad Politécnica de Catalunya, Barcelona (España).
110. **Trainer M.**, Williams E.T., Parrish D.D., Buhr M.P., Aliwine E.J., Westberh H.H., Fehsenfeld F.C., and Liu S.C., (1988). "Models and observations of the impact of natural hydrocarbons on rural ozone" *Nature*. **329**:705-707.

111. **Tyson B.**, Dement W., and Mooney H., (1974). "*Volatilization of terpenes from *Salvia mellifera**". *Nature* **252**:119-120.
112. **Vázquez-Yanes C.**, Batis Muñoz A.T. Alcocer Silva M.I., Gual Díaz M., Sánchez Dirzo C., (1999). "Arboles y Arbustos potencialmente valiosos para la restauración ecológica y la reforestación" Reporte Técnico del proyecto Jo 84 CONABIO In. Ecología UNAM.
113. **Venkatachalan K.V.**, Kjonaas R., and Croteau R. (1984) "Development and essential oil content of secretory glands of sage (*Salvia officinalis*). *Plant Physiology* **76**: 148-150.
114. **Went F.W.**, (1960) "*Blue haze in the atmosphere*". *Nature*. **187**:641-643.
115. **Winner A.M.**, Fitz D.R. and Miller P.R., (1983). "*Investigation of the role of natural hydrocarbons in photochemical smog formation in California*". Final report AO-056-32, statewide Air Pollution Research Center. University of California, Riverside. California Air Resources Board.
116. **Woolfenden E.**, (1995). "Practical aspects of monitoring volatile organic in air". En Cap 5 "Quality assurance in environmental monitoring instrumental methods" ISBN 3-527-28682-9.
117. **Woolfenden E.**, (1997). "Monitoring VOC's in air using sorbent tubes followed by thermal desorption-capillary GC analysis: Summary of data and practical guidelines" *Journal of the air and waste management association*. **47**: 20-36.
118. **Yamaura T.**, Tanaka S., and Tabata M., (1989). "Light dependent formation of glandular trichomes and monoterpenes in thyme seedling". *Phytochemistry* **28**:741-744.
119. **Yokouchi Y.**, and Ambe Y., (1984). "Factors affecting the emission of monoterpenes from red pine (*Pinus resinosa*). Long-term effects of light, temperature and humidity. *Plant physiology* **75**: 1009-1012.
120. **Yokouchi Y.**, and Ambe Y., (1988) "Diurnal variations of atmospheric isoprene and monoterpene hydrocarbons in an agricultural area in summertime. *Journal of Geophysical Research* **93**: 3751-3759.
121. **Zimmerman P.R.**, (1979). "*Tampa Bay area photochemical oxidant study. Determination of emissions rates of hydrocarbons from indigenous species of vegetation in the Tampa St Petersburg*", Florida, area. EPA 904/9-77-028. U.S. EPA, Atlanta Georgia.
122. **Zimmerman P.R.**, Greenberg J.P. y Westberg C.E. (1988). "Measurements of atmospheric hydrocarbons and biogenic emissions fluxes in the Amazon boundary layer", *Journal of Geophysical Research*. **93**:1407-1416.

123. Comunicacion personal Dr. Rainer Streinbrecher, Intitut für Meteorologie und Klimaforschung Atmosphärische Urmweltforschung (IMK-IFU).

124. Comunicacion personal Dr. Mhulia A., Instituto de Geofísica. UNAM.

Referencias electronicas

<http://www.arboles.org>

<http://www.ibiologia.unam.mx>

<http://www.arbolesornamentales.com>

<http://www.sma.df.gob.mx>

<http://www.labsig.mty.itesm.mx>

<http://www.repamar.org>

<http://env.licor.com>

<http://www.semarnat.gob.mx>

<http://www.conabio.gob.mx>

ANEXO I

Fichas técnicas sobre las especies vegetales estudiadas.

No.	Nombre Científico. Acer Negundo L.	Nombre Común. Acezintle.	Familia. Aceraceae.	Selección: se selecciono esta especie por su abundancia en la zona en estudio.
1	Sinónimos. Negundo aceroides Moench, Negundo, Maple, Negundo mexicano.		Lugar de origen. Nativa desde el este de Canadá y Estados Unidos de Norteamérica, hasta México y Guatemala.	
Descripción. Árbol dioico, caducifolio.		Hojas. Opuestas imparipinnadas, con 3-7 folíolos de forma ovado-oblonga con el borde aserrado haz de color verde y envés algo más pálido. Miden de 7-10 cm de longitud.		
Altura (m). 10		Flores. Masculinas y femeninas en pies diferentes, apareciendo antes que las hojas son poco vistosas, y están dispuestas en racimillos colgantes de color verde-amarillento. <i>Florece:</i> en marzo - abril.		
Copa. Froncosa, más o menos redondeada.		Frutos. Alados de 2-4 cm de longitud, con las alas formando ángulo agudo se disponen en pares a lo largo de fructificaciones colgantes que permanecen en el árbol aún cuando éste ha perdido el follaje. <i>Fructifica:</i> en primavera.		
Corteza. Más o menos lisa o finamente fisurada, de color grisáceo claro.		Cultivo. Se multiplica por medio de semillas normalmente, aunque también es posible por estacas. Especie bastante resistente a suelos y climas por su rusticidad.		
Usos. Árbol de sombra muy utilizado en alineaciones.				
Referencias en la literatura de datos sobre la emisión de hidrocarburos. Inexistentes.				

No. 2	Nombre Científico. Buddleia Cordata.	Nombre Común. Tepozán.	Familia. Buddleiaceae.	Selección: se selecciono esta especie por ser endemica en la zona en estudio.
Sinónimos. Buddleja humboldtiana Roem et Schult, Batowí, Matowí, Salvia silvestre, Tepozán blanco.			Lugar de origen. Nativa de Chihuahua y Tamaulipas en México hasta Guatemala.	
Descripción. Árbol fanerofito, dioico, siempre verde.		Hojas. Largamente pecioladas, de forma ovado a ovado-lanceolar, el haz presenta pubescencias, el envés es lanudo tomentoso y el borde es aserrado.		
Altura (m). 4 a 6				
Copa.		Flores. Actinomorfa, de color blanco, cabezuelas pedunculares dispuestas en panículas terminales. Despide un olor alcanforado. <i>Florece:</i> a partir de agosto hasta marzo.		
Corteza. Generalmente fibrosa y fisurada longitudinalmente.		Frutos. En cápsula bivalvada, dehiscente o indehiscente. <i>Fructifica:</i> de octubre a mayo.		
Cultivo. Crece en matorrales, pastizales y bosques de pino-encino y otras latifoliadas alrededor de los 2500 msnm, pero preferentemente en la vegetación secundaria y en lugares intensamente perturbados, incluyendo zonas urbanas.				
Usos. <i>Medicinal:</i> Para calenturas, llagas y úlceras, se ponen cataplasmas de las hojas en la parte afectada, también se usa en caso de heridas y raspones. <i>Pesticida:</i> El extracto acuoso de la planta repele al gusano cogollero, <i>Veterinario:</i> Se utiliza en algunas enfermedades de animales				
Referencias en la literatura de datos sobre la emisión de hidrocarburos. Inexistentes.				

No. 3	Nombre Científico. Dodonea Schiedeana Schldl.	Nombre Común. Dodonea viscosa.	Familia. Sapindaceae.	Selección: se selecciono esta especie por ser endemica en la zona en estudio.
	Sinónimos. Ptelea viscosa L, Cachoveano, Jarilla, Matagusano, Ocotillo, Pirumu. Chapulixctli.		Lugar de origen. Nativa de México, se distribuye casi en todo el país. Estado de México, Hidalgo, Morelos y Distrito Federal preferentemente.	
Descripción. Arbusto o pequeño árbol, perenifolio, siempre verde.		Hojas. Color verde, lanceoladas, estrechas de 10 cm de longitud.		
Altura (m). 1 a 5		Flores. Pequeñas flores verdosas, amarillentas o rojizas, dispuestas en racimos cortos. <i>Florece:</i> en agosto.		
Copa. De ramas erectas.		Frutos. Capsulas de color amarillo-rojizo, que contienen semillas aladas de color rozado gran capacidad de colonización. <i>Fructifica:</i> diciembre - abril.		
Corteza. De color marrón-rojiza, se desprende a tiras del tronco.				
Cultivo. Es capaz de crecer en suelos muy erosionados y con fuertes pendientes, sobre tepetate y toba removida. Es una especie demandante de luz, tolerante a las sequías, sombra, inundaciones, viento y heladas; susceptible al ramoneo y al fuego; aunque se han encontrado plantas dañadas por incendio con abundantes rebrotes. Se recomienda que los viveros donde se realiza su propagación estén ubicados entre 600 y 1.200 msnm, aunque los sitios de plantación se encuentren en altitudes superiores.				
Usos. Medicinal; útil como tutor para cultivos hortícolas. Se recomienda en el control de la erosión, como cortina rompevientos y como restaurador de suelos. En algunas partes se utiliza como leña, carbón y mangos de herramienta, en construcciones rústicas.				
Referencias en la literatura de datos sobre la emisión de hidrocarburos. Inexistentes.				

No. 4	Nombre Científico. Jacaranda Mimosifolia.	Nombre Común. Jacarandá.	Familia. Bignoniaceae.	Selección: se selecciono esta especie por su abundancia en jardines y camellones de la zona en estudio.
	Sinónimos. Palisandro.			Lugar de origen. Nativa de Brasil y Argentina.
Descripción. Árbol semicaducifolio de porte medio.		Hojas. Compuestas, bipinnadas, de hasta 50 cm de longitud, con pinnas de 25-30 pares, de folíolos pequeños de forma oval-oblonga, apiculados, de color verde-amarillento.		
Altura (m). 12 a 15		Flores. Hermafroditas, reunidas en espigas piramidales formadas por mas de 50 flores de forma tubular y de color azul-violeta, de unos 3-5 cm de longitud. <i>Florece:</i> en mayo-junio, y a veces tiene una segunda floración, más escasa, hacia el mes de septiembre u octubre.		
Copa. Ancha y ramas erguidas.		Frutos. Leñoso, plano, en forma de castañuela conteniendo gran cantidad de semillas pequeñas, aladas permanece bastante tiempo en el árbol. <i>Fructifica:</i> en el verano.		
Corteza. Fisurada, oscura.				
Cultivo. Se multiplica por semillas. Árbol no demasiado exigente y de crecimiento relativamente rápido. Se adapta bien a la contaminación atmosférica y por eso son frecuentes en ciudades y carreteras.				
Usos. Especie muy utilizada como árbol de alineación, de forma aislada o formando grupos, la madera en ebanistería y carpintería.				
Referencias en la literatura de datos sobre la emisión de hidrocarburos. Karlík J.F. (2001), Kesselmeier J. (1999), Michael T. (1996).				

No. 5	Nombre Científico. Juniperus Deppeana.	Nombre Común. Táscate.	Familia. Cupressaceae.	Selección: se selecciono esta especie por ser una especie muy adaptable a cualquier ambiente.
	Sinónimos. Cupressus sabinooides HBK, Juniperus tetragona Schtdl, Oyorique, Enebro.		Lugar de origen. Nativa del sur oeste de Estados Unidos de Norteamérica Arizona y Nuevo México hasta Veracruz México.	
Descripción. Coníferas arbóreas o arbustivas, siempreverdes, generalmente dioicas		Hojas. Juveniles aciculares, mientras que las adultas son escamiformes, generalmente imbricadas.		
Altura (m). 3 a 10 (hasta 20)		Flores.		
Copa. Ampliamente cónica densa y globular.				
Corteza. Estructura laminar se divide en placas color café cuadrangulares o bien estructura fibrosa.		Frutos. Conos globosos u ovoides, con 3-9 escamas, de consistencia algo pulposa, no leñosa. <i>Fructifica:</i> de agosto a octubre a partir del segundo año de edad.		
Cultivo. Es tolerante a suelos alcalinos y pobres, así como a suelos compactados y pedregosos, de lento crecimiento. Se establece tanto en laderas y lomeríos, en pendientes de 10 a 70%; también crece en llanos y partes bajas de la Sierra Madre Oriental, en bosques de juniperus entre 1800-2800msnm.				
Usos. De los frutos, hojas y tronco de esta especie se extraen aceites esenciales aromáticos. La madera es un excelente combustible de alto valor calorífico, arde lento y produce poco humo y hollín. El fuste y las ramas se usan como leña y para la elaboración de carbón. El uso de postes de junípero es común en Durango. <i>Medicinal</i> el vapor emitido al hervir las hojas se usa para combatir fiebres y dolores en general. La infusión de las hojas se usa para curaciones en general y dolores de reumatismo y tos. La misma infusión es útil como relajante muscular. Las hojas de esta especie se utilizan como forraje, de hecho son más palatables que las de otras especies. Se aprovechan algunos extractos de esta especie para la elaboración de perfumes, barnices e insecticidas.				
Referencias en la literatura de datos sobre la emisión de hidrocarburos. Kesselmeier J. (1999).				

No. 6	Nombre Científico. Calocedrus decurrens.	Nombre Común. Cedro de incienso.	Familia. Cupressaceae.	Selección: se selecciono esta especie por ser ornamental muy usada en jardines.
	Sinónimos. Libocedrus Decurrens Torr., Cedro blanco de California.		Lugar de origen. Nativa de Estados Unidos de Norteamérica, desde Oregon hasta California.	
Descripción. Árbol de gran talla, con porte columnar estrecho, redondeado en su extremo.		Hojas. Escamiformes, mucho más largas que anchas, dispuestas en 4 filas, son de color verde oscuro y desprenden olor a resina al frotarla, fuertemente imbricadas a excepción del ápice que está levantado.		
Altura (m). 45		Flores. Masculina, amentiforme, de 5mm de largo y 2mm de diámetro, formadas por escamas triangulares, ligeramente aquillado en el ápice.		
Copa.				
Corteza. Marrón-rojiza, escamosa, tornándose fibrosa y profundamente agrietada con los años		Frutos. Conos alargados, solitarios, colgantes, de unos 2 cm de longitud, de color marrón claro. Están formados por 3 pares de escamas, siendo las del par inferior más pequeñas, las del segundo par alargado y con una pequeña espina en su extremo y las del par central soldadas formando un tabique. Cada una con 1-2 semillas de alas desiguales.		
Cultivo. Se multiplica por semillas y las variedades por injerto. Especie bastante rústica que prospera bien en situaciones diversas, aunque vegeta mejor en terrenos profundos, con alta humedad, común en afloramiento rocosos aislados.				
Usos. Su madera es de buena calidad, blanda, de color marrón claro, aromática.				
Referencias en la literatura de datos sobre la emisión de hidrocarburos. Inexistentes.				

No. 7	Nombre Científico. Lingustrum Lucidum.	Nombre Común. Trueno.	Familia. Oleaceae.	Selección: se selecciono esta especie por ser muy utilizada en la reforestación de parques y jardines.
	Sinónimos. .			Lugar de origen. Nativa de China.
Descripción. Arbustos o arbolitos caducos o siempreverdes.		Hojas. Ovadas o oval-lanceoladas, opuestas, elípticas lustrosas, coriáceas, de 6-12 cm de longitud, acuminadas, de base cuneada, de color verde lustroso en el haz y más pálidas en el envés. Pecíolo marrón-rojizo de 1-2 cm de longitud. Limbo con 6-9 pares de venas.		
Altura (m). 4 a 8		Flores. Hermafroditas, actinomorfas, tetrámeras, subsésiles, con panículas de 12-20 cm de longitud, piramidales, con el tubo de la corola casi tan largo como el cáliz. <i>Florece:</i> en junio – julio.		
Copa. Redondeada, frondosa.		Frutos. Drupa bacciforme con 1-4 semillas de color negruzco o negro-azulado.		
Corteza. Más o menos lisa, grisácea, con lenticelas marcadas.				
Cultivo. Se multiplica por semillas y las variedades por injertos. Adaptable a variedad de suelos. Cultivo a pleno sol o a la sombra. Admite muy bien las podas y recortes. Soporta muy bien la polución del tráfico.				
Usos. Es usado en alineamiento de calles.				
Referencias en la literatura de datos sobre la emisión de hidrocarburos. Kesselmeier J. (1999).				

No. 8	Nombre Científico. Liquidambar styraciflua L.	Nombre Común. Liquidambar.	Familia. Hamamelidaceae.	Selección: se selecciono esta especie por su abundancia en la zona en estudio
	Sinónimos. Árbol del ámbar, ocozol, ocozote.			Lugar de origen. Nativa del sur de Estado Unidos de Norteamérica, México y Guatemala.
Descripción. Arboles caducifolios y monoicos.		Hojas. Caedizas, alternas, palmatilobadas, alternas, bagamente pecioladas, con 5-7 lóbulos de bordes finamente dentados y base truncada o acorazada. Miden 10-18 cm de anchura y longitud. Pecíolo largo de 5-10 cm de longitud. Haz brillante y envés más palido, con pelos en las nervaciones.		
Altura (m). 10 a 15		Flores. Femeninas en cabezuelas globosas colgantes, y las masculinas en racimos terminales erectos. Carecen de pétalos y son de pequeño tamaño. Masculinas sin perianto estambres numerosos. <i>Florece:</i> en primavera.		
Copa. Piramidal, sobre todo cuando es joven.		Frutos. Es capsular, de unos 2.5 cm de diámetro, globoso, algo pinchoso, dehiscente, formado por numerosas cápsulas cada una con dos semillas, permaneciendo en el árbol bastante tiempo. <i>Fructifica:</i> a principios del verano.		
Corteza. Muy agrietada, de color moreno-grisacea.				
Cultivo. Se multiplica por semillas, las cuáles deben recogerse en cuanto maduran los frutos, ya que son dehiscentes y abren enseguida. Por lo general no tolera bien la sequedad del clima y del suelo, así como los suelos poco profundos y espacios limitados.				
Usos. Gusta de exposición soleada, no es especie buena para calles, donde los sistemas radiculares suelen poseer poco espacio para desarrollarse, ni pequeños jardines.				
Referencias en la literatura de datos sobre la emisión de hidrocarburos. Kesselmeier J. (1999), Michael T. (1996).				

No. 9	Nombre Científico. Picea Concolor Gordon & Glend.	Nombre Común. Pinabete Mexicano.	Familia. Pinaceae.	Selección: se selecciono esta especie por ser utilizado en programas de reforestación.
	Sinónimos. Abeto del Colorado, pino bálsamo.		Lugar de origen. Sur este de Estado Unidos de Norteamérica, norte de México.	
Descripción. Coníferas arbóreas o arbustivas, siempreverdes, diodicas, con yemas resinosas.		Hojas. Acículas de las ramillas estériles de hasta 70 mm de longitud, dispuestas en cepillo. Ápice en punta o redondeado, un poco escotado, pero no punzante.		
Altura (m). 45		Flores. Femeninas axilares o subterminales, solitarias o en grupos, compuestas de numerosas escamas dispuestas en espiral.		
Copa. Forma cónica con ramas cortas.		Frutos. Erecto, cilíndrico, de 8-10 cm de longitud, a menudo de color verde purpúreo antes de a madurez.		
Corteza. Lisa, con ampollas de resina, tornándose agrietada irregularmente con la edad.				
Cultivo. Se multiplica por semillas y las variedades por injertos. Requiere suelos de tipo medio y de ligeramnete ácidos a neutros. Se cultiva al sol o a media sombra.				
Usos. La madera se utiliza localmente. Se ha difundido como ornamental.				
Referencias en la literatura de datos sobre la emisión de hidrocarburos. Inexistentes.				

No. 10	Nombre Científico. Pinus Ayacahuite. Ehren.	Nombre Común. Pino real.	Familia. Pinaceae.	Selección: se selecciono esta especie por ser utilizado en programas de reforestación.
	Sinónimos. Pinus macrophylla. pinus strobiformis, pino cahuite, pino huiyoco, pino tabla.		Lugar de origen. Nativa del centro de México hasta Centroamérica..	
Descripción. Coníferas arbóreas o arbustivas, siempreverdes, diodicas, con yemas resinosas.		Hojas. En grupos de 5, por lo general delgadas, en fascículos; de color verde intenso, azuloso, triangulares, glaucas en sus caras internas; de bordes aserrados, con los dientecillos separados y pequeños. Tienen un haz vascular y sus canales resiníferos son externos, generalmente en número de 3 a5.		
Altura (m). 12 a 35		Flores.		
Copa. Cónica y aguda.		Frutos. Duros, subcilíndricos, atenuados con abundante resina amarilla, con frecuencia algo encorvados; de color amarillento con tinte naranja ligeramente rojizo o levemente ocre, lustroso, conservando su brillo en la vejez.		
Corteza. Moreno grisácea.				
Cultivo. Especie arbórea que frecuenta suelos húmedos y profundos, generalmente a lo largo de arroyos o en zonas planas. En bosques de pino es frecuente en altitudes entre 1250-3200 msnm; mientras que en asociaciones de pino-encino, habita alturas entre 1400-2600 msnm.				
Usos. La madera es suave, blanca, de textura fina y uniforme. Es muy estimada para construcciones rurales.				
Referencias en la literatura de datos sobre la emisión de hidrocarburos. Inexistentes.				

No. 11	Nombre Científico. Pinus Cembroides Zucc.	Nombre Común. Piñonero.	Familia. Pinaceae.	Selección: se selecciono esta especie por ser utilizado en programas de reforestación.
	Sinónimos. Pinus johannis Rob., pinus pinceana Gord. et Gland, Bishicuri., piñón.		Lugar de origen. Nativa de México, y se extiende al sur de los Estados Unidos de Norteamérica.	
Descripción. Coníferas arbóreas o arbustivas, siempreverdes, dioicas, con yemas resinosas.		Hojas. Aglomeradas en la extremidad de las ramillas, en grupos de 3-4, de 6-8 (10) cm, rectas anchamente triangulares, delgadas de color verde claro, glaucas en sus caras internas; de borde entero; conillos largamente pedunculados, oblongos, ligeramente atenuados en ambas extremidades, con escamas gruesas, fuertemente aquilladas y provistas de una punta gruesa dirigida hacia la base del cono.		
Altura (m). 6 a 12		Flores. Suboblongos de 6-8 cm a veces hasta 9, con pedúnculos de 20 mm; simétricos, colgantes y pronto caedizos, de color rojizo o amarillento anaranjado brillantes, con pocas escamas gruesas, de umbo dorsal muy grueso e irregular de 25 mm de ancho por 33 de largo; apófisis poco levantada; quilla transversal patente con la cúspide hundida, en cuyo centro se observa una pequeña punta gruesa y caediza. <i>Florece:</i> marzo - abril.		
Copa. Redondeada.		Frutos. Piñón. <i>Fructifica:</i> noviembre – diciembre.		
Corteza. Grisácea, lisa durante varios años.				
Cultivo. Se encuentra formando bosques de Pino con masas arbóreas abiertas, árboles de baja altura y muy ramificados, y junto con otras latifoliadas entre los 1350 y 2750 msnm. Regularmente habita zonas con poca precipitación pluvial, que oscila entre los 380 a 635 mm, en suelos delgados, con bajo contenido de materia orgánica y pedregosos.				
Usos. La madera es suave y poco resinosa. La madera es suave y poco resinosa, madera tiene poco valor comercial, se emplea como madera aserrada para construcción rural y postes, también es apreciada en la elaboración de muebles rústicos e instrumentos musicales, También se usa como leña y carbón, y pulpa para papel. La resina se utiliza como materia prima en impermeabilizantes y como pegamento casero, también se extrae aceite de pino y alquitrán. Esta especie tiene importancia económica por su semilla (piñón), y abastece poco más del 90% de los piñones conocidos en el mercado.				
Referencias en la literatura de datos sobre la emisión de hidrocarburos. Inexistentes.				

No. 12	Nombre Científico. Pinus Edulis.	Nombre Común. Pino piñón.	Familia. Pinaceae.	Selección: se selecciono esta especie por ser utilizado en programas de reforestación.
	Sinónimos. .			Lugar de origen. Nativa de México.
Descripción. Coníferas arbóreas o arbustivas, siempreverdes, dioicas, con yemas resinosas.		Hojas. Acículas en grupos de 2, de 10-20 cm de longitud y 1.5-2 mm de grosor, flexibles, arqueadas, de color verde algo azulado. Yemas cilíndricas de color marrón claro, con escamas bordeadas de blanco, algo revueltas.		
Altura (m). 25		Flores. Masculinas axilares en espigas cilíndricas. Femeninas axilares o subterminales, solitarias o en grupos, compuestas de numerosas escamas dispuestas en espiral.		
Copa. Redondeada o aparasolada característica.		Frutos. Piñas que maduran al tercer año, diferenciándose en ello de la mayoría de los otros pinos que tardan dos años. Son ovado-esféricas, de 8-14 cm de longitud, con escudetes inflados de color marrón rojizo brillante, con ombligos poco salientes. Pueden permanecer varios años sobre el árbol.		
Corteza. Marrón-rojiza, con placas también rojizas en los ejemplares con edad.				
Cultivo.				
Usos. Postes y leña para combustible.				
Referencias en la literatura de datos sobre la emisión de hidrocarburos. Inexistentes.				

No. 13	Nombre Científico. Pinus Patula Schl. et Cham.	Nombre Común. Pino colorado.	Familia. Pinaceae.	Selección: se selecciono esta especie por ser utilizado en programas de reforestación.
	Sinónimos. Pino llorón, pino triste, pino chino, pino xalocote, pino macho, peinador de neblinas.		Lugar de origen. Nativa de Centro América.	
Descripción. Coníferas arbóreas o arbustivas, siempreverdes, dioicas, con yemas resinosas.		Hojas. Perennifolia. El renuevo de hojas ocurre en dos períodos, en febrero brotan las hojas del primer internudo (maduran en marzo), en mayo comienza la aparición de nuevas hojas en el segundo internudo (maduran en junio), al tiempo que caen las formadas al inicio del año.		
Altura (m). 30 a 35		Flores. Masculinas y femeninas ocurren separadamente en la misma planta y ocurren abundantemente en vastagos nuevos usualmente en la región inferior de la copa. <i>Florece:</i> enero – abril.		
Copa. Es abierta y redondeada.		Frutos. Son cónicos serótinos y largos acomodandose hacia el ápice por lo general. Sésiles pero rara vez sub-sésiles con un reflejo asimétrico color lustro que va de gris a marrón apareciendo de 3 a 6 de 4 a 12 cm y un ancho de 2.5 a 4 cm. <i>Fructifica:</i> finales de abril.		
Cultivo. Se desarrolla principalmente en zonas templadas con exposiciones norte y aquellas que reciben una gran cantidad de niebla durante el año, es posible encontrarla en lugares donde llegan los vientos húmedos del Golfo de México, aunque también pueden crecer en donde no exista humedad relativa alta. Crece en terrenos de topografía plana y lomeríos con pendientes moderadas y hasta de 45°				
Usos. La madera es de buena calidad. Se recomienda para construcciones que requieran resistencia, para postes, durmientes, pilotes, armaduras y vigas. Se emplea para la elaboración de cajas de empaque y para acabados interiores y exteriores. También es muy apreciada en la fabricación de papel debido a la longitud de sus fibras.				
Referencias en la literatura de datos sobre la emisión de hidrocarburos. Inexistentes.				

No. 14	Nombre Científico. Pinus Radiata D. Don.	Nombre Común. Pino Monterrey.	Familia. Pinaceae.	Selección: se selecciono esta especie por ser utilizado en programas de reforestación.
	Sinónimos. Pinus insignis Douglas, pino insigne.		Lugar de origen. Nativa de Estados Unidos de Norteamérica, específicamente en California.	
Descripción. Coníferas arbóreas o arbustivas, siempreverdes, dioicas, con yemas resinosas.		Hojas. Hojas aciculares, largas, solitarias o en haces de 2-6 hojas, con el margen finamente aserrado o entero.		
Altura (m). 15 a 50		Flores. Flores masculinas axilares en espigas cilíndricas. <i>Florece:</i> a finales del invierno o principios de primavera.		
Copa. Densa, redondeada e irregular.		Frutos. Piñas de carácter serótino y persistentes. <i>Fructifica:</i> agosto – octubre.		
Corteza. Rugosa y gruesa.				
Cultivo. Presenta mayor desarrollo en pendientes suaves o moderadas con exposición noreste, la exposición sur le es particularmente desfavorable. En coexistencia con zacates disminuye su crecimiento. Es resistente moderadamente a la sequía, pero se ha reportado daño significativo por heladas en varias plantaciones.				
Usos. Se utiliza para producción de madera, pulpa y celulosa, a nivel mundial se le ha utilizado para aserrío, postería, cajas y en la construcción.				
Referencias en la literatura de datos sobre la emisión de hidrocarburos. Kesselmeier J. (1999), Michael T. (1996).				

No. 15	Nombre Científico. Pinus Teocote Schldl et. Cham..	Nombre Común. Ocote.	Familia. Pinaceae.	Selección: se selecciono esta especie por ser utilizado en programas de reforestación.
	Sinónimos. Pino prieto, pino rosillo, Teocote, pino chino.		Lugar de origen. Nativo de México.	
Descripción. Coníferas arbóreas o arbustivas, siempreverdes, dioicas, con yemas resinosas.		Hojas. En grupos de tres, raramente dos o cuatro en algunos fascículos, por lo general de 10 – 15 cm, fuertes y tiesas, anchas hasta cerca de dos mm; su color es verde brillante, comúnmente con tinte amarillento.		
Altura (m). 10 a 20		Flores.		
Copa. Redondeada e irregular; ramas desigualmente distribuidas, con follaje denso y erguido.				
Corteza. Color grisáceo, por fuera y algo naranja por dentro, delgada al principio, después áspera y rugosa, dividida en grandes placas longitudinales.		Frutos. Ovoides u ovoide cónicos, rara vez subcilíndricos, escamas pequeñas de 15 a 20 mm de largo por 8 – 10 de ancho con apófisis aplanadas o ligeramente protuberantes, carinadas, con espinita corta y comúnmente caediza.		
Cultivo. Especie de hábito terrestre, crece en bosques de pino, usualmente asociada con otras especies, entre los 1500 – 3200 msnm. También se encuentra en asociaciones de pino-encino dentro del mismo rango altitudinal.				
Usos. La madera se emplea en la construcción en general. Localmente se usa para postes y para leña. La resina se extrae con fines comerciales				
Referencias en la literatura de datos sobre la emisión de hidrocarburos. Inexistentes.				

No. 16	Nombre Científico. Pittosporum Undulatum.	Nombre Común. Pitosporo de bayas anaranjadas.	Familia. Pittosporaceae	Selección: se selecciono esta especie por ser una especie muy adaptable a cualquier ambiente.
	Sinónimos.		Lugar de origen. Nativa de Australia.	
Descripción. Arboles y arbustos siempreverdes.		Hojas. Oblongo-lanceoladas, de 7-14 cm de longitud, acuminadas, con los márgenes ondulados, estrechándose en la base en un pecíolo de 1.5 cm de longitud.		
Altura (m). 7 a 8		Flores. Blancas, muy aromáticas, de unos 1.3 cm de diámetro, dispuestas en racimos terminales de pocas flores, pentámeras en racimos, corimbos o umbelas, a menudo olorosas. Pétalos unidos en la base. <i>Florece:</i> primavera y mediados de verano.		
Copa.		Frutos. Cápsula leñosa con 2-4 valvas. <i>Fructifica:</i> principios del vranio.		
Corteza. Grisácea oscura.				
Cultivo. Especie bastante resistente a la sequía y al frío, y poco exigente. Tiene un crecimiento algo lento.				
Usos. Se utiliza aislado o en grupos en exposición soleada o a media sombra.				
Referencias en la literatura de datos sobre la emisión de hidrocarburos. Kesselmeier J. (1999), Michael T. (1996)				

No. 17	Nombre Científico. Podocarpus Reichei Buchhz & Gray.	Nombre Común. Podocarpus.	Familia. Podocarpaceae	Selección: se selecciono esta especie por ser una especie muy adaptable a cualquier ambiente.
	Sinónimos.		Lugar de origen. Nativa de México	
Descripción. Coníferas arbóreas o arbustivas, siempreverdes, monoicas o dioicas		Hojas. Bastante variables, generalmente dispuestas de forma espiralada u ocasionalmente opuestas, en dos filas o agrupadas. Son por lo general lanceoladas, de hasta 20 cm. de longitud, parcialmente delgadas y flexibles o algo coriáceas		
Altura (m). 20		Flores. Masculinas solitarias o en grupos de 2-5, en densas espigas. Flores femeninas 1-2, axiales o terminales, pediceladas o sésiles.		
Copa.		Frutos. Globoso u ovado, drupáceo, con un tegumento carnoso, en cuyo interior se encuentra una semilla leñosa.		
Corteza. Exfoliante.				
Cultivo. Habita en bosques de coníferas desde los 1400 a los 2100 msnm.				
Usos. Artesanal: El tallo se usa en artesanías y para elaborar mangos de algunas herramientas.				
Referencias en la literatura de datos sobre la emisión de hidrocarburos. Kesselmeier J. (1999).				

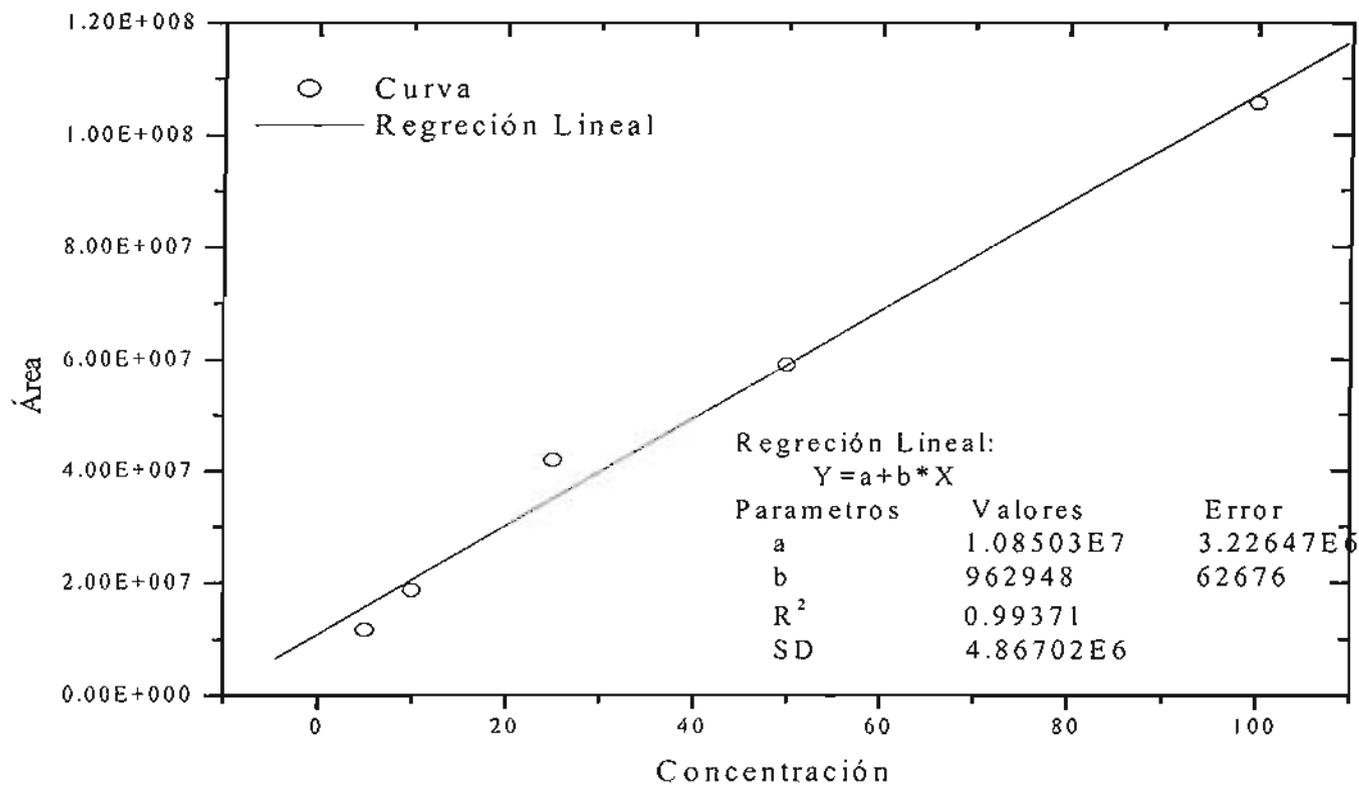
No. 18	Nombre Científico. Prunus Serotina var capulin (Car.) Mc Vaugh.	Nombre Común. Capulin.	Familia. Rosaceae.	Selección: se selecciono esta especie por ser muy utilizada en la reforestación de parques y jardines.
	Sinónimos. Capulin blanco, ceraso, prunus capuli Cav., prunus salicifolia HBK.		Lugar de origen. Nativa del hemisferio Norte y también en sur América.	
Descripción. Arbustos y árboles caducifolios y siempreverdes		Hojas. Lanceoladas a ovadas, de 5-18 cm de largo por 1.5-5 cm de ancho, ápice largamente acuminado, borde finamente aserrado, base aguda u obtusa, delgadas, brillantes, con el nervio prominente en el envés; racimos generalmente laxos, alargados, de 10-15 cm de largo, con 1 o más hojas cerca de la base.		
Altura (m). 5 a 15		Flores. Numerosas, sobre pedicelos delgados, de 5-10 mm de largo, tubo del cáliz y lóbulos de 3 mm de largo; pétalos blancos, de 3-3.5 mm de largo y de ancho. <i>Florece:</i> enero- febrero.		
Copa. Ancha		Frutos. Globoso, rojo a negro, de 1-2.5 cm de diámetro. Fructifica de mayo a agosto en diferentes partes del país.		
Corteza. Corteza café-rojiza o grisácea, casi lisa, glabra o a veces pubescente en los pecíolos o ramas tiernas; pecíolos delgados.				
Cultivo. Se le encuentra en bosques de encinos, pino-encino, otras latifoliadas y a la orilla de caminos, además también es cultivado en huertos familiares, en algunas parcelas, e incluso se llegan a encontrar pequeñas plantaciones. Prefiere los suelos franco-arcillosos, poco profundos, húmedos y ácidos. Se le encuentra entre los 1500 a 3000 msnm				
Usos. Fermentando los frutos se puede obtener una bebida alcohólica. Los frutos se comen crudos y en conservas, se pueden usar en la elaboración de tamales. En algunos lugares también se consume la almendra asada y después de quitar la testa, corteza se usa contra diarreas y disentería, además es febrífugo y el polvo de la misma se usa contra la nube de los ojos por lo que aclara la vista y cura las inflamaciones, así mismo se utiliza como antiperiódica. También se utiliza el cocimiento de la corteza seca para curar las cámaras de la sangre. En el caso del asma; se toma el cocimiento de la corteza de capulín, gordolobo y raíz de tabardillo. También se deja serenar la corteza sola en medio litro de agua y se toma en ayunas, endulzado con miel para el mismo padecimiento. Tanto la flor como el fruto en té, se utilizan para la tos junto con la camelina, rosaté y violeta de campo.				
Referencias en la literatura de datos sobre la emisión de hidrocarburos. Inexistentes.				

No. 19	Nombre Científico. Quercus Rugosa Née.	Nombre Común. Encino.	Familia. Fagaceae.	Selección: se selecciono esta especie por su abundancia en la zona en estudio.
Sinónimos. Quercus conglomerata Trel., Quercus decipiens Martens & Galeotti, Quercus diversicolor Trel, Encino blanco liso, Encino cuero, Encino de asta, Encino de miel, Encino quiebra hacha, Encino roble, Roble..			Lugar de origen. Nativa de México, se extiende desde el oeste de Texas y sur de Arizona hasta Chiapas.	
Descripción. Arbol perenifolio o caducifolio.		Hojas. Muy gruesas, rígidas y coriáceas, frecuentemente cóncavas por el envés, muy rugosas, obovadas, de elíptico-obovadas a casi suborbiculares, de 4-17 cm de largo or 1.8-10 cm de ancho, ápice anchamente obtuso o redondeado, margen engrosado con dientes y ondulaciones, estos dientes rematan en un mucrón o arista recta en número de 3-17 a cada lado, base redondeada o cordada en la que hay 8-13 pares de nervios laterales, haz lustroso y glabro, envés tomentoso con pelos ramificados y pelos glandulares abundantes, vermiformes, de color ámbar o rojizo, epidermis glauco-cerosa, papilosa y algo ampulosa; peciolos pubescentes de 3-13 mm de largo.		
Altura (m). 3 a 25		Flores. Ametos masculinos de 3 a 7 cm de largo con muchas flores, flores femeninas de 5 a 30, distribuidos a lo largo de un pendúnculo larga delgada y pubescente. <i>Florece:</i> marzo- junio.		
Copa. Amplia y redondeada que proporciona una sombra densa.		Frutos. fruto solitario o en grupos de 2-3, involucro de 12-17 mm de diámetro por 7-9 mm de alto, bellota ovoide de 16-25 mm de largo por 9-14 mm de diámetro. <i>Fructifica:</i> octubre-febrero.		
Corteza. Con fisuras profundas color café oscuro.		Cultivo. Vegeta en bosques de encino entre 1800-2500 msnm. En bosques de pino o en asociaciones pino-encino su rango altitudinal es entre 1000-3200 msnm, se localiza en una amplia variedad de sitios aunque es más común en suelos profundos que someros y pedregosos. Requiere un suelo arcilloso, bastante pluviosidad y temperatura suave o cálida.		
Usos. La madera en forma de leña y carbón se usa como combustible, también se utiliza en la elaboración de pulpa para papel y para fabricar pilotes, durmientes y postes para cercas. Las hojas y la corteza contienen una gran cantidad de taninos, los cuales se utilizan para curtir pieles; las hojas y los frutos son consumidos por el ganado bovino, porcino y caprino. El fruto se usa en la elaboración de café, se menciona que esta infusión ayuda a atenuar la embriaguez. La corteza tiene propiedades astringentes y es auxiliar para detener pequeñas hemorragias y reducir inflamaciones de la piel, producidas por ortigas y picaduras de insectos; la corteza también se utiliza para apretar los dientes y tratar úlceras				
Referencias en la literatura de datos sobre la emisión de hidrocarburos. Kesselmeier J. (1999).				

No. 20	Nombre Científico. Taxodium Mucronatum Ten.	Nombre Común. Ahuehuete.	Familia. Taxodiaceae.	Selección: se selecciono esta especie por ser ornamental muy usada en jardines.
	Sinónimos. Ahuehuete, Ciprés mexicano, Ciprés de río.		Lugar de origen. Nativa de México y Guatemala.	
Descripción. Coníferas arbóreas caducifolias o semi-caducas, monoicas.		Hojas. Dísticas, sésiles, lineares, rectas o algo falcadas de 8-20 mm de largo por 1 mm o menos de ancho, ápice agudo, hialino, base abrazando la ramilla, la vena central prominente en el envés y marcada en forma de surco en el haz; inflorescencia masculina de 15-25cm de largo.		
Altura (m). 35		Flores. Conos femeninos globosos a ovals subsésiles, de 1.3-2.5 cm de largo por 1-2 cm de ancho, aromáticos, de color verdoso, con escamas rugosas y dotadas de vejigas resiníferas; semillas angulosas de 5-9 mm de largo por 3-4 mm de ancho, de color café-amarillento. <i>Florece.</i> agosto - marzo		
Copa.		Frutos. Semillas angulosas de 5 a 9 mm de largo por 3 a 4 mm de ancho de color pardo – amarillento. <i>Fructifica:</i> agosto - septiembre.		
Corteza. Corteza de color café claro que se desgarran en tiras longitudinales entrelazadas, ramillas colgantes.				
Cultivo. Es un árbol de altos requerimientos de humedad del suelo, por lo que crece a orilla de ríos, manantiales o arroyos, con frecuencia se encuentra bordeando canales y presas. Prospera en suelos aluviales profundos y con deficiente drenaje, prefiere valores de pH mayores de 7, se ha detectado desde los 1000 a los 2500 msnm.				
Usos. La madera es suave y ligera, susceptible al pulimento y resistente a la humedad, por lo que se utiliza en la fabricación de canoas, postes y vigas. Asimismo, la madera es usada en construcción, y el tallo es usado como leña. En cuanto a sus propiedades medicinales, el alquitrán de esta planta es antiséptico y posee la propiedad de anestesiar la mucosa de la boca, privándola del sentido del gusto hasta por una hora. A la resina, hojas y corteza se le atribuye varias propiedades medicinales. Por ejemplo, la resina se usa para curar heridas, úlceras, enfermedades cutáneas, dolor de muelas, gota, dolores de cabeza y dolor de tipo reumático. La infusión de la corteza se usa como emenagogo y diurético. La infusión de las hojas se usa como resolutivo. Con el tronco se combaten casos de bronquitis y afecciones del pecho. En la ciudad de México se está utilizando en algunas investigaciones como indicador de mantos acuíferos superficiales. El follaje es utilizado como ornamento en arreglos.				
Referencias en la literatura de datos sobre la emisión de hidrocarburos. Kesselmeier J. (1999).				

ANEXO II

Curva de calibración (estándar Isobutylene).

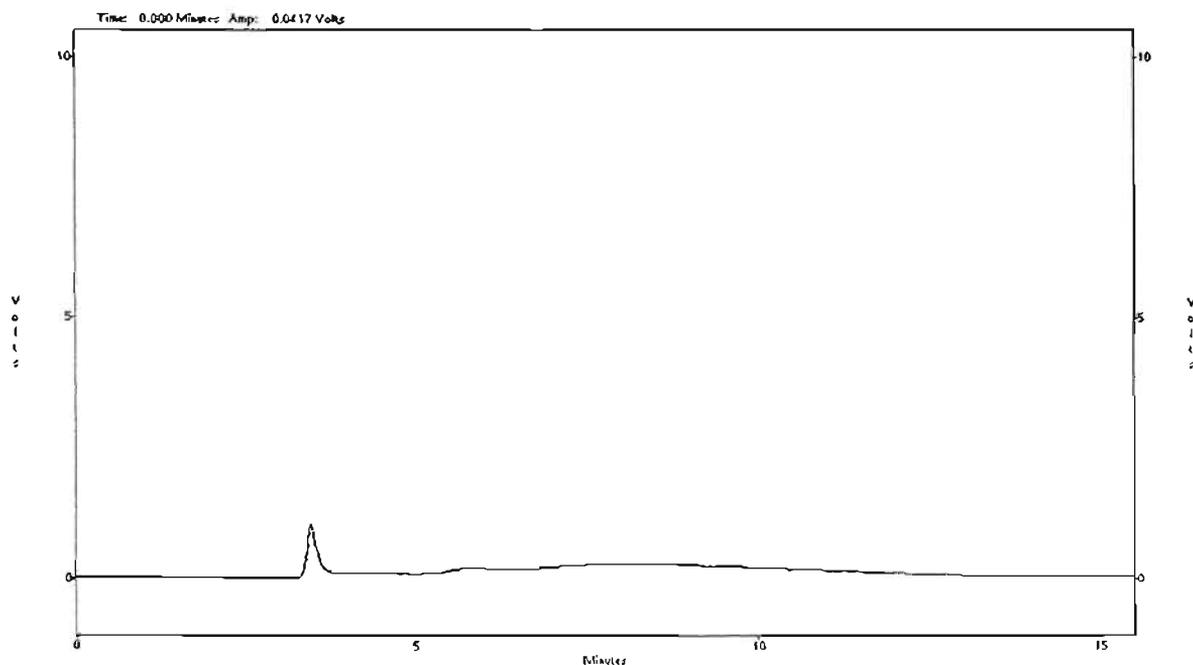


ANEXO III

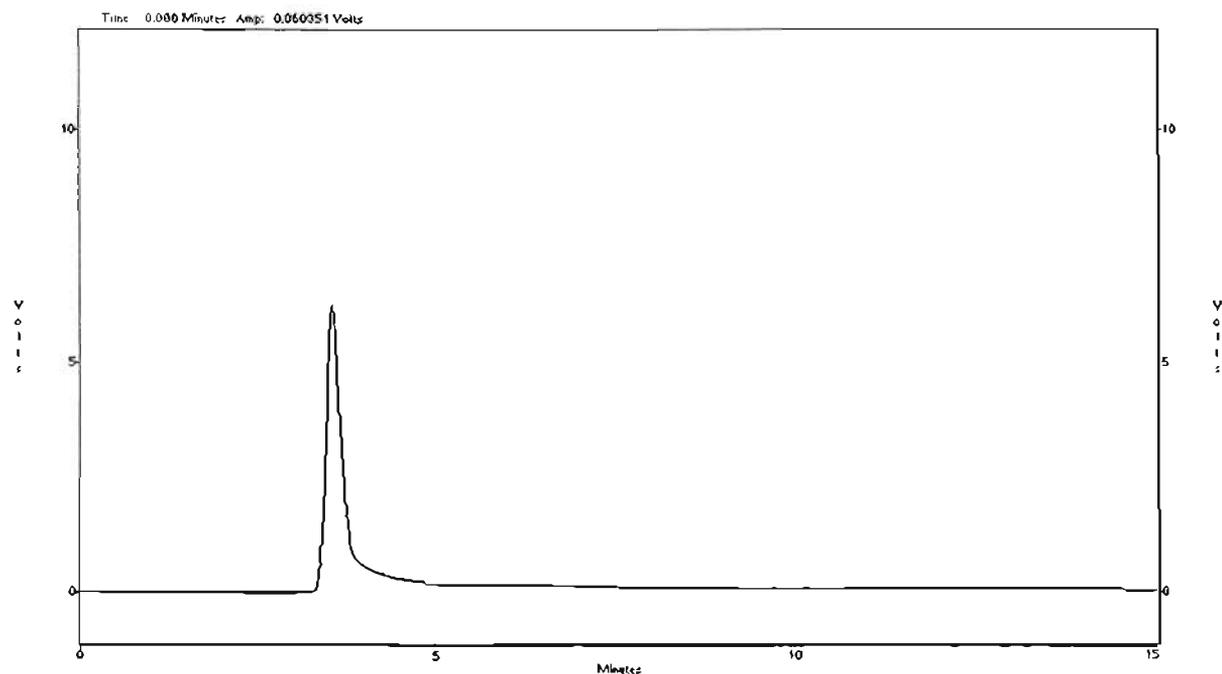
Cromatogramas.

A continuación se presentan algunos cromatogramas de tres especies arbóreas, que han sido estudiadas en este trabajo.

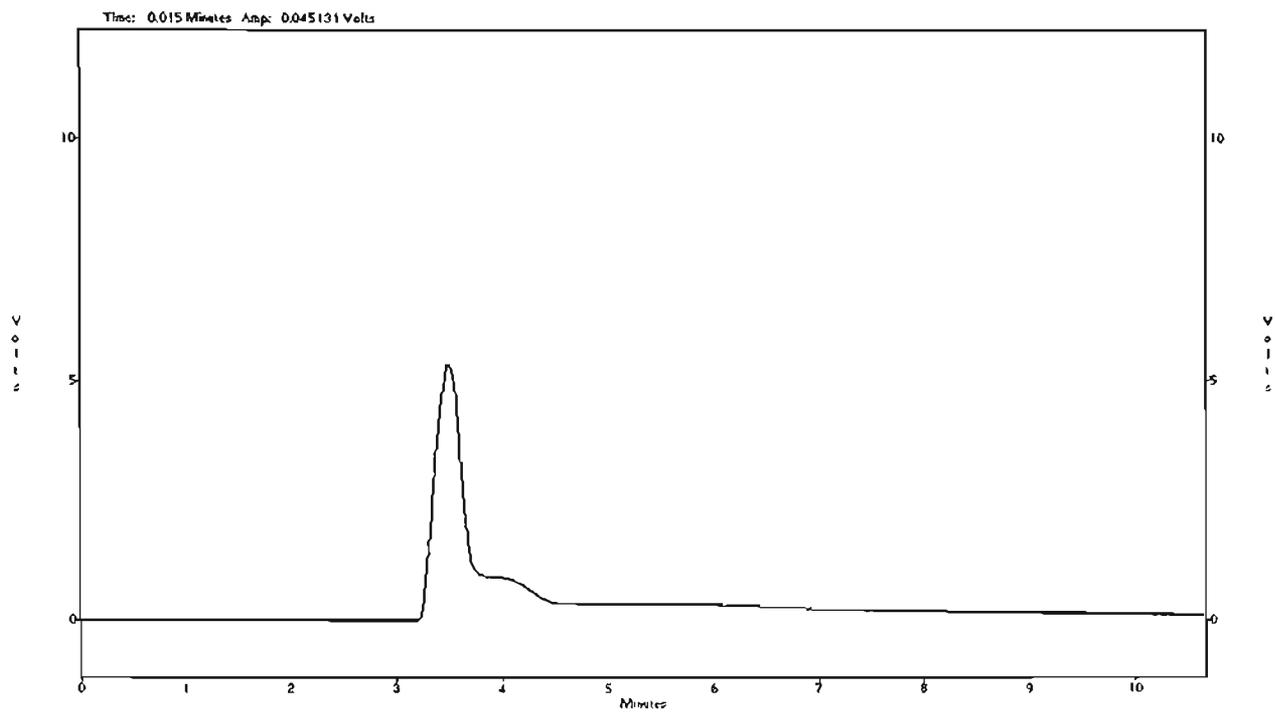
Cromatograma de la muestra del 27 de noviembre de 2003, alrededor de las 12:30 horas.
Blanco de muestra *Dodonaea Schiedeana* Schldl.,



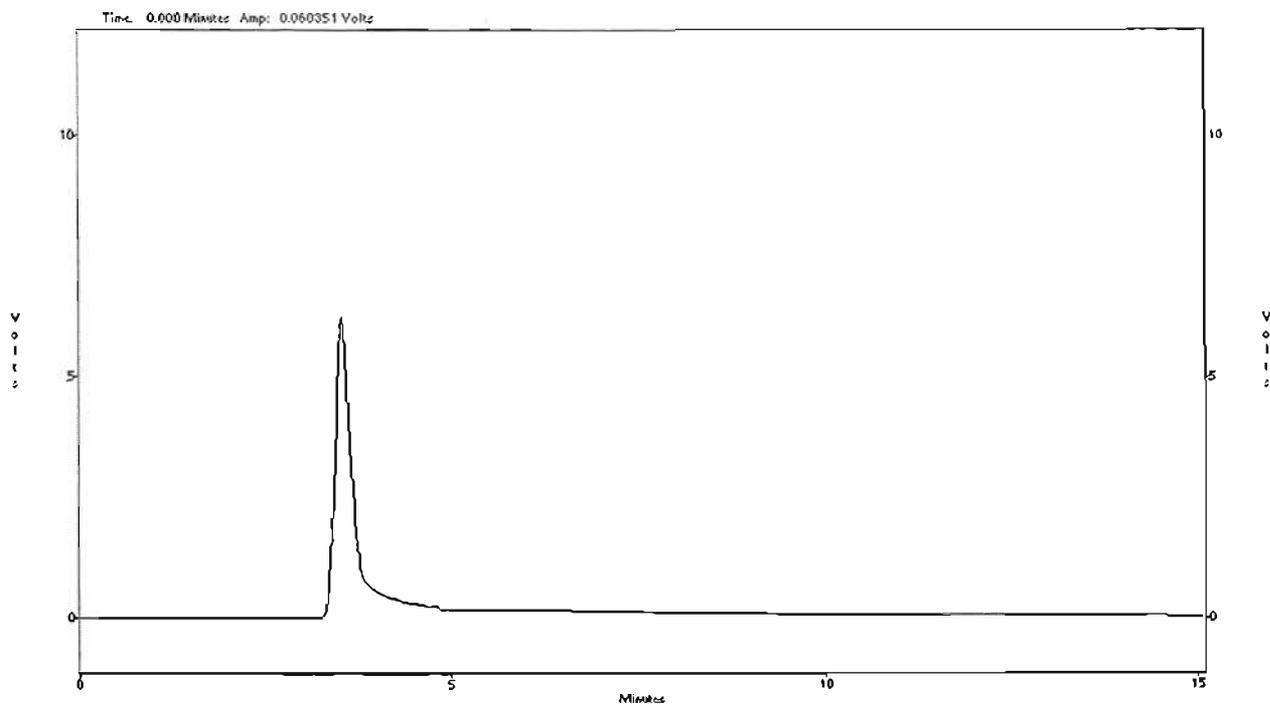
Cromatograma de la muestra del 27 de noviembre de 2003, alrededor de las 12:30 horas
Muestra *Dodonaea Schiedeana* Schldl.,



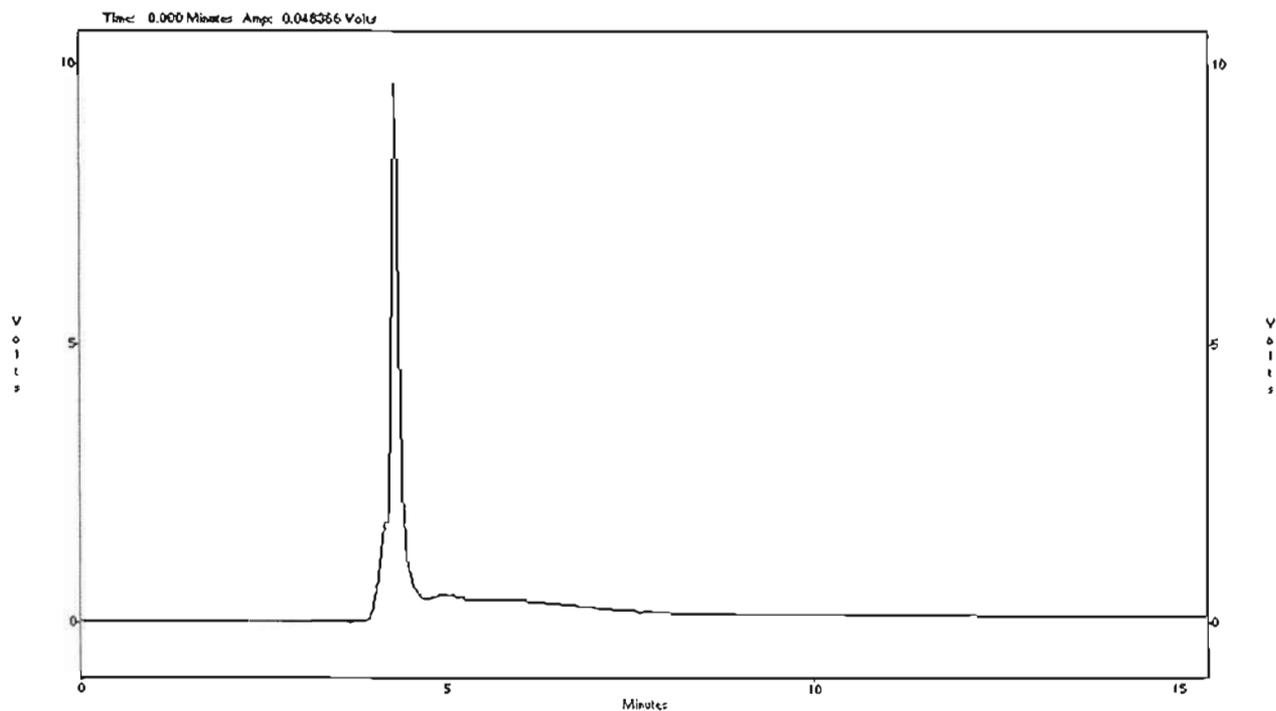
Cromatograma de la muestra del 12 de noviembre de 2003, alrededor de las 12:30 horas
Blanco de muestra del Pinus Radiata D. Don.



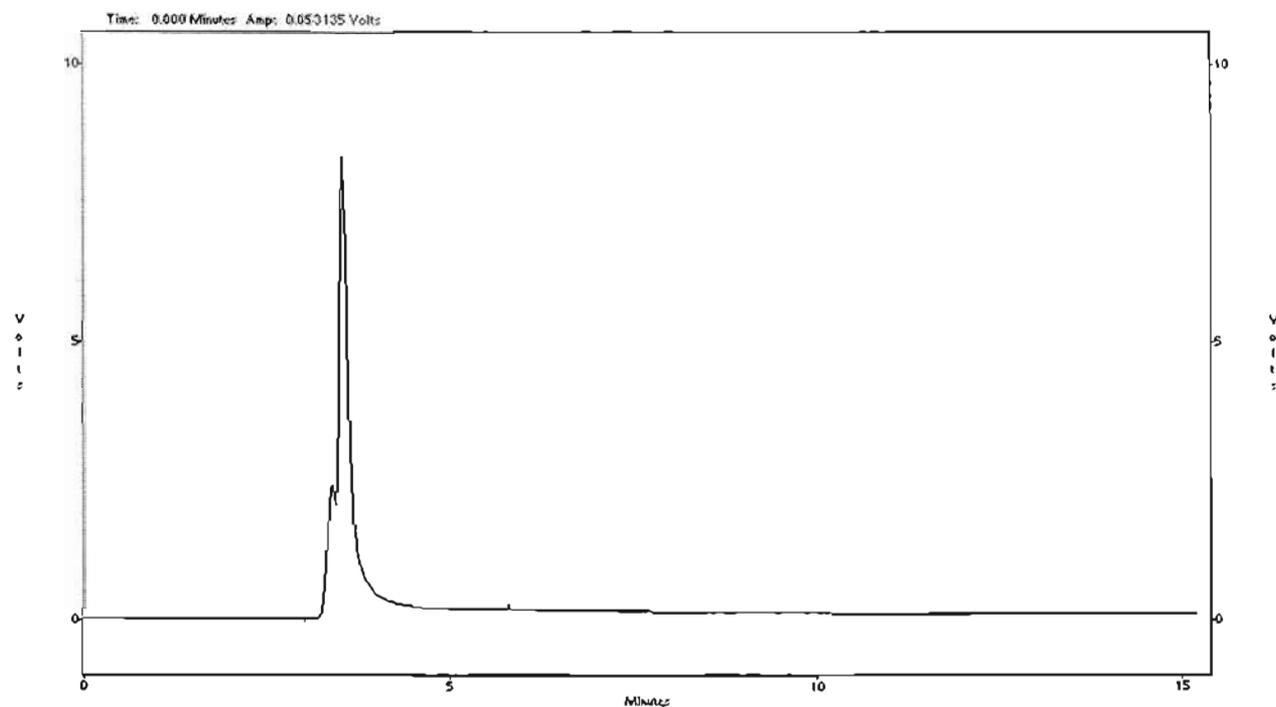
Cromatograma de la muestra del 12 de noviembre de 2003, alrededor de las 12:30 horas
Muestra del Pinus Radiata D. Don..



Cromatograma de la muestra del 02 de diciembre de 2003, alrededor de las 12:30 horas
Blanco de muestra de la Jacaranda Mimosifolia.



Cromatograma de la muestra del 02 de diciembre de 2003, alrededor de las 12:30 horas
Muestra de la Jacaranda Mimosifolia.



ANEXO IV

Resultados obtenidos de Factor de Emisión, Radiación, Humedad, Temperaturas (dentro y fuera de la cámara).

PARTE I

Fecha (dd/mm/aa)	Día Juliano	Especie	FE (mg/ghr)	PAR ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)	HR (%)	T a. (°C)	T c. (°C)
11/11/03	315	<i>Quercus rugosa</i>	28.95	1683	64	23	34
12/11/03	316	<i>Pinus radiata</i>	0.85	1751	33	25	23
13/11/03	317	<i>Liquidambar styraciflua</i>	31.77	1548	73	31	37
14/11/03	318	<i>Buddleia cordata</i>	14.72	1010	77	23	32
17/11/03	321	<i>Juniperus deppeana</i>	1.79	1144	23	28	40
18/11/03	322	<i>Podocarpus reichei</i>	28.19	1548	41	33	34
19/11/03	323	<i>Picea concolor</i>	11.99	1750	25	23	23
20/11/03	324	<i>Lingustrum lucidum</i>	2.87	1750	30	20	28
21/11/03	325	<i>Pittosporum undulatum</i>	24.86	1683	45	15	25
24/11/03	328	<i>Taxodium mucronatum</i>	0.84	1414	75	15	22
25/11/03	329	<i>Pinus teocote</i>	0.38	1885	48	25	27
26/11/03	330	<i>Libocedrus decurrens.</i>	1.28	1010	77	19	22
27/11/03	331	<i>Dodonaea schiedeana</i>	0.01	2020	27	23	37
28/11/03	332	<i>Acer negundo</i>	3.01	1683	46	21	24
01/12/03	335	<i>Pinus patula</i>	0.31	2222	19	22	37
02/12/03	336	<i>Jacaranda mimosifolia</i>	30.65	1346	38	22	37
03/12/03	337	<i>Pinus ayacahuite</i>	0.05	1279	48	19	25
04/12/03	338	<i>Prunus serotin</i>	4.25	1279	48	19	25
05/12/03	339	<i>Pinus cembroides</i>	15.03	1683	27	16	23
08/12/03	342	<i>Pinus edulis</i>	1.77	740	42	22	23

PARTE II

Fecha (dd/mm/aa)	Día Juliano	Especie	FE (mg/ghr)	PAR ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)	HR (%)	T a. (°C)	T c. (°C)
09/12/03	343	<i>Quercus rugosa</i>	23.26	1717	70	27	33
10/12/03	344	<i>Pinus radiata</i>	5.33	1818	27	19	39
11/12/03	345	<i>Liquidambar styraciflua</i>	3.22	1414	51	27	39
12/12/03	346	<i>Buddleia cordata</i>	13.33	1336	75	22	34
15/12/03	349	<i>Juniperus deppeana</i>	1.29	1077	21	28	43
16/12/03	350	<i>Podocarpus reichei</i>	23.02	1818	34	23	40
17/12/03	351	<i>Picea concolor</i>	17.46	1818	19	23	23
18/12/03	352	<i>Lingustrum lucidum</i>	9.53	1796	44	20	28
19/12/03	353	<i>Pittosporum undulatum</i>	2.65	1639	43	14	23
22/12/03	356	<i>Taxodium mucronatum</i>	1.05	1414	73	17	22
23/12/03	357	<i>Pinus teocote</i>	0.33	1874	50	26	30
05/01/04	005	<i>Libocedrus decurrens.</i>	1.09	493.9	69	19	24
06/01/04	006	<i>Dodonaea schiedeana</i>	1.08	1335	43	26	37
07/01/04	007	<i>Acer negundo</i>	2.55	1571	47	21	25
08/01/04	008	<i>Pinus patula</i>	0.31	1706	20	19	37
09/01/04	009	<i>Jacaranda mimosifolia</i>	8.83	1291	35	23	37
12/01/04	012	<i>Pinus ayacahuite</i>	0.36	1122	47	20	25
13/01/04	013	<i>Prunus serotin</i>	0.47	1201	52	20	25
14/01/04	014	<i>Pinus cembroides</i>	11.34	2480	27	20	25
15/01/04	015	<i>Pinus edulis</i>	0.89	336.7	48	21	23

PARTE III

Fecha (dd/mm/aa)	Día Juliano	Especie	FE (mg/ghr)	PAR ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)	HR (%)	T a. (°C)	T c. (°C)
16/01/04	016	<i>Quercus rugosa</i>	36.51	1751	69	23	26
19/01/04	019	<i>Pinus radiata</i>	5.18	1672	32	20	35
20/01/04	020	<i>Liquidambar styraciflua</i>	1.99	1237	53	24	40
21/01/04	021	<i>Buddleia cordata</i>	14.17	1201	76	23	33
22/01/04	022	<i>Juniperus deppeana</i>	1.14	1156	25	28	40
23/01/04	023	<i>Podocarpus reichei</i>	25.56	1829	36	21	39
26/01/04	026	<i>Picea concolor</i>	20.15	1829	23	21	21
27/01/04	027	<i>Lingustrum lucidum</i>	10.48	1706	36	21	30
28/01/04	028	<i>Pittosporum undulatum</i>	2.86	1616	46	16	23
29/01/04	029	<i>Taxodium mucronatum</i>	1.14	1459	74	17	22
30/01/04	030	<i>Pinus teocote</i>	0.29	1796	51	25	27
02/02/04	033	<i>Libocedrus decurrens.</i>	1.09	831	78	19	22
03/02/04	034	<i>Dodonaea schiedeana</i>	0.34	1840	25	31	39
04/02/04	035	<i>Acer negundo</i>	2.37	1560	45	24	25
05/02/04	036	<i>Pinus patula</i>	0.28	1279	20	21	37
06/02/04	037	<i>Jacaranda mimosifolia</i>	12.62	1560	37	23	37
09/02/04	040	<i>Pinus ayacahuite</i>	0.21	1403	49	20	25
10/02/04	041	<i>Prunus serotina</i>	0.69	1414	53	20	25
11/02/04	042	<i>Pinus cembroides</i>	12.77	2323	25	20	26
12/02/04	043	<i>Pinus edulis</i>	1.55	830	41	22	25

ANEXO V

Sistema Acondicionador.

Este sistema fue diseñado en el área de Instrumentación, Sección Mecánica del Centro de Ciencias de la Atmósfera de la UNAM. En colaboración con el M. en C. Miguel Angel Meneses Pérez, y la sustentadora de la tesis, se diseñó, fabricó y probó un equipo que por medio de calor y un flujo constante de gas inerte permite eliminar agentes atrapados en la fase absorbente del interior de cartuchos colectores de muestra, que son la herramienta principal para la captura de emisiones biogénicas.

El equipo cuenta con un cuerpo principal formado por tres placas de aluminio unidas por bisagras, en el interior de las placas se tiene cuatro resistencias tubulares de 100w, conectadas a un termostato. Las placas metálicas del cuerpo principal están recubiertas con un sistema de láminas de asbesto, este conjunto es desmontable para facilitar su limpieza y se encuentra sujeto a un soporte de asbesto que permanece vertical por medio de dos tubos metálicos que en su parte inferior presenta dos patas cada uno. En el mismo soporte se encuentra fijo e independiente el termostato y en su parte superior hay un conjunto de tubos y válvulas por los que se introduce a los cartuchos un flujo constante de gas inerte.

El acondicionador, es compacto, tiene capacidad para nueve cartuchos, en las pruebas realizadas se encontró que en 30 minutos alcanza la temperatura de 290°C, la cual es requerida para obtener un acondicionamiento idóneo.

Al equipo se le hacen pruebas de funcionamiento, obteniendo buenos resultados, y encontrando que la diferencia máxima de temperatura encontrada entre posiciones alternativas de los cartuchos es de 2.5°C. Al aplicar el gas a los cartuchos se presenta una

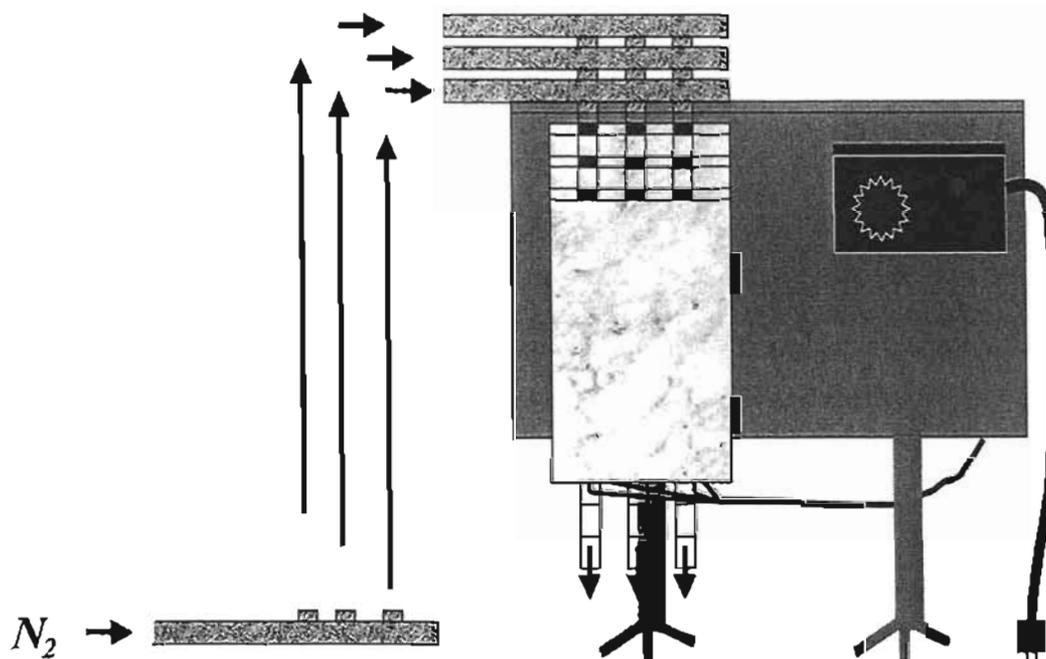
pequeña reducción en la temperatura que depende del flujo empleado, para nuestro caso es de 100 ml/min, lo que hace que la diferencia de temperatura que de en 2°C.

Se analizaron cartuchos de vidrio con fase absorbente de TENAX (TA) y Carbotrap X tratados en el propio por 1 hora a 290°C con flujo de 100ml/min de nitrógeno grado comatográfico, encontrándose totalmente limpios.

El equipo se ha utilizado en forma satisfactoria, y en fecha próxima una copia del sistema será empleada en la Universidad de Sonora.

El equipo descrito tiene un diseño sencillo, diferente a los existentes, se mantiene en posición estable y reduce la cantidad de calor que difunde al ambiente, con lo que se economiza energía y se garantiza la seguridad del operador. Su costo es menor al 10% del promedio de los existentes en el mercado, que en su totalidad son de importación.

Diagrama del sistema acondicionador



ÍNDICE DE ECUACIONES

	Página
Ecuación 1. Modelo Tingey et al. (1980).	15
Ecuación 2. Modelo Guenther et al. (1993).	16
Ecuación 3. Modelo Guenther et al. (1993), en función de la Radiación (PAR).	16
Ecuación 4. Modelo Guenther et al. (1993), en función de la Temperatura.	16
Ecuación 5. Volumen máximo total de aire que puede ser tomado para muestra (litros).	37
Ecuación 6. Volumen de fuga limitante correspondiente al compuesto de interés con menor capacidad de retención por el agente atrapante (l/g de Tenax y l/g de Carbotrap X).	38
Ecuación 7. Flujo máximo de muestreo para el aire (ml/min).	38
Ecuación 8. Velocidad de flujo lineal óptimo (B) (cm/min).	38
Ecuación 9. Factor de emisión ($\mu\text{g}/\text{g}\cdot\text{s}\cdot\text{h}$).	45

ÍNDICE DE FIGURAS

	Página
Figura 1. Síntesis de isopreno, monoterpenos y otros compuestos terpenoides (Sabillón 2001).	10
Figura 2. Corte transversal de una hoja mostrando la comunicación de los estomas con los espacios intercelulares (Sabillón 2001).	11
Figura 3. Diagrama de los modos Split & Splitless.	25
Figura 4. Cámara.	31
Figura 5. Ejemplo de la construcción de tubos absorbentes (Método TO-1, USEPA).	32
Figura 6. Sistema de muestreo.	37
Figura 7. Formas de operación de la válvula de tres vías para llevar a cabo una inyección vía TD en línea a un cromatógrafo de gases.	42
Figura 8. Cromatograma de un blanco del sistema.	50
Figura 9. Cromatograma de un blanco de muestra del Pinus Teocote Schiede ex Schltdl.	51
Figura 10. Cromatograma de una muestra del Pinus Teocote Schiede ex Schltdl.	52

ÍNDICE DE TABLAS

	Página
Tabla 1. Estimación de emisiones de hidrocarburos en el Valle de México (D.D.F.1995).	5
Tabla 2. Estimación de la emisión global de VOC's por fuente y clase de compuestos (Tg/año) (Sabillón 2001).	5
Tabla 3. Especies arbóreas elegidas para su estudio.	24
Tabla 4. Condiciones climáticas.	28
Tabla 5. Emisiones estimadas de hidrocarburos biogénicos en la Ciudad de México.	29
Tabla 6. Especies arbóreas identificadas existentes en el área de experimentación.	36
Tabla 7. Valores del flujo máximo de muestra (Q_{max}) y la velocidad del flujo lineal (B) en función del tiempo para un volumen máximo total (V_{max}) de 7.164.	39
Tabla 8. Condiciones experimentales para la inyección vía TD.	44
Tabla 9. Condiciones generales para el análisis GC de hidrocarburos mediante la inyección vía TD.	45
Tabla 10. Período de muestreo, valores promedio de temperatura ambiente, humedad relativa y PAR.	49
Tabla 11. Resultados obtenidos de una muestra de N=3 por especie.	53
Tabla 12. Clasificación por factor de emisión.	54
Tabla 13. Clasificación por tipo de emisión.	56