

OFICINA DE PARTES - FIA	
RECEPCIONADO	
Fecha	16 SET. 2008
Hora	16:28
Nº Ingreso	4613

## INFORME TECNICO FINAL

### I. ANTECEDENTES GENERALES

- Código FIA-PI-C-2002-1-A-001
- Nombre del proyecto Aromas de la flora chilena
- Regiones de ejecución Todas
- Agente ejecutor Universidad de Chile, Facultad de Ciencias
- Coordinador del proyecto Hermann Niemeyer Marich
- Costo total: Programado: \$ 158.797.239; Real: \$ 158.623.068
- Aporte del FIA \$ 110.067.444
- Periodo de ejecución Desde 01.10.2002 Hasta 31.12.2007
- Fecha de presentación 16.09.2008

### II. RESUMEN EJECUTIVO

El proyecto consistió en seleccionar especies de la flora nativa de Chile que producen aromas con potencial interés comercial. Se estudiaron dos tipos de aromas: de flores y de aceites esenciales. Para obtener los aromas de flores se colectaron flores y se adsorbieron sus compuestos orgánicos volátiles en una columna con resina; estos compuestos fueron eluidos en el laboratorio con un solvente orgánico. Para obtener los aceites esenciales se colectó material vegetativo que luego de secado y molido se sometió a hidrodestilación en el laboratorio. En ambos casos, los compuestos contenidos en las mezclas obtenidas fueron separados e identificados mediante cromatografía de

gases acoplada a espectrometría de masas. Se estudió la flora de las principales ecorregiones del país. De un total de 688 especies examinadas, 186 mostraron flores o aceites esenciales con interesantes propiedades organolépticas, y 146 de ellas fueron analizadas en detalle. Los resultados fueron incluidos en el libro "Aromas de la Flora Nativa de Chile". Se ensayó la reproducción de algunas de las especies más promisorias a partir de semillas colectadas en terreno. Se produjeron en cantidades mayores los aceites esenciales con aromas particularmente atractivos y con ellos se fabricaron jabones, champús y cremas. Estos productos fueron entregadas a los participantes del lanzamiento del libro, a empresarios del rubro y a los organizadores del Primer Congreso de Flora Nativa.

### **III. INFORME TÉCNICO**

#### **1. Objetivos del proyecto**

Motivados por el desfase en aumento entre importaciones y exportaciones de sustancias aromáticas y por el potencial de la flora nativa de Chile para producir aromas comercializables, el proyecto propuso "realizar un catastro de especies vegetales nativas productoras de aromas utilizables comercialmente". Sus objetivos específicos fueron: i) montar técnicas de producción de extractos de plantas, y de análisis químico y organoléptico de ellos, ii) realizar viajes de colecta de plantas; iii) producir extractos a partir de las especies colectadas; iv) analizar los extractos producidos, y v) divulgar los resultados obtenidos. Como resultado del proyecto se examinaron 688 especies, de las cuales se analizaron en detalle 146, más que duplicando la estimación inicial. Los resultados fueron divulgados mediante un libro que describe los resultados del proyecto,

una actividad social masiva con motivo del lanzamiento del libro, contactos con empresarios del rubro, participación en un congreso nacional especializado, y publicaciones en revistas de circulación internacional.

## 2. Metodología del proyecto

El proyecto siguió la siguiente secuencia de actividades: i) definición de los lugares de colecta después de haber considerado las principales ecorregiones del país, ii) examen de las especies encontradas en los sitios de estudio, iii) recolección de muestras, y iv) análisis químico de ellas en el laboratorio.

### *i) Lugares de colecta*

Se dividió el territorio nacional en ocho unidades de vegetación que fueron denominadas desierto con lluvias de invierno, matorral y bosque esclerofilos, bosque templado lluvioso, Patagonia, Andes del altiplano, Andes desérticos, Andes mediterráneos y Andes australes. Se diseñó un calendario de viajes de colecta que permitiera examinar especies en todas las ecorregiones, principalmente en los periodos de máxima floración en cada una de ellas (Tabla 1).

Tabla 1. Viajes de colecta a las distintas ecorregiones de Chile continental.

Ecorregión	Campañas de colecta					
	2002	2003	2004	2005	2006	2007
Desierto con lluvias de invierno	X		IX	X		
Matorral y bosque esclerofilos		IX,X,XII	IV,V,IX	X, XI	VII, XII	
Bosque templado lluvioso		XII	XII	XI	II	I
Patagonia				II	XII	
Andes del altiplano		V			IV-V	
Andes desérticos					I	III
Andes mediterráneos			I	I	I,II	
Andes australes				XI	XII	

## ii) Examen de las especies encontradas en los sitios de estudio

La tabla 2 muestra el número de especies examinadas en cada una de las ecorregiones y el número de aquellas que resultaron aromáticas.

Tabla 2. Distribución de las especies examinadas por ecorregiones. El número de especies aromáticas fue de 185, de las que finalmente se analizaron 146.

Ecorregión	Piso	N° aromáticas	N° total	% (aromáticas/total)
Desierto		31	122	25,4
Matorral y bosque esclerofilos		43	111	38,7
Bosque templado lluvioso		26	77	33,8
Patagonia		12	29	41,4
Altiplano	Prepuna	21	71	29,6
	Puna	9	53	17,0
	Altoandina	4	27	14,8
Andes desierto		9	46	19,6
Andes mediterráneos		22	127	17,3
Andes australes		9	25	36,0

## iii) Recolección de muestras

Se utilizaron dos metodologías, dependiendo si se trataba de los compuestos volátiles presentes en el "espacio de cabeza" del tejido vegetal (es decir, el volumen de aire que rodea a dicho tejido dentro del recipiente que lo contiene) o del aceite esencial contenido en el tejido vegetal.

La técnica de colecta de compuestos volátiles consistió en hacer pasar aire de alta pureza a través del tejido vegetal contenido en un recipiente adecuado o del material vegetal envuelto en una bolsa adecuada. El aire entra en el sistema y arrastra los compuestos orgánicos presentes en el espacio de cabeza, que son atrapados por una resina (habitualmente se usa Porapak) contenida en una columna de vidrio (figura 1). La columna es llevada al laboratorio, donde los compuestos orgánicos son extraídos con un

solvente. La solución resultante es inyectada en un cromatógrafo de gases con detector de masas para separar e identificar los componentes de la mezcla.

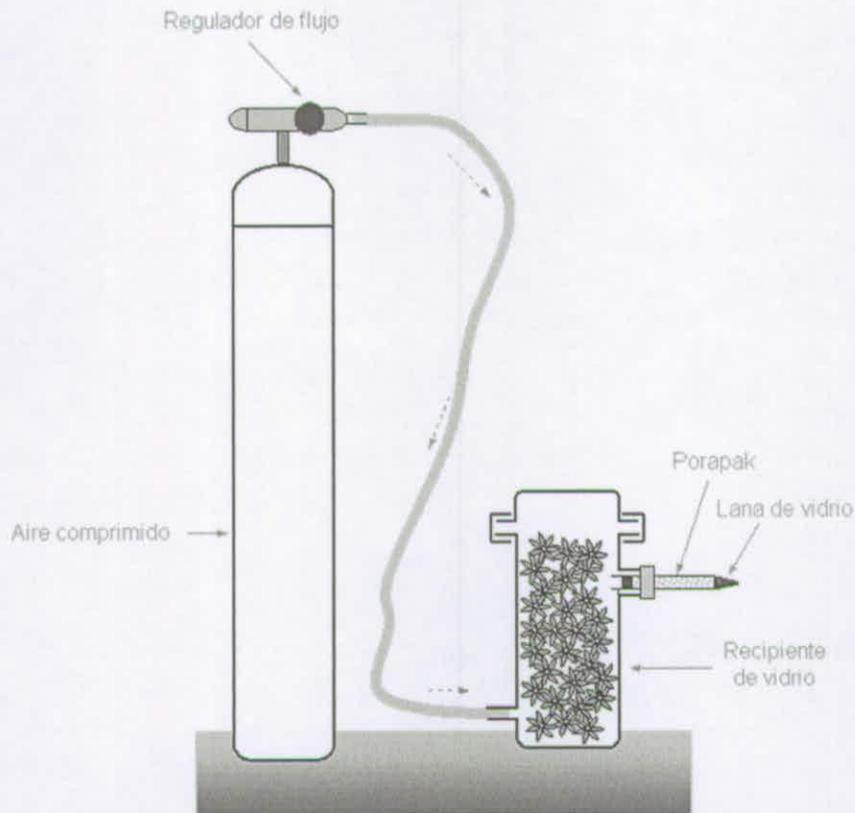


Figura 1. Esquema del aparato de colecta dinámica de volátiles de cabeza utilizado en este estudio.

Para obtener el aceite esencial de una planta se colectó el material vegetal—generalmente ramas con hojas— y se secó a temperatura ambiente y a la sombra. En el laboratorio, el material fue sometido a hidrodestilación, método que consiste en hacer pasar vapor de agua a través del material vegetal seco y finamente desmenuzado. El vapor de agua arrastra los compuestos orgánicos, que aparecen como una capa de menor densidad flotando sobre el agua que se ha condensado a la salida de un serpentín enfriado (figura 2).

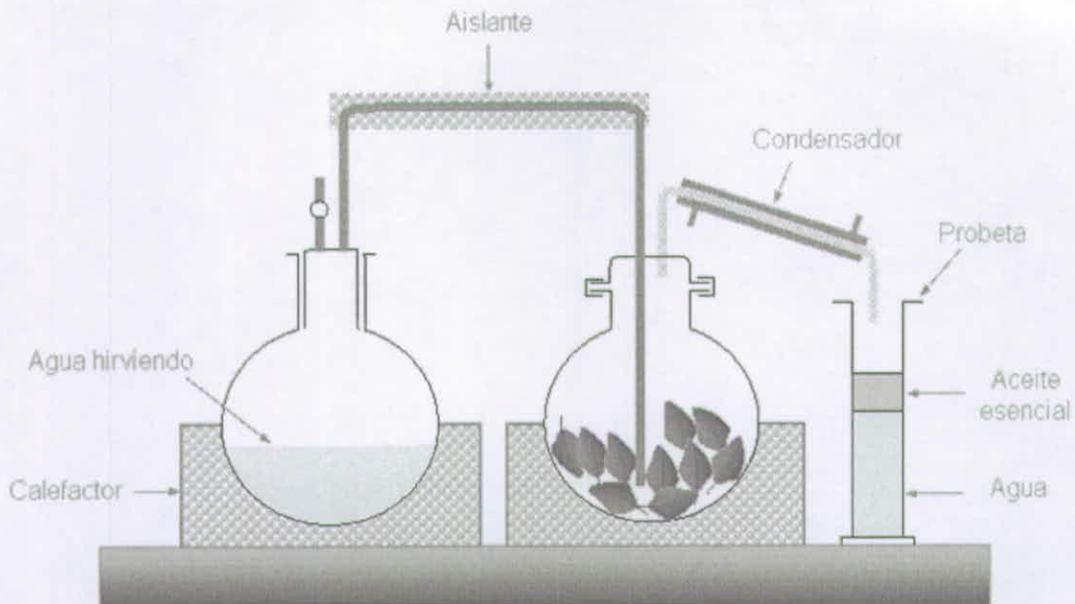


Figura 2. Esquema del aparato de hidrodestilación utilizado en este estudio.

#### ***iv) Análisis químico de las muestras en el laboratorio***

Las soluciones de los compuestos orgánicos colectados (extractos) fueron analizados en un cromatógrafo de gases acoplado a un detector de masas. El cromatógrafo de gases consiste esencialmente en un horno que posee un inyector, donde se inyecta y se volatiliza la muestra a alta temperatura; una columna, donde los compuestos de la mezcla son retenidos en distintos grados, de acuerdo con su volatilidad y su afinidad relativa con el gas de arrastre (fase móvil) y con el material que recubre internamente la columna (fase estacionaria); y un detector, sensible al material orgánico que sale de la columna (figura 3).

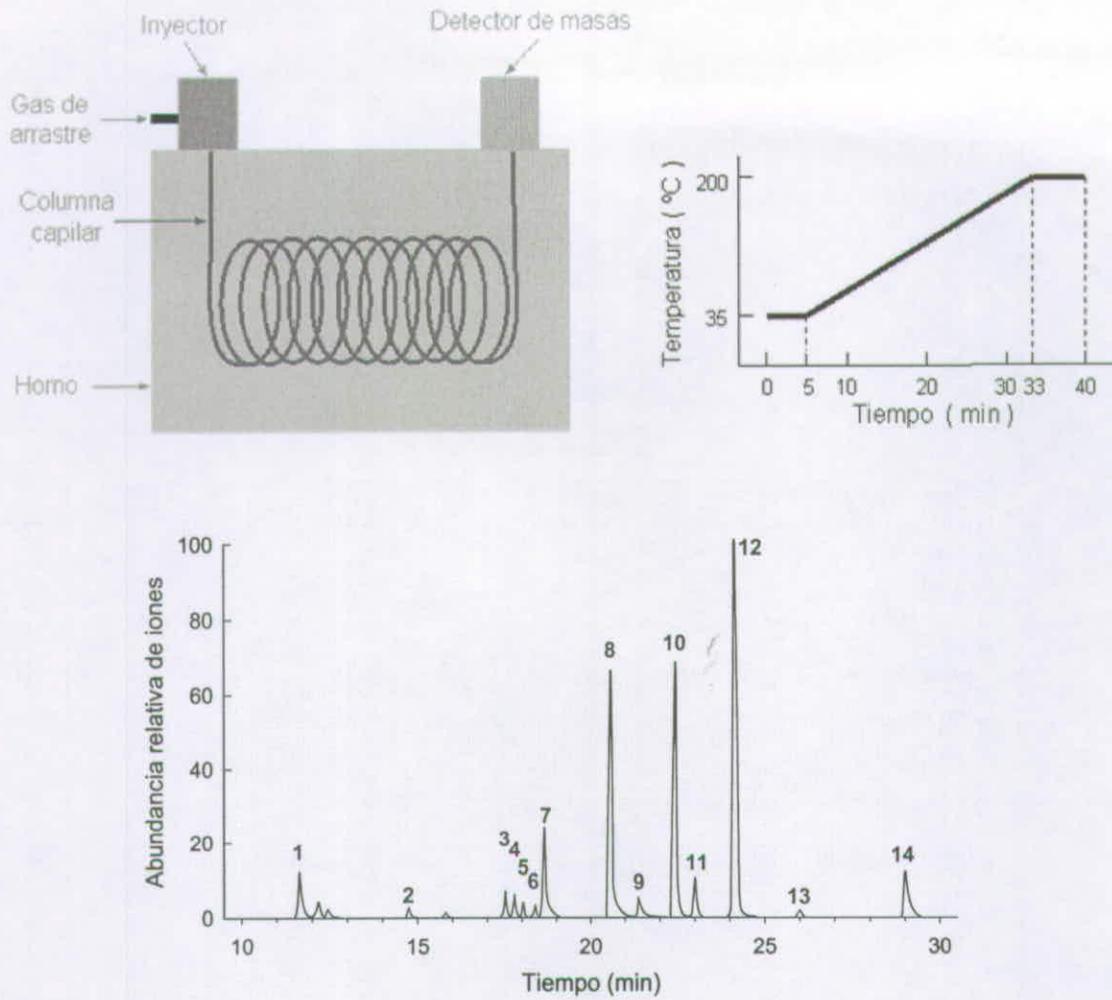


Figura 3. Esquema de un cromatógrafo de gases, del programa de temperatura de su horno y, como ejemplo, el cromatograma obtenido con los volátiles florales de *Azara lanceolata* (Salicaceae).



Las principales diferencias entre las actividades programadas y las realizadas fueron: i) el número de viajes de colecta realizado fue mayor al programado, con el objeto de tener la oportunidad de examinar un número mayor de especies; ii) el proyecto experimentó una prórroga de un año, con el objeto de incluir dos ecorregiones que habían sido muestreadas anteriormente en periodos en los que la floración demostró ser escasa, y iii) la reunión con los empresarios se postergó hasta el final del proyecto y se realizó a partir del lanzamiento del libro de divulgación producido, con el objeto de abordar al mayor número de potenciales interesados disponiendo de información concreta y productos basados en aromas que pudieran resultarles atractivos e inspiradores.

#### **4. Resultados del proyecto**

##### ***4.1 Descripción y análisis general de los resultados***

Se examinaron 688 especies. La figura 4 muestra la correlación altamente significativa entre el número de especies por familia en las especies examinadas y el número de especies por familia en la flora de Chile continental (sin cactáceas ni gramíneas), y la figura 5 muestra la correlación altamente significativa entre el número de especies por género en las especies examinadas y el número de especies por género en la flora de Chile continental (sin géneros pertenecientes a las cactáceas ni a las gramíneas). Estos gráficos sugieren que las especies examinadas son una muestra representativa de la flora de Chile continental en cuanto a familias y géneros .

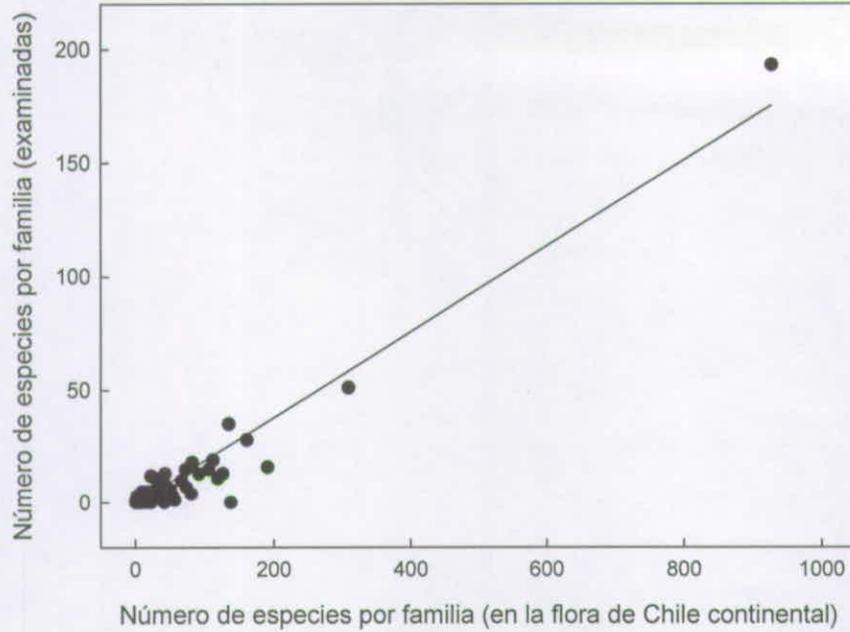


Figura 4. Correlación (prueba de Spearman;  $r = 0,745$ ;  $P < 0.001$ ) entre el número de especies por familia entre las especies examinadas y el número de especies por familia en la flora de Chile continental (sin cactáceas ni gramíneas).

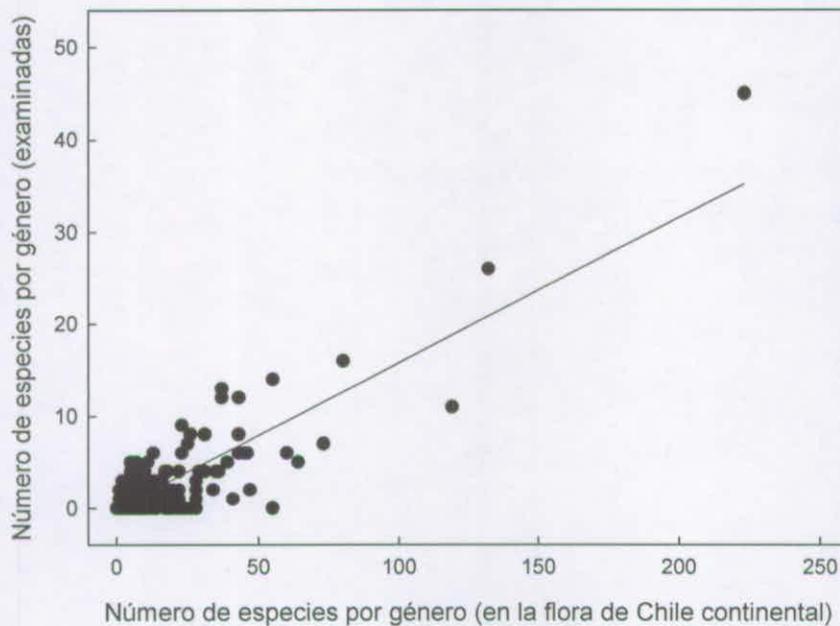


Figura 5. Correlación (prueba de Spearman;  $r = 0,502$ ;  $P < 0.001$ ) entre el número de especies por género entre las especies examinadas y el número de especies por género en la flora de Chile continental (sin géneros de cactáceas ni de gramíneas).

Para cada especie, se examinaron las flores y su follaje en busca de aromas particularmente agradables. Estas especies pertenecen a 97 familias y 275 géneros. En 18 familias, todas las especies examinadas fueron aromáticas, en tanto que en otras 47 familias ninguna de las especies examinadas mostró ser aromática. Por otra parte, del total examinado, sólo 101 géneros mostraron alguna especie aromática.

La figura 6 muestra que los aromas no están distribuidos al azar entre las familias examinadas; están preferentemente concentrados en algunas familias tales como Verbenaceae y Myrtaceae, mientras que no se encuentran presentes en otras tales como Portulacaceae y Onagraceae.

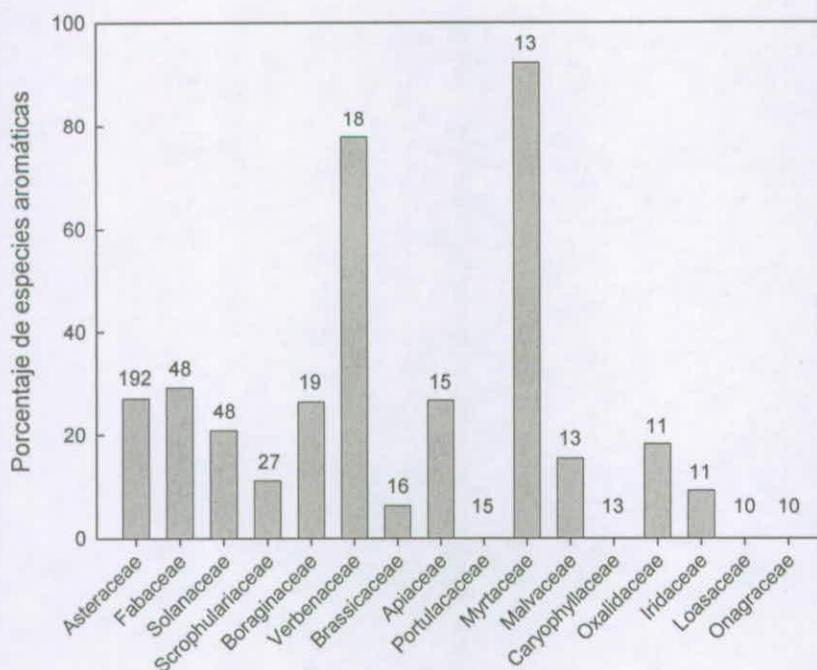


Figura 6. Distribución de especies aromáticas en aquellas familias con 10 o más especies examinadas. Los números sobre las barras indican el número de especies examinadas en la respectiva familia.

Por otra parte, la figura 7 muestra que los aromas tampoco están distribuidos al azar entre los géneros examinados; están preferentemente concentrados en algunos

géneros tales como *Junellia* (Verbenaceae), *Baccharis* (Asteraceae), *Heliotropium* (Boraginaceae) y *Viola* (Violaceae). Cabe hacer notar que la pertenencia a una familia o un género no es condición suficiente para que la especie sea aromática: por ejemplo, hay especies de las familias Myrtaceae o Verbenaceae o de los géneros *Junellia* o *Heliotropium* que no son aromáticas, aunque la mayor parte de las especies de dichas familias o dichos géneros muestran serlo.

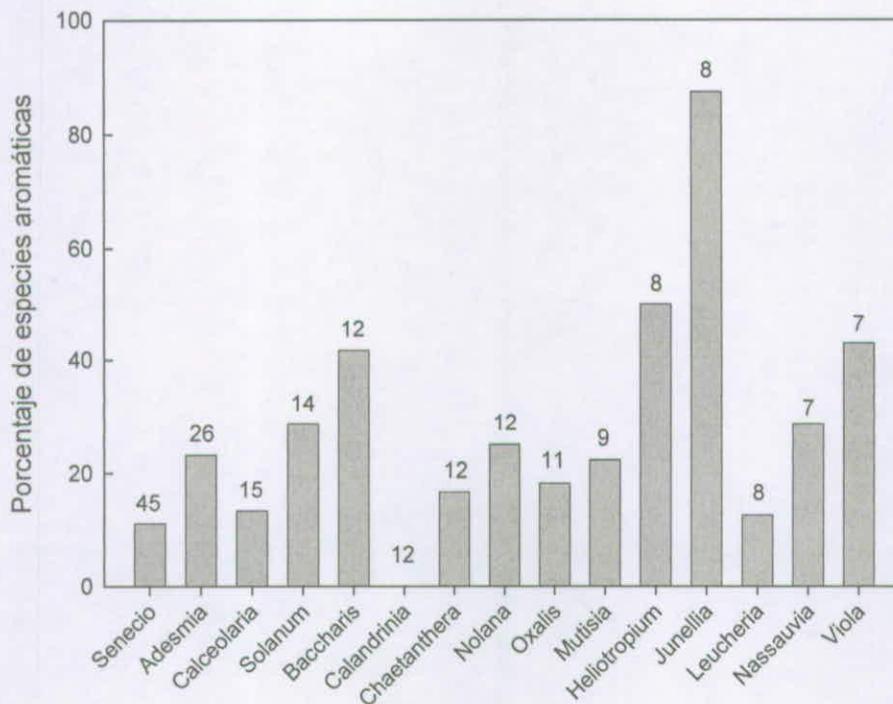


Figura 7. Distribución de especies aromáticas en aquellos géneros con 7 o más especies examinadas. El número de especies examinadas se indica sobre las barras que indican el porcentaje de especies aromáticas encontradas en cada género.

Se analizaron los aceites esenciales de 29 especies en 12 familias distintas, los volátiles florales de 112 especies en 35 familias distintas y los volátiles ramas de 9 especies en 4 familias distintas. Las especies que produjeron los mejores rendimientos en aceites esenciales se muestran en la tabla 4. Considerando factores tales como la calidad

y el rendimiento del aceite esencial, la abundancia natural de las especies que los producen, la facilidad para su cultivo y la velocidad de su crecimiento, algunas de las especies productoras de aceites esenciales que ameritan ser estudiadas con mayor profundidad son: *Acantholippia punensis* (rica-rica), *Cryptocarya alba* (peumo), *Laurelia sempervirens* (laurel), *Peumus boldus* (boldo), *Schinus latifolia* (molle), *Senecio adenotrichius* (hierba sonsa) y *Senecio nutans* (chachacoma). Por otra parte, considerando factores como la abundancia natural, la facilidad para su cultivo, la velocidad de su crecimiento, la cantidad de flores que producen y la calidad del aroma que producen sus flores, algunas de las especies productoras de aromas florales que ameritan ser estudiadas con mayor profundidad son: *Acacia caven* (espino), *Caesalpinia angulicaulis* (sanalotodo), *Aristeguietia salvia* (salvia macho), *Escallonia myrtoidea* (lun), *Heliotropium stenophyllum* (heliotropo) y *Junellia tridens* (mata negra).

Tabla 4. Rendimiento en aceites esenciales de algunas de las especies estudiadas.

Espece	Familia	Rendimiento (% peso seco)
<i>Acantholippia punensis</i>	Verbenaceae	2.02
<i>Acantholippia tarapacana</i>	Verbenaceae	1.12
<i>Adesmia atacamensis</i>	Fabaceae	0.38
<i>Baccharis linearis</i>	Asteraceae	0.51
<i>Beilschmiedia miersii</i>	Lauraceae	0.27
<i>Cryptocarya alba</i>	Lauraceae	0.41
<i>Gnaphalium philippi</i>	Asteraceae	0.09
<i>Laurelia sempervirens</i>	Atherospermataceae	2.52
<i>Luma apiculata</i>	Myrtaceae	0.25
<i>Luma chequen</i>	Myrtaceae	0.30
<i>Peumus boldus</i>	Monimiaceae	2.19
<i>Schinus latifolia</i>	Anacardiaceae	0.58
<i>Schinus polygama</i>	Anacardiaceae	0.11
<i>Senecio adenotrichius</i>	Asteraceae	0.25
<i>Senecio nutans</i>	Asteraceae	0.60
<i>Senecio zoellneri</i>	Asteraceae	0.30

Por otra parte, se detectaron 369 compuestos distintos, los que fueron asignados a siete grupos sobre la base de la inspección de sus estructuras y del conocimiento de las rutas generales de biosíntesis de metabolitos secundarios en plantas (tabla 5).

Tabla 5. Grupos de compuestos encontrados en las especies aromáticas. Los porcentajes se calcularon sobre la base del total de compuestos identificados (369 compuestos).

Grupo de compuestos	N° (%)	Subgrupo de compuestos	Designación	N°
Terpenos	199 (53,9)	Monoterpenos	MO	115
		Sesquiterpenos	ST	72
		Terpenos irregulares	TIRR	12
Derivados de ácidos grasos	73 (19,8)	Ácidos	AG-AC	8
		Alcoholes	AG-ALC	11
		Aldehídos	AG-ALD	10
		Cetonas	AG-CET	9
		Ésteres	AG-EST	21
		Hidrocarburos	AG-HC	14
Compuestos bencenoides	60 (16,3)	C6-C0	B-C6C0	3
		C6-C1	B-C6C1	25
		C6-C2	B-C6C2	11
		C6-C3	B-C6C3	19
		C6-C4	B-C6C4	2
Con cadenas ramificadas C5	26 (7,0)		C5	26
Compuestos con nitrógeno	4 (1,1)		N	4
Compuestos con azufre	1 (0,003)		S	1
Compuestos misceláneos	6 (0,02)		MIS	6

Los grupos más ricos en compuestos son los terpenos, seguidos por los derivados de ácidos grasos y los compuestos bencenoides (tabla 5). Por otra parte, los compuestos identificados en las muestras ocurren con frecuencias muy diversas. Cerca de la mitad de los compuestos identificados aparece tan sólo una vez, cerca de un 20% lo hace dos veces y un 10% lo hace tres veces (figura 8). Los compuestos que aparecen más frecuentemente son monoterpenos, tales como el  $\alpha$ -pineno, que aparece en dos tercios de las especies; el limoneno, que aparece en 60% de las especies; y el  $\beta$ -mirceno y el (*E*)-ocimeno, que aparecen en casi la mitad de las especies (figura 8).

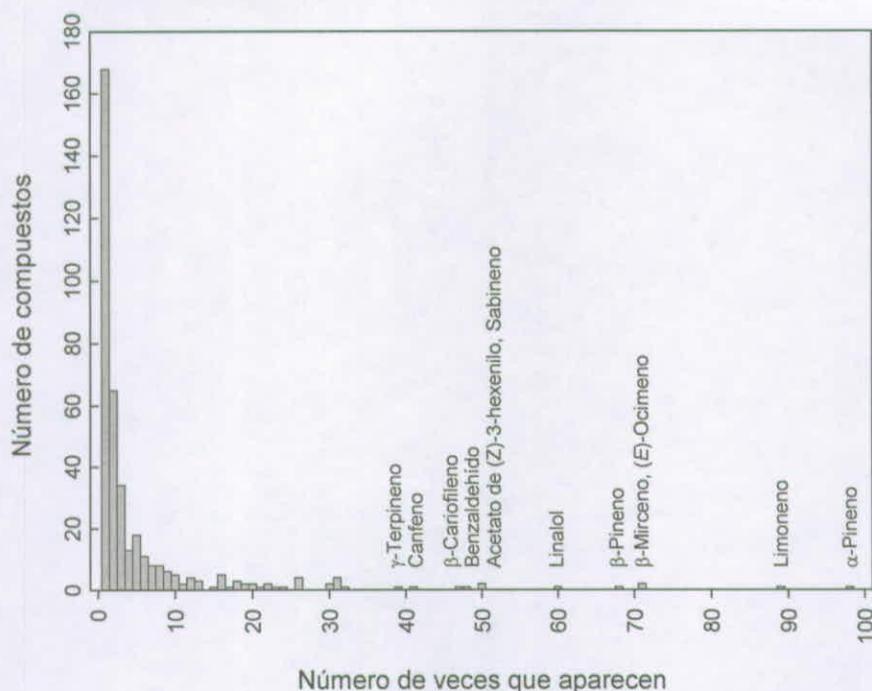


Figura 8. Ocurrencia de los compuestos identificados entre las 146 especies analizadas. Se han rotulado sólo los 12 compuestos que ocurren con mayor frecuencia.

Se han descrito en la literatura más de 1700 compuestos presentes en los volátiles florales de cerca de 1000 especies de plantas estudiadas (Knudsen y col. 2006). En las 112 especies cuyos volátiles florales fueron analizados en el presente trabajo se encontraron 284 compuestos distintos, de los cuales 31 no habían sido previamente encontrados en volátiles florales (tabla 6). Entre éstos, 24 se encontraron en tan sólo una de las especies analizadas, demostrando que son compuestos de ocurrencia poco frecuente.

Tabla 6. Compuestos no encontrados previamente en mezclas de volátiles florales. La nomenclatura del tipo de compuesto es la siguiente: A-ALC = alcoholes derivados de ácidos grasos (compuestos alifáticos); MO= monoterpeno; ST= sesquiterpeno; TIRR= terpenoide irregular; A-ALD= aldehído derivado de ácido graso; A-EST= éster derivado de ácidos grasos (compuestos alifáticos); A-HC= hidrocarburo derivado de ácidos grasos; B-C6Cn= compuesto bencenoide con el anillo bencénico unido a una cadena de n átomos de carbono; N= compuesto nitrogenado; MIS= compuesto misceláneo.

Compuesto	Tipo	Especies donde ocurren
Acetato de $\alpha$ -ciclogeranilo	MO	<i>Nassauvia magellanica</i>
Acetato de sabinilo	MO	<i>Leptinella scariosa</i>
Ciclofencheno	MO	<i>Lupinus oreophilus</i>
$\zeta$ -Fencheno	MO	<i>Trichocline caulescens</i>
Formato de linalilo	MO	<i>Mimulus depressus</i>
Isoterpinoleno	MO	<i>Junellia uniflora</i>
Isovalerato de geranilo	MO	<i>Trichocline caulescens</i>
<i>p</i> -Menta-2,5-dien-7-ol	MO	<i>Junellia arequipensis</i>
Mentano	MO	<i>Chloraea magellanica</i>
Neoisomentol	MO	<i>Cynanchum nummulariifolium</i> , <i>Diostea juncea</i>
cis- $\beta$ -Terpineol	MO	<i>Adesmia emarginata</i> , <i>Luma gayana</i>
1-Terpineol	MO	<i>Trichocline caulescens</i>
$\beta$ -Tujona	MO	<i>Junellia arequipensis</i>
$\gamma$ -Cariofileno	ST	<i>Mutisia linearifolia</i>
Cicloisosativeno	ST	<i>Leucheria glacialis</i> , <i>Lophopappus tarapacanus</i>
$\beta$ -Dihidroagarofurano	ST	<i>Adesmia emarginata</i>
$\gamma$ -Himachaleno	ST	<i>Mulinum spinosum</i>
$\gamma$ -Selineno	ST	<i>Errazurizia multifoliolata</i> , <i>Helogyne apaloidea</i>
Santolina trieno	TIRR	<i>Helogyne apaloidea</i> , <i>Flourensia thurifera</i>
( <i>E</i> )-2-Heptenal	AG-ALD	<i>Caesalpinia angulicaulis</i>
4-Metilhexanal	AG-ALD	<i>Olsynium biflorum</i>
Acetato de ( <i>Z</i> )-2-pentenilo	AG-EST	<i>Cryptantha involucreta</i>
Butirato de 4-pentenilo	AG-EST	<i>Helenium aromaticum</i>
Isovalerato de amilo	AG-EST	<i>Eremocharis fruticosa</i> , <i>Dalea pennellii</i>
<i>trans</i> -4-Deceno	AG-HC	<i>Viola maculata</i>
2,4-Hexadieno	AG-HC	<i>Junellia arequipensis</i>
<i>p</i> -Vinilguaiacol	B-C6C2	<i>Acacia caven</i>
<i>cis</i> -Isosafrol	B-C6C3	<i>Mimulus depressus</i>
Safrol	B-C6C3	<i>Neuontobotrys elloaensis</i>
2-Aminotropona	N	<i>Chloraea magellanica</i> , <i>Scutellaria nummulariifolia</i> , <i>Viola maculata</i>
2,3-Dimetiltetrahidrofurano	MIS	<i>Tagetes multiflora</i>

La tabla 7 muestra la presencia de los distintos grupos de compuestos entre familias, géneros y especies analizadas. Los grupos más ubícuos son los terpenos, seguidos por los compuestos bencenoides y los derivados de ácidos grasos.

Tabla 7. Ocurrencia de grupos de compuestos en familias, géneros y especies botánicas.

Grupo de compuestos	Presencia en familias (total = 41)	Presencia en géneros (total = 99)	Presencia en especies (total = 146)
Terpenos	36	92	136
Derivados de ácidos grasos	31	68	84
Compuestos bencenoides	37	73	98
Con cadenas ramificadas C5	15	24	27
Compuestos con nitrógeno	12	15	14
Compuestos con azufre	1	1	1
Compuestos misceláneos	6	7	7

La figura 9 compara el número de compuestos de volátiles florales encontrados en cada uno de los grupos con los valores equivalentes de todas las especies analizadas hasta el año 2005. La correlación positiva y significativa (prueba de Spearman;  $R = 0,850$ ;  $P < 0,001$ ) muestra que la distribución por grupos de compuestos en la flora de Chile no difiere significativamente de aquella que considera especies de todo el mundo.

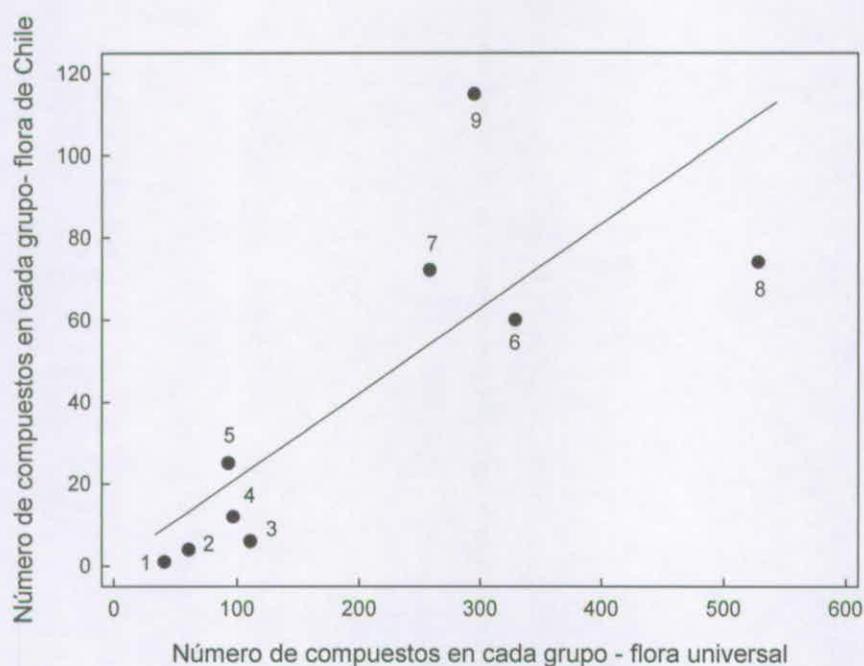


Figura 9. Comparación de la distribución de compuestos de volátiles florales en familias, entre la flora universal y la de Chile. Las familias de compuestos son: 1= compuestos azufrados, 2= compuestos nitrogenados, 3= compuestos misceláneos, 4= terpenos irregulares, 5= compuestos con cadenas ramificadas de 5 átomos de carbono, 6= compuestos bencenoides, 7= sesquiterpenos, 8= compuestos derivados de ácidos grasos y 9= monoterpenos.

#### 4.2 Comparación de los resultados programados con los obtenidos

La tabla 8 compara los resultados esperados y alcanzados. En general, el proyecto generó una cantidad de resultados mayor a lo esperado tanto en número de especies analizadas como en productividad científica.

Tabla 8. Comparación entre resultados esperados y alcanzados.

Resultado	Indicador	Esperado	Alcanzado
Métodos implementados	Número de métodos	2	3*
Material vegetal analizado	Número de especies	72	146
Resultados divulgados	Número de reuniones	4	1
	Número de comunicaciones	3	3
	Número de publicaciones	5	7
	Número de libros	1	1

\* Se implementó el método de microextracción en fase sólida, no contemplado en el proyecto inicial que fue utilizado en el análisis de compuestos volátiles provenientes de muestras extremadamente escasas.

El número mayor de especies analizadas se atribuye al mayor número de expediciones de colecta realizadas (tablas 1 y 3), y la mayor productividad científica por una parte a la oportunidad de hacer observaciones relevantes en terreno que permitieron abordar problemas interesantes, y por otra a la calidad de los análisis que permite que ellos puedan ser publicados en revistas científicas de circulación internacional.

#### 5. Fichas técnicas y análisis económico

Este proyecto ha consistido en hacer un catastro de aromas presentes en la flora nativa de Chile. Se espera que la información generada y la campaña permanente por su divulgación produzcan interesantes posibilidades de negocios. Las características tan especiales de este proyecto imposibilitan hacer un análisis económico tradicional.

## 6. Impacto y logros del proyecto

El resultado de mayor impacto del proyecto fue el libro que se escribió describiendo sus logros. El libro consta de cuatro secciones: i) descripción del proyecto, metodologías empleadas, resultados obtenidos, discusión de éstos en un contexto general y breve lista de referencias particularmente relevantes, ii) descripción de las ecorregiones prospectadas, iii) descripción de las especies analizadas, que entrega para cada una de ellas el nombre científico actual y eventuales sinónimos, los autores del nombre, la ubicación donde aparece dicha asignación, el nombre común, el lugar y fecha de colecta de los especímenes analizados, el origen del nombre científico, una breve reseña de sus autores, la descripción de la especie y su distribución, fotos de la especie y, finalmente, la composición química del material analizado con el nombre de cada compuesto encontrado, su índice de retención en cromatografía de gases y su abundancia porcentual, y iv) anexos, consistentes en una lista de las especies examinadas indicando si presentaban o no aromas y si fueron o no analizadas, y una lista de todos los compuestos encontrados con su nombre, estructura química y clasificación biogenética.

En general, la difusión de los resultados del proyecto se ha realizado mediante los siguientes tres instrumentos:

### Libro:

- Niemeyer, H.M. & Teillier, S. (2007) **Aromas de la Flora Nativa de Chile**. Productora Gráfica Andros Ltda., Santiago, Chile. 448 pp.

### Artículos científicos:

El proyecto produjo una vasta cantidad de datos originales que están siendo publicados en revistas científicas de circulación internacional. Es una tarea que probablemente tome algunos meses. A continuación se detallan los trabajos que hasta ahora han sido escritos:

- Valdivia, C.E. & Niemeyer, H.M. (2005) Reduced maternal fecundity of the high-Andean perennial herb *Alstroemeria umbellata* (Alstroemeriaceae) by aphid herbivory. **New Zealand Journal of Ecology** 29: 321-324.
- Valdivia, C.E. & Niemeyer, H.M. (2006) Do floral syndromes predict specialisation in plant pollination systems? Assessment of diurnal and nocturnal pollination on *Escallonia myrtoidea*. **New Zealand Journal of Botany** 44: 135-141.
- Valdivia, C.E. & Niemeyer, H.M. (2006) Do pollinators correlatedly select inflorescence size and amount of floral scents? An experimental assessment on *Escallonia myrtoidea*. **Austral Ecology** 31: 897-903.
- Valdivia, C.E. & Niemeyer, H.M. (2007) Non-correlated evolution between herbivore- and pollinator-linked features on pollinator-limited *Aristolochia chilensis* (Aristolochiaceae). **Biological Journal of the Linnean Society** 91: 239-245.
- Teillier, S., Urzúa, A. & Niemeyer, H.M. (2008) Chemical and morphological study of a putative hybrid between *Luzuriaga radicans* and *L. polyphylla* (Monocotyledoneae: Luzuriagaceae). **New Zealand Journal of Botany** 46: 321-326.
- Niemeyer, H.M. (2008) Composition of essential oils of five aromatic species of Asteraceae. **Journal of Essential Oil Research**, en prensa.
- Niemeyer, H.M. (2008) Composition of essential oils from *Satureja darwinii* (Benth.) Briq. and *S. multiflora* (R. et P.) Briq. (Lamiaceae). Relationship between

chemotype and oil yield in *Satureja* spp. **Journal of Essential Oil Research**, enviado.

### **Participación en congresos:**

Algunos resultados en temas de investigación que surgieron de actividades del proyecto fueron presentados en congresos:

- Valdivia, C.E. & Niemeyer, H.M. (2004) Correlación entre la cantidad de aroma y el tamaño de las inflorescencias de *Escallonia myrtoidea*: ¿Selección mediada por polinizadores o integración genética o de desarrollo?. **II Reunión Binacional de Ecología**, Mendoza, Argentina, 31 de octubre al 5 de noviembre.
- Valdivia, C.E. & Niemeyer, H.M. (2006) Evolución no correlacionada para rasgos ligados a herbívoros y polinizadores en *Aristolochia chilensis*. **XV Reunión Anual de la Sociedad de Ecología de Chile**, La Serena, Chile, 27 al 30 de julio.

Recientemente, se realizó un interesante congreso que reunió a todos numerosos actores en el área de investigación y desarrollo de aplicaciones en relación con especies de la flora nativa. El trabajo presentado, por invitación del comité organizador, resumió los resultados del proyecto FIA.

- Niemeyer, H.M. (2008) Aromas de la flora nativa. **Primer Congreso Nacional de Flora Nativa**, Santiago, Chile, 21 al 23 de agosto.

Este proyecto debe ser considerado como una primera aproximación al desarrollo de las especies nativas de Chile como fuente de aromas para la industria cosmética y otras. En efecto, el estudio presenta numerosas limitaciones cuya solución implica repetir

los análisis tomando en cuenta algunas de las variables de los cuales ellos dependen y que se discuten a continuación.

Los volátiles que emite una flor muestran una gran dependencia con su pertenencia a un determinado ecotipo (o quimiotipo), variaciones a nivel del individuo y variaciones durante su ontogenia. Superpuesto con estas variaciones de origen genético, la emisión del aroma también depende de la hora del día, la temperatura ambiente, la temperatura local alrededor de la flor, la humedad relativa, la exposición al sol y su estado en cuanto a, por ejemplo, si ha sido o no polinizada. Tan sólo colectando un gran número de flores desde distintos individuos que se encuentren en circunstancias diversas se puede lograr como resultado una composición representativa de los compuestos volátiles florales de una especie.

Por otra parte, dada la función que cumplen los aromas florales, es frecuente que la emisión de aroma esté acoplada a la probabilidad de que éstos consigan el fin de atraer polinizadores. Así, en especies polinizadas por insectos diurnos, la emisión de volátiles es mayor cuando la luminosidad y la temperatura ambiente permiten que los insectos estén activos. En especies polinizadas por mariposas nocturnas, que se orientan principalmente por el olor de las flores, éstas frecuentemente sólo se abren durante el crepúsculo o la noche, y la emisión de volátiles comienza sólo en ese momento. Más aun, los aromas pueden variar durante el día, probablemente en relación con la disponibilidad de polinizadores a distintas horas del día.

Existen también problemas asociados con la decisión de qué especies estudiar. La nariz humana es un instrumento altamente idiosincrásico, y los olores son percibidos de maneras distintas dependiendo de la persona y su estado de ánimo, y también de la concentración de los aromas y del modo de exposición a ellos. Esto representa una

limitación en cuanto a saber si una planta huele o no, y también al momento de definir el tipo de olor emitido. Idealmente, los viajes de colecta deberían contar con varios integrantes, en lo posible entrenados en la detección y clasificación de aromas.

Finalmente, las flores o las ramas cortadas pueden haber sintetizado compuestos químicos inducidos por las heridas provocadas, y los resultados del análisis pueden no reflejar los compuestos presentes en la planta intacta.

Existen otras limitaciones de carácter metodológico. Aunque las salidas a terreno son efectuadas durante el periodo en el cual una mayor proporción de las especies presentes está en flor, muchas otras especies que florecen más temprano o más tarde no estarán disponibles para ser estudiadas. En consecuencia, durante un determinado viaje sólo se puede muestrear una parte de las especies en la zona de estudio.

El resultado del análisis químico de las mezclas obtenidas depende también de factores tales como la naturaleza de la resina utilizada para adsorber los compuestos orgánicos, el solvente empleado para extraer los compuestos adsorbidos en dichas resinas, la naturaleza de la columna empleada en el cromatógrafo de gases y el programa de temperatura utilizado en el horno cromatográfico.

La técnica de hidrodestilación utilizada para obtener aceites esenciales puede favorecer el arrastre de compuestos con determinadas estructuras por sobre otros. Además, dada la temperatura del proceso, algunos compuestos pueden experimentar cambios químicos. Por otra parte, las temperaturas utilizadas en el cromatógrafo de gases sobrepasan con frecuencia los 200 °C, lo que significa que algunos compuestos presentes naturalmente en las muestras pueden sufrir transformaciones. Esto implica que en el cromatograma resultante pueden no aparecer compuestos que efectivamente

estaban en el aroma y que fueron colectados, y aparecer compuestos que son producto de transformaciones de ellos en la columna.

Adicionalmente, las fases activas de las columnas cromatográficas también muestran especificidad hacia las mezclas que están siendo analizadas (según la polaridad de la fase activa, la columna mostrará distintos grados de resolución hacia los componentes de la mezcla), y el largo de la columna incide importantemente en la calidad de las separaciones logradas. Por último, el programa de temperatura utilizado en el horno del cromatógrafo de gases influye sobre la separación de componentes de la mezcla inyectada. No menos importante es la sensibilidad del detector de masas, dado que la calidad de un aroma está frecuentemente determinada por sus componentes minoritarios.

En resumen, el tipo de estudios descrito debe ser considerado como una base para elegir aquellas especies que deberán ser estudiadas en mayor profundidad.

## **V. ANEXOS**

A continuación se muestran las fichas personales para todos los participantes del proyecto (representante legal, coordinador, coordinador alterno y equipo técnico).

## FICHA REPRESENTANTE LEGAL

Tipo de actor en el Proyecto (A)	Representante legal		
Nombres	Raúl Gerardo Eusebio		
Apellido Paterno	Morales		
Apellido Materno	Segura		
RUT Personal			
Nombre de la Organización o Institución donde trabaja	Universidad de Chile		
RUT de la Organización	60.910.000-1		
Tipo de Organización	Pública	<input checked="" type="checkbox"/> Privada	
Cargo o actividad que desarrolla en ella	Decano, Facultad de Ciencias		
Dirección (laboral)	Las Palmeras 3425		
País	Chile		
Región	Metropolitana		
Ciudad o Comuna	Ñuñoa		
Fono	978 7201		
Fax	2392755		
Celular			
Email	facideca@uchile.cl		
Web			
Género	Masculino	<input checked="" type="checkbox"/> Femenino	
Etnia (B)	s/c		
Tipo (C)			

## FICHA COORDINADORES Y EQUIPO TECNICO

Tipo de actor en el Proyecto (A)	Coordinador principal		
Nombres	August Hermann		
<b>Apellido Paterno</b>	Niemeyer		
<b>Apellido Materno</b>	Marich		
<b>RUT Personal</b>			
<b>Nombre de la Organización o Institución donde trabaja</b>	Universidad de Chile		
<b>RUT de la Organización</b>	60.910.000-1		
<b>Tipo de Organización</b>	Pública	<input checked="" type="checkbox"/>	Privada
<b>Cargo o actividad que desarrolla en ella</b>	Profesor titular		
<b>Dirección (laboral)</b>	Las Palmeras 3425		
<b>País</b>	Chile		
<b>Región</b>	Metropolitana		
<b>Ciudad o Comuna</b>	Santiago		
<b>Fono</b>	978-7409		
<b>Fax</b>	978-7445		
<b>Celular</b>			
<b>Email</b>	niemeyer@abulafia.ciencias.uchile.cl		
<b>Web</b>	<a href="http://abulafia.ciencias.uchile.cl">http://abulafia.ciencias.uchile.cl</a>		
<b>Género</b>	Masculino	<input checked="" type="checkbox"/>	Femenino
<b>Etnia (B)</b>	s/c		
<b>Tipo (C)</b>	Profesional		

## FICHA COORDINADORES Y EQUIPO TECNICO

Tipo de actor en el Proyecto (A)	Coordinador alterno		
Nombres	Bruce Kennedy		
<b>Apellido Paterno</b>	Cassels		
<b>Apellido Materno</b>	Niven		
<b>RUT Personal</b>			
<b>Nombre de la Organización o Institución donde trabaja</b>	Universidad de Chile		
<b>RUT de la Organización</b>	60.910.000-1		
<b>Tipo de Organización</b>	Pública	<input checked="" type="checkbox"/>	Privada
<b>Cargo o actividad que desarrolla en ella</b>	Profesor titular		
<b>Dirección (laboral)</b>	Las Palmeras 3425		
<b>País</b>	Chile		
<b>Región</b>	Metropolitana		
<b>Ciudad o Comuna</b>	Ñuñoa		
<b>Fono</b>	978-7253		
<b>Fax</b>	271-3888		
<b>Celular</b>			
<b>Email</b>	bcassels@uchile.cl		
<b>Web</b>			
<b>Género</b>	Masculino	<input checked="" type="checkbox"/>	Femenino
<b>Etnia (B)</b>	s/c		
<b>Tipo (C)</b>	profesional		

## FICHA COORDINADORES Y EQUIPO TECNICO

Tipo de actor en el Proyecto (A)	Equipo técnico		
Nombres	Sebastián		
Apellido Paterno	Teillier		
Apellido Materno	Arredondo		
RUT Personal			
Nombre de la Organización o Institución donde trabaja	Universidad Central de Chile		
RUT de la Organización	60.910.000-1		
Tipo de Organización	Pública	<input checked="" type="checkbox"/>	Privada
Cargo o actividad que desarrolla en ella	Análisis de muestras botánicas		
Profesión	Profesor encargado		
Especialidad			
Dirección (laboral)	Santa Isabel 1186		
País	Chile		
Región	Metropolitana		
Ciudad o Comuna	Providencia		
Fono	4909653		
Fax	4504920		
Celular			
Email	steillier@chlorischile.cl		
Web			
Género	Masculino	<input checked="" type="checkbox"/>	Femenino
Etnia (B)	s/c		
Tipo (C)	profesional		

## FICHA COORDINADORES Y EQUIPO TECNICO

Tipo de actor en el Proyecto (A)	Equipo técnico		
Nombres	María Cecilia		
Apellido Paterno	Fernández		
Apellido Materno	Niemeyer		
RUT Personal			
Nombre de la Organización o Institución donde trabaja	Universidad de Chile		
RUT de la Organización	60.910.000-1		
Tipo de Organización	Pública	<input checked="" type="checkbox"/> Privada	
Cargo o actividad que desarrolla en ella	Colecta de plantas, ayudante de terreno, dibujante, diseñadora		
Profesión			
Especialidad	Técnico		
Dirección (laboral)	Las Palmeras 3425		
País	Chile		
Región	Metropolitana		
Ciudad o Comuna	Ñuñoa		
Fono	9787266		
Fax	9787445		
Celular			
Email	cecilia@abulafia.ciencias.uchile.cl		
Web			
Género	Masculino	<input type="checkbox"/> Femenino	<input checked="" type="checkbox"/>
Etnia (B)	s/c		
Tipo (C)	técnico		

## FICHA COORDINADORES Y EQUIPO TECNICO

Tipo de actor en el Proyecto (A)	Equipo técnico		
Nombres	María		
Apellido Paterno	Petroutsa		
Apellido Materno			
RUT Personal			
Nombre de la Organización o Institución donde trabaja	Universidad de Chile		
RUT de la Organización	60.910.000-1		
Tipo de Organización	Pública	<input checked="" type="checkbox"/> Privada	
Cargo o actividad que desarrolla en ella	Analista químico		
Profesión	Químico		
Especialidad			
Dirección (laboral)	Las Palmeras 3425		
País	Chile		
Región	Metropolitana		
Ciudad o Comuna	Ñuñoa		
Fono	9787266		
Fax	9787445		
Celular			
Email			
Web			
Género	Masculino	<input type="checkbox"/> Femenino	<input checked="" type="checkbox"/>
Etnia (B)	s/c		
Tipo (C)	Profesional		

## FICHA COORDINADORES Y EQUIPO TECNICO

Tipo de actor en el Proyecto (A)	Equipo Técnico		
Nombres	Claudia Lorena		
Apellido Paterno	Cabrillana		
Apellido Materno	San Martín		
RUT Personal			
Nombre de la Organización o Institución donde trabaja	Universidad de Chile		
RUT de la Organización	60.910.000-1		
Tipo de Organización	Pública	<input checked="" type="checkbox"/>	Privada
Cargo o actividad que desarrolla en ella	Analista químico		
Profesión	Ingeniero Industrial en Alimentos		
Especialidad			
Dirección (laboral)	Las Palmeras 3425		
País	Chile		
Región	Metropolitana		
Ciudad o Comuna	Ñuñoa		
Fono	978 7266		
Fax	9787445		
Celular			
Email	cabrillana@hotmail.com		
Web			
Género	Masculino	<input type="checkbox"/>	Femenino <input checked="" type="checkbox"/>
Etnia (B)	s/c		
Tipo (C)	profesional		

## FICHA COORDINADORES Y EQUIPO TECNICO

Tipo de actor en el Proyecto (A)	Equipo Técnico		
Nombres	Catalina Elizabeth		
Apellido Paterno	Miranda		
Apellido Materno	Toro		
RUT Personal			
Nombre de la Organización o Institución donde trabaja	Universidad de Chile		
RUT de la Organización	60.910.000-1		
Tipo de Organización	Pública	<input checked="" type="checkbox"/> Privada	
Cargo o actividad que desarrolla en ella	Analista químico		
Profesión	Técnico Químico		
Especialidad			
Dirección (laboral)	Las Palmeras 3425		
País	Chile		
Región	Metropolitana		
Ciudad o Comuna	Ñuñoa		
Fono	9787266		
Fax	9787445		
Celular			
Email			
Web			
Género	Masculino	<input type="checkbox"/> Femenino	<input checked="" type="checkbox"/>
Etnia (B)	s/c		
Tipo (C)	Técnico		

## FICHA COORDINADORES Y EQUIPO TECNICO

Tipo de actor en el Proyecto (A)	Colaborador técnico		
Nombres	Hugo		
Apellido Paterno	Torres		
Apellido Materno	Contreras		
RUT Personal			
Nombre de la Organización o Institución donde trabaja	Universidad de Chile		
RUT de la Organización	60.910.000-1		
Tipo de Organización	Pública	<input checked="" type="checkbox"/>	Privada
Cargo o actividad que desarrolla en ella	Colecta de muestras		
Profesión	Doctor en Ciencias mención Ecología y Biología Evolutiva		
Especialidad			
Dirección (laboral)	Las Palmeras 3425		
País	Chile		
Región	Metropolitana		
Ciudad o Comuna	Santiago		
Fono	9787266		
Fax	9787445		
Celular			
Email	htoresco@uchile.cl		
Web			
Género	Masculino	<input checked="" type="checkbox"/>	Femenino
Etnia (B)	s/c		
Tipo (C)	Profesional		

## FICHA COORDINADORES Y EQUIPO TECNICO

Tipo de actor en el Proyecto (A)	Equipo técnico		
Nombres	Luis Antonio		
Apellido Paterno	Flores		
Apellido Materno	Prado		
RUT Personal			
Nombre de la Organización o Institución donde trabaja	Universidad de Chile		
RUT de la Organización	60.910.000-1		
Tipo de Organización	Pública	<input checked="" type="checkbox"/>	Privada
Cargo o actividad que desarrolla en ella	Colecta de muestras		
Profesión	Profesor de Biología		
Especialidad			
Dirección (laboral)	Las Palmeras 3425		
País	Chile		
Región	Metropolitana		
Ciudad o Comuna	Ñuñoa		
Fono	9787266		
Fax	9787445		
Celular			
Email	lflores@abulafia.ciencias.uchile.cl		
Web			
Género	Masculino	<input checked="" type="checkbox"/>	Femenino
Etnia (B)	s/c		
Tipo (C)	Profesional		

## FICHA COORDINADORES Y EQUIPO TECNICO

Tipo de actor en el Proyecto (A)	Equipo técnico		
Nombres	Cristián Andres		
Apellido Paterno	Gutiérrez		
Apellido Materno	Ibáñez		
RUT Personal			
Nombre de la Organización o Institución donde trabaja	Universidad de Chile		
RUT de la Organización	60.910.000-1		
Tipo de Organización	Pública	<input checked="" type="checkbox"/>	Privada
Cargo o actividad que desarrolla en ella	Colecta de muestras		
Profesión	Licenciado en Ciencias		
Especialidad			
Dirección (laboral)	Las Palmeras 3425		
País	Chile		
Región	Metropolitana		
Ciudad o Comuna	Ñuñoa		
Fono	9787266		
Fax	9787445		
Celular			
Email			
Web			
Género	Masculino	<input checked="" type="checkbox"/>	Femenino
Etnia (B)	s/c		
Tipo (C)	Profesional		

## FICHA COORDINADORES Y EQUIPO TECNICO

Tipo de actor en el Proyecto (A)	Equipo técnico		
Nombres	Carlos Eduardo		
Apellido Paterno	Valdivia		
Apellido Materno	Prats		
RUT Personal			
Nombre de la Organización o Institución donde trabaja	Universidad de Chile		
RUT de la Organización	60.910.000-1		
Tipo de Organización	Pública	<input checked="" type="checkbox"/>	Privada
Cargo o actividad que desarrolla en ella	Colecta de muestras, ensayos de reproducción <i>ex situ</i>		
Profesión	Biólogo Ambiental		
Especialidad			
Dirección (laboral)	Las Palmeras 3425		
País	Chile		
Región	Metropolitana		
Ciudad o Comuna	Ñuñoa		
Fono	9787266		
Fax	9787445		
Celular			
Email			
Web			
Género	Masculino	<input checked="" type="checkbox"/>	Femenino
Etnia (B)	s/c		
Tipo (C)	profesional		

## FICHA COORDINADORES Y EQUIPO TECNICO

Tipo de actor en el Proyecto (A)	Equipo técnico		
Nombres	Daniel Hernán		
Apellido Paterno	Tapia		
Apellido Materno	Herrera		
RUT Personal			
Nombre de la Organización o Institución donde trabaja	Universidad de Chile		
RUT de la Organización	60.910.000-1		
Tipo de Organización	Pública	<input checked="" type="checkbox"/>	Privada
Cargo o actividad que desarrolla en ella	Colecta de muestras		
Profesión	Licenciado en Ciencias		
Especialidad			
Dirección (laboral)	Las Palmeras 3425		
País	Chile		
Región	Metropolitana		
Ciudad o Comuna	Ñuñoa		
Fono	9787266		
Fax	9787445		
Celular			
Email	dtapia@abulafia.ciencias.uchile.cl		
Web			
Género	Masculino	<input checked="" type="checkbox"/>	Femenino
Etnia (B)	s/c		
Tipo (C)	Profesional		

**FICHA DATOS ORGANIZACION**

Código del Proyecto	FIA-PI-C-2002-I-A-001
Tipo de Actor en Proyecto	Ejecutor
Nombre	Universidad de Chile
Rut	60.910.000-1
Dirección	Las Palmeras 3425
País	Chile
Región	Metropolitana
Ciudad o Comuna	Santiago
Fono	678-7201
Fax	239-2755
E- mail	facideca@uchile.cl
URL	
Público o Privado	público
Tipo	universidad nacional

## VI. BIBLIOGRAFIA CONSULTADA

El estudio de la producción de compuestos volátiles por las plantas, su función en la planta y su potencial uso para el bienestar del ser humano se ha convertido en un fascinante tema de investigación en los últimos años. Los esfuerzos combinados de químicos, ecólogos y fisiólogos, bioquímicos y biotecnólogos vegetales han generado teorías que, llevadas a la práctica, han permitido modificar plantas e incorporar en ellas - vía transgénesis - propiedades importantes en cuanto a protección contra organismos deletéreos, por ejemplo. Se mencionan a continuación un conjunto de artículos recientes que fue consultado y que permiten juzgar el desarrollo de esta área de la ciencia.

- Dudareva, N., Negre, F., Nagegowda, D.A. & Orlova, I. (2006) Plant volatiles: recent advances and future perspectives. *Critical Reviews in Plant Sciences* 25: 417-440.
- Dudareva, N. & Negre, F. (2005) Practical applications of research into the regulation of plant volatile emission. *Current Opinion in Plant Biology* 8: 113-118.
- Dudareva, N. & Pichersky, E. (2006) *Biology of Floral Scent*. CRC Press, Florida, USA, 346pp.
- Knudsen, J.T., Eriksson, R., Gershenzon, J. & Ståhl, B. (2006) Diversity and distribution of floral scent. *The Botanical Review* 72: 1-120.
- Goff, S.A. & Klee, H.J. (2006) Plant volatile compounds: sensory cues for health and nutritional value? *Science* 311: 815-819.
- Pichersky, E. & Gershenzon, J. (2002) The formation and function of plant volatiles: perfumes for pollinator attraction and defense. *Current Opinion in Plant Biology* 5: 237-243.
- Pichersky, E., Noel, J.P. & Dudareva, N. (2006) Biosynthesis of plant volatiles: Nature's diversity and ingenuity. *Science* 311: 808-811.
- Tholl, D., Boland, W., Hansel, A., Loreto, F., Röse, U.S.R. & Schnitzler, J.-P. (2006) Practical approaches to plant volatile analysis. *The Plant Journal* 45: 540-560.
- Vainstein, A., Lewinsohn, E., Pichersky, E. & Weiss, D. (2001) Floral fragrance. New inroads into an old commodity. *Plant Physiology* 127: 1383-1389.