

**ESTUDIO DE LA RELACIÓN ENTRE CULTIVOS INTERCALADOS DE
CUATRO ESPECIES AROMÁTICAS Y LA COMPOSICIÓN Y EL
RENDIMIENTO DE SUS ACEITES ESENCIALES OBTENIDOS**

RAÚL HERNANDO RODRÍGUEZ QUINTANILLA

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE CIENCIAS
ESCUELA DE QUÍMICA
LABORATORIO DE CROMATOGRFÍA, CIBIMOL
BUCARAMANGA**

2011

**ESTUDIO DE LA RELACIÓN ENTRE CULTIVOS INTERCALADOS DE
CUATRO ESPECIES AROMÁTICAS Y LA COMPOSICIÓN Y EL
RENDIMIENTO DE SUS ACEITES ESENCIALES OBTENIDOS**

RAÚL HERNANDO RODRÍGUEZ QUINTANILLA

**Proyecto presentado como requisito parcial
para optar al título de Magíster en Química**

DIRECTORES:

Elena E. Stashenko, Química, Ph. D.

Jairo René Martínez, Químico, Ph. D.

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE CIENCIAS
ESCUELA DE QUÍMICA
LABORATORIO DE CROMATOGRFÍA, CIBIMOL
BUCARAMANGA**

2011

DEDICATORIA

Campesino hermano

Tu hambre,
me dueles en las entrañas;
tu sed,
la siento en mi garganta;
tu choza,
está dentro de mi casa;
tu harapo,
es mi harapo del futuro;
tu dios,
mi dios, son dioses falsos;
tu grito,
mi grito, no se escuchan.

El hijo de tu grito,
el hijo de mi grito,
mil gritos juntos,
se escucharán mañana,
llamando a nuestro pueblo
a transformar el mundo.

Antonio Díaz Martínez.
Del libro, "Ayacucho: hambre y esperanza"
Ediciones "waman puma", 1969

AGRADECIMIENTOS

A mi hija y a mi compañera por la paciencia tenida durante la realización este trabajo. Sabré retribuir mis ausencias.

A mis padres por su amor incondicional

A la profesora Elena Stashenko y al profesor Jairo René Martínez por construir los proyectos de investigación en los que sus estudiantes logramos desarrollarnos como futuros investigadores con la esperanza de que algún día estos conocimientos sean retribuidos a quienes más lo necesitan.

El pueblo

A mis compañeros de laboratorio, que son muchos:

Carlitos Ruiz, Nicolás, Arley, Hans,
Carlos Rueda, Julie, Mónica, Nestor, Cindy, Sugey,
Angela, Gina, El churco, Jose, Miguel,
Sebastian, Camilo, Gustavo,
Marcela, Deysi, Claudia, Laura, Al papi
Los perros...

A la Universidad Industrial de Santander

TABLA DE CONTENIDO

1.	INTRODUCCIÓN	24
2.	MARCO TEÓRICO	27
2.1	ACEITES ESENCIALES	27
2.2	METABOLITOS SECUNDARIOS	28
2.3	MÉTODOS DE EXTRACCIÓN	31
2.4	ANÁLISIS DE LOS ACEITES ESENCIALES	32
2.4.1	<i>Cromatografía de gases</i>	32
2.4.2	<i>Cromatografía de gases-espectrometría de masas</i>	33
2.5	EL SUELO	35
2.6	INTERCALADO DE CULTIVOS	37
3.	ESTADO DEL ARTE.....	40
3.1	PLANTAS AROMÁTICAS.....	40
3.1.1	<i>Lippia alba (Mill) N. E. Brown (“Pronto alivio”)</i>	40
3.1.2	<i>Lippia origanoides H. B. K. (“Orégano de monte”)</i>	43
3.1.3	<i>Pelargonium graveolens (“Geranio”)</i>	47
3.1.4	<i>Cymbopogon martinii (“Palmarrosa”)</i>	50
4.	METODOLOGÍA EXPERIMENTAL	54
4.1	ESTABLECIMIENTO DE CULTIVOS	54
4.1.1	<i>El diseño de experimento</i>	55
4.1.2	<i>La propagación del material vegetal</i>	59
4.1.3	<i>Cuidado y mantenimiento de los cultivos</i>	60
4.2	COSECHADO Y MUESTREO DE LAS PLANTAS	63
4.3	RENDIMIENTO EN BIOMASA Y ACEITE ESENCIAL.....	63
4.4	EXTRACCIÓN DE LOS ACEITES ESENCIALES	64
4.5	ANÁLISIS DE ACEITES ESENCIALES	66
4.6	CRITERIOS PARA EVALUAR LOS SISTEMAS DE CULTIVOS MONOCULTIVO O INTERCALADO.....	69
5.	RESULTADOS Y ANÁLISIS.....	71
5.1	CONDICIONES AMBIENTALES.....	71
5.2	RENDIMIENTO DE LOS CULTIVOS	72
5.2.1	<i>Lippia alba</i>	72
5.2.2	<i>Lippia origanoides</i>	74
5.2.3	<i>Pelargonium graveolens</i>	75
5.2.4	<i>Cymbopogon martinii</i>	77
5.2.5	<i>Rendimiento de los cultivos intercalados</i>	79
5.3	ANÁLISIS DE ACEITES ESENCIALES	82
5.3.1	<i>Lippia alba</i>	83
5.3.2	<i>Lippia origanoides</i>	89
5.3.3	<i>Pelargonium graveolens</i>	99
5.3.4	<i>Cymbopogon martinii</i>	108
6.	CONCLUSIONES.....	122

7.	RECOMENDACIONES.....	124
8.	BIBLIOGRAFÍA.....	126
9.	ANEXOS.....	146

LISTA DE TABLAS

Tabla 1.	Número de plantas sembradas de cada especie en cada huerta, por bloque experimental.	58
Tabla 2.	Distancias de siembra de las plantas bajo estudio.	58
Tabla 3.	Densidad (plantas/ha) de cada una de las especies, en los sistemas de cultivos estudiados.	59
Tabla 4.	Patrones de terpenos certificados empleados en la cuantificación de los componentes mayoritarios presentes en los AE obtenidos de las plantas aromáticas estudiadas.	69
Tabla 5.	RET obtenida del cultivo intercalado de las cuatro especies (<i>L. alba</i> , <i>L. origanoides</i> , <i>P. graveolens</i> y <i>C. martinii</i>) durante la segunda cosecha. Criterio de cálculo: rendimiento de AE/ha.	80
Tabla 6.	RET obtenida del cultivo intercalado de las cuatro especies (<i>L. alba</i> , <i>L. origanoides</i> , <i>P. graveolens</i> y <i>C. martinii</i>) durante la segunda cosecha. Criterio de cálculo: rendimiento de AE/ha.	81
Tabla 7.	RET obtenida del cultivo intercalado de las cuatro especies (<i>L. alba</i> , <i>L. origanoides</i> , <i>P. graveolens</i> y <i>C. martinii</i>) durante la tercera cosecha. Criterio de cálculo: rendimiento de AE/ha.	81
Tabla 8.	RET obtenida del cultivo intercalado de las cuatro especies (<i>L. alba</i> , <i>L. origanoides</i> , <i>P. graveolens</i> y <i>C. martinii</i>) durante todas las cosechas. Criterio de cálculo: rendimiento de AE/ha.	82

- Tabla 9.** RET_c del cultivo intercalado de las cuatro especies (*L. alba*, *L. origanoides*, y *P. graveolens*) en la primera cosecha. Criterio de cálculo: rendimiento por hectárea del compuesto mayoritario (**Véase anexos 14-16 y anexo 33**). 117
- Tabla 10.** RET_c del cultivo intercalado de las cuatro especies (*L. alba*, *L. origanoides*, *P. graveolens* y *C. martinii*) en la segunda cosecha. Criterio de cálculo: rendimiento por hectárea del compuesto mayoritario (**Véase anexo 33**). 119
- Tabla 11.** RET_c del cultivo intercalado de las cuatro especies (*L. alba*, *L. origanoides*, *P. graveolens* y *C. martinii*) en la tercera cosecha. Criterio de cálculo: rendimiento por hectárea del compuesto mayoritario (**Véase anexo 33**). 120
- Tabla 12.** RET_c del cultivo intercalado de las cuatro especies (*L. alba*, *L. origanoides*, *P. graveolens* y *C. martinii*) en la totalidad de las cosechas. Criterio de cálculo: rendimiento por hectárea del compuesto mayoritario (**Véase anexo 33**). 120

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.	Esquema general de la biosíntesis de metabolitos secundarios.	29
Figura 2.	Lote destinado para la implementación de los cultivos experimentales, ubicado al lado izquierdo de la entrada a la planta de compostaje de la Universidad Industrial de Santander (15/03/2010; Foto: Raúl Rodríguez).	54
Figura 3.	Plano de la huerta experimental.	57
Figura 4.	Plantas de <i>L. origanoides</i> , en la parte baja del Cañón del río Chicamocha (29/07/2009; Foto: Raúl Rodríguez).	61
Figura 5.	Propagación de material vegetal en el vivero de CENIVAM-UIS (15/06/2009; Foto: Raúl Rodríguez).	61
Figura 6.	Equipo para hidrodestilación asistida por la radiación de microondas.	65
Figura 7.	Cromatógrafo de gases de alta resolución <i>Agilent Technologies</i> 6890 <i>Plus</i> , con detector selectivo de masas <i>Agilent Technologies</i> MSD 5973.	67
Figura 8.	Rendimiento de AE de <i>L. alba</i> (kg de AE por hectárea), cultivada en diferentes sistemas de cultivo (Anexo 7).	74
Figura 9.	Rendimiento del AE de <i>L. origanoides</i> (kg de AE por hectárea), cultivada en diferentes sistemas de cultivo (Anexo 8).	77
Figura 10.	Rendimiento del AE de <i>P. graveolens</i> (kg de AE por hectárea), cultivada en diferentes sistemas de cultivo (Anexo 9).	78
Figura 11.	Rendimiento del AE de <i>C. martinii</i> (kg de AE por hectárea), cultivada en diferentes sistemas de cultivo (Anexo 10).	79
Figura 12.	Perfil cromatográfico típico del AE de <i>L. alba</i> , obtenido por MWH. Columna DB-5 (60 m). Detector espectrométrico de masas. La identificación de componentes aparece en el Anexo 11 .	84

- Figura 13.** Cantidad de los componentes mayoritarios del AE de *L. alba*, 85
obtenido de las tres cosechas del monocultivo de *L. alba* y de los
cultivos intercalados *L. alba-L. origanoides*, *L. Alba-P.*
graveolens y *L. alba-C. martinii* (**Anexos 11-13**).
- Figura 14.** Cantidad de los componentes mayoritarios del AE de *L. alba*, 86
cultivada en monocultivo y en los cultivos intercalados *L. alba-L.*
origanoides, *L. alba-P. graveolens* y *L. alba-C. martinii* (**Anexos**
11-13).
- Figura 15.** Rendimiento (mg/planta) de los componentes mayoritarios del 88
AE de *L. alba*, cultivada en monocultivo y en los cultivos
intercalados *L. alba-L. origanoides*, *L. Alba-P. graveolens* y *L.*
alba-C. martinii y obtenida de tres cosechas (**Anexos 14-16**).
- Figura 16.** Rendimiento de los componentes mayoritarios del AE de *L. alba*, 90
obtenido de cada una de las cosechas recogidas y de los
sistemas de cultivo estudiados (monocultivo y los cultivos
intercalados *L. alba-L. origanoides*, *L. alba-L. origanoides*, *L.*
alba-P. graveolens y *L. alba-C. martinii*) (**Anexos 14-16**).
- Figura 17.** Perfil cromatográfico típico del AE de *L. origanoides*, obtenido 91
por MWH. Columna DB-5 (60 m). Detector espectrométrico de
masas. La identificación de componentes aparece en el **Anexo**
- Figura 18.** Cantidad de los componentes mayoritarios del AE de *L.* 93
origanoides, cultivada en monocultivo y en los cultivos
intercalados *L. origanoides-L. alba*, *L. origanoides-P. graveolens*
y *L. origanoides-C. martinii* (**Anexos 17-19**).
- Figura 19.** Cantidad de los componentes mayoritarios del AE de *L.* 95
origanoides, obtenida de tres cosechas y de los cuatro sistemas
de cultivo evaluados (**Anexos 17-19**).

- Figura 20.** Rendimiento de los componentes mayoritarios del AE de *L. origanoides*, cultivada en monocultivo y en los cultivos intercalados *L. origanoides-L. alba*, *L. origanoides-P. graveolens* y *L. origanoides-C. martinii* (**Anexos 20-22**). 97
- Figura 21.** Rendimiento de los componentes mayoritarios del AE de *L. origanoides*, obtenido de cada una de las cosechas recogidas y de los sistemas de cultivo estudiados (monocultivo y los cultivos intercalados *L. origanoides-L. alba*, *L. origanoides-P. graveolens* y *L. origanoides-C. martinii*) (**Anexos 20-22**). 98
- Figura 22.** Perfil cromatográfico típico del AE de *P. graveolens*, obtenido por MWHD. Columna DB-5 (60 m). Detector espectrométrico de masas. La identificación de componentes aparece en el **Anexo** 101
- Figura 23.** Cantidad de los componentes mayoritarios del AE de *P. graveolens*, cultivada en monocultivo y en los cultivos intercalados *P. graveolens-L. alba*, *P. graveolens-L. origanoides* y *P. graveolens-C. martinii* (**Anexos 23-25**). 103
- Figura 24** Cantidad de los componentes mayoritarios del AE de *P. graveolens*, obtenida de tres cosechas y de los cuatro sistemas de cultivos evaluados (**Anexos 23-25**). 104
- Figura 25.** Rendimiento de los componentes mayoritarios del AE de *P. graveolens*, cultivada en monocultivo y en los cultivos intercalados *P. graveolens-L. alba*, *P. graveolens-L. origanoides* y *P. graveolens-C. martinii* (**Anexos 26-28**). 106
- Figura 26.** Rendimiento de los componentes mayoritarios del AE de *P. graveolens*, obtenido de cada una de las cosechas recogidas y de los sistemas de cultivos estudiados (monocultivo y los cultivos intercalados *P. graveolens-L. alba*, *P. graveolens-L. origanoides* y *P. graveolens-C. martinii*) (**Anexos 26-28**). 107

- Figura 27.** Perfil cromatográfico típico del AE de *C. martinii*, obtenido por MWHD. Columna DB-5 (60 m). Detector espectrométrico de masas. La identificación de componentes aparece en el **Anexo** 110
- Figura 28.** Cantidad de los componentes mayoritarios del AE de *C. martinii*, cultivada en monocultivo y en los cultivos intercalados *C. martinii-L. alba*, *C. martinii-L. origanoides*, y *C. martinii-P. graveolens* (**Anexos 29 y 30**). 111
- Figura 29.** Cantidad de los componentes mayoritarios del AE de *C. martinii*, obtenida de tres cosechas y de los cuatro sistemas de cultivos evaluados (**Anexos 29-30**). 112
- Figura 30.** Rendimiento de los componentes mayoritarios del AE de *C. martinii*, cultivada en monocultivo y en los cultivos intercalados *C. martinii-L. alba*, *C. martinii-L. origanoides* y *C. martinii-P. graveolens* (**Anexo 31-32**). 113
- Figura 31.** Rendimiento de los componentes mayoritarios del AE de *C. martinii*, obtenido de cada una de las cosechas recogidas y de los sistemas de cultivo estudiados (monocultivo y los cultivos intercalados *C. martinii-L. alba*, *C. martinii-L. origanoides* y *C. martinii-P. graveolens*) (**Anexos 31-32**). 114

ACRÓNIMOS, ABREVIATURAS Y SIGLAS

AE	Aceite esencial o aceites esenciales.
CENIVAM	Centro Nacional de Investigaciones para la Agroindustrialización de Especies Vegetales Tropicales Aromáticas y Medicinales.
CDMB	Corporación Autónoma Regional para la Defensa de la Meseta de Bucaramanga.
D.I.	Diámetro interno, mm.
EE.UU.	Estados Unidos de América.
EI	<i>Electron Impact</i> (Impacto de electrones).
FID	<i>Flame Ionisation Detector</i> (Detector de ionización en llama).
GC	<i>Gas Chromatography</i> (Cromatografía de gases, según el contexto).
GC-MS	<i>Gas Chromatography-Mass Spectrometry</i> (Cromatografía de gases acoplada a espectrometría de masas).
HP	Hewlett-Packard
<i>m/z</i>	Relación masa/carga.
MEP	Ácido metileritritol fosfato.
MSD	<i>Mass Selective Detector</i> (Detector selectivo de masas).
MV	Material vegetal.
MWHD	<i>Microwave-Assisted Hydrodistillation</i> (Hidrodestilación asistida por la radiación de microondas).
RAE_a	Rendimiento del aceite esencial de la especie <i>a</i> .
R_{al}	Rendimiento del cultivo de la especie <i>a</i> en cultivo intercalado.
R_{aM}	Rendimiento del cultivo de la especie <i>a</i> , en monocultivo.
R_{Ba}	Rendimiento de biomasa del cultivo de la especie <i>a</i> .

R_{bI}	Rendimiento del cultivo de la especie <i>b</i> , en cultivo intercalado.
R_{bM}	Rendimiento del cultivo de la especie <i>b</i> , en monocultivo.
REAC	Relación de equivalencia de área y cosecha.
REAT	Relación de equivalencia de área y tiempo.
RET	Relación de equivalencia de tierra.
RET_c	Relación de equivalencia de tierra, teniendo en cuenta como criterio para su cálculo el rendimiento por hectárea del componente mayoritario del AE de cada especie intercalada.

LISTA DE ANEXOS

- Anexo 1.** Temperatura ambiente (promedio diario) desde el inicio de los cultivos experimentales hasta la última cosecha recogida en el presente trabajo. Datos registrados por la estación meteorológica de la CDMB que se encuentra ubicada en la terraza del Hospital Local de Norte (Cra. 9 No. 12 norte, Ciudad Norte, Bucaramanga). 146
- Anexo 2.** Precipitaciones (promedio diario) desde el inicio de los cultivos experimentales hasta la última cosecha recogida en el presente trabajo. Datos registrados por la estación meteorológica de la CDMB que se encuentra ubicada en la terraza del Hospital Local de Norte (Cra. 9 No. 12 norte, Ciudad Norte, Bucaramanga). 147
- Anexo 3.** Humedad relativa (promedio diario) desde el inicio de los cultivos experimentales hasta la última cosecha recogida en el presente trabajo. Datos registrados por la estación meteorológica de la CDMB que se encuentra ubicada en la terraza del Hospital Local de Norte (Cra. 9 No. 12 norte, Ciudad Norte, Bucaramanga). 148
- Anexo 4.** Radiación solar (promedio diario) desde el inicio de los cultivos experimentales hasta la última cosecha recogida en el presente trabajo. Datos registrados por la estación meteorológica de la CDMB que se encuentra ubicada en la terraza del Hospital Local de Norte (Cra. 9 No. 12 norte, Ciudad Norte, Bucaramanga). 149

Anexo 5.	Presión barométrica (promedio diario) desde el inicio de los cultivos experimentales hasta la última cosecha recogida en el presente trabajo. Datos registrados por la estación meteorológica de la CDMB que se encuentra ubicada en la terraza del Hospital Local de Norte (Cra. 9 No. 12 norte, Ciudad Norte, Bucaramanga).	150
Anexo 6.	Análisis de suelos, del sitio donde se implementaron los cultivos experimentales del presente estudio (lado izquierdo de la entrada a la planta de compostaje de la Universidad Industrial de Santander). Realizado por el Laboratorio de Suelos de la Universidad Industrial de Santander, febrero de 2009.	151
Anexo 7.	Rendimientos calculados para <i>Lippia alba</i> (pronto alivio), obtenida en diferentes sistemas de cultivos.	152
Anexo 8.	Rendimientos calculados para <i>Lippia origanoides</i> (orégano de monte), obtenida en diferentes sistemas de cultivos.	153
Anexo 9.	Rendimientos calculados para <i>Pelargonium graveolens</i> (geranio), obtenida en diferentes sistemas de cultivos.	154
Anexo 10.	Rendimientos calculados para <i>Cymbopogon martinii</i> (palmarrosa), obtenida en diferentes sistemas de cultivos.	155
Anexo 11.	Composición del AE obtenido de la especie de <i>Lippia alba</i> , cultivada en diferentes sistemas de cultivo y correspondiente a la primera cosecha.	156

Anexo 12.	Composición del AE obtenido de la especie <i>Lippia alba</i> , cultivada en diferentes sistemas de cultivo y correspondiente a la segunda cosecha.	157
Anexo 13.	Composición del AE obtenido de la especie <i>Lippia alba</i> , cultivada en diferentes sistemas de cultivo y correspondiente a la tercera cosecha.	158
Anexo 14.	Composición del AE obtenido de la especie <i>Lippia alba</i> , cultivada en diferentes sistemas de cultivo, y el rendimiento por planta durante la primera cosecha.	159
Anexo 15.	Composición del AE obtenido de la especie <i>Lippia alba</i> , cultivada en diferentes sistemas de cultivo, y el rendimiento por planta durante la segunda cosecha.	160
Anexo 16.	Composición del AE obtenido de la especie <i>Lippia alba</i> , cultivada en diferentes sistemas de cultivo, y el rendimiento por planta durante la tercera cosecha.	161
Anexo 17.	Composición del AE obtenido de la especie <i>Lippia origanoides</i> , cultivada en diferentes sistemas de cultivo y correspondiente a la primera cosecha.	162
Anexo 18.	Composición del AE obtenido de la especie <i>Lippia origanoides</i> , cultivada en diferentes sistemas de cultivo y correspondiente a la segunda cosecha.	163
Anexo 19.	Composición del AE obtenido de la especie <i>Lippia origanoides</i> , cultivada en diferentes sistemas de cultivo y correspondiente a la tercera cosecha.	164

Anexo 20.	Composición del AE obtenido de la especie <i>Lippia origanoides</i> , cultivada en diferentes sistemas de cultivo, y rendimiento por planta de la primera cosecha obtenida.	165
Anexo 21.	Composición del AE obtenido de la especie <i>Lippia origanoides</i> , cultivada en diferentes sistemas de cultivo, y el rendimiento por planta durante la segunda cosecha.	166
Anexo 22.	Composición del AE obtenido de la especie <i>Lippia origanoides</i> , cultivada en diferentes sistemas de cultivo, y rendimiento por planta de la tercera cosecha obtenida.	167
Anexo 23.	Composición del AE obtenido de la especie <i>Pelargonium graveolens</i> , cultivada en diferentes sistemas de cultivo y correspondiente a la primera cosecha.	168
Anexo 24.	Composición del AE obtenido de la especie <i>Pelargonium graveolens</i> , cultivada en diferentes sistemas de cultivo y correspondiente a la segunda cosecha.	170
Anexo 25.	Composición del AE obtenido de la especie <i>Pelargonium graveolens</i> , cultivada en diferentes sistemas de cultivo y correspondiente a la tercera cosecha.	172
Anexo 26.	Composición del AE obtenido de la especie <i>Pelargonium graveolens</i> , cultivada en diferentes sistemas de cultivo, y rendimiento por planta durante la primera cosecha.	174
Anexo 27.	Composición del AE obtenido de la especie <i>Pelargonium graveolens</i> , cultivado en diferentes sistemas de cultivo, y el rendimiento por planta durante la segunda cosecha.	176

Anexo 28.	Composición del AE obtenido de la especie <i>Pelargonium graveolens</i> , cultivado en diferentes sistemas de cultivo, y rendimiento por planta durante la tercera cosecha.	178
Anexo 29.	Composición del AE obtenido de la especie <i>Cymbopogon martinii</i> , cultivado en diferentes sistemas de cultivo y correspondiente a la segunda cosecha.	180
Anexo 30.	Composición del AE obtenido de la especie <i>Cymbopogon martinii</i> , cultivada en diferentes sistemas de cultivo y correspondiente a la tercera cosecha.	181
Anexo 31.	Composición del AE obtenido de la especie <i>Cymbopogon martinii</i> , cultivado en diferentes sistemas de cultivo, y el rendimiento por planta durante la segunda cosecha.	182
Anexo 32.	Composición del AE obtenido de la especie <i>Cymbopogon martinii</i> , cultivado en diferentes sistemas de cultivo, y el rendimiento por hectárea durante la tercera cosecha.	183
Anexo 33.	Rendimiento (kg/ha) del componente mayoritario de <i>L. alba</i> , <i>L. origanoides</i> , <i>P. graveolens</i> y <i>C. martinii</i> , cultivadas en los sistemas de cultivo estudiados. Datos empleados para el cálculo de la RET _c .	184

RESUMEN

TÍTULO: ESTUDIO DE LA RELACIÓN ENTRE CULTIVOS INTERCALADOS DE CUATRO ESPECIES AROMÁTICAS Y LA COMPOSICIÓN Y EL RENDIMIENTO DE SUS ACEITES ESENCIALES OBTENIDOS*

Autor: RODRÍGUEZ QUINTANILLA, RAÚL HERNANDO**

Palabras claves: Intercalado de cultivos, *Lippia alba*, *Lippia origanoides*, *Pelargonium graveolens* y *Cymbopogon martinii*.

El estudio de diferentes sistemas de cultivo tendientes a reducir la necesidad de agroquímicos y aumentar el rendimiento y calidad de los productos, es de interés para los productores que buscan incursionar en el creciente mercado “verde”. El cultivo intercalado, como alternativa al monocultivo, ha tenido éxito en una gran variedad de cultivos, a saber: frijol, maíz, brócoli y soja, entre otros.

El presente estudio evaluó el efecto del cultivo intercalado de las especies *Lippia alba* (LA), *Lippia origanoides* (LO), *Pelargonium graveolens* (PG) y *Cymbopogon martinii* (CM), sobre el rendimiento y la composición de sus aceites esenciales (AE). Estas especies se cultivaron en huertas de 5x5 m, de la siguiente manera: blancos de LA, LO, PG y CM y cultivos intercalados LA/LO, LA/PG, LA/CM, LO/PG, LO/CM y PG/CM. Los AE se obtuvieron por hidrodestilación asistida por la radiación de microondas, y el análisis de su composición se realizó por GC-FID y GC-MS.

Los sistemas de cultivos intercalados evaluados en las cuatro especies estudiadas no modificaron la composición de los AE, en relación a sus compuestos mayoritarios. En cambio, estos cultivos intercalados si afectaron el rendimiento en AE y, ligeramente, la proporción en el AE de tales componentes mayoritarios. De los sistemas de cultivo evaluados en LA, LO, PG y CM, el cultivo intercalado LA/LO fue el único que, en la tres cosechas recogidas, incrementó su productividad en AE (la relación de equivalencia de tierra (RET) fue 1.32), aproximadamente 32%. Los demás sistemas de cultivos intercalados mantuvieron su productividad similar a la de los respectivos monocultivos, con la excepción del cultivo intercalado LA/PG, que tuvo una reducción en la productividad del 30% (la RET de este cultivo intercalado fue 0.7).

* Trabajo de Investigación.

** Facultad de Ciencias Básicas, Maestría en Química. Directores: Elena E. Stashenko y Jairo René Martínez.

ABSTRACT

TITLE: STUDY OF THE RELATION BETWEEN INTERCROPPING AND THE COMPOSITION AND YIELD OF THE ESSENTIAL OILS OF FOUR AROMATIC SPECIES *

Author: RODRÍGUEZ QUINTANILLA, RAUL HERNANDO **

Keywords: Intercropping, *Lippia alba*, *Lippia origanoides*, *Pelargonium graveolens* and *Cymbopogon martinii*.

The study of different farming systems aimed at reducing the need for agrochemicals and increasing the yield and quality of products is of interest to producers looking to break into the growing green market. Intercropping as an alternative to monocultures, has been successful in a variety of crops, namely: beans, corn, broccoli and soybeans, among others.

This study evaluated the effect of binary intercropping of the species *Lippia alba* (LA), *Lippia origanoides* (LO), *Pelargonium graveolens* (PG) and *Cymbopogon martinii* (CM) on yield and composition of their essential oils (EO). These species were cultivated in experimental plots of 5x5 m, as follows: monoculture controls of LA, LO, PG and CM and intercropping sets LA/LO, LA/PG, LA/CM, LO/PG, LO/CM and PG/CM. The EO was obtained by hydro-distillation assisted by microwave radiation, and analyzed with GC-FID and GC-MS.

The intercropping systems evaluated in the study of the four species affected oil yields, but did not change the overall composition of their EO in relation to their main compounds, although their relative amounts suffered slight variations. The LA/LO intercropping was the only one with a total gain in EO productivity after 3 harvests, according to a Land Equivalence Ratio (LER) of 1.32. The productivity balance of the other intercropping systems, after 3 harvests, was similar to that of the corresponding monoculture, with the exception of LA/PG intercropping, which had a 30% reduction in productivity (the LER of this intercropping was 0.7).

* Research Project

** Faculty of Basic Sciences, MS in Chemistry. Directors: Elena E. Stashenko and Jairo René Martínez.

1. INTRODUCCIÓN

El cultivo intercalado de especies vegetales ha sido una práctica agrícola milenaria, que entró en desuso con el impulso de la llamada “revolución verde”, iniciada en la década de los 60`s, y retomada nuevamente con el auge de los productos “verdes”, promovidos por activistas ambientalistas, como alternativa a aquellos productos obtenidos con prácticas agrícolas convencionales, como la aplicación de agroquímicos.

En comparación con el monocultivo de especies vegetales, el cultivo intercalado ofrece algunas ventajas. Entre éstas se pueden mencionar: el incremento del rendimiento agrícola [1-3], la reducción o incluso eliminación del impacto causado por plagas y enfermedades [4,5], el mejoramiento del control de insectos y plantas no deseadas, “malezas” [6,7] y la disminución o eliminación de la necesidad de fertilizantes comerciales (agroquímicos).

En la literatura científica abundan estudios que evalúan el cultivo intercalado de diversas especies, así como de diferentes factores que eventualmente podrían tener algún efecto sobre las especies intercaladas. El cultivo intercalado de árboles de caucho y té [8], geranio y menta [6], tomate y caléndula [4], menta y soja [9], matarratón y maíz [10], trigo y maíz [1], yuca y maíz [11] y trigo y arroz [2], son algunos ejemplos de tales estudios.

Por su parte, en este trabajo se estudió el cultivo intercalado de cuatro especies aromáticas, a saber: *Lippia alba* (pronto alivio), *Lippia origanoides* (orégano de monte), *Pelargonium graveolens* (geranio) y *Cymbopogon martinii* (palmarrosa), sobre el rendimiento y la composición de sus aceites esenciales obtenidos.

Para evaluar el cultivo intercalado de estas especies, se sembraron plantas en huertas de 25 m², en los siguientes sistemas de cultivo: *L. alba*-*L. origanoides*, *L.*

alba-*P. graveolens*, *L. alba*-*C. martinii*, *L. origanoides*-*P. graveolens*, *L. origanoides*-*C. martinii* y *P. graveolens*-*C. martinii*, y los monocultivos de *L. alba*, *L. origanoides*, *P. graveolens* y *C. martinii*.

De cada una de las especies estudiadas, en los diferentes sistemas de cultivo, se recogieron tres cosechas, entre marzo de 2009 y agosto de 2010. Del material cosechado se obtuvieron los aceites esenciales por hidrodestilación asistida por la radiación de microondas, que, posteriormente, fueron analizados por cromatografía de gases con FID y MS, para determinar y cuantificar su composición.

Con base en los rendimientos obtenidos en aceite esencial y en material vegetal de las especies estudiadas, se calculó el índice “relación de equivalencia de tierra” (RET), para evaluar diferencias entre el monocultivo de cada una de las especies y el cultivo intercalados entre estas especies.

Los resultados obtenidos dejaron ver que los sistemas de cultivos intercalados implementados y evaluados en cada una de las especies estudiadas, *i.e.*, *L. alba*, *L. origanoides*, *P. graveolens* y *C. martinii*, no modificaron la composición de los aceites esenciales, en relación a sus compuestos mayoritarios, a saber: en *L. alba*, carvona, limoneno, biciclosesquifelandreno y piperitenona; en *L. origanoides*, carvacrol, timol, *p*-cimeno y γ -terpineno; en *P. graveolens*, citronelol, formiato de citronelilo, geraniol y 6,9-guaiadieno y en *C. martinii*, geraniol, acetato de geranilo y linalol. Estos cultivos intercalados, en cambio, si afectaron el rendimiento (material vegetal/planta, aceite esencial/planta, compuesto mayoritario/planta) y ligeramente la proporción en el aceite esencial de tales componentes mayoritarios.

Además, de los sistemas de cultivo evaluados en *L. alba*, *L. origanoides*, *P. graveolens* y *C. martinii*, el cultivo intercalado de planta de *L. alba* con plantas de *L. origanoides* fue el único que, en la tres cosechas recogidas, incrementó su

productividad en aceites esenciales (la relación de equivalencia de tierra, RET, fue 1.32), aproximadamente 32%. Los demás sistemas de cultivo intercalado mantuvieron su productividad similar a la de los respectivos monocultivos, con la excepción del cultivo intercalado de *L. alba-P. graveolens*, que tuvo una reducción en la productividad del 30% (la RET de este cultivo intercalado fue 0.7).

Resultados parciales de este estudio se presentaron en diferentes congresos, nacionales e internacionales, a saber: X Congreso Nacional de Fitoquímica (Popayán, 9-12 de junio de 2009); I Congreso Iberoamericano de Química, Bioquímica e Ingeniería Química, VII Congreso Internacional de Química e Ingeniería Química (Cuba, 12-16 de octubre de 2009) y en el XXIX Congreso Latinoamericano de Química (CLAQ 2010, Cartagena, sept. 27 - oct. 1).

Este trabajo de investigación se realizó en las instalaciones del Centro Nacional de Investigaciones para la Agroindustrialización de Especies Vegetales Aromáticas Medicinales Tropicales (CENIVAM) con financiación del Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural.

2. MARCO TEÓRICO

2.1 ACEITES ESENCIALES

Un aceite esencial (AE) es una mezcla compleja constituida por compuestos biosintetizados por las plantas, productos de su metabolismo secundario. Estos aceites se extraen mediante arrastre con vapor de agua, vapor y agua, hidrodestilación o por prensado o raspado en frío de cáscaras de frutas cítricas [12]. Los AE son líquidos, volátiles y generalmente de olor agradable. La cantidad de los AE presentes en las plantas es relativamente pequeña y muy variada, por ejemplo, en *Lippia alba* éstos se encuentran entre 0,1 y 1,2% [13,14].

La composición del AE presente en una especie en particular depende de los diferentes factores bióticos y abióticos bajo los cuales se cultivan las plantas, el tipo de material que se usa para la extracción y el método de extracción utilizado [15,16]. Aquellos factores bióticos y abióticos que afectan esta composición pueden ser el clima, la humedad relativa, la altitud, la intensidad lumínica, el tipo de suelo, la química y biología de suelo, el nivel de precipitaciones, la densidad de siembra y la diversidad del cultivo, entre otros [12,13]. La *Lippia alba* es un ejemplo de ello: en Colombia se han registrado, bajo condiciones medioambientales relativamente diferentes, tres quimiotipos, a saber: rico carvona (ca. 41%), encontrado en el Departamento de Santander; abundante en citral (neral+geranial) (ca. 50%), encontrado en el Departamento de Bolívar y un híbrido, que posee carvona y citral en cantidades altas, encontrado en Arauca [17].

El rendimiento del AE de plantas aromáticas depende de los mismos factores que afectan su composición. A menudo es de interés económico incrementar el rendimiento, lo cual se puede lograr realizando experimentos sistemáticos que permitan evaluar aquellas variables que lo aumentan. Entre estas variables, se

pueden mencionar: el nivel de fertilización, densidad de siembra, tiempo de cosecha, intercalado de cultivos, nivel de riego y contenido de nitrógeno en el suelo [12,18,19]; e.g., en geranio (*Pelargonium sp.*), se obtiene mayor rendimiento por hectárea con una densidad de 55.000 plantas/ha que con densidades menores, como 27.000 plantas/ha [6]. En *Pelargonium capitatum* se encontró que el estrés hídrico incrementa su rendimiento de AE en material fresco, aunque el rendimiento total, kg de AE/ha, no aumente [20]. De la especie *L. alba*, quimiotipo carvona, se obtiene mayor rendimiento cuando las plantas se cosechan en época de floración y con intensidad lumínica del 50%, que en la época de prefloración o postfloración, con la misma intensidad lumínica e incluso mayor, 100% [21].

2.2 METABOLITOS SECUNDARIOS

Las plantas producen un gran número de sustancias que no tienen un rol bien esclarecido en los procesos biológicos de fotosíntesis, respiración, transporte de solutos, síntesis de proteínas, asimilación de nutrientes, diferenciación o en la producción de carbohidratos y lípidos. A estas sustancias se les llaman “metabolitos secundarios”.

La biosíntesis de estos metabolitos secundarios en las plantas transcurre por varias vías, i.e., ruta del ácido chiquímico, ruta del ácido malónico, ruta del ácido mevalónico y la vía del ácido metileritritol fosfato (MEP) [22]. En la **Figura 1** se presenta un esquema general de la síntesis de estos metabolitos.

Algunos de los metabolitos secundarios funcionan ecológicamente como sustancias aleloquímicas, modificando el normal desarrollo de organismos vivos. Las sustancias alelopáticas (que interactúan entre plantas de diferente especie), las fitoalexinas (con la respuesta química de la planta a la infección de hongos o bacterias), las fitoanticipinas (que producen las plantas regularmente para su

defensa) y aquellas que median la interacción entre “planta-insecto”, se incluyen en aquel conjunto de sustancias denominado aleloquímicos.

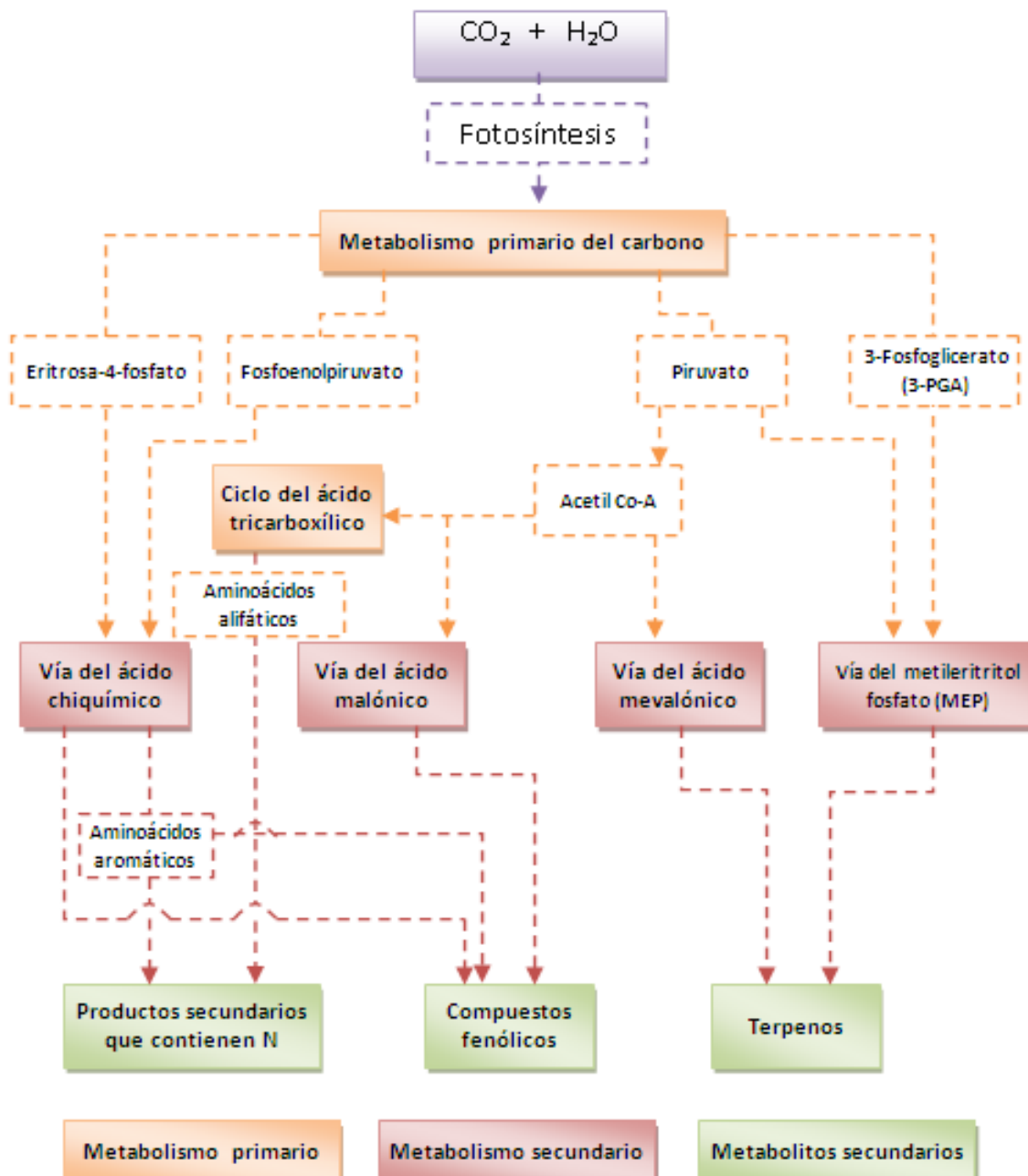


Figura 1. Esquema general de la biosíntesis de metabolitos secundarios [22].

Estos aleloquímicos son los responsables, por ejemplo, de la actividad contra bacterias que presentan algunos extractos de plantas de la especie *Castanea*

sativa; así como de la actividad alelopática de *C. sativa* sobre plantas de rábano (*Raphanus sativus*), la cual fue medida a través de la disminución del porcentaje de semillas de rábano que lograron germinar y por la disminución del tamaño de las raíces del rábano, luego de asperjar sobre estas semillas diferentes dosis de extractos de *C. sativa* [23]. Harminder P. *et al.*, por su parte, comprobaron que los monoterpenos 1,8-cineol y citronelol (presentes en el geranio) afectaban el crecimiento, el contenido de clorofila y la actividad respiratoria de la “maleza” *Ageratum conyzoides* [24]. La partenina, lactona sesquiterpénica y constituyente natural de *Parthenium hysterophorum*, muestra actividad alelopática contra las “malezas” *Avena fatua* y *Bidens pilosa*, y evita la germinación de sus semillas, disminuye el crecimiento de sus raíces y reduce la presencia de estas “malezas” en suelos enmendados [25]. La espirobrasinina fue indentificada como la principal fitoalexina liberada por hojas de mostaza (*Brassica juncea*) infectadas con el hongo *Alternaria brassicicola* [26]. Soledade, C. *et al.* establecieron que la espirobrasinina, ciclobrasinina y rutalexina eran fitoalexinas producidas por *B. napus* y *B. rapa* en respuesta a la infección por *Albugo candida*, causante de la enfermedad de roya blanca [27]. Compuestos como indolil-3-acetonitrilo, arvelexino, caulilexino C y 4-metoxiglucobrasicino, producidos por *B. napus* y *B. rapa*, son fitoanticipinas activos contra el hongo patógeno *Albugo candida* [27]. Los glucósidos cianógenos, también fitoanticipinas, presentes en ca. 2500 especies diferentes, hacen parte de la defensa de las plantas contra herbívoros, debido a que estas sustancias liberan fácilmente cianuro de hidrógeno, altamente tóxico [28]. La alicina, producida por el ajo, cuando partes de éste inician el proceso de su descomposición, ha sido utilizada para el control de organismos patógenos de las plantas, tales como *Magnaporthe grisea* (plaga que infecta el arroz), *Hyaloperonospora parasítica* (infecta la especie *Arabidopsis thaliana*) y *Phytophthora infestans* (infecta la papa) [28].

Los casos mencionados previamente son ejemplo de la actividad de los aleloquímicos, los cuales pueden ser estudiados y evaluados frente a la

posibilidades de su utilización en la agricultura orgánica, como lo recomiendan los promotores de los productos “sello verde”.

2.3 MÉTODOS DE EXTRACCIÓN

Existen, a nivel de laboratorio, varios métodos de extracción de los metabolitos secundarios de las plantas, a saber: extracción con fluido supercrítico, destilación-extracción con solventes simultánea, hidrodestilación, destilación por arrastre con vapor e hidrodestilación asistida por la radiación de microondas (MWHd), entre otros. Cada método tiene sus particularidades, y a menudo la composición y los rendimientos de los AE y extractos obtenidos varían de un método a otro [13,29-31]. Los más utilizados son aquellos métodos que no usan solventes diferentes al agua y aquellos que emplean condiciones “suaves”, para evitar la formación de artefactos indeseables y la descomposición de los metabolitos. La hidrodestilación y, en particular, la hidrodestilación asistida por la radiación de microondas, son métodos que cumplen con estas condiciones; son además relativamente económicos.

En el Laboratorio de Cromatografía (UIS) se utiliza el método de la hidrodestilación asistida por la radiación de microondas, porque los tiempos de extracción se reducen a menos de 1 hora, ya que la transferencia de energía al material vegetal es mucho más eficiente y rápida, que en el caso de la hidrodestilación convencional, que puede durar hasta 4 h [29-31].

El equipo para la hidrodestilación asistida por la radiación de microondas consta de un balón de fondo redondo conectado a un equipo de destilación tipo *Clevenger* ubicado en un horno microondas convencional. La extracción se realiza, colocando el material vegetal dentro del balón, agregando agua (ca. dos terceras partes del volumen del material vegetal) e irradiando con la radiación de

microondas por 45 min, en tres ciclos de 15 min. La radiación de microondas permite calentar el agua que se encuentra presente en las células, hasta evaporación. La temperatura y la presión generadas por el vapor de las células, rompe sus paredes y las vesículas oleíferas, y el vapor de agua arrastra los volátiles hacia el exterior. Posteriormente, los metabolitos secundarios volátiles se condensan en las paredes refrigeradas del condensador Clevenger; se obtienen dos fases, una oleosa, que es el aceite esencial y una acuosa; que se separan por decantación. En el presente trabajo, para obtener los aceites esenciales de las cuatro plantas aromáticas bajo estudio, se utilizó este método de extracción por las siguientes razones: es económico, no utiliza solventes costosos (sólo agua), es relativamente rápido (45 min de extracción), la eficiencia de extracción es alta y las condiciones de extracción son suaves, lo que evita la formación de artefactos que modifiquen la composición de los AE aislados [13,29-31].

2.4 ANÁLISIS DE LOS ACEITES ESENCIALES

2.4.1 Cromatografía de gases. La cromatografía de gases es una técnica instrumental analítica de separación de los componentes volatilizables presentes en una mezcla [32]. El equipo cromatográfico consta de una columna de sílice fundida que posee soportada en su interior una fase estacionaria (líquida o sólida); por la columna pasa una fase móvil gaseosa (helio, argón, hidrógeno, nitrógeno, etc.). Para la separación de una mezcla, la muestra se inyecta al puerto de inyección de tal manera, que sus componentes recorren la columna y se reparten entre las fases móvil y estacionaria. La separación de los componentes se fundamenta en la diferencia de sus constantes de distribución, K_D , que dependen de la temperatura y de la naturaleza de cada analito y de las fases móvil y estacionaria [32-34].

Para la separación de los AE generalmente se usan columnas capilares con fases estacionarias polares, como poli(etilenglicol), o apolares, como poli(dimetilsiloxano) [16,33]. Por su parte, las fases móviles más usadas son helio o hidrógeno y, menos frecuentemente, nitrógeno.

Para la separación de los componentes de una mezcla y su cuantificación, se emplea la cromatografía de gases con detector de ionización de llama (FID, por sus siglas en inglés). El reconocimiento químico se basa en la determinación de los tiempos de retención o de los índices de retención de cada analito separado en columnas con fases estacionarias polar y no polar [32,34]. Los índices de retención son importantes para la identificación tentativa de los componentes de una mezcla. Para lograr una identificación confirmatoria se requiere una técnica espectroscópica, *e.g.*, la espectrometría de masas y, preferiblemente, se requiere usar sustancias-patrón.

Para la caracterización de los AE, obtenidos de las plantas aromáticas estudiadas en este trabajo, se utilizó la cromatografía de gases con FID y con detector de espectrometría de masas (MSD, por sus siglas en inglés). Con el FID, se cuantificaron los componentes de los AE, mientras que el MSD se utilizó para la identificación de los componentes de los AE. Para esta identificación, se contó también con sustancias patrón y con bases de datos de espectros de masas especializadas, a saber: Adams, NIST, Wiley.

2.4.2 Cromatografía de gases-espectrometría de masas. La cromatografía de gases acoplada a espectrometría de masas aprovecha las ventajas ofrecidas por ambas técnicas. Mientras que la cromatografía de gases separa los componentes de una mezcla compleja, la espectrometría de masas permite ionizar y luego disociar cada uno de sus componentes en fragmentos, que ofrecen una valiosa información estructural, para identificación química de la sustancia [35].

El análisis de una muestra por GC-MS involucra los mismos pasos seguidos en la cromatografía de gases con detectores convencionales. La diferencia fundamental consiste en el tipo de información que ofrece esta técnica y que consiste en la obtención de espectros de masas de cada uno de los componentes. Los espectros de masas se consideran una “huella digital” de cada componente y permiten su identificación [35], en la mayoría de los casos, inequívoca.

El procedimiento consiste en inyectar la muestra al puerto de inyección del cromatógrafo; ésta pasa a través de la columna y sus componentes se separan. Posteriormente, éstos en el mismo orden de elución, se transportan a través de una línea de transferencia hasta la cámara de ionización del espectrómetro de masas, donde se ionizan con electrones de alta energía (70 eV), en el caso de la ionización por impacto de electrones (EI), para generar iones moleculares y sus fragmentos [36]. Tanto el ion molecular, como los fragmentos, se retiran de la cámara de ionización por medio de una serie de electrodos y se dirigen al analizador, que los separa de acuerdo con su relación masa/carga (m/z); luego, los iones separados llegan al detector, que por lo general es un electromultiplicador. El resultado final es un espectro de masas obtenido para cada componente de la mezcla; en el espectro se registran la abundancia relativa (%) de cada uno de los iones-fragmento formados en la cámara de ionización, medida por el electromultiplicador (detector), y sus relaciones m/z [36].

2.5 EL SUELO

El suelo es un factor de suma importancia para el crecimiento y el desarrollo de las plantas [37]. Éste es su soporte mineral, químico y biológico. En el suelo, sucede una variedad de procesos químicos y biológicos que le permiten a la planta acceder a los nutrientes necesarios para su crecimiento y desarrollo [38]. La composición elemental del suelo está representada principalmente por oxígeno, silicio y aluminio, que suman un 83% de su composición [39]. Aquellos elementos importantes para el crecimiento y desarrollo de las plantas se encuentran en menor cantidad y, de acuerdo con los requerimientos de las plantas, se clasifican en dos grupos: macroelementos y microelementos. Entre los primeros se encuentran los macroelementos primarios como nitrógeno (N), fósforo (P) y potasio (K), y los macroelementos secundarios como calcio (Ca), magnesio (Mg) y azufre (S). Entre los microelementos figuran boro (B), cloro (Cl), cobalto (Co), cobre (Cu), hierro (Fe), manganeso (Mn), molibdeno (Mo) y cinc (Zn) [40].

La biota del suelo comprende hongos, bacterias, actinomicetos y especies animales de diferentes tamaños, tales como la microfauna (tamaño < 0,1 mm; e.g., protozoos y nemátodos), la mesofauna (tamaño entre 0,1 y 0.2 mm; e.g., microartrópodos y *Enchytraeidae*) y la macrofauna (tamaño >2 mm; e.g., lombrices, termitas y miriápodos) [41]. Estos organismos cumplen un papel importante en el reciclaje de material orgánico, facilitan la degradación de compuestos y su mineralización, hasta hacerlos disponibles para la absorción por las plantas [42]; aunque, algunos de estos organismos pueden ser patógenos para plantas y animales [43]. Entre estos últimos, se encuentran los microorganismos entomopatógenos benéficos, que contribuyen a fortalecer la defensa de las plantas [44].

Con la integración de diversas técnicas recientes, metagenómica y la pirosecuenciación, provenientes de diferentes disciplinas científicas, desde la

biología molecular hasta la bioinformática, ha surgido un gran interés por el estudio de la relación entre la estructura de las comunidades de microbios y su función [45-47]. Por ejemplo, Bausenwein *et al.* [47], evaluaron la estructura de la comunidad microbiana de un suelo del sur de Alemania, mediante la determinación de la “huella digital” de ácidos nucleicos (DNA, criterio genotípico) y de ácidos grasos de fosfolípidos (criterio fenotípico). Estos criterios estructurales se relacionaron con las propiedades de la materia orgánica presente y se encontró una importante relación entre el índice de humificación (IH) y la cantidad y la calidad del agua extraíble de la materia orgánica (AEMO) con la “huella digital” de los ácidos grasos de fosfolípidos [47].

La mayor actividad microbiana del suelo se desarrolla en las zonas ubicadas alrededor de las raíces (hasta 0.3 mm, rizósfera), debido a que el exudado liberado por éstas, crea un ambiente rico en nutrientes, que favorece el crecimiento de microorganismos. Los microorganismos presentes en la rizósfera ayudan a la planta a fijar el nitrógeno presente en el aire del suelo; además contribuyen a disolver minerales y descomponer materia orgánica, facilitándole obtener sus nutrientes esenciales.

En la agricultura, los suelos cumplen una gran variedad de roles, todos muy importantes para asegurar la productividad de los cultivos, entre ellos figuran: soporte mecánico, hábitat para pequeños organismos, reserva de materia orgánica, fuente de elementos y reserva de agua, entre otras funciones [40].

Los suelos destinados al uso agrícola requieren un adecuado manejo para mantener los niveles de productividad, reducir el impacto sobre el ambiente, mejorar la calidad de los productos cosechados y disminuir el daño causado por plagas y enfermedades [48]. Existen por lo menos dos enfoques para el manejo de los suelos; el primero se inclina por la aplicación de fertilizantes sintéticos, monocultivo intensivo y arado mecánico, entre otras prácticas, conocido como la

llamada “revolución verde” [49]. El segundo enfoque, fundamentado en las corrientes de la “agricultura orgánica”, “agricultura limpia” y otras [50,51], promueve la utilización de abonos verdes, *compost*, intercalado de cultivo y su rotación, alelopatía, arado mínimo (e incluso sin arado) y manejo de la materia orgánica del suelo y de residuos de cultivos previos. Este enfoque ha tenido auge en los años recientes por varias razones; entre ellas, porque es ambientalmente “amigable”, permite reducir la necesidad de compra de fertilizantes, insecticidas y fungicidas sintéticos en el mercado y porque se obtienen productos “saludables”, “verdes”; además, se promueve a través de este enfoque la biodiversidad y se fortalece una economía justa [52-54]. Los productos obtenidos bajo estas prácticas de cultivo tienen un creciente mercado a nivel mundial y más altos precios [55].

2.6 INTERCALADO DE CULTIVOS

Mantener un cultivo adecuadamente para que su rendimiento de cosecha sea alta, requiere dedicar especial atención desde la propagación de las plántulas, su transplante, la adaptación y el mantenimiento, hasta la cosecha y postcosecha. Esto incluye un manejo adecuado del suelo, así como un plan integral para el control de las plagas y las enfermedades, que eventualmente pudieran afectar el cultivo [56].

Un cultivo puede darse bajo dos sistemas de siembra, éstos son: monocultivo e intercalado de cultivo. El primero consiste en la siembra de una sola especie en el área determinada. Este sistema fue promovido desde la década de los 60 con la llamada “Revolución verde”, y necesariamente requiere el uso de fertilizantes, pesticidas, etc. de origen sintético o semisintético, para proteger los cultivos del ataque de plagas y enfermedades [56].

El sistema de cultivo intercalado, usado de manera ancestral por comunidades campesinas e indígenas del trópico, y retomado recientemente por agricultores y científicos para su estudio [57,58], consiste en la siembra de más de una especie en una misma área de tierra.

Se han llevado a cabo varios estudios sobre intercalado de cultivos de diversas especies; entre éstos, se pueden dar algunos ejemplos, e.g., figuran el intercalado de árboles de caucho y té [8], geranio y menta [6], tomate y caléndula [4], menta y soja [9], matarratón y maíz [10], trigo y maíz [1], yuca y maíz [11] y trigo y arroz [2], entre muchos otros. La mayoría de estos estudios incluyen especies destinadas para la alimentación humana, como cultivo principal. Cuando se intercalan plantas aromáticas con otras especies, a menudo el interés no es la cosecha de la planta aromática *per se*, sino el posible beneficio que ésta pueda ofrecer a la otra especie (cultivo principal), por ejemplo, para el control de plagas y enfermedades o para aprovechar los posibles efectos alelopáticos [4].

Los estudios sobre intercalado de dos o más especies aromáticas son escasos. Se resalta el trabajo realizado por Rajeswara R. [6], quien estudió el cultivo intercalado de una especie aromática del género *Pelargonium sp.* con *Mentha arvensis*. Rajeswara R. encontró, bajo las condiciones experimentales evaluadas, que en el cultivo intercalado de estas especies se aprovecha mejor la tierra que cuando las mismas especies crecen como monocultivo. Para llegar a esta conclusión, el autor determinó índice de relación de equivalencia de tierra (RET) (que se explicará en la **Sección 4.6**), que fue igual a 1.41. Cuando este índice es mayor que uno, se considera ventajoso el intercalado de cultivo frente al monocultivo. Resultados semejantes encontraron Singh *et al.* en el cultivo intercalado de *Mentha arvensis* con *C. winterianus* (citronela) [59].

El cultivo intercalado ofrece ventajas frente al monocultivo, entre las que se mencionan: incremento de la biodiversidad del suelo [60]; incremento del

rendimiento a través de una mejor utilización de nutrientes del suelo y del agua [1,3,5]; reducción o incluso eliminación del impacto causado por pestes y enfermedades [4,5]; mejoramiento del control de insectos y plantas no deseadas, “malezas” [6,7]; el control más efectivo de la erosión [49]; disminución o eliminación de la necesidad de fertilizantes comerciales [3]; la reducción del riesgo de que el cultivo se arruine [18].

Algunas de estas ventajas del sistema de cultivo intercalado se deben a los efectos alelopáticos y a una protección adicional contra el ataque de pestes y enfermedades, la cual puede suceder mediante los tres siguientes mecanismos [5]:

- La asociación de especies hace que la calidad de hospedero de las plantas se vea reducida. Ésta se refleja en una disminución de la afinidad del depredador por las plantas cultivadas;
- El cultivo intercalado interfiere directamente sobre la actividad de los organismos atacantes, por ejemplo, a través de un efecto bactericida o fungicida;
- Un cambio en el ambiente natural puede atraer a los enemigos naturales de los organismos atacantes.

3. ESTADO DEL ARTE

3.1 PLANTAS AROMÁTICAS

Las siguientes plantas aromáticas, se estudiaron en el presente trabajo: *Lippia alba* (Mill.) N.E.Brown, *Lippia organoides*, *Pelargonium graveolens* y *Cymbopogon martinii*. Las plantas se escogieron por sus propiedades biológicas atractivas para diversos campos, por poseer rendimiento alto de AE y por el hecho de ser nativas [*Lippia alba* (Mill.) N.E.Brown y *Lippia organoides*]. Ninguna de estas especies ha sido estudiada bajo el sistema de intercalado, aunque hay suficientes reportes de las ventajas de intercalado sobre el monocultivo [6,61-64]. A continuación, se exponen algunos aspectos sobre cada una de las plantas en mención.

3.1.1 *Lippia alba* (Mill) N. E. Brown (“Pronto alivio”) es un arbusto aromático, que alcanza hasta 1.7 m de altura, de flores blancas o rosadas (de 3 a 5 mm), que pertenece a la familia Verbenaceae. Abunda en Sur y Centro América y también se cultiva en India y Australia. En Brasil, se le conoce principalmente como “Cidreira”, en España, como “Salvia morada” y en Colombia como “Pronto alivio”, entre otros nombres. Esta especie se caracteriza por su variabilidad, de ahí que se han establecido siete taxas intraespecíficas, a saber: *L. alba* f. *alba* Moldenke, *L. alba* f. *intermedia* Moldenke, *L. alba* f. *macrophylla* Moldenke, *L. alba* f. *scabra* Moldenke, *L. alba* var. *globiflora* (L’Hér.) Moldenke, *L. alba* var. *carterae* Moldenke y *L. alba* var. *lanceolata* (Griseb.) [65].

En la medicina ancestral, las hojas de *L. alba* se usan contra estados de excitación, hipertensión, náuseas, resfriados, como remedio contra la tos y la bronquitis, problemas digestivos y gastrointestinales [65], y sus raíces se emplean contra los resfriados y la tos [66]. *Lippia alba* (Mill.) N. E. Brown también se

emplea como sedante, contra las flatulencias y el dolor [67], como condimento, regulador de desórdenes menstruales y purgante [68]. En Colombia sus hojas se usan para calmar el dolor, contra problemas digestivos, para tratar diarrea y dolor estomacal y contra resfriados [69]. Son tantas las aplicaciones y el impacto de la *L. alba* en comunidades nativas y campesinas de Sur América, que en algunas investigaciones etnobotánicas esta planta ha sido clasificada entre las especies con mayor aceptación cultural como sedante (en el municipio San José de Pare, Boyacá, Colombia) [69], y entre las especies medicinales más citadas en dos comunidades de Bahía, Brasil [67,70].

Algunos estudios han proveído bases científicas para ciertos usos de la *L. alba* (Mill.) N.E. Brown por comunidades campesinas e indígenas, que han sido señalados arriba [68,71]. Verbigracia, bacterias responsables de infecciones respiratorias humanas como *Staphylococcus aureus*, *Streptococcus pneumoniae* y *Streptococcus pyogenes*, pueden ser inhibidas, *in vitro*, con preparados elaborados a partir de esta especie [68,71]. Así mismo, en *L. alba* se reporta actividades antiviral [68], analgésica [68], antiinflamatoria [68], anticancerígena [68], citostática [72] y anticonvulsionante [73]. Además, se ha descrito efecto sedativo de diferentes extractos de *L. alba* [68] y en el AE del quimiotipo “citral-mirceno” se encontró actividad contra diversas bacterias y hongos [73,74], así como efectos ansiolíticos en tres de sus quimiotipos (citral-mirceno, citral-limoneno y carvona-limoneno) [75].

Las generosas propiedades de la *L. alba* que hacen que esta especie se desborde en aplicaciones actuales y potenciales se deben principalmente a la diversidad en su composición química, que, a su vez, depende de variables ambientales, del origen de las plantas, del estado de desarrollo, de la parte de la planta y de los métodos de extracción utilizados.

Tanto es así, que sólo en relación a su AE, se han sugerido, por un lado, al menos doce quimiotipos diferentes, clasificados según el componente mayoritario del

aceite así: citral; linalol; carvona; limoneno; γ -terpineno; citral–mirceno; citral–limoneno; citral– β -cariofileno; citral–germacreno-D; carvona–limoneno; 1,8-cineol–alcanfor; 1,8-cineol–limoneno y limoneno–piperitona [73]. Por otro lado, se han sugerido al menos siete quimiotipos con algunos subtipos, a saber: quimiotipo I (citral, linalol y β -cariofileno como compuestos mayoritarios, con cuatro subtipos); quimiotipo II (con tagetenona); quimiotipo III (limoneno con variables cantidades de carvona y cetonas monoterpénicas como dihidrocarvona, piperitona, piperitenona (dos subtipos); Quimiotipos IV (mirceno), V (γ -terpineno), VI (alcanfor - 1,8-cineol) y VII (estragol) [76]. En Colombia, se han reportado tres quimiotipos: carvona, citral y un híbrido carvona/citral [17]. En el quimiotipo “carvona”, el contenido de la carvona en los extractos obtenidos por diferentes métodos, e.g., hidrodestilación, destilación-extracción simultánea con solventes, hidrodestilación asistida por la radiación de microondas o extracción con fluido supercrítico, se encuentra entre 40 y 60%, seguido de limoneno (24-37%), biciclosesquifelandreno (5-22%), piperitenona (0.8-1.2%) y β -bourboneno (0.6-1.5%) [13]. La carvona presente en el AE aislado de *L. alba*, que crece en Colombia es el isómero S [77].

La especie *L. alba* puede crecer en diversas condiciones agroecológicas; en altitudes hasta 1800 msnm y en suelos arcillosos, arenosos o limosos con pH entre 5 y 7.3, con el porcentaje en materia orgánica entre 2.43 y 8.56%, concentración de fósforo entre 2.3 y 97.1 ppm y de potasio entre 0.56 y 0.85 cmol/kg [78]. Además, la planta tiene alta adaptabilidad -medida como plasticidad fenotípica- en un amplio rango de concentraciones de nitrógeno en el suelo [79]. *L. alba* crece en Brasil espontáneamente, en suelos arenosos en las cercanías de ríos, lagos o charchas [73]. No obstante, esta planta crece mejor a altitudes ca. 1000 msnm [78], en suelos arcillosos [12], con pH neutro, con bajo porcentaje en materia orgánica y altos niveles de potasio y fósforo [78].

El rendimiento del aceite esencial por kg de masa vegetal de *L. alba* depende del material genético de partida, de las condiciones ambientales del medio de cultivo,

del método de extracción y de la parte de la planta utilizada. Rendimientos altos del aceite esencial (por masa vegetal) se obtienen frecuentemente cuando las condiciones de crecimiento son adversas (altas temperaturas, bajo contenido de materia orgánica en el suelo, alta luminosidad, entre otras), y ello sucede porque la planta produce intensamente metabolitos secundarios volátiles para contrarrestar su efecto, porque hacen parte de la defensa de la planta. Guzmán S. *et al.* [78] evaluaron el rendimiento de AE de *L. alba*, que se cultivó en dos condiciones ambientales diferentes, en el corregimiento de Villa Góngora, en el Departamento del Valle del Cauca y en Pereira, Departamento de Risaralda, Colombia. En Villa Góngora (más cálido, con mayor luminosidad y menor contenido de materia orgánica en el suelo), los autores encontraron mayor rendimiento de AE de *L. alba* (entre 0.5 y 0.7%), que en las plantas cultivadas en Pereira (entre 0.3 y 0.6%) [78]; y además, que durante la etapa de crecimiento vegetativo se produjo mayor rendimiento de AE (0.3-0.6%) que durante la etapa de floración (0.15-0.40%) [78]. Sin embargo, en el CENIVAM se encontraron resultados opuestos: durante la etapa de floración el rendimiento fue mayor (0.4-6%, p/p) que en la etapa de crecimiento vegetativo (0.2-0.3%, p/p), a diferentes intensidades lumínicas [21]; posiblemente, por las diferencias en las condiciones ambientales de los cultivos.

3.1.2 *Lippia origanoides* H. B. K. (“Orégano de monte”) es un arbusto aromático con olor a orégano en la mayoría de los quimiotipos, muy ramificado, con tamaño de hoja muy variable, según condiciones ambientales, con frutos pequeños que contienen semillas color café, no mayores de 0.25 mm, que alcanza una altura máxima de 3.5 m [80] y crece desde 10 msnm hasta 1417 msnm [81]. La *L. origanoides* es nativa de Centro América (México, Guatemala y Cuba) y del norte de Sur América (Colombia, Brasil y Venezuela). En Colombia, se le conoce como “orégano de monte” u “orégano criollo”; la planta habita en las zonas semiáridas de la Guajira, Magdalena, Cauca, Cundinamarca, Norte de Santander

y Santander [81,82]; en este último, principalmente, en el Cañón del Río Chicamocha. En el Estado de Pará, Brasil, sus hojas y flores son usados en la medicina popular en infusiones para el tratamiento de dolores estomacales, cólicos de bebés, indigestión, diarrea, ardor estomacal, flatulencias, derrames y complicaciones menstruales, fiebre y como antiséptico general para la boca, la garganta y las heridas [83]. En Venezuela, las decocciones de *L. origanoides* se toman para estimular el apetito. En Sur y Centro América, en África Tropical y en algunos países de Europa las decocciones e infusiones se toman contra problemas gastrointestinales y, en Colombia, esta especie se usa como expectorante en afecciones bronquiales y pulmonares, se recomienda contra el asma, la tos de los tuberculosos, como estomáquico, antiespasmódico y emenagogo [81]. En México, la *L. suaveolens*, presumiblemente conoespecífica de la *L. origanoides*, se utiliza como condimento; grandes cantidades de esta planta se exportan a los Estados Unidos [80]. La *L. origanoides* encontrada en Colombia se propaga exitosamente por estaca, tiene buena adaptación al estrés, las plantas no son susceptibles a chinches de encaje, que suelen atacar vigorosamente a la *L. alba* [80].

Los metabolitos secundarios presentes en esta especie dependen de su quimiotipo, del origen del material vegetal, las condiciones ambientales, el estado de desarrollo y de la parte de la planta, así como del método de extracción. Stashenko *et al.* [84] diferenciaron tres quimiotipos que crecen en diversas regiones de Colombia, con base en la composición del aceite esencial y su análisis de componentes principales (PCA): quimiotipo I (olor "cítrico"), rico en los monoterpenos *p*-CIMENO (ca. 12%), α -felandreno (ca. 8%), β -felandreno (ca. 6%), limoneno (ca. 5%) y 1.8-cineol (ca. 4%), y en los sesquiterpenos *trans*- β -cariofileno (ca. 9%), α -humuleno (ca. 5%), óxido de cariofileno (ca. 3%) y α - y β -eudesmolos (ca. 3.5%). El quimiotipo II (olor a "orégano"), rico en carvacrol (ca. 40%), *p*-cimeno (ca. 13%), γ -terpineno (ca. 11%) y timol (ca. 11%), fue encontrado también en el Estado de Piauí, Brasil [carvacrol (33.5-42.9%), *p*-cimeno (11.9-15.8%) γ -

terpineno (8.0-10.5%), timol (5.1-8.4%) y metil timol (6.1-8.7%)] [85], y en Oriximaná, también en Brasil [carvacrol (38.6%), timol (18.5), *p*-cimeno (10.3%) y (*E*)-cariofileno (5.9%)] [86] y en Colombia, (carvacrol (36,6%), *p*-cimeno (14,0%), γ -terpineno (13,3%), timol (9,1%) y α -terpineno (3,8%) [87]; y el quimiotipo III (olor a “orégano”), con alto contenido de timol (ca. 56%), *p*-cimeno (ca. 9%) y γ -terpineno (ca. 5%), fue descrito también previamente en Colombia (timol (54-66%), *p*-cimeno (7-10%), γ -terpineno (4.4-7.3%) y *trans*- β -cariofileno, 2.4-4.3%) [82,88,89] y en Venezuela (timol, 45-62%) [90]. En el Cañón del Río Chicamocha, Colombia, se recogió un espécimen de *L. origanoides* (identificado como COL515290), quimiotipo timol, con alta proporción de carvacrol (atípica), no reportado previamente [timol (34.5%), carvacrol (25.8%), *p*-cimeno (9.3%) y γ -terpineno (9.1%)] [82]; así mismo, en Los Santos (Santander), Colombia, se colectó una muestra de *L. origanoides* (COL 516294) con alto contenido de *trans*- β -cariofileno (11.3%), *p*-cimeno (11.2%), α -felandreno (9.9%) y limoneno (7.2%) [89], que fue sugerido por los autores como un nuevo quimiotipo, al que denominaron “cariofileno”. De esta manera, fueron descritos al menos cuatro quimiotipos de *L. origanoides* con componentes mayoritarios felandreno, carvacrol, timol y cariofileno, respectivamente. Dependiendo de las condiciones de cultivo, las proporciones de estos componentes pueden variar en la planta

La actividad biológica de *L. origanoides* parece inagotable, gracias a la composición de su metabolitos secundarios (principalmente carvacrol y timol). Su aceite esencial presenta actividad bacteriostática en *Escherichia coli*, *Salmonella tiphymurium* y *Staphylococcus aureus* [91] y en especies de bacterias *Nocardia spp* (gram positivas), frecuentes en suelos ricos en materia orgánica y patógenos de animales y humanos [92]. Además, el AE tiene actividad inhibitoria contra el virus de la fiebre amarilla, transmitida a humanos por picaduras de mosquitos (*Aedes* o *Haemagogus*) [93] y contra promastigotes de *Leishmania chagasi* (gracias a la presencia de compuestos fenólicos) [94]. Este aceite repele *Sitophilus zeamais*, gorgojo del maíz, debido posiblemente a la presencia de timol, que es un

insecticida biológico [95]; también reduce el impacto de *Spongospora subterranea* (agente causante de la sarna polvorienta de la papa) en el rendimiento en cultivos de papa [96] y es activo contra *Rhizoctonia solani* y *Bipolaris maydis* (patógenos del maíz) [97] y *Sclerotium cepivorum* (causante de la pudrición blanca de la cebolla) [98]. Este AE también presenta actividad anti-protozoaria [94]; antimicótica *in vitro* contra cepas de *Candida* y *Aspergillus* [99]; antimicrobial (hongos y bacterias), gracias a la presencia de carvacrol y timol [86] y la toxicidad aguda contra *Artemia franciscana* [88]. Así mismo, el AE de *L. origanoides* es activo contra cepas bacterianas de *Pseudomonas aeruginosa* ATCC 27853, *Staphylococcus aureus* ATCC 33591, *Bacillus cereus* ATCC 11778, *Salmonella typhimurium* ATCC 13311, *Escherichia coli* y *Salmonella gallinarum*, por lo que puede ser utilizado para el desarrollo de nuevas drogas con poder antibacteriano [100], aunado al hecho de que no presentó toxicidad contra células Vero (haciéndolo apto para el consumo humano) [94]. Igualmente, este aceite muestra efecto protector del DNA (antigenotoxicidad) contra la genotoxicidad inducida por bleomicina, gracias a la presencia de carvacrol y timol, que son responsable por este efecto [82]; y tiene propiedad antioxidante, medida como capacidad de captura de radicales [91,101], ésta se debe principalmente a la presencia de compuestos fenólicos.

Las infusiones, decocciones y algunos extractos de *L. origanoides* también tienen propiedades biológicas. Por ejemplo, infusiones de hojas (2 mg/mL) muestran actividad contra el crecimiento de *Escherichia coli*, *Enterobacter aerogenes*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Staphylococcus aureus*, *Salmonella typhi.*, *Shigella flexneri*, *Streptococcus pneumoniae* y *S. pyogenes* [102]; sus decocciones muestran actividad anti-protozoal contra *Giardia intestinales* [102] y los extractos etanólicos de *L. origanoides* alcanzan a inhibir el crecimiento del micelio del hongo *Fusarium oxysporum*, causante del Mal de Panamá en bananos, hasta en un 95% [103].

3.1.3 *Pelargonium graveolens* (“Geranio”), se conoce en Colombia como geranio, es un sub-arbusto ornamental nativo de Sur África [104,105], con olor a rosa, de flores blancas a rosadas, hojas dentadas e irregulares, que alcanza hasta 1 m de altura. Esta especie se propaga por esquejes, crece en suelos de poca porosidad, bien drenados, ricos en materia orgánica, con pH entre 5.5-6.0 y en altitudes entre 1000 y 2400 msnm. En el norte de Sur África crece de manera silvestre y en la India en regiones montañosas (como un cultivo perenne) y llanas (como un cultivo anual), semiáridas y subtropicales con máxima temperatura entre 40-47°C [106]. En climas húmedos y con fuertes lluvias no crece exitosamente debido a la proliferación de hongos patógenos [107]. En India, a *P. graveolens* la atacan hongos como *Rhizoctonia solani*, *Fusarium oxysporum* var. *Redolens*, *Alternaria alternata*, *Colletotrichum gloeosporioides* y *Colletotrichum acutatum*, que causan daños severos en geranio [107]. En la medicina popular esta especie se usa como antiinflamatorio y contra infecciones generales (en Brasil) [108], para tratar el mal humor, la ansiedad y la tristeza [109], y las infusiones y decocciones se emplean para controlar la conjuntivitis [110]. En la isla Reunión, Madagascar, Egipto y China, *P. graveolens* se cultiva para obtener aceite esencial, muy usado en la industria cosmética, industria de saborizantes, para la elaboración de fragancias y en la aromaterapia para calmar problemas manopáusicos [111,112]; además, para obtener “rhodinol comercial” (mezcla de citronelol, geraniol y otros alcoholes), utilizado para elaboración de perfumes de alto valor [111].

El AE de *P. graveolens* es una mezcla de ca. 120 monoterpenos, sesquiterpenos y otros compuestos volátiles de bajo peso molecular [113]. Según el origen geográfico, las condiciones de cultivo y los métodos de extracción, su composición varía. Existen tres tipos de AE de *P. graveolens* comerciales, según su origen: tipo Bourbon (producido en la isla Reunión) o tipo Reunión, con 19-21% de citronelol, 16-19% de geraniol y 7-10% de linalol; tipo africano, producido en Marruecos,

Egipto o Argelia, con 31-33% de citronelol, 13-15% de geraniol y 5-6% de linalol, y tipo chino, con 38-40% de citronelol, 7-10% de geraniol y 2-3% de linalol [114].

Los AE de Egipto y de Reunión difieren del AE de China en que éstos tienen mayores proporciones de geraniol y linalol, y en que contienen los sesquiterpenos 6,9-guaiadieno y 10-*epi*- γ -eudesmol, ausentes en el AE tipo chino. Otra diferencia entre estos AE es mayor contenido del citronelol en el AE de China, en comparación con los AE de Egipto o Reunión. El AE tipo africano puede distinguirse por la presencia de 10-*epi*- γ -eudesmol (4-5%); y por su parte, el AE de geranio tipo Reunión puede distinguirse por la presencia del 6,9-guaiadieno (5-7%) [114] y de cantidades inusuales de tetrahidropiranos [113]. Pese a estas diferencias encontradas en la composición del AE, los componentes mayoritarios (entre el 60 y 70%) del AE de geranio son citronelol, geraniol, linalol y sus respectivos ésteres, e igualmente, los terpenos isomentona, mentona, nerol, óxido de *cis*-rosa y óxido de *trans*-rosa, α -terpineol, α -pineno, mirceno y β -felandreno, que se encuentran en menor proporción [115].

La composición de los AE de otras regiones suele parecerse a algunas de las clasificaciones anteriores (tipo Bourbon, africano o chino). Así, en Italia, el AE obtenido por extracción con vapor de agua, de partes aéreas de las plantas cultivadas, contiene citronelol (47.3%), geraniol (9.1%), linalol (8.81%) y *epi*-zonaleno (6%) [116]. Por su parte, en Israel, en un suelo arcilloso y con irrigación por goteo, el AE de *P. graveolens* obtenido por destilación con vapor de agua rindió citronelol (26%), formiato de citronelilo (16%), linalol (10%) y geraniol (8%) [117]. El AE obtenido por destilación con vapor de agua de partes aéreas de plantas cultivadas en el norte de India contiene citronelol (25.6%), geraniol (20.8%), linalol (11.9%), formiato de citronelilo (8.0%) e isomentona (7.6%), similar al producido en el sur de India, salvo que la proporción de linalol en el sur es significativamente menor (6.7%) [118]. De los tres tipos de AE, el Bourbon es el de calidad más alta y es más costoso, mientras que el tipo chino es el más

consumido, con el 61% de la participación en el mercado mundial [114]. Los mayores importadores de AE de *P. graveolens* son Francia y Estados Unidos [119].

La actividad biológica del AE de *P. graveolens* es prolífica. Tiene actividad contra hongos, bacterias e insectos. En hongos, el AE muestra actividad *in vitro* e *in vivo*, contra cepas de *Fusarium spp*, causantes de la pudrición de las raíces del comino (*Cuminum cyminum L.*), reduce ca. 50% del impacto de éstos en las plantas [120]. En los patógenos *Lasiodiplodia theobromae* y *Colletotrichum musae*, causantes de la pudrición de la corona en el banano, previene completamente su crecimiento micelial e inhibe la actividad de las enzimas celulolíticas y pectinolíticas producidas por estos hongos *in vitro* [121]. El AE también tiene actividad contra *Aspergillus niger* y *Saccharomyces cerevisiae* [122] e inhibe el crecimiento de los hongos *Trichoderma viride*, *Penicillium chrysogenum* y *Aspergillus niger* hasta por 20 semanas [123]. Incluso, en dos cepas toxigénicas de *Aspergillus flavus*, este AE presentó toxicidad (la concentración mínima inhibitoria ca. 0.75 gL^{-1}), actividad fungistática superior a la de algunos fungicidas sintéticos e inhibió completamente la producción de aflatoxina B [124]. En cepas de *Candida*, este AE muestra interacción sinérgica con nistatina, un fungicida comercial [116], y con anfotericina B, un antibiótico y antifúngico [125].

En bacterias, el AE de *P. graveolens* cultivado en África (tipo africano) muestra actividad contra *E. coli*, y *Staphylococcus aureus* [122] y el cultivado en Irán (con 45% de citronelol) presenta actividad contra *P. aeruginosa* [126]; no obstante, el AE de *P. graveolens* cultivado en África no exhibe actividad contra *Pseudomona aeruginosa* [122]. La diferencia en la actividad contra esta bacteria se le puede atribuir a las diferencias en la composición de los AE. En la especies bacterianas *Bacillus cereus* ATCC 11778, *Staphylococcus Aureus* ATCC 6538 y *Staphylococcus aureus* ATCC 29213, el AE presenta sinergismo con el antibiótico norfloxacin, frecuentemente utilizado contra infecciones de tracto urinario [127].

Tanto el AE de *P. graveolens* como algunos de sus componentes mayoritarios tienen actividad acaricida [128,129]. Cuando el EA se aplica directamente, 100% de ácaros *Dermanyssus gallinae* mueren [130]. Jeon *et al.* [131] encontraron actividad acaricida en el geraniol, nerol y neral, extraídos del AE de *P. graveolens*, contra ácaros presentes en alimentos almacenados, *Tyrophagus putrescentiae*, compararon su actividad con benzoato de bencilo (un acaricida comercial) y observaron mayor efectividad de estos compuestos en comparación con el acaricida comercial [131]. Igualmente, geraniol y citronelol, aislados del AE de *P. graveolens*, poseen actividad contra los ácaros *Dermatophagoides furinae* y *D. pteronyssinus*, superior a la de acaricidas sintéticos como benzoato de bencilo y N,N-dietil-*m*-toluamida (DEET) [132].

El AE también tiene actividad insecticida por aplicación tópica contra larvas de *Spodoptera littoralis* (DL50 =0.054 µL/larva), plaga del tomate, pimiento y la sandía [133]; exhibe repelencia mayor del 50% contra niguas (*Leptotrombidium imphalum* y *Vercammen-Grandjean*) vectores de la “tifus de los matorrales”, una enfermedad frecuente en Asia, provocada por la bacteria *Rickettsia tsutsugamushi* y caracterizada por la erupción de la piel y dolor de cabeza [134,135]; y extractos de *P. graveolens* son repelentes de cucarachas (*Blatella germanica*) y de la mosca doméstica [136].

3.1.4 *Cymbopogon martinii* (“Palmarrosa”) es una especie originaria de India, donde crece en climas subtropicales y tropicales y suelos semiáridos y franco-arenosos [137-139], en espacios con alta o baja iluminación (como bajo denso dosel de árboles) [140]. Se puede propagar por semillas, alcanzando alturas máximas entre 1.5-2.5 m, y su cosecha se puede realizar una semana después de florecida, de 3 a 5 cosechas por año.

En la etnobotánica, esta planta se usa para calmar el dolor ocasionado por el reumatismo (en forma de engrudo, de aplicación tópica); contra el malestar estomacal en niños (sus hojas); en el tratamiento de fiebres, resfriados, como diurético (sus decocciones) [141] y antiséptico [142] y como estimulante para el crecimiento del cabello [143]. Esta planta también se emplea para preparar tinturas [142] y repeler insectos [141,142,144] y su AE es utilizado para curar enfermedades de la piel [141].

En la industria, el AE de *C. martinii* se emplea como aromatizante del tabaco, en la preparación de jabones y bases para perfumes y cosméticos, y como materia prima para la obtención de geraniol, que se usa ampliamente en la perfumería [145].

Se han identificado dos variedades de *C. martinii*, motia y sofía, las cuales son morfológicamente indistinguibles, pero con diferentes constituyentes en sus respectivos AE. La primera variedad, motia, rinde AE ca. 1.2%, y sus componentes mayoritarios son geraniol (>60%) y acetato de geranilo (<30%); y la segunda variedad, sofía, rinde ca. 0.6%, y posee geraniol ca. 12.8% y citral ca. 3.6%, que son componentes mayoritarios [146].

C. martinii, variedad motia, es la más cultivada para la producción de AE para el mercado. El rendimiento del AE y su composición química dependen de diversos factores, tales como la parte de la planta utilizada para la extracción, el nivel de nutriente e irrigación del suelo, condiciones climáticas y riqueza microbiológica del suelo. En diferentes partes de las plantas, cultivadas en el sur de India y en clima tropical, Rajeswara R. *et al* [147] encontraron, diferencias en el rendimiento: en la hojas laminares, 1.4%; en las hojas que recubren los tallos, 0.3%; en las inflorescencias, 2.0% y en la biomasa total 0.7%. Además, encontraron que 17 componentes representaron más del 95% del AE, con los siguientes compuestos mayoritarios: geraniol (70.1-85.3%), acetato de geranilo (4.3-14.8%), (E)- β -

ocimeno (1.2-4.3%), (*E,Z*)-farnesol (1.6-3.4%) y linalol (0.8-2.0%). En términos relativos, el AE, presente en la biomasa total, fue rico en linalol, los AE de hojas laminares y de las hojas que cubren el tallo tienen alto contenido de geraniol, mientras que en el AE de las inflorescencias, (*E*)- β -ocimeno y acetato de geraniol, fueron componentes abundantes [147]. En el sur de India, en un clima semiárido tropical y en suelo franco arenoso y con irrigación, Singh M. [138] encontró en cultivos de *C. martinii*, que a mayor cantidad de nitrógeno ($200 \text{ kg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$) y potasio ($123 \text{ kg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$) aplicado al suelo, se logra el mayor rendimiento de AE de *C. martinii*.

Singh M. y Sharma S. [139] también evaluaron la fertilización con N (0, 100 y $200 \text{ kg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$), junto con tres niveles de irrigación (profundidad de la irrigación/evaporación diaria acumulada = 0.25, 0.50 y 0.75) y encontraron un incremento en el rendimiento del AE con la irrigación y el nivel de fertilización, con un aumento máximo de 373% en el rendimiento en AE a $200 \text{ kg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ de N y 0.75 de irrigación, respecto al rendimiento sin aplicación de N de fertilización y a 0.25 de irrigación. Sin embargo, en relación al nivel de irrigación, Singh S. *et al.* [137] encontraron en el norte del India, en un suelo franco arenoso (72.5% de arena, 17.25% de limo y 10.25% de arcilla), en el clima subtropical, el rendimiento máximo del AE ($227.3 \text{ kg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$) a una irrigación de 0.5 (profundidad de irrigación/evaporación diaria acumulada), y a niveles de irrigación más altos (0.7-1.3) un efecto adverso y la disminución del rendimiento, pero sin afectar la calidad del AE, en cuanto al contenido de geraniol y acetato de geraniol [137].

Ratti N. *et al.* [148] lograron en *C. martinii* incrementar el rendimiento del AE y la cantidad relativa de geraniol presente en el aceite (>90%), inoculando el suelo con microorganismos tales como micorrizas, bacterias solubilizadoras de fosfatos y bacterias fijadoras de N_2 , conjuntamente con enmiendas de fosfato tricálcico. Con diferentes distancias entre surcos (30x30, 30x45 y 30x60 cm), Patra D. D. *et al.* [149] consiguieron resultados idénticos con el rendimiento en biomasa y en el AE,

observando su incremento con menor espaciado entre surcos (30x30 cm, 80.71 kg ha⁻¹; en 30x45 cm, 70.3 kg ha⁻¹ y en 30x60, 56.0 kg ha⁻¹).

Otra manera de aumentar la cantidad de AE en plantas de un cultivo, es recuperar el AE disuelto en las aguas residuales de la extracción (hidrolato). Rajeswara R. *et al.* [150] desarrollaron un método de recuperación del AE a partir de hidrolato, luego de la destilación de palmarrosa, mezclándolo con hexano (10:1), con agitación fuerte durante 30 min, seguido de la separación de la fase orgánica y evaporación del hexano, obteniéndose así AE “secundario” o el aceite recuperado. El AE primario o decantado corresponde a un 92% y el AE “secundario” o recuperado corresponde a un 8%. El AE “secundario” fue rico en geraniol (91.8-92.8%), linalol (2.6-3.8%) y geranial (1.8-2.0%); mientras que el AE primario contenía geraniol (78-85%), acetato de geranilo (2.9-12.0%), linalol (2.2-2.4%) y (E)- β -ocimeno (1.3-1.6%) [150].

El AE de *C. martinii* tiene múltiples propiedades biológicas. Posee actividad repelente contra los coleópteros presentes en los granos almacenados (*Callosobruchus chinensis* y *Tribolium castaneum*), y puede ser potencialmente usado para el manejo integrado de plagas, como alternativa a los insecticidas sintéticos [151]. Además, este AE también posee acción repelente contra el mosquito *Anopheles sundaicus*, vector de la malaria en la isla Andaman y Nicobar de India, protege, con su aplicación, contra picaduras (ca. 97%), durante 12 horas [152]. El AE posee también actividades bactericida [153-155], antitelmíntica [156] y antifúngica [157-159],

4. METODOLOGÍA EXPERIMENTAL

4.1 ESTABLECIMIENTO DE CULTIVOS

Los cultivos experimentales en sistema intercalado y monocultivo de las plantas aromáticas de *L. alba*, *L. origanoides*, *C. martinii* y *P. graveolens* requeridos para el desarrollo del presente trabajo, se establecieron en las instalaciones del Centro Nacional de Investigaciones para la Agroindustrialización de Especies Aromáticas, Medicinales Tropicales (CENIVAM), en un lote ubicado en la planta de compostaje de la Universidad Industrial de Santander, que se adecuó para este propósito (Véase Figura 2).



Figura 2. Lote destinado para la implementación de los cultivos experimentales, ubicado al lado izquierdo de la entrada a la planta de compostaje de la Universidad Industrial de Santander (15/03/2010; Foto: Raúl Rodríguez).

En el proceso de implementación de los cultivos experimentales se desarrollaron las siguientes etapas: diseño experimental, propagación de material vegetal y mantenimiento de cultivos, que se describen a continuación.

4.1.1 El diseño de experimento giró en torno a dos objetivos, a saber: a). Dilucidar el tipo de efecto del intercalado de las especies *L. alba*, *L. origanoides*, *P. graveolens* y *C. martinii* sobre el rendimiento y la composición de los AE; b). Distribuir uniformemente los efectos de las interferencias (e.g., el régimen de lluvias, la temperatura ambiente, la humedad relativa, la intensidad lumínica y las propiedades fisicoquímicas y biológicas del suelo) sobre las 4 especies bajo estudio. Se buscó que las plantas estuvieran en las mismas condiciones, excepto por la identidad de la especie cultivada en su vecindario, que es la variable independiente cuyo efecto se examinó.

El diseño experimental adoptado consistió en combinar pares de especies de las plantas aromáticas bajo estudio (relación 1:1), en sistema de cultivo intercalado, en una huerta experimental de 5 x 5 m (Ver plano de la huerta experimental, **Figura 3**). Para cada par de especies intercaladas (A y B) se tuvo una huerta testigo A (bajo monocultivo), una huerta testigo B (bajo monocultivo) y una huerta intercalada entre surcos de las especies A y B, con sus respectivas réplicas (n=3). Todas las huertas se sometieron a los mismos tratamientos, excepto el tipo de sistema de cultivo (monocultivo o intercalado), ya que éste fue el objeto del estudio.

Se escogió el intercalado entre surcos debido a su facilidad de cosecha, que evita el mezclado del material vegetal de las dos especies y, por tanto, es más adecuado para instaurar en cultivos comerciales, similares a los que se desarrollan en el municipio de Socorro, Santander.

La combinación de todas las especies entre sí, con sus respectivos testigos, fue distribuida en 10 huertas experimentales. A este conjunto de huertas se le denominó “bloque experimental”, y se implementaron tres réplicas. En total, se prepararon 30 huertas de 5 x 5m, en 750 m². La **Tabla 1** ilustra la forma en que se combinaron los cultivos de plantas aromáticas, así como el número de plantas de cada especie, sembrada en cada huerta experimental. La compatibilidad de un intercalado (AxB) se evaluó comparando las variables respuestas de este intercalado con las mismas variables respuestas de los cultivos A (monocultivo) y B (monocultivo).

Las huertas experimentales se ubicaron aleatoriamente en el área de cultivo (750 m²) contiguas entre sí. El arreglo escogido redujo el impacto diferenciado de las condiciones ambientales (*e.g.*, el régimen de lluvias, la temperatura ambiente, la humedad relativa, la intensidad lumínica y las propiedades fisicoquímicas y biológicas del suelo) sobre las huertas experimentales. Adicionalmente, se accedió a los registros del régimen de lluvias, la temperatura ambiente, la humedad relativa, la radiación solar, las precipitaciones y la presión atmosférica que reportaba diariamente la subestación meteorológica de la Corporación Autónoma Regional para la Defensa de la Meseta de Bucaramanga (CDMB), localizada en la terraza del Hospital Local del Norte, cerca a la sede principal de la UIS.

La huerta experimental se dividió en dos zonas: (1) de muestreo y (2) de frontera. La zona de muestreo se situó en el centro de la huerta, separada del exterior por dos hileras de plantas, y se denominó como zona de frontera (borde). El número de plantas sembradas en la zona de muestreo se presenta en la **Tabla 1**. De la zona de muestreo se tomó la muestra de material vegetal, a partir de plantas escogidas aleatoriamente, para evaluar el rendimiento y la composición del AE.

Las distancias de siembra, entre surco y dentro del surco, para cada una de las especies se presentan en la **Tabla 2**. El espacio de siembra en el cultivo intercalado se escogió de acuerdo con los requerimientos de cada especie.

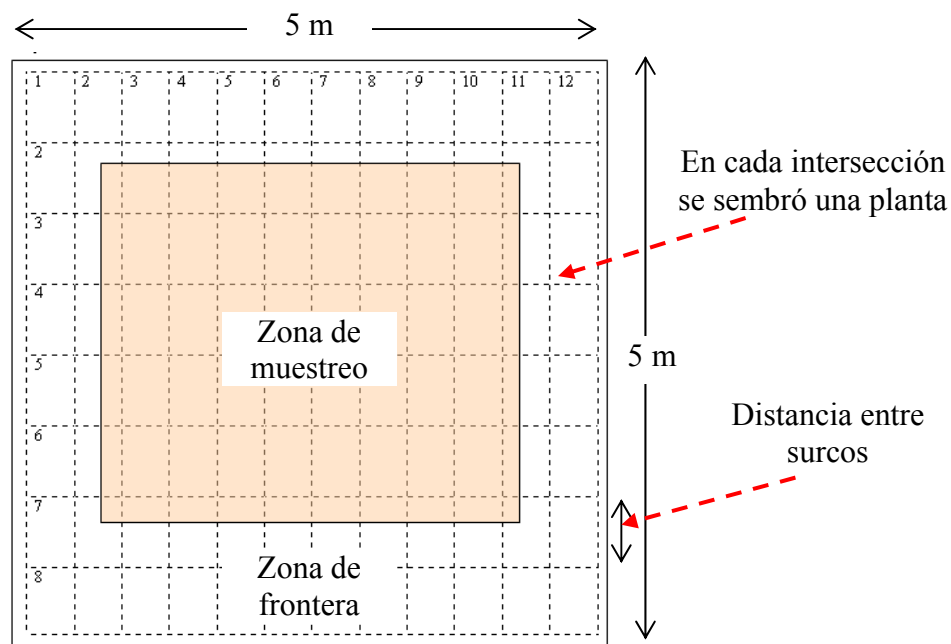


Figura 3. Plano de la huerta experimental.

Las variables-respuesta para cada experimento fueron las siguientes: rendimiento, expresado como material vegetal (MV) producido por planta (g de MV/planta), % p/p de AE/MV, cantidad de AE obtenido por planta (g de AE/planta) y cantidad de aceite esencial producido por hectárea (kg de AE/ha); composición del aceite esencial extraído y eficiencia del intercalado de cultivos, el cual se evaluó con base en la relación de equivalencia de tierra (RET) [160], definido en la **Sección 4.6**.

Tabla 1. Número de plantas de cada especie sembradas en huertas, por bloque experimental.

Especie	Huerta experimental: Números de plantas									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
<i>L. alba</i>	117				59	59	59			
<i>L. origanoides</i>		143			58			72	72	
<i>Pelargonium graveolens</i>			169			58		71		72
<i>C. martinii</i>				143			58		71	71
Número total de plantas, por huerta	117	143	169	143	117	117	117	143	143	143
Número de plantas de muestreo	45	63	81	43	43	43	43	63	63	63

Tabla 2. Distancias de siembra de las plantas bajo estudio.

Planta aromática	Distancia entre plantas dentro del surco, cm	Distancia entre surcos, cm
<i>L. alba</i>	40	60
<i>L. origanoides</i>	40	50
<i>P. graveolens</i>	40	40
<i>C. martinii</i>	40	50

Tabla 3. Densidad (plantas/ha) de cada una de las especies, en los sistemas de cultivo estudiados.

Sistema de cultivo	Densidad (plantas/ha)			
	<i>L. alba</i>	<i>L. origanoides</i>	<i>P. graveolens</i>	<i>C. martinii</i>
<i>L. alba</i>	41667	---	---	---
<i>L. origanoides</i>	---	50000	---	---
<i>P. graveolens</i>	---	---	62500	---
<i>C. martinii</i>	---	---	---	50000
<i>L. alba-L. origanoides</i>	20833	20833	---	---
<i>L. alba-P. graveolens</i>	20833	---	20833	---
<i>L. alba-C. martinii</i>	20833	---	---	20833
<i>L. origanoides-P. graveolens</i>	---	25000	25000	---
<i>L. origanoides-C. martinii</i>	---	25000	---	25000
<i>P. graveolens-C. martinii</i>	---	---	25000	25000

4.1.2 La propagación del material vegetal se realizó partir de esquejes y semillas obtenidas de plantas identificadas en el Herbario Nacional Colombiano del Instituto de Ciencias Naturales (UN, Bogotá). Los esquejes de cada una de las especies bajo estudio se obtuvieron de la siguiente manera: *L. origanoides*, de plantas recolectadas en la parte baja del Cañón del río Chicamocha (**Véase Figura 4**); *L. alba*, de plantas cultivadas en el CENIVAM y *P. graveolens*, por compra directa de esquejes a pequeños productores de la periferia de Bucaramanga. *C. martinii* se propagó a partir de semillas certificadas, importadas, de la empresa B&T World seeds (París, Francia). El suministro del material vegetal para cada una de la especies se mantuvo hasta que las huertas experimentales

fueron completamente implementadas y para evitar sesgos en los resultados por diferencias en su origen.

El CENIVAM posee estandarizada la metodología para la propagación del material vegetal a partir de esquejes, que ofrece porcentajes de viabilidad ca. 80%. Se siembran los esquejes en una mezcla de tierra-arena, sobre bandejas con capacidad para 50 esquejes, que se ubican dentro de un vivero, bajo condiciones controladas de temperatura y humedad relativa (**Véase Figura 5**). Los esquejes permanecieron en vivero de 3 a 5 semanas y luego se trasladaron a las huertas experimentales, donde se sembraron en un orificio de ca. 20 cm de diámetro por 20 cm de profundidad, con una mezcla de tierra-abono (ca. 1000 g de abono orgánico).

4.1.3 Cuidado y mantenimiento de los cultivos. Los cultivos experimentales tuvieron una duración de 18 meses, ello, para tener en cuenta las diferentes temporadas climáticas. Para evitar el estrés hídrico durante las épocas de verano, se contó con un sistema de aspersión que garantizó agua durante todas las épocas del año y en la misma cantidad en todas las huertas. Luego de que los cultivos fueron implementados y desarrollados, se procedió a nivelar el crecimiento de las plantas mediante el cosechado simultáneo. Este momento se consideró el punto de inicio de los experimentos.



Figura 4. Plantas de *L. origanoides*, en la parte baja del Cañón del río Chicamocha (29/07/2009; Foto: Raúl Rodríguez).



Figura 5. Propagación de material vegetal en el vivero de CENIVAM-UIS (15/06/2009; Foto: Raúl Rodríguez).

Con el objetivo de procurar unas condiciones homogéneas en todas las huertas, objeto de este estudio, el suelo de las diferentes huertas experimentales se trató bajo el esquema procedimental de las Buenas Prácticas Agrícolas (BPA) [50], *i.e.*, con construcción de drenajes para evitar inundaciones del área de siembra; subsolado mínimo presiembra (adecuación del suelo para la siembra); deshierbe manual alrededor de la planta (radio ≤ 15); con siembra de plántulas con adición de abono (dosis fija), elaborado bajo una metodología estandarizada en el CENIVAM, y con aplicación de cobertura muerta para protección de las plántulas de cambios bruscos de las condiciones ambientales.

Durante el proceso de adaptación de los cultivos se aplicaron dosis de biofertilizantes y biocidas (bioinsecticidas, fungicidas, hongos entomopatógenos) cada 15 días (durante 45 días), y después de ello sólo bajo recomendación del especialista (ingeniero agrónomo Carlos Ávila, Sociedad de Agricultores de Santander) en manejo de cultivos orgánicos, con que cuenta el CENIVAM (3 dosis por año). Las plántulas que no superaron el periodo de adaptación, se sustituyeron por otras, hasta que las huertas quedaron completamente copadas.

Después de la cosecha del material vegetal de las plantas cultivadas en las huertas experimentales, se procedió nuevamente a subsolar, adicionar abono a cada planta (*ca.* 500 g), deshierbar y guadañar, así como adicionar biofertilizantes y biocidas, como se realizó en la primera etapa del cultivo.

Estos procedimientos siguieron los lineamientos de la agricultura limpia [52-54] y se aplicaron por igual en todas las huertas, a fin de evitar desviaciones en las variables–respuesta, por efecto de la aplicación de diferentes tratamientos experimentales.

Las “malezas” se controlaron de manera manual y mecanizada (con guadaña), para evitar que afectaran el desarrollo normal de las plantas, debido a la

competencia por los recursos del medio. Esta actividad se realizó cada 20-30 días y se ejecutó en todas las huertas.

4.2 COSECHADO Y MUESTREO DE LAS PLANTAS

Las plantas de *L. alba*, *L. origanoides* y *C. martinii* se cosecharon cuando más del 70% de las plantas se encontraban en la etapa de floración. El corte de las ramas se realizó a ca. 20 cm (una “cuarta”) a partir del suelo. En el caso de *P. graveolens*, la cosecha de material vegetal se realizó cuando las plantas, en su mayoría, tenían tallos frondosos de más de 20 cm.

Las muestras de material vegetal de cada una de las plantas estudiadas se tomaron aleatoriamente, entre 6 y 20 plantas, de la zona de muestreo (**Véase Figura 3**). Posteriormente, las plantas cosechadas se trasladaron a la zona industrial del CENIVAM, y se picaron en picadora industrial (Trapp, TRF 3001, trifásico de 220V, motor 2.0-3.0 CV). El material vegetal de *P. graveolens* se picó manualmente. El material picado se pesó y se dividió en dos partes y de cada una se tomó una muestra (entre 380 y 390 g) para su extracción mediante hidrodestilación asistida por la radiación de microondas (MWHD).

4.3 RENDIMIENTO EN BIOMASA Y ACEITE ESENCIAL

Una vez cosechadas las plantas de cada bloque experimental, se procedió a calcular el rendimiento de biomasa (o material vegetal, MV) y de AE, que se definen a continuación.

El rendimiento de biomasa se define como la cantidad de material vegetal cosechado, representado en hojas y tallos, por unidad de área cultivada o por planta; matemáticamente se expresa de la siguiente manera:

$$RBa = \frac{\text{Biomasa, kg}}{\text{Área de cultivo, ha}} \quad RBa = \frac{\text{Biomasa, kg}}{\text{Planta}}$$

Donde RBa es el rendimiento de biomasa del cultivo de la especie a .

Por su parte, el rendimiento del AE se define como cantidad del AE obtenido de la biomasa cosechada de una especie aromática particular, en unidad de área (también, por planta o por cantidad de biomasa). Matemáticamente se expresa de la siguiente manera:

$$RAEa = \frac{\text{Aceite esencial, L}}{\text{Área de cultivo, ha}}$$

También se puede expresar el $RAEa$ de otra manera, así:

$$RAEa = \frac{\text{Aceite esencial, kg}}{\text{Área de cultivo, ha}}$$

Donde $RAEa$ es el rendimiento del AE obtenido del cultivo de la especie a .

4.4 EXTRACCIÓN DE LOS ACEITES ESENCIALES

A partir de hojas y tallos de las plantas cosechadas se obtuvieron los AE de cada especie. De estas plantas, se pesaron entre 380 y 390 g de material vegetal

picado, que se sumergió en 400 mL de agua, la mezcla se colocó en un balón de vidrio de 2 L, adaptado a un equipo de destilación tipo *Clevenger*, con reservorio de destilación *Dean-Stark* y acondicionado para calentamiento, a través de un horno de microondas (**Figura 6**). El material vegetal sumergido en agua, se hidrodestiló con asistencia de radiación de microondas (MWHd) [13], mediante tres ciclos de irradiación de 15 min, al final de los cuales se obtuvo una mezcla de dos fases, oleosa (el AE) y acuosa. La fase oleosa (el AE) se extrajo con pipeta *Pasteur*. El horno adaptado para la hidrodestilación fue de la marca KENDO, modelo MO-124, con potencia de salida de 800W y frecuencia de radiación de 2.5 GHz (**Figura 6**). Obtenido el aceite, éste se secó con Na₂SO₄ anhidro (JT Baker, Phillisburgh, NJ, EE.UU.) y se pesó para determinar su rendimiento y, luego, su composición química.

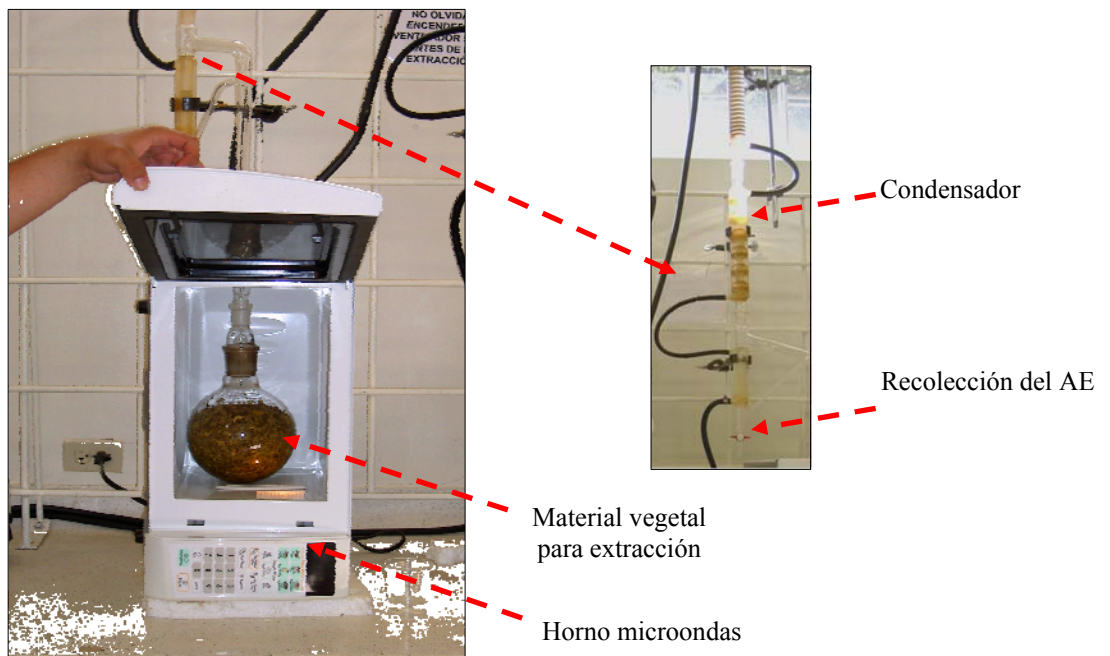


Figura 6. Equipo para hidrodestilación asistida por la radiación de microondas.

4.5 ANÁLISIS DE ACEITES ESENCIALES

El análisis (identificación y cuantificación) de los AE se hizo por cromatografía de gases en columnas capilares (polar y apolar), usando sistemas de detección de ionización en llama (FID) y selectivo de masas (MSD). Los equipos y las condiciones de operación se describen a continuación:

- Cromatógrafo de gases *Agilent Technologies 7890A* (HP, Palo Alto, California, EE.UU.), acoplado a un detector de ionización en llama (FID), equipado con puerto de inyección *split/splitless* (250°C, relación *split* 1:30), e inyector automático *Agilent 7683 B*. Para la separación cromatográfica se utilizó una columna capilar, apolar HP-5 (*Hewlett-Packard*), de 60 m x 0.25 mm, D.I. x 0.25 µm, con fase estacionaria de 5%-fenilpoli(metilsiloxano). Como gas de arrastre se empleó helio (He, 99.99%, AGA Fano, S.A.), con presión de entrada a la cabeza de la columna de 16.47 psi, velocidad lineal de 26 cm.s⁻¹ y flujo constante de 1 mL.min⁻¹. La programación de temperatura del horno inició con 45 °C (5 min), luego se incrementó @ 4 °C/min hasta 150 °C (2 min), posteriormente, @ 5 °C/min hasta 250 °C (5 min) y, finalmente, @ 10 °C/min hasta 275 °C (15 min).
- Cromatógrafo de gases *Agilent Technologies 6890 Plus* (Palo Alto, CA, EE.UU), acoplado a un detector selectivo de masas *Agilent Technologies MSD 5973*, equipado con un puerto de inyección *split/splitless* (250°C, relación *split* 1:30), un inyector automático *Agilent 7863* y un sistema de datos MS *ChemStation G17001DA* (Versión D.00.01.27, 2002) (**Véase Figura 7**). Para la separación cromatográfica se usó una columna capilar, apolar HP-5 (*Hewlett-Packard*), de 60 m x 0.25 mm, D.I. x 0.25 µm, con fase estacionaria de 5%-fenilpoli(metilsiloxano). El gas de arrastre empleado fue helio (He, 99.99%, AGA Fano, S.A.), con presión de entrada en la cabeza de la columna de 16.43 psi, velocidad lineal de 26 cm.s⁻¹ y flujo constante de 1

mL.min⁻¹. La temperatura del horno partió de 45 °C (5 min), luego se aumentó @ 4 °C.min⁻¹ hasta 150 °C (2 min), después @ 5 °C.min⁻¹ hasta 250 °C (5 min) y, finalmente, @ 10 °C.min⁻¹ hasta 275 °C (35 min).

- Cromatógrafo de gases *Agilent Technologies 6890N Network Series GC* (Palo Alto, CA, EE.UU.), acoplado a un detector selectivo de masas *Agilent Technologies 5975 Inert XL*, equipado con un puerto de inyección *split/splitless* (250°C, relación *split* 1:30) e inyector automático *Agilent 7863B, Series Injector*. Para la separación cromatográfica se utilizó una columna capilar polar, DB-WAX (*J & W Scientific, Folsom, CA, EE.UU.*), con fase estacionaria entrecruzada e inmovilizada de poli(etilenglicol), de 60 m x 0.25 mm, D.I. x 0.25 µm. Como gas de arrastre se empleó helio (He, 99.99%, AGA Fano, S.A.), con presión de entrada en la cabeza de la columna de 16.50 psi, velocidad lineal de 26 cm.s⁻¹ y flujo constante de 1 mL.min⁻¹. La temperatura inicial del horno fue 45 °C (10 min) y luego se aumentó @ 3 °C.min⁻¹ hasta 220 °C (70 min).



Figura 7. Cromatógrafo de gases de alta resolución *Agilent Technologies 6890 Plus*, con detector selectivo de masas *Agilent Technologies MSD 5973*.

La identificación de los componentes presentes en los AE se realizó por cromatografía de gases con MSD y columnas polar y apolar, con base en los índices de retención (polar y apolar) y los espectros de masas experimentales obtenidos, que se comparaban con los de bases de datos NBS 75K, WILEY 138K, NIST o Adams, y con los reportados en la literatura [161]. Así como con los obtenidos de patrones certificados (para el caso de los componentes mayoritarios), analizados bajo las mismas condiciones.

Los índices de retención se obtuvieron teniendo en cuenta los tiempos de retención de una serie homologa de patrones de hidrocarburos desde C₈ hasta C₂₅ corridos bajo la mismas condiciones operacionales que las de los AE, empleando las columnas DB-5 y DB-WAX. Para su determinación de empleó la siguiente fórmula:

$$I_R = 100n + 100 \left(\frac{t_{RX} - t_{Rn}}{t_{RN} - t_{Rn}} \right)$$

Donde:

I_R : índice de retención del compuesto de interés;

n : número de átomos de carbono del n -alcano que eluye antes del compuesto de interés;

N : número de átomos de carbono del n -alcano que eluye después del compuesto de interés, $N > n$;

t_{RX} : tiempo de retención del compuesto de interés;

t_{RN} y t_{Rn} : tiempos de retención de n -alcanos que eluyen antes y después del compuesto X.

Para la cuantificación de los componentes de los AE obtenidos, se empleó la cromatografía de gases con el FID y la columna apolar y se utilizaron los métodos de estándar interno (n -tetradecano), para la mayoría de los componentes, y de

estandarización interna, para los componentes mayoritarios, para los cuales se disponía de sustancias patrón (Véase Tabla 4).

Tabla 4. Patrones de terpenos certificados empleados en la cuantificación de los componentes mayoritarios presentes en los AE obtenidos de las plantas aromáticas estudiadas.

Compuesto	Productor	Pureza, %
(S)-(+)-Carvona	<i>Sigma-Aldrich</i>	96
Limoneno	<i>Sigma-Aldrich</i>	>98.5
Acetato de geranilo	<i>Sigma-Aldrich</i>	98
Linalol	<i>Sigma-Aldrich</i>	97
Geraniol	<i>Sigma-Aldrich</i>	98
<i>p</i> -Cimeno	<i>Sigma-Aldrich</i>	99
Citronelol	<i>Sigma-Aldrich</i>	98
Carvacrol	<i>Sigma-Aldrich</i>	98
γ -Terpineno	<i>Sigma-Aldrich</i>	97

Las muestras de AE se prepararon para su análisis vertiendo 50 μ L de cada AE y 2 μ L de *n*-tetradecano (*Merck, Reference Substance for Gas Chromatography*) en un tubo cónico, que se aforó a 1 mL con diclorometano [Sigma-Adrich (Bellafonte, EE.UU)]. De esta solución, se inyectó 1 μ L al cromatógrafo de gases con FID o MSD, para su respectivo análisis, cuantitativo o cualitativo.

4.6 CRITERIOS PARA EVALUAR LOS SISTEMAS DE CULTIVOS MONOCULTIVO O INTERCALADO

Con el objeto de comparar los dos sistemas de cultivo implementados en este trabajo, *i.e.*, monocultivo e intercalado, se empleó el criterio de “eficiencia del

intercalado de cultivos”, además del rendimiento de biomasa y AE definidos en la **Sección 4.3**.

La eficiencia del intercalado de cultivos se evaluó a través de comparación entre el rendimiento de las especies cultivadas bajo los dos sistemas, intercalado y monocultivo, y se estimó por medio del índice: relación de equivalencia de tierra (RET) [160].

El índice RET, se expresa matemáticamente así [160]:

$$RET = \frac{RaI}{RaM} + \frac{RbI}{RbM} + \dots$$

Donde RaI y RbI , son los rendimientos de los cultivos de las especies a y b , respectivamente, bajo intercalado de cultivo; y RaM y RbM son los mismos rendimientos alcanzados, pero bajo el esquema de monocultivo.

Este índice proporciona una idea sobre la conveniencia de cultivar, en una misma área, en forma de monocultivo o intercalado, con base en la comparación de los rendimientos obtenidos para cada una de las especies cultivadas. Si el índice RET es mayor que uno, significa que el intercalado de cultivo es más eficiente que el monocultivo. Si se desea conocer cuál de las especies se benefició más en el cultivo intercalado, se puede determinar el factor de peso en la RET , de cada especie, la cual corresponde, e.g., para la especie A, a: $\frac{RaI}{RaM}$. Cuando éste es mayor que 0.5, se considera que la especie en mención se beneficia del cultivo intercalado; cuando es menor que 0.5, la especie se afecta, y cuando es ca. 0.5, la especie no se afecta con la presencia de la otra especie intercalada.

5. RESULTADOS Y ANÁLISIS

5.1 CONDICIONES AMBIENTALES

Los registros de la temperatura ambiente, las precipitaciones, la humedad relativa, la radiación solar, la presión barométrica y el análisis de suelos tomados durante la implementación y desarrollo de los cultivos experimentales empleados en este trabajo se presentan en los **Anexos 1 a 6**. El análisis de suelos fue realizado por el Laboratorio de Suelos de la Universidad Industrial de Santander y los datos meteorológicos fueron obtenidos por la Corporación Autónoma Regional para la Defensa de la Meseta de Bucaramanga (CDMB) en la estación meteorológica ubicada en la terraza del Hospital Local del Norte, y procesados por los autores de este estudio.

La temperatura ambiente (promedio diario) durante el lapso de tiempo transcurrido desde la siembra (marzo de 2009) hasta la última cosecha estuvo entre 19 y 28°C (**Anexo 1**). Desde la siembra hasta la primera cosecha (agosto de 2009), la temperatura fluctuó de 19 a 24°C y, luego, en el mes de noviembre, ascendió a 25°C, manteniéndose estable hasta la segunda cosecha (finales de enero y principios de febrero de 2010), cuando se registraron los días más cálidos, con temperaturas diarias promedio de 28°C. Los meses previos a la segunda cosecha (noviembre de 2009 a enero de 2010) fueron los que presentaron menores precipitaciones (**Anexo 2**), humedad relativa más baja (**Anexo 3**) y menor variación en la radiación solar (**Véase Anexo 4**) de todo el periodo de cosechas. Entre la segunda y la tercera cosecha, la temperatura descendió levemente hasta 25°C (**Anexo 1**) y hubo un incremento de las precipitaciones, respecto a los meses de noviembre de 2009 a febrero de 2010 (entre primera y segunda cosecha) (**Anexo 2**).

La presión atmosférica evolucionó de manera similar a la temperatura ambiente; es decir, hasta principio de noviembre se mantuvo por debajo de la presentada en el resto del periodo, sin superar, prácticamente, los 685 mm Hg (excepto algunos días de marzo). Posteriormente, se presentó un incremento repentino hasta 690 mm Hg, y se mantuvo por encima de los 685 mm Hg, hasta el final del estudio, en octubre de 2010 (**Anexo 5**).

Aunque los datos meteorológicos presentados no fueron obtenidos exactamente en el sitio de realización de los experimentos para el presente trabajo, éstos si permitieron ver la tendencia general de aquellas variables ambientales durante el transcurso del estudio con cierta fiabilidad, pues, se monitorearon a 2 km del lugar de los cultivos, y se supone, que no hubo cambios sustanciales entre uno y otro sitio, que pudiesen producir diferencias significativas entre éstos.

5.2 RENDIMIENTO DE LOS CULTIVOS

Los rendimientos calculados para las cuatro especies (*L. alba*, *L. origanoides*, *P. graveolens* y *C. martinii*) en cada cosecha, y en los cuatros sistemas de cultivo evaluados, *i.e.*, el monocultivo y los tres cultivos intercalados por especie (**Véase Tabla 1**) se presentan en los **Anexos 7 a 10**. La primera cosecha se recogió a finales de octubre de 2009; la segunda, a finales de enero y principios de febrero de 2010; y la tercera se recogió a finales de julio y al principio de agosto de 2010. De *C. martinii* sólo se recogieron dos cosechas, en febrero y en agosto de 2010, debido a que esta especie sustituyó a *Artemisia dracunculus*, al inicio de los experimentos, por problemas de suministro de plántulas y adaptación al medio de esta planta.

5.2.1 *Lippia alba*. En el **Anexo 7** se presentan los rendimientos obtenidos para la especie *L. alba*, cultivada bajo monocultivo e intercalada: *L. alba*-*L. origanoides*,

L. alba-P. graveolens y *L. alba-C. martinii*. De estos datos (**Anexo 7**) se destaca que la menor cantidad de material vegetal (MV) por planta se alcanzó en la tercera cosecha del cultivo intercalado de *L. alba-C. martinii* (139 g de MV/planta) y que las cantidades más altas de MV/planta de *L. alba* se lograron en la segunda y tercera cosechas del cultivo intercalado *L. alba-L. origanoides* (379 y 404 g de MV/planta, respectivamente).

En % (p/p) de AE/MV, se lograron rendimientos superiores en la segunda cosecha de *L. alba* para los cuatro sistemas de cultivo (entre 0.23 y 0.29%, p/p) (**Anexo 7**). Esta cosecha se recogió en febrero de 2010, luego de una temporada sin precipitaciones, durante tres meses (**Véase Anexo 2**) y con temperaturas relativamente altas (**Anexo 1**). Es posible que este incremento en el AE (% p/p) de AE se deba a una respuesta biológica de las plantas de *L. alba* al estrés hídrico y a las altas temperaturas.

Del cultivo intercalado *L. alba-L. origanoides*, en la segunda y tercera cosechas, se obtuvieron, de *L. alba*, las cantidades más altas de AE/planta (0.98 y 0.81 g de AE/planta, respectivamente); mientras que las cantidades más bajas se lograron del cultivo intercalado *L. alba-C. martinii* (0.33 g de AE/planta), en la tercera cosecha. Con respecto al valor de kg de AE/ha, dato de gran interés para los agricultores, el mayor rendimiento de *L. alba* se alcanzó en el monocultivo de *L. alba*, en las tres cosechas (24-31 kg de AE/ha) (**Véase Figura 8**); lo cual es razonable, debido a que en este sistema se puede acomodar mayor número de plantas de *L. alba* por hectárea que en el sistema de cultivo intercalado, con cualquiera de las demás especies estudiadas (**Tabla 3**). No obstante, entre los sistemas de cultivo intercalado *L. alba-L. origanoides*; *L. alba-P. graveolens* y *L. alba-C. martinii*, el cultivo intercalado *L. alba-L. origanoides* favoreció la producción de AE en *L. alba* (**Figura 8**).

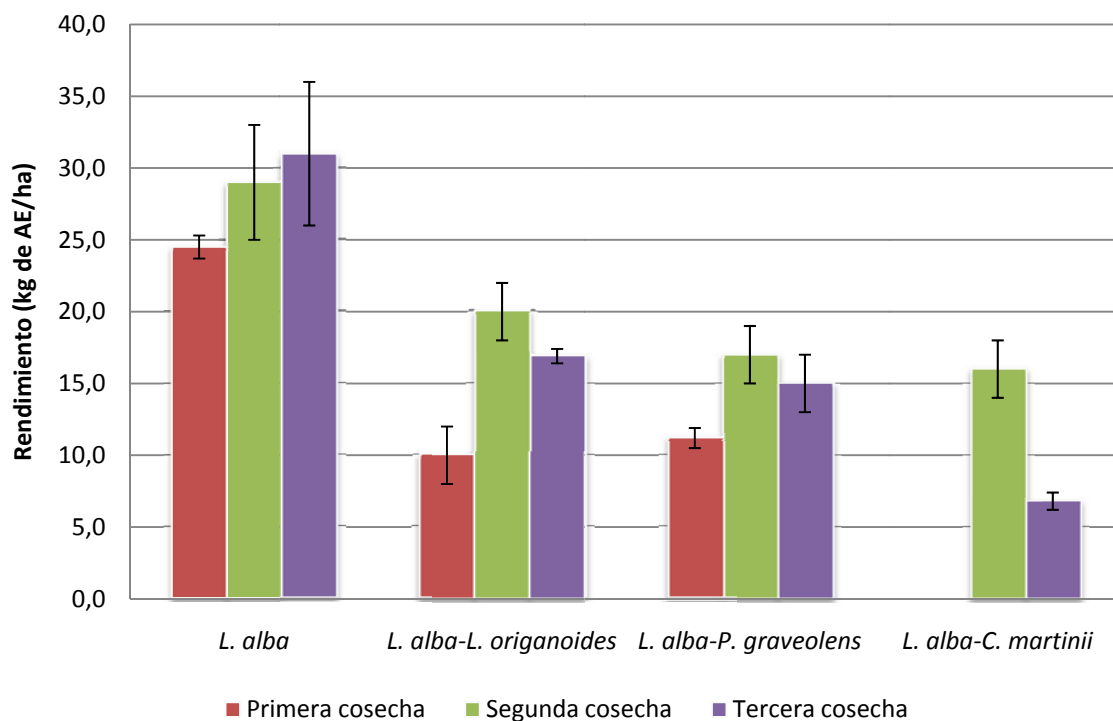


Figura 8. Rendimiento de AE de *L. alba* (kg de AE por hectárea), cultivada en diferentes sistemas de cultivo (**Anexo 7**).

5.2.2 *Lippia organoides*. Los rendimientos de MV/planta, AE/planta, % (p/p) de AE/MV y AE/ha, obtenidos de la especie *L. organoides* se hallan en el **Anexo 8**. En éste se puede observar que en el monocultivo de *L. organoides* y en el cultivo intercalado *L. organoides-L.alba*, se lograron las cantidades más altas de MV/planta en *L. organoides*, que se hicieron notorias en la tercera cosecha (512 y 985 g de MV/planta, respectivamente). Los rendimientos menores, en cantidad de MV/planta, se presentaron en el cultivo intercalado *L. organoides-C. martinii*, en la segunda y tercera cosechas (149 y 150 g de MV/planta, respectivamente); únicas cosechas en las que *C. martinii* compartía espacio con *L. organoides*, por lo que se puede sugerir un efecto adverso de esta especie sobre *L. organoides*.

El rendimiento del AE (% p/p de AE/MV) obtenido de *L. organoides*, en los cuatro sistemas de cultivo evaluados, fue mayor en la segunda cosecha (0.93-1.09%

p/p), tal como ocurrió con *L. alba*; por lo que se presume que fue generado por la temporada cálida y seca, de aproximadamente tres meses (**Anexos 1 y 2**), previo a esta cosecha.

La cantidad de AE de *L. origanoides* por planta se incrementó de la primera cosecha a la siguiente, en el monocultivo (1.6, 2.0 y 2.9 g de AE/planta) y en el cultivo intercalado *L. origanoides-L. alba* (2.5, 3.6 y 6.2 g de AE/planta); mientras que, en el sistema *L. origanoides-C. martinii* esta cantidad disminuyó (2.2, 1.4 y 0.7 g de AE/planta).

Las cantidades de AE de *L. origanoides* obtenidas por hectárea (en las primeras dos cosechas) en el monocultivo de *L. origanoides* y en el cultivo intercalado *L. origanoides-P. graveolens* fueron equivalentes (**Figura 9**), pese a que la densidad de plantas en el cultivo intercalado fue significativamente menor (**Véase Tablas 1 y 3**): 72 plantas comparadas con las 143 del monocultivo, en 25 m². Esto se debe a que en el sistema *L. origanoides-P. graveolens* la cantidad de MV/planta es superior (ca. 530 g/planta) a la obtenida en el monocultivo de *L. origanoides* (ca. 200 g/planta).

En el cultivo intercalado *L. origanoides-C. martinii*, el rendimiento, en kg de AE/ha, disminuyó considerablemente de la segunda cosecha (35 kg de AE/ha) a la tercera cosecha (18 kg de AE/ha) (**Anexo 8**). Dicha reducción del rendimiento podría hallar explicación en la competencia por los recursos del medio, principalmente, por la radiación solar, ya que las plantas de *C. martinii*, por su tamaño, no permiten que llegue suficiente radiación, a las plantas que la acompañan.

5.2.3 *Pelargonium graveolens*. Los rendimientos de MV y AE alcanzados de *P. graveolens*, cultivada bajo monocultivo y en los cultivos intercalados *P.*

graveolens-*L. alba*, *P. graveolens*-*L. origanoides*, y *P. graveolens*-*C. martinii*, se presentan en el **Anexo 9**. De las cuatro especies estudiadas, *P. graveolens* fue la que exhibió rendimientos más bajos. Por ejemplo, en el cultivo intercalado *P. graveolens*-*C. martinii*, se alcanzó el rendimiento más bajo de la especie en mención (en la tercera cosecha), ya que apenas se alcanzaron 2.6 g de MV de *P. graveolens* por planta. En esta cosecha del cultivo intercalado, no se alcanzó a recoger suficiente MV de *P. graveolens* (de cada huerta experimental) para extraer el AE y realizar su análisis. La productividad baja de esta especie, en las condiciones experimentales estudiadas, bien podría derivarse de dos circunstancias, a saber: por un lado, las dificultades en la adaptación de *P. graveolens* a las condiciones del sitio de siembra; y por el otro, la competencia por la luz con las plantas de *C. martinii*, que produjeron abundante follaje y destacaron por su altura (llegó a ca. 2 m), mientras que las plantas de *P. graveolens* alcanzaron alturas de ca. 50 cm. En cuanto a la cantidad del AE obtenido de *P. graveolens*, todos los sistemas de cultivo tuvieron rendimientos semejantes, entre 0.1 y 0.2 (% p/p).

En la segunda cosecha de los sistemas *P. graveolens*-*L. alba* y *P. graveolens*-*L. origanoides*, la cantidad del AE de *P. graveolens* por planta fue superior (0.07 y 0.09 g de AE/planta, respectivamente) a las cantidades de la primera y tercera cosechas (entre 0.02 y 0.04 g de AE/planta) en estos mismos sistemas de cultivo, pero similares a los rendimientos de los otros sistemas de cultivo, sin importar la cosecha (entre 0.07 y 0.11 g de AE/planta). En el monocultivo de *P. graveolens* se alcanzaron cantidades superiores de AE/ha (entre 4.9 y 6.0 kg de AE/ha) a los registrados en cualquiera de los sistemas intercalados (menores de 2.8 kg de AE/ha) (**Figura 10**), lo cual se explica por densidades de siembra más altas del monocultivo (**Tabla 3**).

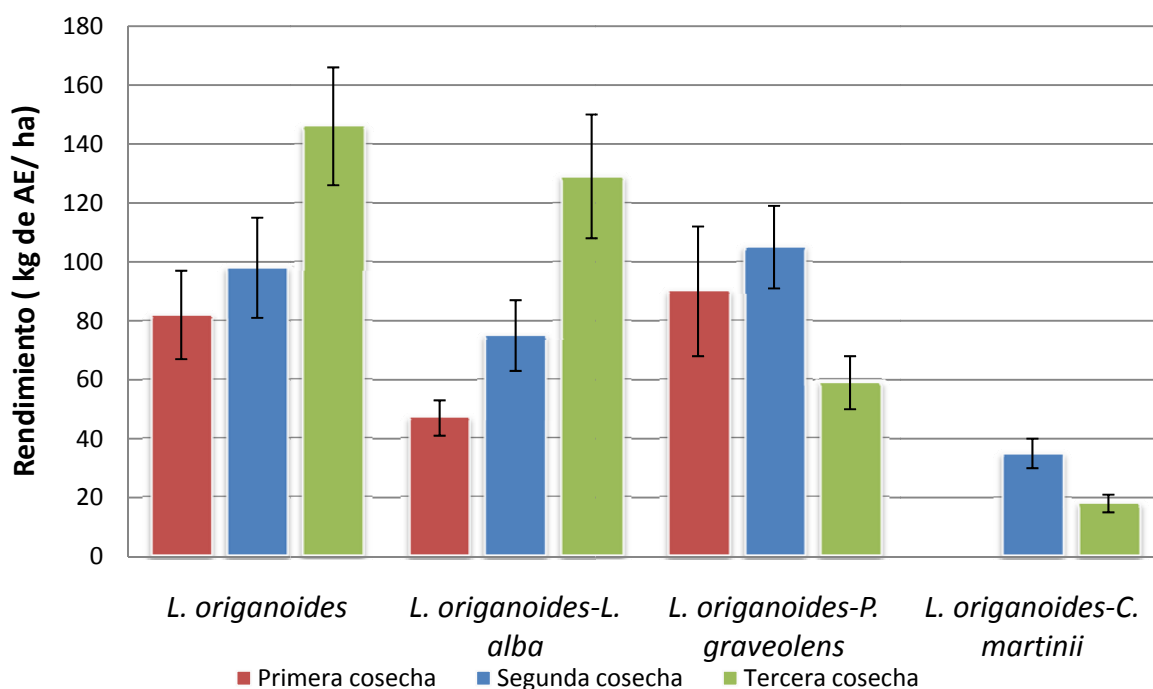


Figura 9. Rendimiento del AE de *L. origanoides* (kg de AE por hectárea), cultivada en diferentes sistemas de cultivo (**Anexo 8**).

El cultivo intercalado *P. graveolens-C. martinii* no favoreció la producción de MV ni de AE de *P. graveolens*, puesto que *C. martinii* detuvo su crecimiento, e incluso, algunas plantas vecinas perecieron. Hecho, que podría encontrar explicación en la competencia por la luz con *C. martinii*, que, en cambio, sí tuvo un crecimiento acelerado.

5.2.4 *Cymbopogon martinii*. Los rendimientos de MV y AE obtenidos de *C. martinii* se presentan en el **Anexo 10**. En éste, se puede observar que las cantidades más altas de MV/planta (642-885 g de MV/planta) y AE/planta (1.6-2.6 g de AE/planta) se alcanzaron durante la tercera cosecha, para los cuatro sistemas de cultivo (realmente, la segunda cosecha de *C. martinii*, puesto que esta especie se sembró cuando ya se había recogido la primera cosecha de las demás especies; sin embargo, se mantiene la asignación de “tercera cosecha”, ya que la

fecha de ésta fue agosto de 2010, lo que corresponde a la tercera cosecha de las demás especies).

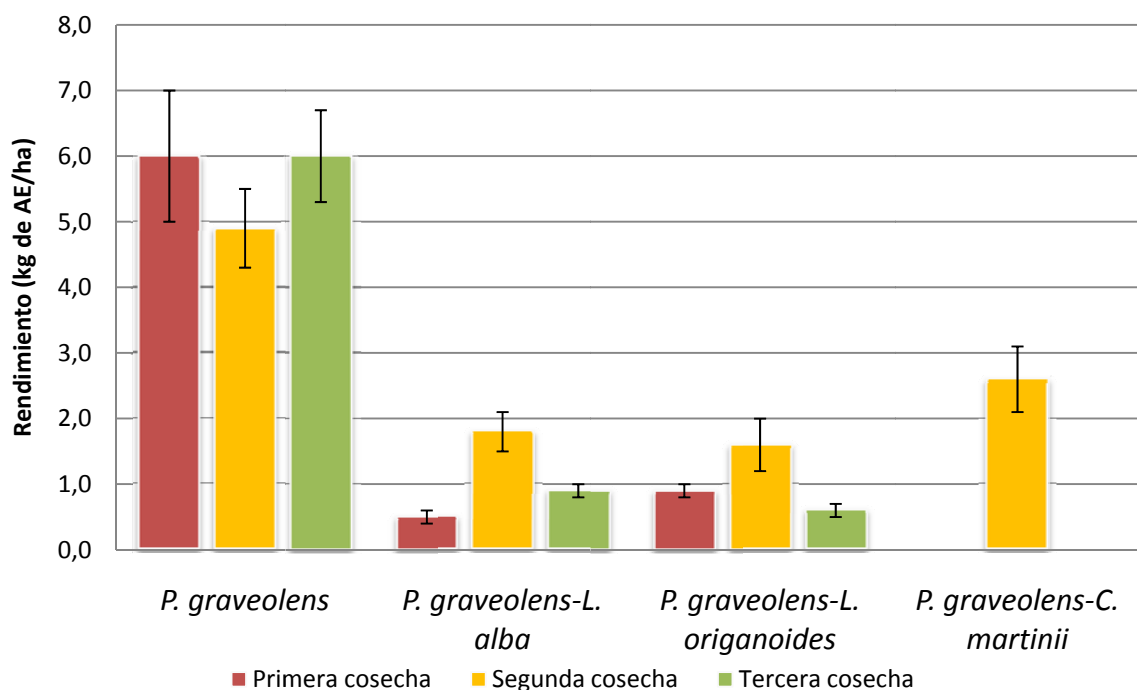


Figura 10. Rendimiento del AE de *P. graveolens* (kg de AE por hectárea), cultivada en diferentes sistemas de cultivo (**Anexo 9**).

El rendimiento (% p/p) de AE/MV de *C. martinii* fue prácticamente equivalente en todos los sistemas de cultivo (0.30-0.40 % p/p), con excepción de la tercera cosecha del monocultivo de *C. martinii*, en la que el rendimiento de AE fue más bajo, 0.24% p/p (**Tabla 10**).

La cantidad de AE/planta, en la tercera cosecha de *C. martinii*, fue superior en los sistemas de cultivos intercalados (2.4-2.7 g de AE/planta), que en el monocultivo (1.6 g de AE/planta) (**Tabla 10**); no obstante, la cantidad de AE/ha de *C. martinii* en el monocultivo fue superior que la de los sistemas intercalados (*C. martinii-L. alba*, *C. martinii-L. origanoides* y *C. martinii-P. graveolens*) (**Figura 11**). Esto sucedió porque la densidad de plantas por hectárea en el monocultivo es superior (**Tabla 3**) que la de los sistemas de cultivo intercalado.

Entre las cosechas recogidas de *C. martinii* (dos en total, para cada uno de los sistemas de cultivo estudiados), la cantidad mayor de AE/ha se alcanzó en la tercera cosecha, en todos los sistemas de cultivo (**Véase Figura 11**); lo cual pudo estar relacionado con la edad de la planta, que permitió un incremento en el número de macollos (unidad estructural de la planta de *C. martinii*) por planta y al incremento de las precipitaciones en los meses previos a esta cosecha (**Anexo 2**), que favorecieron la productividad de esta especie en particular.

5.2.5 Rendimiento de los cultivos intercalados. Para determinar la relación de equivalencia de tierra (RET), se tuvieron en cuenta los datos de rendimientos de cada una de las especies en kg de AE/ha, debido a que el rendimiento expresado en estas unidades es de suma importancia para el cálculo de la productividad económica de un cultivo. La expresión matemática para obtener la RET se presentó en la **Sección 4.6**, y los valores hallados se encuentran en las **Tabla 5-8**.

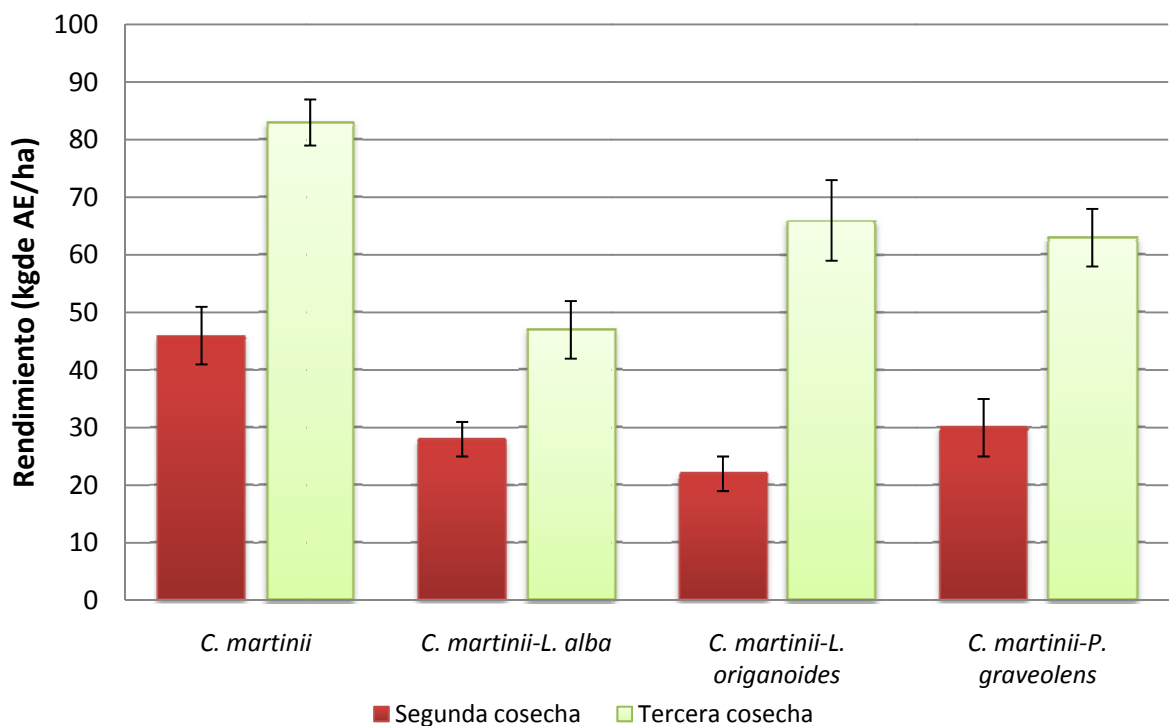


Figura 11. Rendimiento del AE de *C. martinii* (kg de AE por hectárea), cultivada en diferentes sistemas de cultivo (**Anexo 10**).

De acuerdo con las RET calculadas en la primera cosecha de los cultivos de *L. alba*, *L. origanoides* y *P. graveolens* (**Véase Tabla 5**), el sistema de cultivo *L. origanoides*-*P. graveolens* (RET=1.25) ofrece ventajas frente a los monocultivos de cada una de estas dos especies. Es decir, en el cultivo de una misma área en monocultivo y en sistema intercalado de *L. origanoides* y de *P. graveolens*, bajo las condiciones estudiadas, se obtuvo 25% más de AE/ha (entre los dos AE) en el sistema intercalado que en el monocultivo. En cambio, en el cultivo intercalado *L. alba*-*P. graveolens* se obtuvieron 46% menos de AE/ha (RET=0.54) que en el monocultivo. En el caso del cultivo intercalado *L. alba*-*L. origanoides*, prácticamente, no hubo diferencias entre los dos sistemas de cultivo (RET=0.98).

Tabla 5. RET obtenida del cultivo intercalado de las cuatro especies (*L. alba*, *L. origanoides* y *P. graveolens*) durante la primera cosecha. Criterio de cálculo: rendimiento de AE/ha.

Planta	<i>L. alba</i>	<i>L. origanoides</i>	<i>P. graveolens</i>
<i>L. alba</i>	1,00	0,98	0,54
<i>L. origanoides</i>	0,98	1,00	1,25
<i>P. graveolens</i>	0,54	1,25	1,00

En la segunda cosecha, los cultivos intercalados *L. alba*-*L. origanoides* (RET=1.45), *L. origanoides*-*P. graveolens* (RET=1.40), *L. alba*-*C. martinii* (RET=1.16) y *P. graveolens*-*C. martinii* (RET=1.18) fueron más productivos que sus respectivos monocultivos (**Tabla 6**), aunque los dos últimos se encuentran dentro de los corredores de error de los experimentos (ca. 20%). La productividad observada en el cultivo intercalado *L. origanoides*-*P. graveolens* en la primera cosecha (RET=1.25), se mantuvo para la segunda cosecha (RET=1.40). El incremento significativo de la productividad del cultivo intercalado *L. alba*-*L. origanoides* de la primera cosecha (RET=0.98) a la segunda (RET=1.45), puede

relacionarse con los cambios generados por la temporada cálida y seca, que se presentaron previamente a esta cosecha (**Anexos 1 y 2**).

Tabla 6. RET obtenida del cultivo intercalado de las cuatro especies (*L. alba*, *L. origanoides*, *P. graveolens* y *C. martinii*) durante la segunda cosecha. Criterio de cálculo: rendimiento de AE/ha.

Planta	<i>L. alba</i>	<i>L. origanoides</i>	<i>P. graveolens</i>	<i>C. martinii</i>
<i>L. alba</i>	1,00	1,45	0,95	1,16
<i>L. origanoides</i>	1,45	1,00	1,40	0,84
<i>P. graveolens</i>	0,95	1,40	1,00	1,18
<i>C. martinii</i>	1,16	0,84	1,18	1,00

El cultivo intercalado *L. alba*-*L. origanoides* (RET=1.43), en la tercera cosecha, fue el único que mantuvo la productividad de AE/ha mayor que la de los respectivos monocultivos (**Tabla 7**). El cultivo intercalado *L. origanoides*-*P. graveolens*, que fue más productivo durante la primera y la segunda cosechas que el monocultivo (RET: 1.25 y 1.40, respectivamente), disminuyó su productividad (RET=0.50) en la tercera cosecha.

Tabla 7. RET obtenida del cultivo intercalado de las cuatro especies (*L. alba*, *L. origanoides*, *P. graveolens* y *C. martinii*) durante la tercera cosecha. Criterio de cálculo: rendimiento de AE/ha.

Planta	<i>L. alba</i>	<i>L. origanoides</i>	<i>P. graveolens</i>	<i>C. martinii</i>
<i>L. alba</i>	1,00	1,43	0,63	0,79
<i>L. origanoides</i>	1,43	1,00	0,50	0,92
<i>P. graveolens</i>	0,63	0,50	1,00	0,76
<i>C. martinii</i>	0,79	0,92	0,76	1,00

Finalmente, se calculó la RET total, teniendo en cuenta los rendimientos (kg de AE/ha) de las tres cosechas (**Véase Tabla 8**), y se encontró que el único cultivo intercalado con RET mayor que uno, fue el de *L. alba*-*L. origanoides* (1.32), ya que

se obtuvieron 32% más de AE/ha que en los respectivos monocultivos de cada especie.

Tabla 8. RET obtenida del cultivo intercalado de las cuatro especies (*L. alba*, *L. origanoides*, *P. graveolens* y *C. martinii*) durante todas las cosechas. Criterio de cálculo: rendimiento de AE/ha.

Planta	<i>L. alba</i>	<i>L. origanoides</i>	<i>P. graveolens</i>	<i>C. martinii</i>
<i>L. alba</i>	1,00	1,32	0,70	0,96
<i>L. origanoides</i>	1,32	1,00	0,96	0,90
<i>P. graveolens</i>	0,70	0,960	1,00	0,96
<i>C. martinii</i>	0,96	0,90	0,96	1,00

5.3 ANÁLISIS DE ACEITES ESENCIALES

La metodología utilizada para la identificación y cuantificación de los componentes de los AE, obtenidos de las especies estudiadas, se explica en la **Sección 4.5**. La identificación se basó en la comparación de los índices de retención lineales y los espectros de masas experimentales, obtenidos para cada uno de los componentes presentes en los AE, con los registrados en la literatura científica [161]. Se usaron bases de datos de espectros (NBS 75K, WILEY 138K, NIST y Adams), y sustancias patrón certificadas, analizadas bajo las mismas condiciones. En la cuantificación se empleó el método del estándar interno (*n*-tetradecano), para la mayoría de los componentes, mientras que el método de estandarización interna se usó para los componentes mayoritarios de cada AE, usando patrones. En los **Anexos 11-32** se presentan los resultados obtenidos para cada uno de los AE aislados de las cuatro especies estudiada (*L. alba*, *L. origanoides*, *P. graveolens* y *C. martinii*), en los diferentes sistemas de cultivo, así como para cada una de las cosechas recogidas (tres en total). A continuación, se sigue el análisis de los resultados para cada una de las especies evaluadas.

5.3.1 *Lippia alba*. En los AE obtenidos de *L. alba*, cultivada bajo los cuatro sistemas de cultivo estudiados y en tres cosechas, se identificaron 35 compuestos; los siguientes fueron componentes presentes en mayor cantidad, en orden decreciente: carvona, limoneno, biciclosesquifelandreno, piperitenona, piperitona, germacreno A, β -bourboneno, β -farneseno, β -elemeno, borneol, β -mirceno, (E)- β -ocimeno y *trans*-dihidrocarvona, entre otros (**ANEXOS 11-13**). De éstos, carvona, limoneno, biciclosesquifelandreno y piperitenona, representaron, en la mayoría de los AE, más del 90% de su contenido (**FIGURA 12**); y, por tanto, estas sustancias serán priorizados en el análisis de la actual sección.

La cantidad (g/kg AE) de los componentes mayoritarios presentes en el AE de *L. alba* se compara en la **Figura 13**. En ésta se puede observar que la proporción de carvona, limoneno, biciclosesquifelandreno y piperitenona en el AE de *L. alba* no fue afectada por el sistema de cultivo implementado, *i.e.*, monocultivo de *L. alba*, o cultivo intercalado de esta especie con plantas de *L. origanoides*, *P. graveolens* o *C. martinii* (**Figura 13** y **Anexos 11-13**).

Entre las tres cosechas recogidas, se observan algunas diferencias significativas en cada uno de los sistemas de cultivo evaluados para *L. alba* (**Figura 14**), a saber: a). en el monocultivo de *L. alba* y en los cultivos intercalados *L. alba-L. origanoides* y *L. alba-P. graveolens* se obtuvieron proporciones menores de limoneno en el AE de *L. alba* en la primera cosecha que en la segunda y tercera cosechas; y b). En el cultivo intercalado *L. alba-P. graveolens*, se lograron en la primera cosecha cantidades de carvona en el AE de *L. alba* ligeramente menores que las obtenidas en la segunda y tercera cosechas. Las diferencias en las cantidades de limoneno obtenidas (en AE de *L. alba*) entre la primera cosecha y la segunda y tercera cosechas, pueden relacionarse con la edad de las plantas de *L. alba*, y el efecto sobre éstas de cambios ambientales como temperatura ambiente, nivel de precipitaciones y radiación solar (**Anexos 1-3**), entre otros.

Con el propósito de comparar la influencia del sistema de cultivo en la productividad de las plantas de *L. alba*, se determinó la cantidad producida, por planta, de cada uno de los componentes de su AE (**Anexos 14-16**). Si se desea convertir el rendimiento por planta (**Anexos 14-16**) a rendimiento por hectárea, se debe multiplicar el primero por el número de plantas cultivadas en cada hectárea, de acuerdo con el sistema de cultivo de interés (**Véase Tabla 3**).

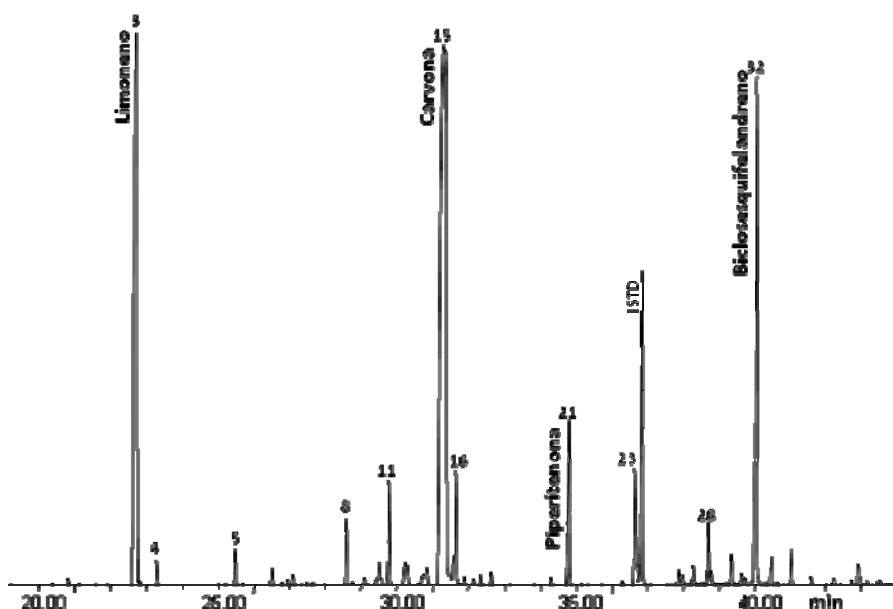


Figura 12. Perfil cromatográfico típico del AE de *L. alba*, obtenido por MWHD. Columna DB-5 (60 m). Detector espectrométrico de masas. La identificación de componentes aparece en el **Anexo 11**.

El rendimiento de carvona, limoneno, bicosesquifelandreno y piperitenona por planta de *L. alba*, cultivada en los sistemas de cultivo evaluados, se compara en la **Figura 15**. En ésta se observa que, en la primera cosecha, el rendimiento de carvona (mg/planta) en la especie *L. alba* disminuyó, cuando esta especie fue intercalada con *P. graveolens* (**Figura 15**). En la segunda cosecha, igualmente, la carvona fue el único de los componentes mayoritarios del AE de *L. alba* que mostró diferencias en su rendimiento, mg/planta (para los demás compuestos,

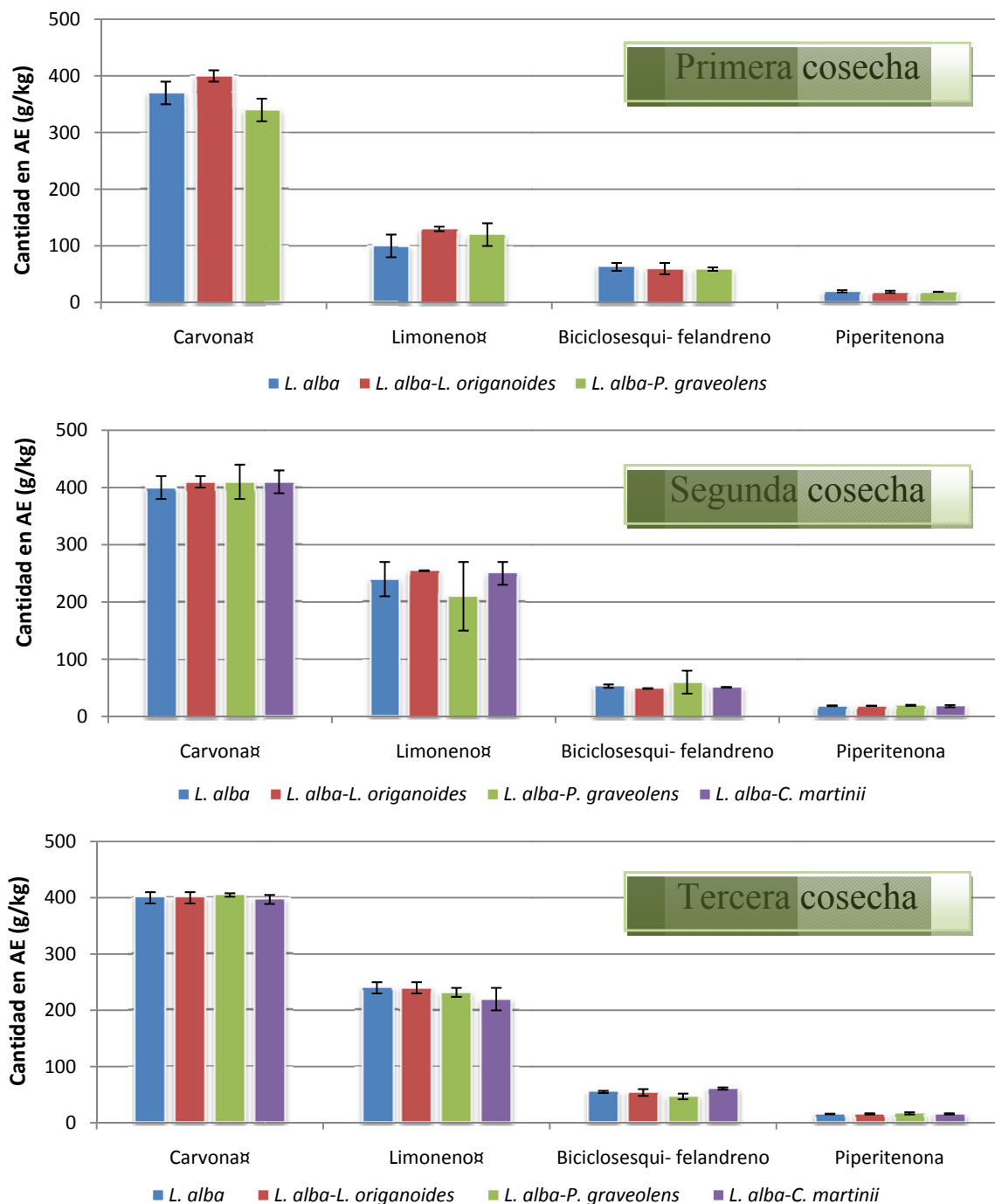


Figura 13. Cantidad de los componentes mayoritarios del AE de *L. alba*, obtenido de las tres cosechas del monocultivo de *L. alba* y de los cultivos intercalados *L. alba-L. origanoides*, *L. alba-P. graveolens* y *L. alba-C. martinii* (Anexos 11-13).

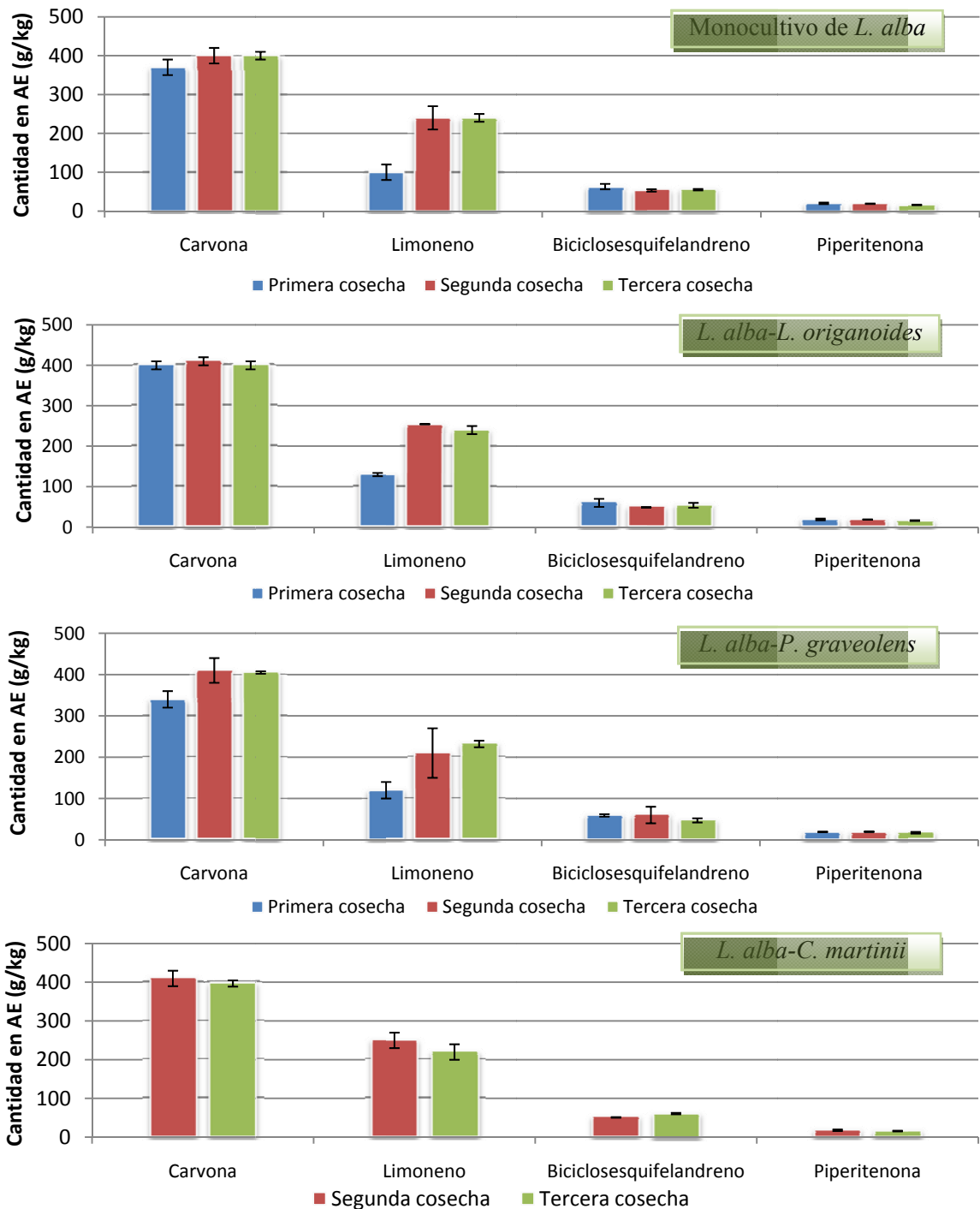


Figura 14. Cantidad de los componentes mayoritarios del AE de *L. alba*, cultivada en monocultivo y en los cultivos intercalados *L. alba-L. origanoides*, *L. alba-P. graveolens* y *L. alba-C. martinii* (Anexos 11-13).

prácticamente, todos los corredores de error se superponen y, por tanto, no son distinguibles las diferencias); se obtuvo mayor rendimiento de la carvona (mg/planta) de las plantas de *L. alba* intercaladas con plantas de *L. organoides* que de las cultivadas en monocultivo (**Figura 15**).

En la tercera cosecha, diferencias significativas en la cantidad de carvona, limoneno, bicilosquifelandreno y piperitenona se presentaron entre el sistema de cultivo *L. alba*-*C. martinii* y los demás sistemas (**Figura 15**). Cuando plantas de *L. alba* se intercalaron con plantas de *C. martinii*, se alcanzaron rendimientos menores (mg/planta) de carvona, limoneno, bicilosquifelandreno y piperitenona en *L. alba*, que en el monocultivo de *L. alba* o en los cultivos intercalados *L. alba*-*L. organoides* y *L. alba*-*P. graveolens* (**Figura 15**). Esta disminución significativa del rendimiento (mg/planta) de los componentes mayoritarios del AE de *L. alba*, cultivada en intercalado *L. alba*-*C. martinii*, se relacionó con el rendimiento menor del AE por planta de *L. alba* y del MV/planta, en la tercera cosecha, de este cultivo intercalado (0.33 g AE/planta y 139 g MV/planta, respectivamente), frente a los otros sistemas de cultivo (0.7-0.81 g AE/planta y 321-404 g MV/planta, respectivamente) (**Anexo 7**); esto se puede explicar por los cambios ambientales previos a la tercera cosecha, tales como la disminución leve de la temperatura ambiente y aumento de las precipitaciones, entre otros (**Anexos 1-5**), que favorecieron el crecimiento de *C. martinii* y limitaron la absorción de radiación solar por parte de *L. alba*, y por ende, su crecimiento y desarrollo, por lo que se obtuvo una cantidad menor de MV/planta (**Anexo 7**).

El rendimiento (mg/planta) de los compuestos mayoritarios del AE de *L. alba*, en cada una de las cosechas recogidas, se compara en la **Figura 16**. Allí se puede apreciar lo siguiente: a). el rendimiento (mg/planta) de carvona y limoneno en *L. alba*, cultivada en monocultivo e intercalada con *L. organoides* y *P. graveolens*, fue menor en la primera cosecha, que los obtenidos en la segunda y tercera cosechas; y b). En el cultivo intercalado *L. alba*-*C. martinii*, hubo una disminución

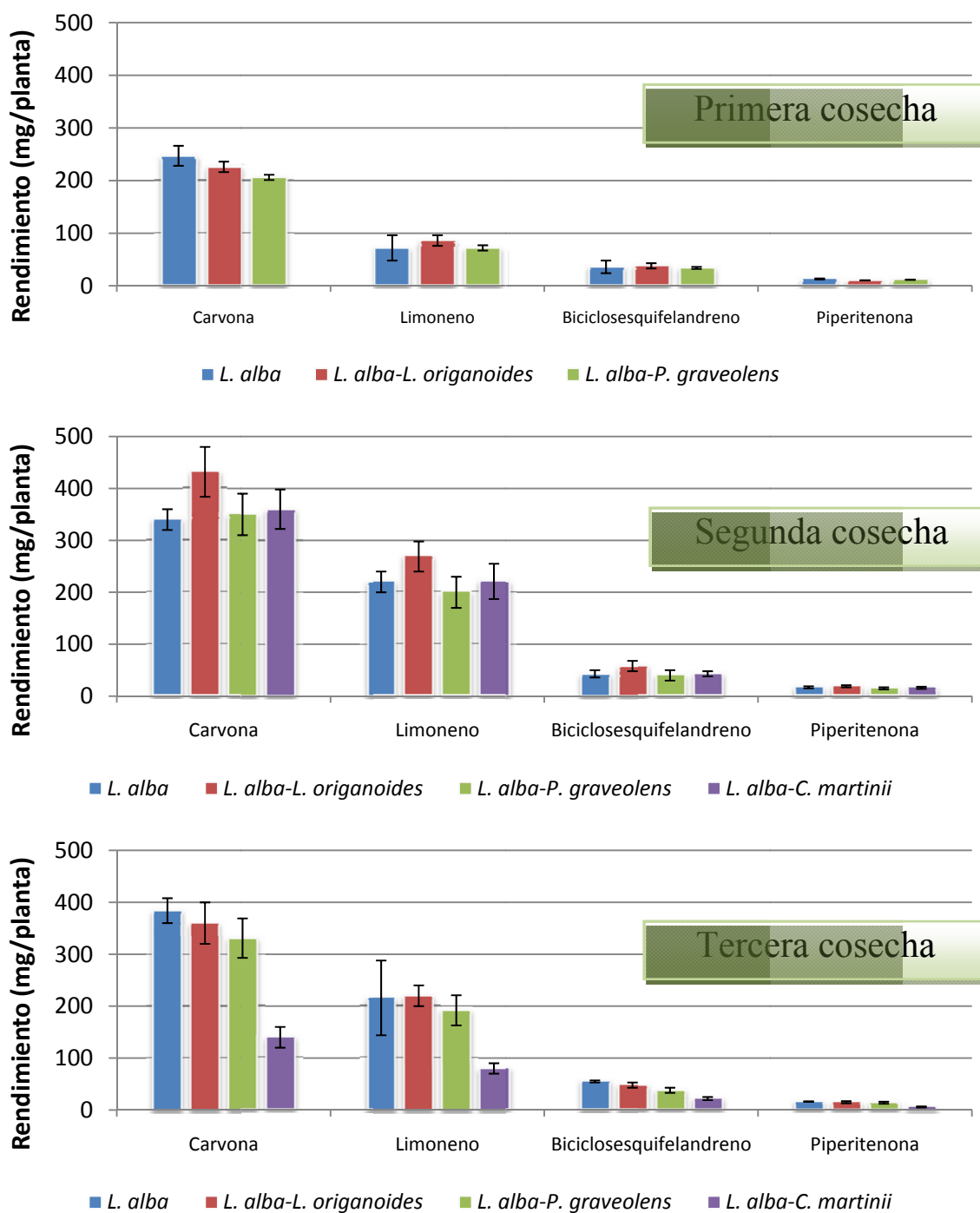


Figura 15. Rendimiento (mg/planta) de los componentes mayoritarios del AE de *L. alba*, cultivada en monocultivo y en los cultivos intercalados *L. alba-L. origanoides*, *L. alba-P. graveolens* y *L. alba-C. martinii* y obtenida de tres cosechas (Anexos 14-16).

significativa del rendimiento (mg/planta) de carvona y limoneno en *L. alba* de la segunda cosecha a la tercera cosecha.

La composición y la proporción de los componentes mayoritarios del AE de *L. alba*, prácticamente, son independientes de los sistemas de cultivos evaluados, *i.e.*, monocultivo y cultivos intercalados de *L. alba-L. origanoides*, *L. alba-P. graveolens* y *L. alba-C. martinii*. Sin embargo, entre las cosechas recogidas, sí se presentaron diferencias significativas; entre ellas, la más importante fue la proporción de limoneno más baja en el AE de *L. alba* obtenido en la primera cosecha, respecto a las cosechas segunda y tercera (**Figura 14**).

Los sistemas de cultivos evaluados en *L. alba* realmente influyeron sobre la cantidad de cada uno de los componentes por plantas (**Figura 15**). Por ejemplo, respecto a los rendimientos obtenidos en el monocultivo de *L. alba*, el cultivo intercalado de esta especie con *P. graveolens* redujo la cantidad por planta de carvona (en la primera cosecha); el cultivo intercalado *L. alba-L. origanoides* (en la segunda cosecha) incrementó la cantidad de carvona y el cultivo intercalado *L. alba-C. martinii*, redujo considerablemente la cantidad de carvona por planta de *L. alba*.

5.3.2 *Lippia origanoides*. En los AE de las plantas de *L. origanoides*, cultivadas en monocultivo y en los cultivos intercalados *L. origanoides-L. alba*, *L. origanoides-P. graveolens* y *L. origanoides-C. martinii*, se identificaron 28 compuestos diferentes. Según su cantidad decreciente, los principales componentes fueron: carvacrol, timol, *p*-cimeno, γ -terpineno, *trans*- β -cariofileno, α -cariofileno, β -mirceno, α -terpineno, timil metil éter, terpinen-4-ol, β -bisaboleno y óxido de cariofileno, entre otros (**Anexos 17-19**). Carvacrol, timol, *p*-cimeno y γ -terpineno representaron más del 87% del AE de *L. origanoides*. En la **Figura 17** se muestra un cromatograma típico de este AE.

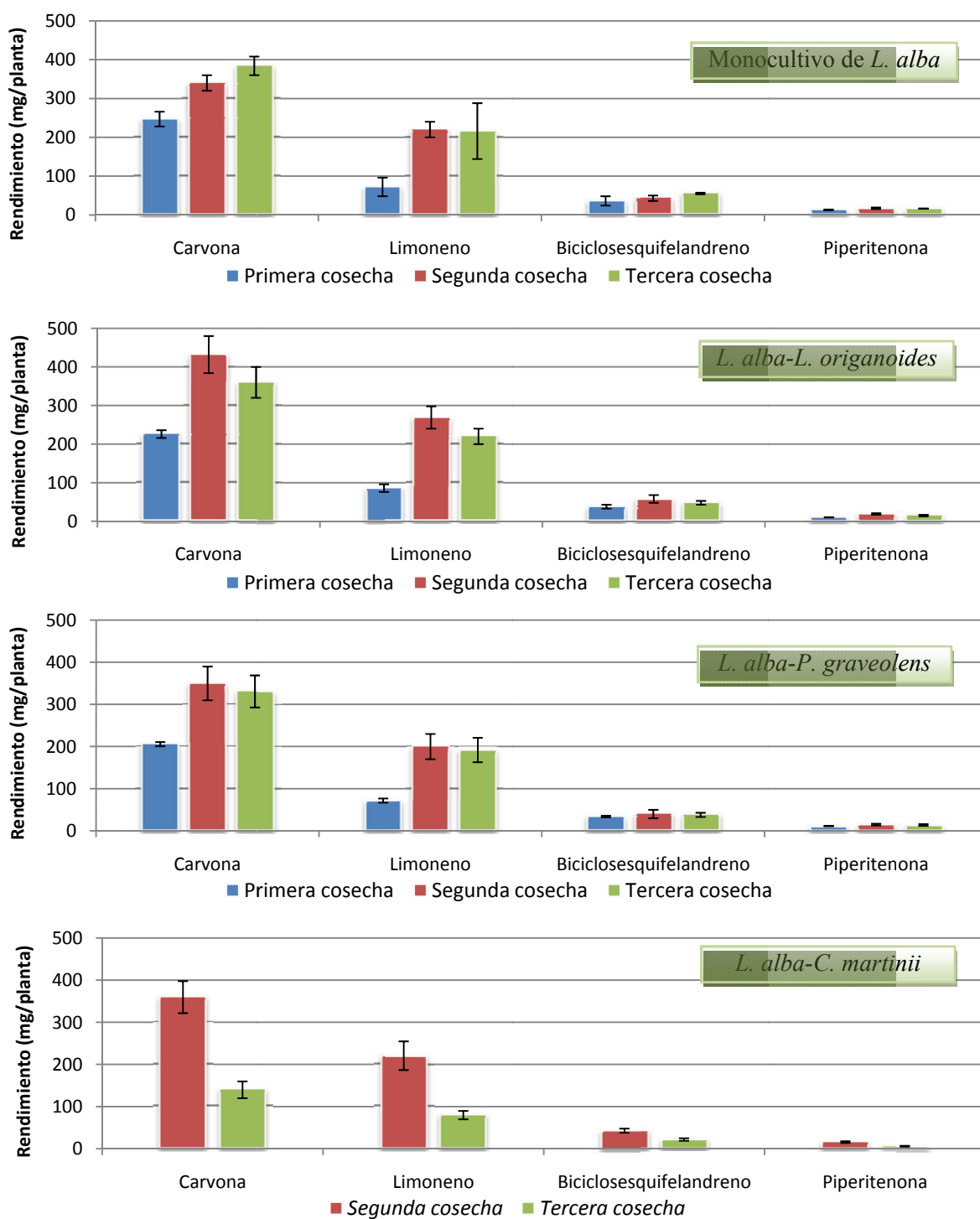


Figura 16. Rendimiento de los componentes mayoritarios del AE de *L. alba*, obtenido de cada una de las cosechas recogidas y de los sistemas de cultivos estudiados (monocultivo y los cultivos intercalados *L. alba-L. origanoides*, *L. alba-L. origanoides*, *L. alba-P. graveolens* y *L. alba-C. martinii*) (Anexos 14-16).

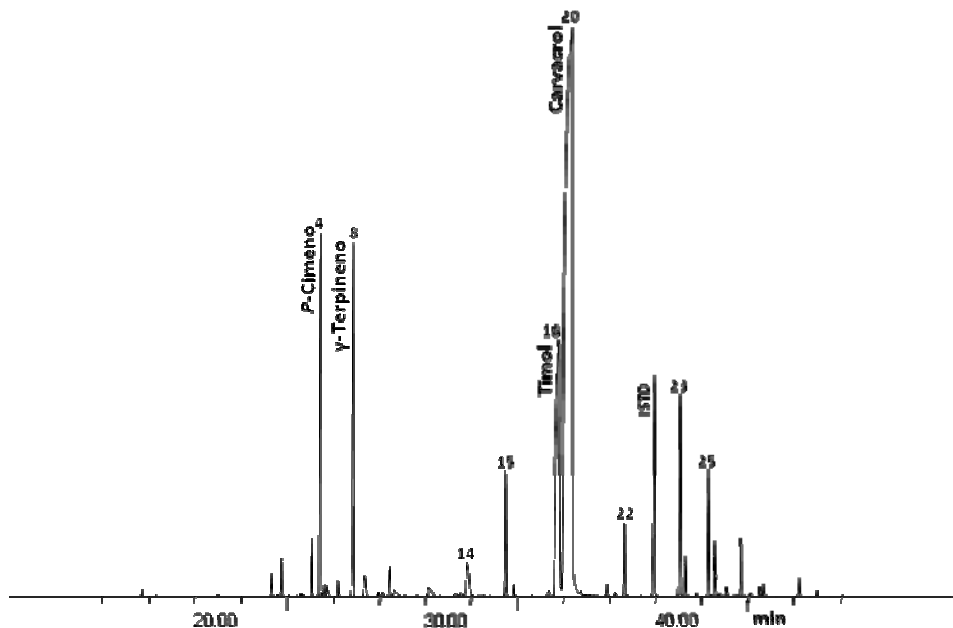


Figura 17. Perfil cromatográfico típico del AE de *L. origanoides*, obtenido por MWHD. Columna DB-5 (60 m). Detector espectrométrico de masas. La identificación de componentes aparece en el **Anexo 17**.

Las cantidades de carvacrol, timol, *p*-cimeno y γ -terpineno presentes en el AE de *L. origanoides*, cultivada en monocultivo e intercalada con *L. alba*, *P. graveolens* y *C. martinii*, se comparan en la **Figura 18**. En cada una de las cosechas recogidas, se observan pocas diferencias con respecto a la cantidad (g/kg de AE) de los compuesto mayoritarios del AE de *L. origanoides*. Por ejemplo, en la primera cosecha (**Figura 18**), en el monocultivo de *L. origanoides* y en los cultivos intercalados *L. origanoides*-*L. alba* y *L. origanoides*-*P. graveolens*, no hubo diferencias significativas en la cantidad, presente en el AE de *L. origanoides*, de carvacrol (387-408 g/kg), timol (41-47 g/kg), *p*-cimeno (43,3-50,7 g/kg) y γ -terpineno (39-42 g/kg), con excepción del contenido de timol (60 g/kg) en el AE obtenido del cultivo intercalado *L. origanoides*-*L. alba*.

En la segunda cosecha, carvacrol (430-460 g/kg) y *p*-cimeno (76-90 g/kg), en el monocultivo de *L. origanoides* y en el cultivo intercalado de esta especie con *L.*

alba, *P. graveolens* y *C. martinii*, no tuvieron diferencias significativas en la cantidad presente en el AE de *L. origanoides* (**Figura 18** y **Anexo 18**). No ocurrió así, en esta misma cosecha, con timol y γ -terpineno; del primero se logró mayor cantidad (100 g/kg) en el AE de *L. origanoides*, cuando esta especie estuvo intercalada con *L. alba*, que cuando se implementó en monocultivo (50 g/kg); y del segundo, γ -terpineno, su contenido en el AE de *L. origanoides* fue menor cuando *L. origanoides* se cultivó en monocultivo (50 g/kg), que cuando se cultivó intercalada con *L. alba*, *P. graveolens* o *C. martinii* (63-71 g/kg) (**Figura 18**).

Y en la tercera cosecha (**Figura 18**), en el AE de *L. origanoides* se obtuvieron cantidades menores de carvacrol (ca. 396 g/kg) cuando las plantas de esta especie se intercalaron con las de *L. alba*, que cuando se mantuvieron en monocultivo, o intercaladas con las plantas de *P. graveolens* y las de *C. martinii* (456-464 g/kg); en cambio, en este mismo AE (de *L. origanoides*) se alcanzaron cantidades mayores de timol del cultivo intercalado *L. origanoides*-*L. alba* (120 g/kg), que de los demás sistemas de cultivos evaluados (51-56 g/kg) (**Anexo 19**, **Figura 18**).

Las cantidades de carvacrol, timol, *p*-cimeno y γ -terpineno presente en el AE de *L. origanoides* (g/kg AE), en cada una de la tres cosechas recogidas, se comparan en la **Figura 19**, donde se observan las siguientes diferencias significativas: a). en el monocultivo de *L. origanoides* y en el cultivo intercalado de esta especie con *L. alba* o *P. graveolens*, se obtuvieron cantidades menores de *p*-cimeno, en el AE *L. origanoides*, en la primera cosecha, que las obtenidas en segunda y tercera cosechas; b). cuando las plantas de *L. origanoides* se intercalaron con las de *L. alba* o las de *P. graveolens*, se lograron cantidades mayores de γ -terpineno en el AE de *L. origanoides* en la segunda cosecha, que de la primera cosecha; y c). en el monocultivo de *L. origanoides*, se alcanzaron cantidades mayores de carvacrol en el AE de *L. origanoides* en la tercera cosecha, que de la primera cosecha.

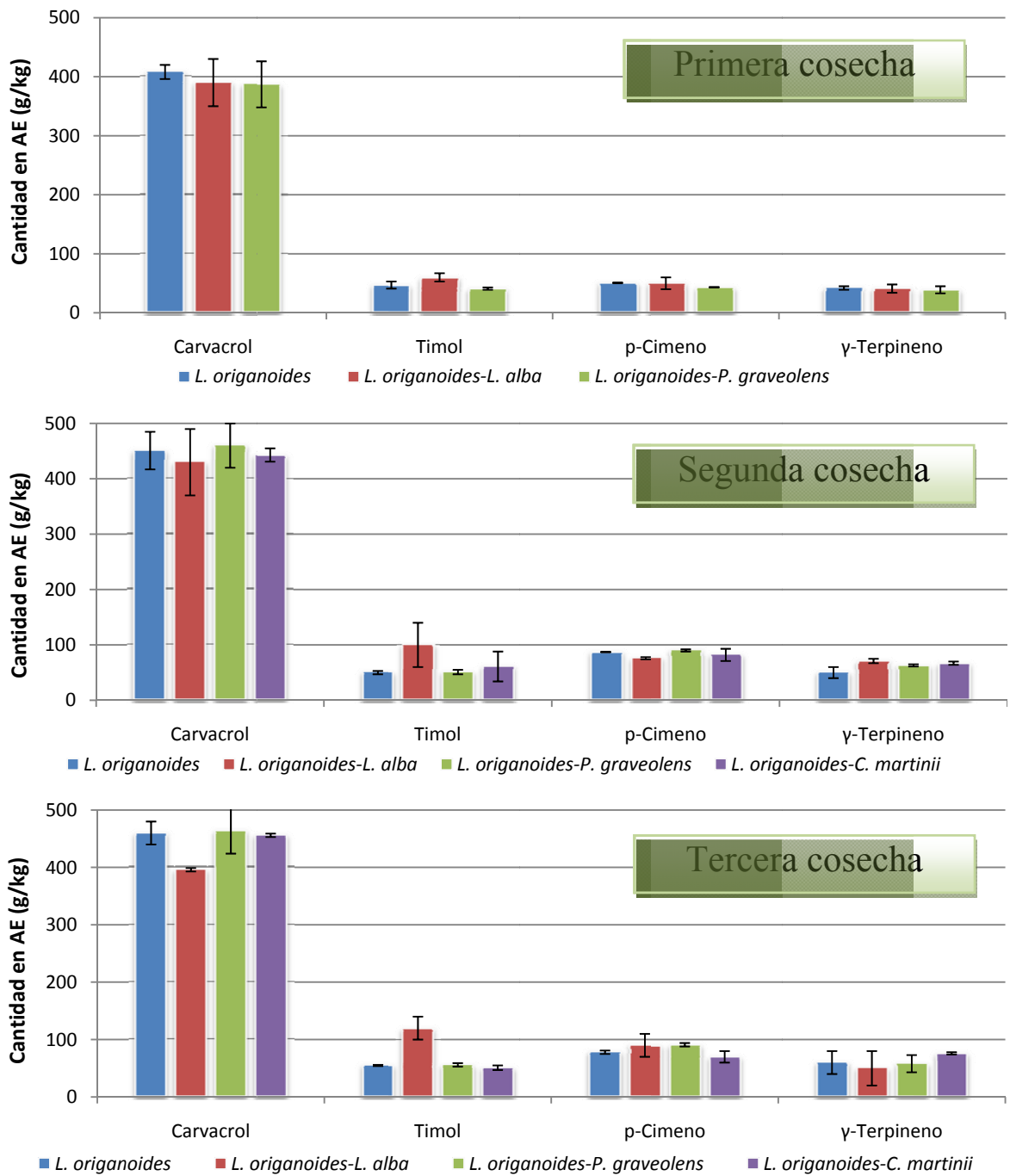


Figura 18. Cantidad de los componentes mayoritarios del AE de *L. origanoides*, cultivada en monocultivo y en los cultivos intercalados *L. origanoides-L. alba*, *L. origanoides-P. graveolens* y *L. origanoides-C. martinii* (Anexos 17-19).

Para evaluar la productividad de la especie *L. origanoides* en los sistemas de cultivos estudiados y en las tres cosechas recogidas, se calculó el rendimiento por planta de cada uno de los componentes mayoritarios (mg/planta), los cuales se presentan en los **Anexos 20-22**. Como se sugirió en el análisis de los resultados de *L. alba*, si se desea conocer la cantidad de estos componentes producida por hectárea, se debe multiplicar el rendimiento por planta, por el número plantas ubicadas por hectárea, de acuerdo con el sistemas de cultivo evaluado (**Véase Tabla 3**).

Los rendimientos (g/planta) alcanzados para carvacrol, timol, *p*-cimeno y γ -terpineno en plantas de *L. origanoides*, cultivadas en monocultivo y en los cultivos intercalados *L. origanoides*-*L. alba*, *L. origanoides*-*P. graveolens* y *L. origanoides*-*C. martinii* se comparan en la **Figura 20**. De estos resultados se puede señalar lo siguiente:

- En la primera y segunda cosechas, las plantas de *L. origanoides* produjeron cantidades mayores de carvacrol, timol, *p*-cimeno y γ -terpineno, cuando éstas se cultivaron intercaladas con plantas de *L. alba* o de *P. graveolens*, que cuando se cultivaron en monocultivo.
- En la segunda y tercera cosechas, las plantas de *C. martinii* limitaron considerablemente, en el cultivo intercalado *L. origanoides*-*C. martinii*, la producción (por planta) de carvacrol, timol, *p*-cimeno y γ -terpineno en *L. origanoides*. Esto puede explicarse por el acelerado crecimiento de *C. martinii*, que limitó la absorción de radiación solar por parte de *L. origanoides*, y por ende, su desarrollo y crecimiento, manifestándose en una cantidad reducida de MV/planta y AE/planta (**Véase Anexo 8**)

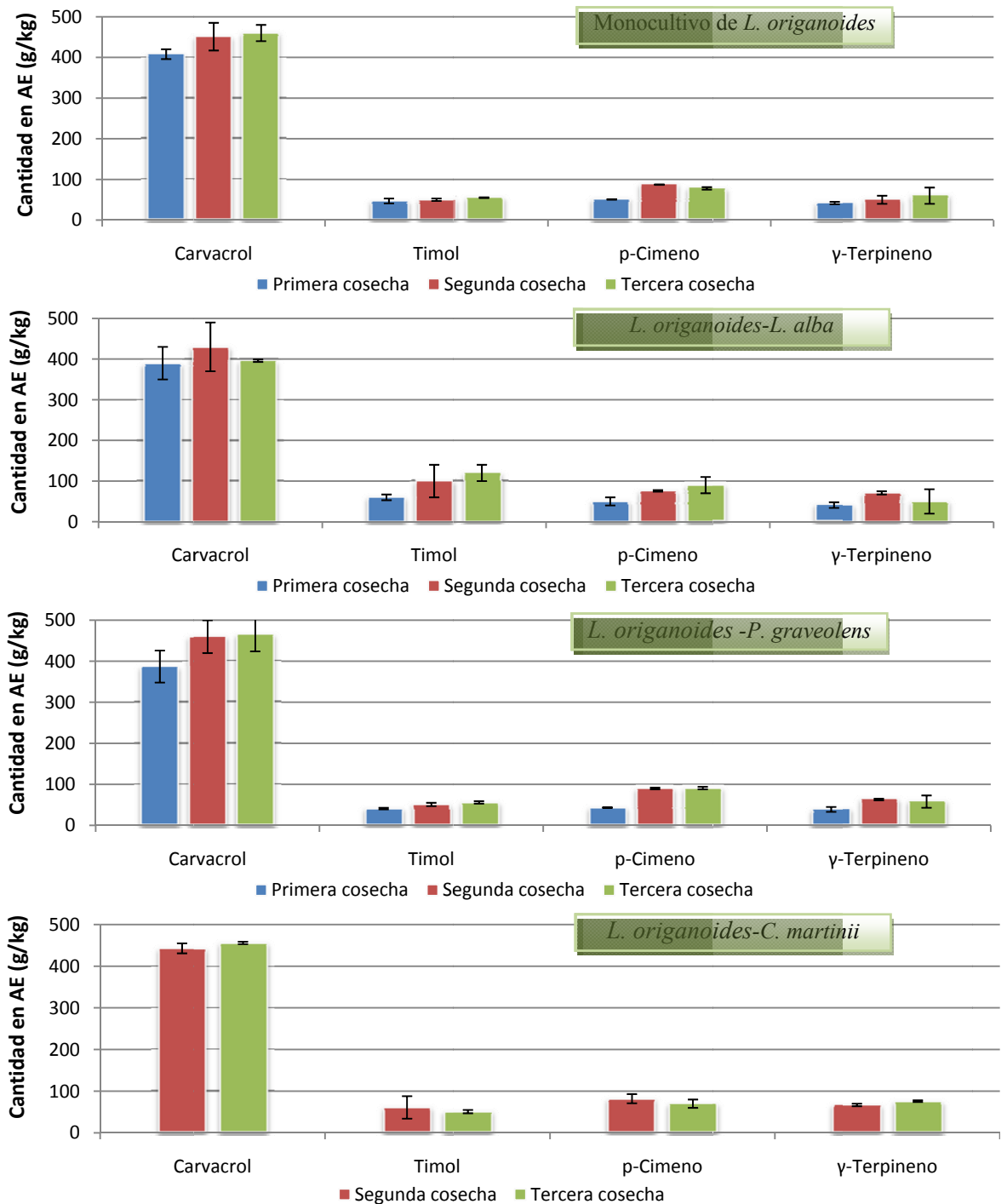


Figura 19. Cantidad de los componentes mayoritarios del AE de *L. origanoides*, obtenida de tres cosechas y de los cuatro sistemas de cultivo evaluados (**Anexos 17-19**).

- En la primera y segunda cosechas, se lograron cantidades mayores de carvacrol por planta de *L. origanoides* (g/planta), cuando éstas se intercalaron con las de *P. graveolens*. En la tercera cosecha, las cantidades mayores de carvacrol (g/planta) se obtuvieron cuando *L. origanoides* se cultivó intercalada con *L. alba*.
- En la tercera cosecha, las cantidades mayores de timol, *p*-cimeno y γ -terpineno producidas por planta de *L. origanoides*, se alcanzaron cuando éstas se intercalaron con plantas de *L. alba*.

Estos resultados sugieren que la presencia de plantas de *L. alba* y *P. graveolens* cerca de las plantas de *L. origanoides*, en un cultivo, promueven en éstas la producción de AE (y de carvacrol, timol, *p*-cimeno y γ -terpineno) por planta. Y por el contrario, el intercalamiento de plantas de *C. martinii* con plantas de *L. origanoides*, limita la producción de AE/ planta en *L. origanoides*.

Los rendimientos de carvacrol, timol, *p*-cimeno y γ -terpineno en plantas de *L. origanoides* (g/planta), obtenidos de las tres cosechas, se comparan en la **Figura 21**. En esta se observa lo siguiente:

- En el monocultivo de *L. origanoides* y en el cultivo intercalado *L. origanoides*-*L. alba*, la cantidad que se produjo de carvacrol, timol, *p*-cimeno y γ -terpineno por planta de *L. origanoides* se incrementó en la segunda y tercera cosechas.
- En el cultivo intercalado *L. origanoides*-*P. graveolens*, los rendimientos (g/planta) de carvacrol, timol, *p*-cimeno y γ -terpineno en las plantas de *L. origanoides* fueron superiores en la segunda cosecha; y en el caso de carvacrol, en este mismo cultivo intercalado, el rendimiento en la tercera cosecha se redujo considerablemente, e incluso menor al obtenido en la primera cosecha.
- En el intercalado, *L. origanoides*-*C. martinii*, el rendimiento de carvacrol, timol, *p*-cimeno y γ -terpineno en plantas de *L. origanoides* disminuyó considerablemente en la tercera cosecha.

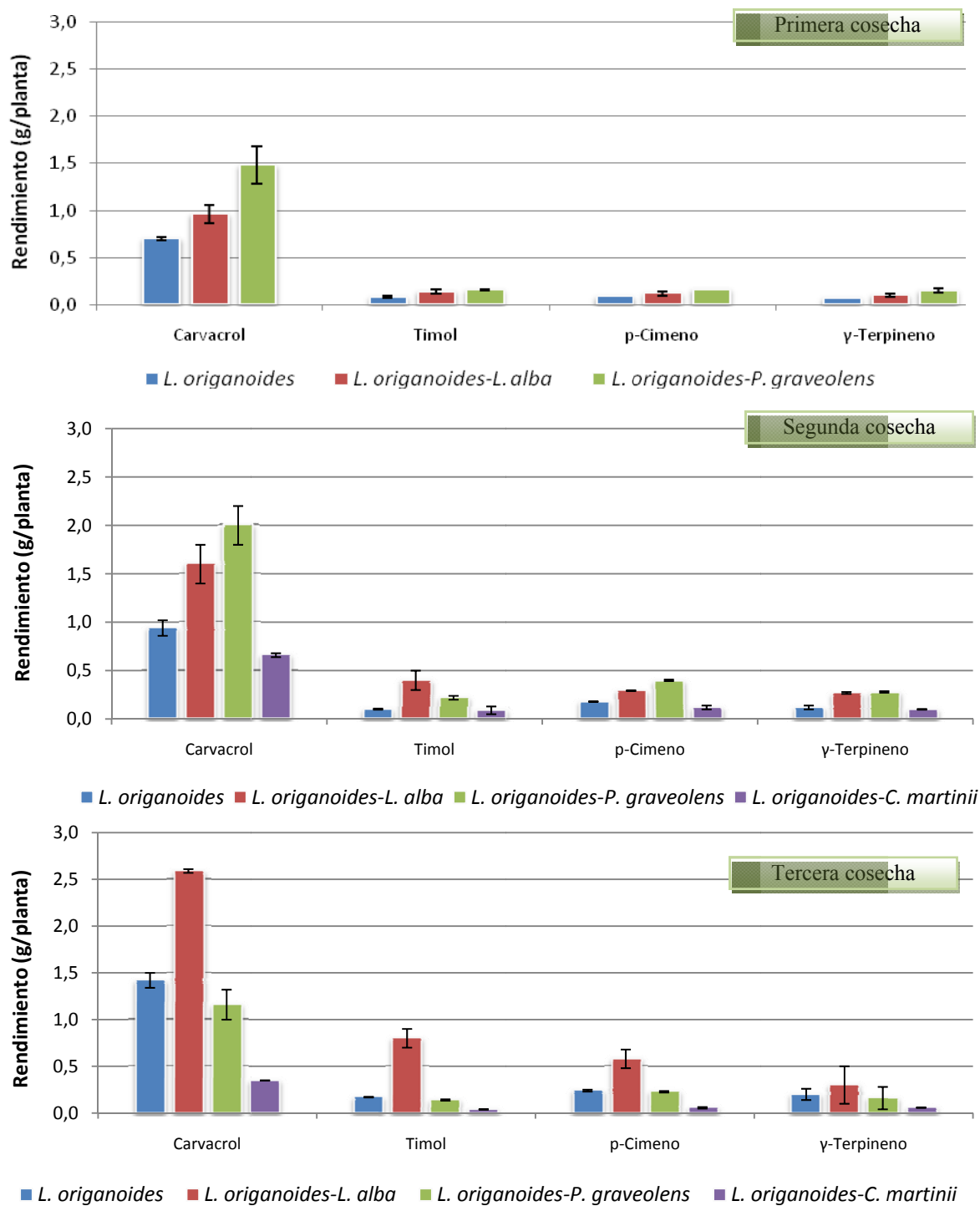


Figura 20. Rendimiento de los componentes mayoritarios del AE de *L. origanoides*, cultivada en monocultivo y en los cultivos intercalados *L. origanoides-L. alba*, *L. origanoides-P. graveolens* y *L. origanoides-C. martinii* (Anexos 20-22).

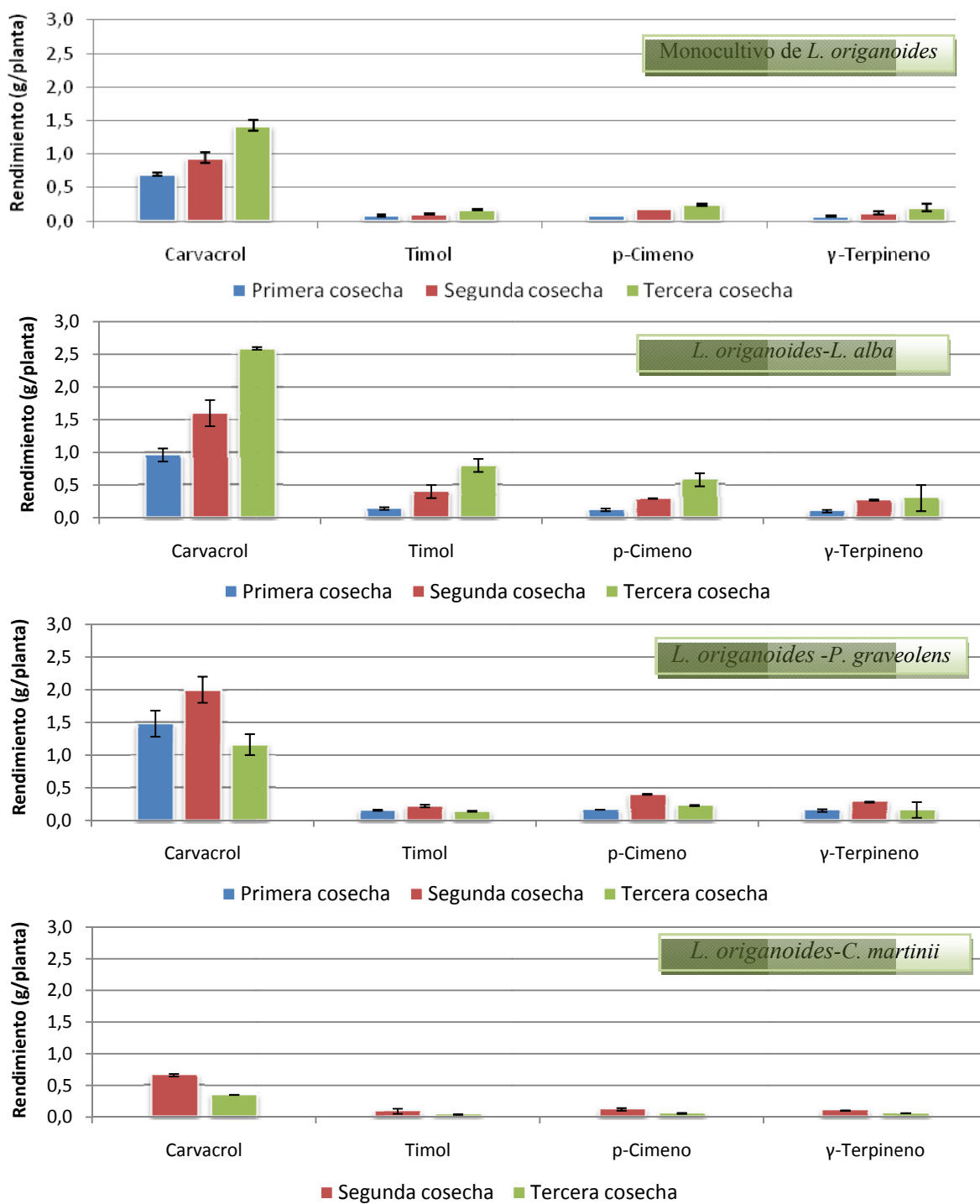


Figura 21. Rendimiento de los componentes mayoritarios del AE de *L. origanoides*, obtenido de cada una de las cosechas recogidas y de los sistemas de cultivo estudiados (monocultivo y los cultivos intercalados *L. origanoides-L. alba*, *L. origanoides-P. graveolens* y *L. origanoides-C. martinii*) (Anexos 20-22).

Varios factores pudieron influir en los resultados observados entre las diferentes cosechas, esto son: a). edad de las plantas; b). cambios ambientales como temperatura ambiente, nivel de precipitaciones e intensidad de la radiación solar, entre otros (**Anexos 1-5**); c) deterioro de material vegetal cultivado; y d). el sistema de cultivo implementado.

En general, fueron pocas y sutiles las diferencias en la proporción de carvacrol, timol, *p*-cimeno y γ -terpineno en el AE de *L. origanoides*, cultivada en monocultivo e intercalada con *L. alba*, *P. graveolens* o *C. martinii* y obtenida de las tres cosechas recogidas. Sin embargo, en las cantidades de estos mismos compuestos por planta, sí se presentaron diferencias entre los sistemas de cultivo evaluados, e.g., *L. origanoides* incrementó considerablemente la producción de carvacrol, timol, *p*-cimeno y γ -terpineno por planta, cuando esta especie se intercaló con *L. alba* (en las tres cosechas) y *P. graveolens* (en la primera y segunda cosechas); y cuando *L. origanoides* se intercaló con *C. martinii*, aquella redujo significativamente la producción de carvacrol, timol, *p*-cimeno y γ -terpineno por planta.

5.3.3 *Pelargonium graveolens*. En el AE de *P. graveolens*, cultivada en monocultivo y en el cultivo intercalado con *L. alba*, *L. origanoides* o con *C. martinii*, y extraído de tres cosechas, se identificaron 51 compuestos, y de acuerdo con la cantidad presente en el AE, los principales fueron en su orden: citronelol, formiato de citronelilo, geraniol, 6,9-guaiadieno, *iso*-mentona, formiato de geranilo, germacreno D, triglato de geranilo, viridifloreno, *trans*- β -cariofileno, óxido de cariofileno, β -bourboneno y δ -cadineno, entre otros (**Véase Anexos 23-25**). De estos compuestos, citronelol, formiato de citronelilo, geraniol y 6,9-guaiadieno (**Véase Figura 22**) representaron ca. 60% del total del AE de *P. graveolens*.

Las cantidades de citronelol, formiato de citronelilo, geraniol y 6,9-guaiadieno presentes en el AE de *P. graveolens*, cultivada en monocultivo y en los cultivos intercalados *P. graveolens*-*L. alba*, *P. graveolens*-*L. origanoides* y *P. graveolens*-*C. martinii*, se comparan en la **Figura 23**. Allí se puede apreciar que son pocas las diferencias en la cantidad de estos compuestos en el AE, e.g., en la primera cosecha, sólo se presentaron incrementos significativos en el contenido de citronelol, cuando *P. graveolens* se intercaló con *L. alba* o con *L. origanoides*; en la segunda cosecha, las diferencias se observaron solamente en la proporción de geraniol en el AE de *P. graveolens*, la cual se incrementó cuando las plantas de *P. graveolens* se intercalaron con las plantas de *L. alba*. Además, en esta misma cosecha, la presencia de las plantas de *L. origanoides* intercaladas con las de *P. graveolens*, provocó en éstas un leve incremento en el contenido de 6,9-guaiadieno en su AE.

En la tercera cosecha, por su parte, no se presentaron diferencias notables en la proporción de citronelol, formiato de citronelilo, geraniol y 6,9-guaiadieno en el AE de *P. graveolens*, al intercalarla con plantas de *L. alba* o *L. origanoides*. En el caso del cultivo intercalado de las plantas *P. graveolens* con las plantas de *C. martinii*, aquellas no prosperaron; prácticamente, todas perecieron; la cantidad de MV de *P. graveolens*, producida y recogida (2,6 g/planta, **Véase Anexo 9**) no fue suficiente para la extracción de AE, lo cual puede explicarse por el rápido crecimiento de *C. martinii*, que no permitió llegar radiación solar a *P. graveolens*, para su actividad fotosintética.

La cantidad de los cuatro compuestos principales del AE de *P. graveolens*, i.e., citronelol, formiato de citronelilo, geraniol y 6,9-guaiadieno, recogida en las tres cosechas se compara en la **Figura 24**. En esta se observan algunas diferencias importantes en la proporción de estos componentes en el AE, como son: a). En el monocultivo de *P. graveolens*, y en los cultivos intercalados de estas plantas con *L. alba* y *L. origanoides*, se alcanzaron cantidades mayores citronelol en la segunda y

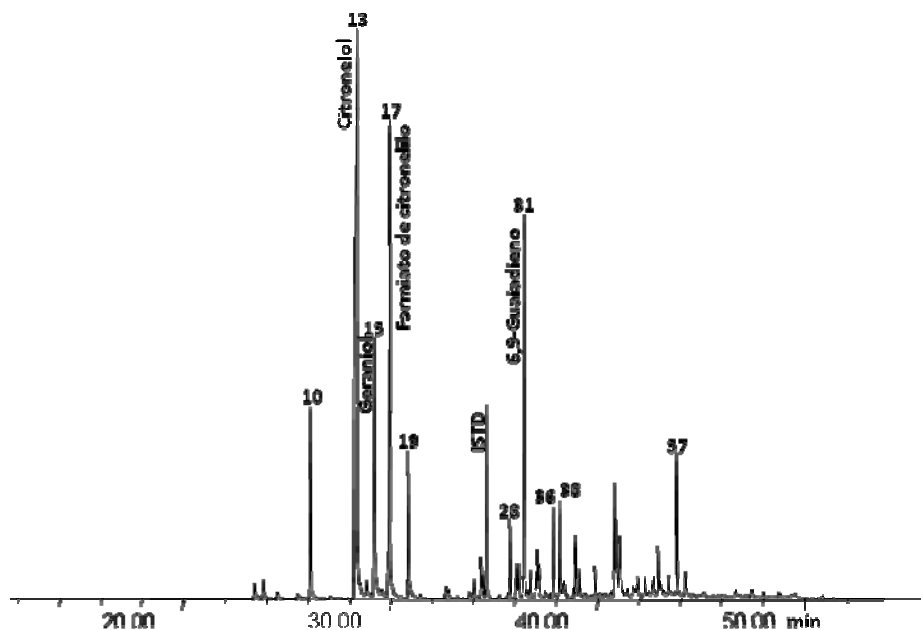


Figura 22. Perfil cromatográfico típico del AE de *P. graveolens*, obtenido por MWHD. Columna DB-5 (60 m). Detector espectrométrico de masas. La identificación de componentes aparece en el **Anexo 23**.

tercera cosechas que en la primera; b). en el monocultivo de *P. graveolens* y en el cultivo intercalado *P. graveolens*-*L. origanoides* se lograron cantidades significativamente mayores de geraniol en la tercera cosecha que las producidas en la primera y segunda cosechas; y c). las plantas de *P. graveolens*, intercaladas con *C. martinii*, perecieron, en su gran mayoría (explicado previamente). Estas diferencias entre las cantidades de citronelol, formiato de citronelilo, geraniol y 6,9-guaiadieno, observadas de las tres cosechas, se pueden explicar por las variaciones en las condiciones ambientales (**Anexos 1-5**) y por la edad de las plantas.

A fin de evaluar y comparar la productividad de las plantas de *P. graveolens*, cultivadas en monocultivo e intercaladas con *L. alba*, *L. origanoides* y *C. martinii*, se determinó la cantidad por planta de cada uno de los componentes presentes en el AE (**Anexos 26-28**). Si se desea calcular la productividad de cada componente

del AE de *P. graveolens* por hectárea, es necesario tener en cuenta el número de plantas cultivadas por hectárea, según sea el sistema de cultivo (**Tabla 3**).

El rendimiento (g/planta) de los componentes mayoritarios presentes en el AE de *P. graveolens*, *i.e.*, citronelol, formiato de citronelilo, geraniol y 6,9-guaiadieno, evaluados en cada uno de los sistemas de cultivo se muestran en la **Figura 25**. En esta se puede observar, que durante la primera cosecha se producen cantidades (g/planta) inferiores de citronelol, formiato de citronelilo, geraniol y 6,9-guaiadieno en *P. graveolens*, en condiciones de intercalado de las plantas de esta especie con *L. alba* o *L. origanoides*, que bajo el monocultivo.

En la segunda cosecha, el contenido de citronelol en plantas de *P. graveolens* se incrementó cuando éstas se intercalaron con *L. alba* o con *C. martinii* y decreció cuando se intercalaron con plantas de *L. origanoides* (**Figura 25**). En esta misma cosecha, las plantas de *C. martinii* intercaladas con plantas de *P. graveolens*, provocaron en éstas un incremento en el contenido de formiato de citronelilo (g/planta). Así mismo, se produjo un incremento en la cantidad de geraniol (g/planta) en las plantas de *P. graveolens*, al intercalarlas con *L. alba*.

En la tercera cosecha (**Figura 25**), sucedió como en la primera, la cantidad (g/planta) de citronelol, formiato de citronelilo, geraniol y 6,9-guaiadieno en *P. graveolens*, decreció cuando esta especie se intercaló con plantas de *L. alba* o *L. origanoides*, y decreció, e incluso perecieron (algunas), cuando se intercalaron con plantas de *C. martinii*.

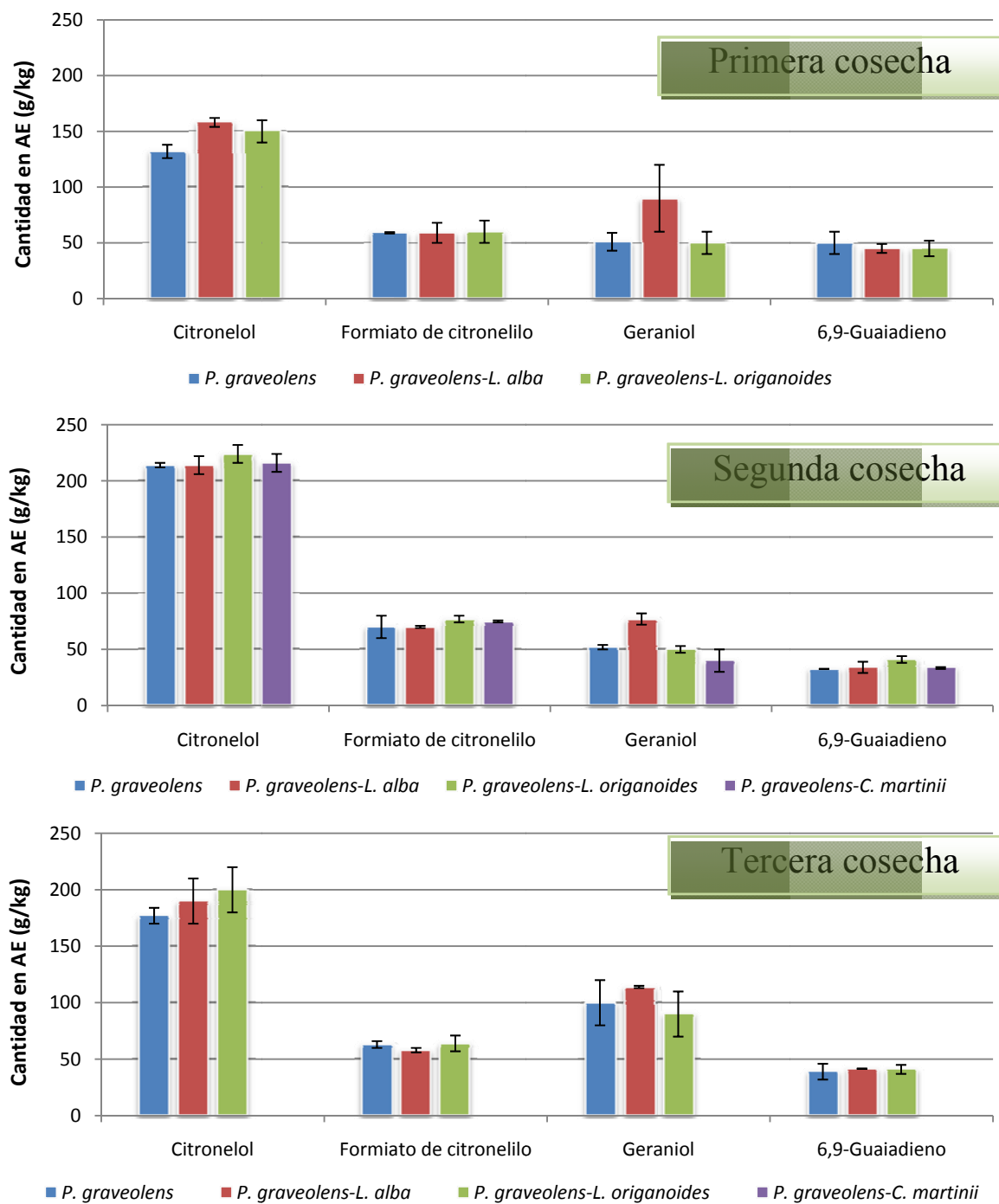


Figura 23. Cantidad de los componentes mayoritarios del AE de *P. graveolens*, cultivada en monocultivo y en los cultivos intercalados *P. graveolens-L. alba*, *P. graveolens-L. origanoides* y *P. graveolens-C. martinii* (Anexos 23-25).

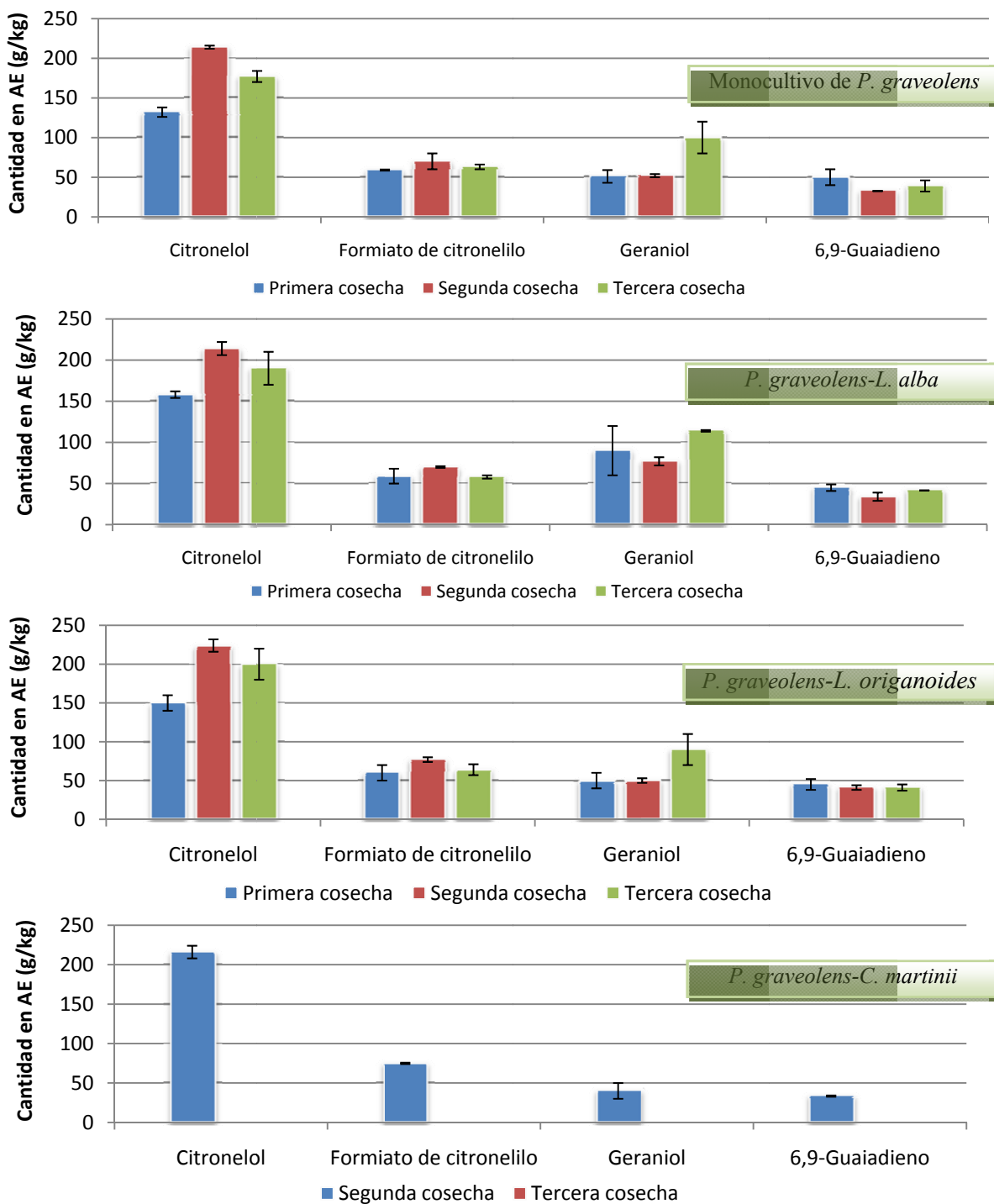


Figura 24. Cantidad de los componentes mayoritarios del AE de *P. graveolens*, obtenida de tres cosechas y de los cuatro sistemas de cultivo evaluados (**Anexos 23-25**).

Los rendimientos (g/planta), en las tres cosechas recogidas, de los componentes mayoritarios presentes en el AE de *P. graveolens*, se comparan en la **Figura 26**. Se observa, que en el monocultivo de *P. graveolens* en la segunda y tercera cosechas se lograron cantidades mayores (g/planta) de citronelol y menores cantidades de 6,9-guaiadieno. También se evidencia, en esta figura, que en la tercera cosecha la cantidad de geraniol (por planta) se incrementó de modo sustancial.

En el cultivo intercalado *P. graveolens*-*L. alba*, se observa (**Figura 26**) para la segunda cosecha que hubo un incremento considerable (casi 5 veces superior al de la primera cosecha) de citronelol, formiato de citronelilo, geraniol y 6,9-guaiadieno en las plantas de *P. graveolens*; en la tercera cosecha, las cantidades de estos compuestos en las plantas de *P. graveolens* disminuyeron significativamente, pero a cantidades (por planta) superiores a las alcanzadas en la primera cosecha.

En el cultivo intercalado de *P. graveolens*-*L. origanoides*, tal como ocurrió con el cultivo *P. graveolens*-*L. alba*, las cantidades de citronelol, formiato de citronelilo, geraniol y 6,9 guaiadieno, presente en plantas de *P. graveolens*, fue superior en la segunda cosecha, a las alcanzadas durante la primera y tercera cosechas, que fueron prácticamente idénticas. Y, finalmente, el cultivo intercalado de plantas de *C. martinii* con plantas de *P. graveolens* no favoreció al aumento de rendimiento de AE de las plantas de *P. graveolens* (**Véase Figura 26**).

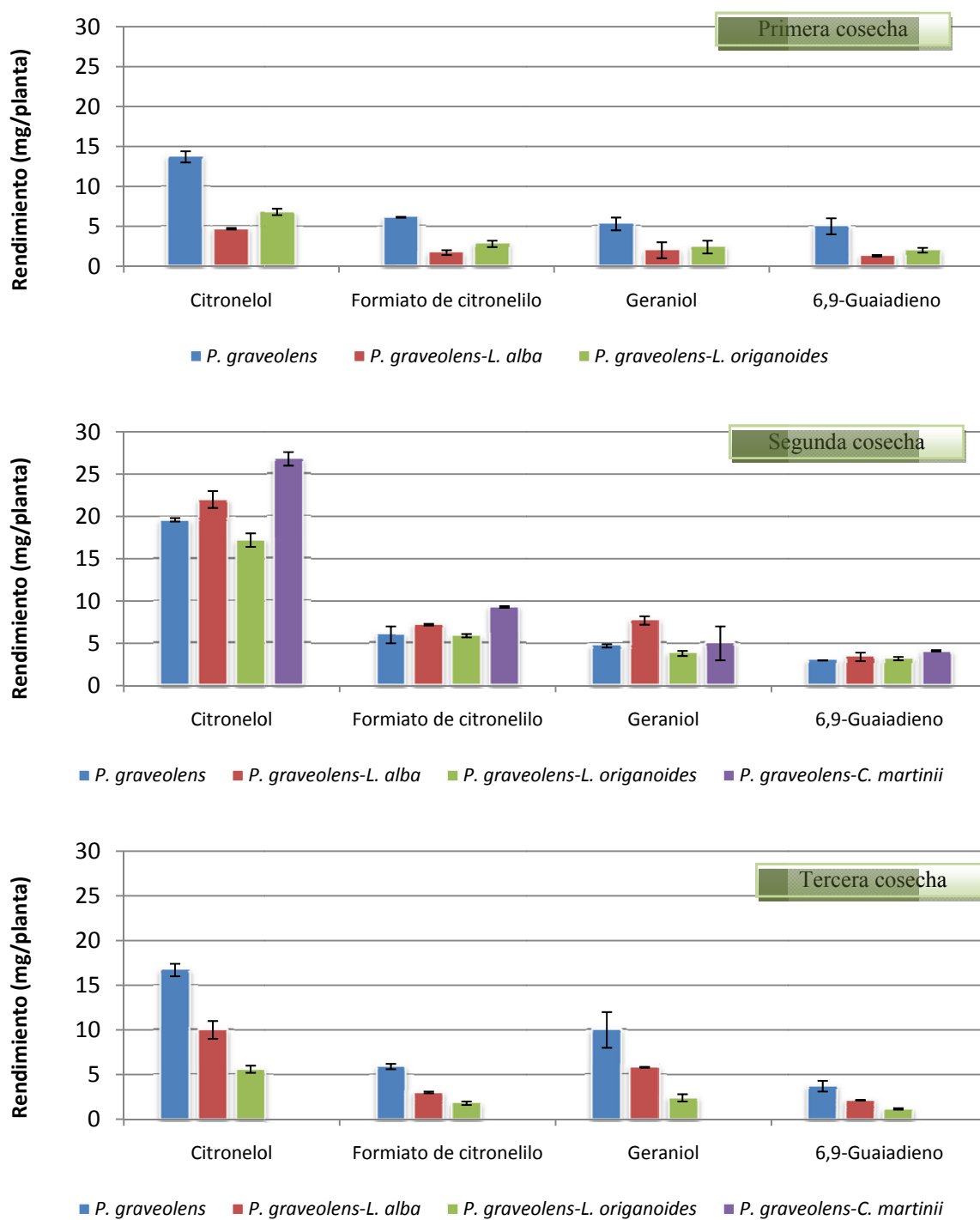


Figura 25. Rendimiento de los componentes mayoritarios del AE de *P. graveolens*, cultivada en monocultivo y en los cultivos intercalados *P. graveolens-L. alba*, *P. graveolens-L. organoides* y *P. graveolens-C. martinii* (Anexos 26-28).

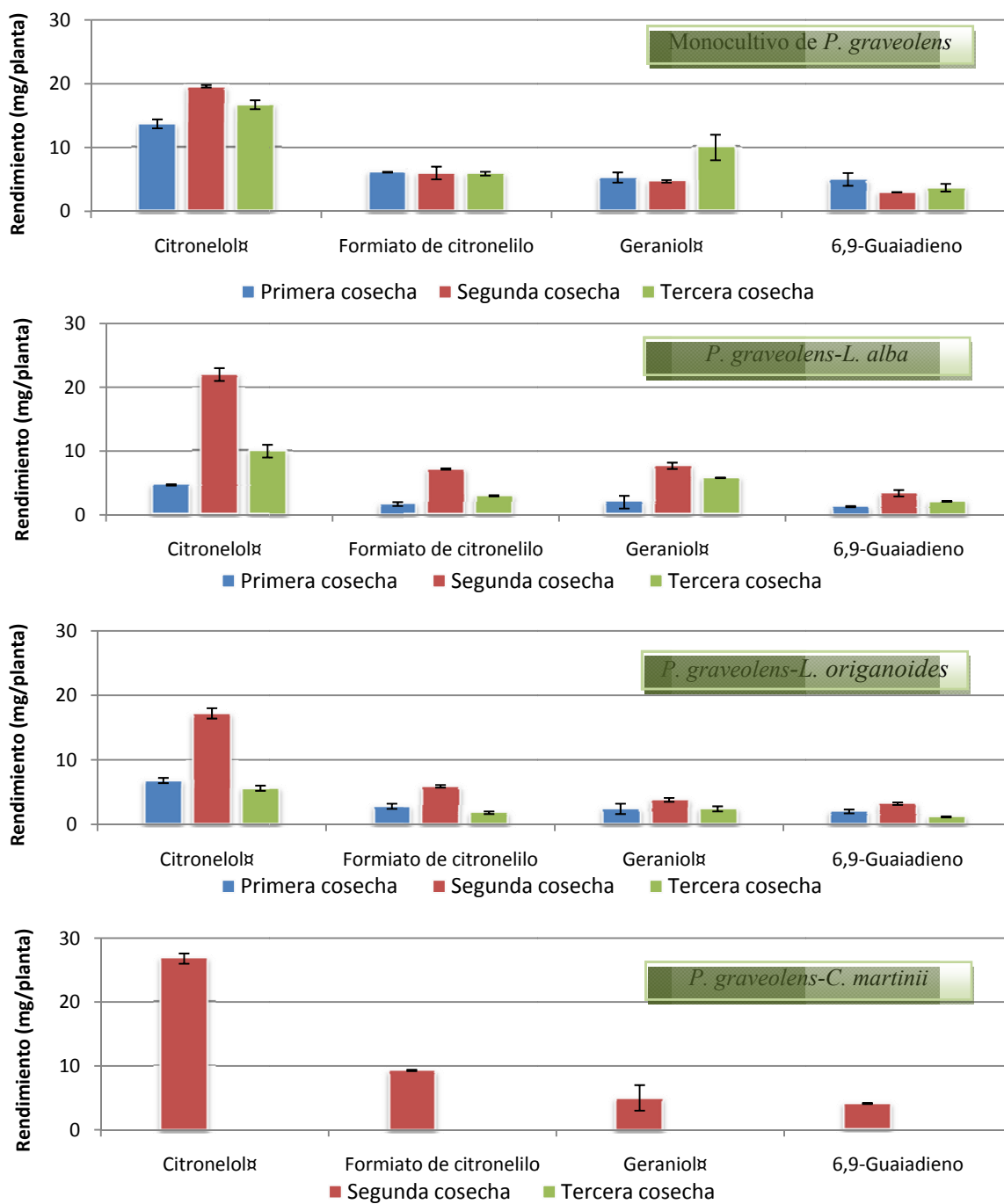


Figura 26. Rendimiento de los componentes mayoritarios del AE de *P. graveolens*, obtenido de cada una de las cosechas recogidas y de los sistemas de cultivos estudiados (monocultivo y los cultivos intercalados *P. graveolens-L. alba*, *P. graveolens-L. origanoides* y *P. graveolens-C. martinii*) (Anexos 26-28).

A manera de conclusión, se puede afirmar que el sistema de cultivo implementado (**Figura 24**) no fue un factor determinante de las proporciones de citronelol, formiato de citronelilo, geraniol y 6.9-guaiedieno en el AE de *P. graveolens*. No obstante, se evidenciaron variaciones de sus proporciones entre las cosechas recogidas; se destaca la cantidad de citronelol, que fue considerablemente menor en la primera cosecha, que las alcanzadas durante la segunda y la tercera cosecha (en el monocultivo y en los cultivos intercalados *P. graveolens*-*L. alba* y *P. graveolens*-*L. origanoides*).

Por el contrario, en el caso de los rendimientos (por planta) de los componentes mayoritarios del AE de *P. graveolens*, hubo influencia del sistema de cultivo implementado, e.g., en la primera y la tercera cosecha (**Figura 25**), al intercalar plantas de *L. alba* o *L. origanoides* con las de *P. graveolens*; se observó una disminución considerable de la cantidad de citronelol, formiato de citronelilo, geraniol y 6.9-guaiedieno. En la tercera cosecha, las plantas de *C. martinii*, en el cultivo intercalado *P. graveolens*-*C. martinii*, limitaron el desarrollo y crecimiento de las plantas de *P. graveolens*, y no fue posible extraer su AE, por las cantidades tan pequeñas de material vegetal recogido.

5.3.4 *Cymbopogon martinii*. De esta especie sólo se recogieron dos cosechas, la primera en febrero de 2010 (en el presente estudio, por convención se ha denominado “segunda cosecha experimental”) y, la segunda, en julio de 2010 (denominada en este documento “tercera cosecha experimental”), debido a que *C. martinii* sustituyó a *Artemisia dracunculus*, especie que por problemas de adaptación y de suministro de plántulas, finalmente, se desistió de implementar en los cultivos experimentales.

De *C. martinii* se sembraron plantas en monocultivo y en los cultivos intercalados *C. martinii*-*L. alba*, *C. martinii*-*L. origanoides* y *C. martinii*-*P. graveolens*. En los AE

de esta especie se identificaron, en las dos cosechas, 20 compuestos, que en orden decreciente de su cantidad en el AE, fueron: geraniol, acetato de geranilo, linalol, *2-trans-6-cis-farnesol*, geranial, *trans-β-ocimeno*, *trans-β-cariofileno*, neral, isovalerato de geranilo, *cis-β-ocimeno*, *trans-nerolidol*, nerol, butanoato de geranilo y mircenol, entre otros (**Anexos 29 y 30**). De éstos, sólo los tres compuestos mayoritarios, *i.e.*, geraniol, acetato de geranilo y linalol (**Véase Figura 27**), representaron más del 95% del AE de *C. martinii*.

Las cantidades de geraniol, acetato de geranilo y linalol presentes en el AE de *C. martinii*, cultivada en monocultivo o intercalada con *L. alba*, *L. origanoides* y *P. graveolens*, se muestran en la **Figura 28**.

En el AE de *C. martinii*, la cantidad presente de geraniol, acetato de geranilo y linalol, en la segunda y tercera cosechas experimentales (primera y segunda cosechas, respectivamente, para *C. martinii*), no varió considerablemente con la modificación del sistema de cultivo (**Véase Figura 28**). Sólo hubo diferencias significativas en el AE de *C. martinii*, en la segunda cosecha experimental, cuando plantas de esta especie se intercalaron con las de *L. alba*, a saber: disminuyó levemente la cantidad de geraniol y se incrementó la del acetato de geranilo en el AE (**Figura 29**). Este mismo cultivo intercalado, *C. martinii-L. alba*, junto con el monocultivo de *C. martinii*, fueron los únicos sistemas de cultivos en los que la cantidad de geraniol en el AE de *C. martinii* se incrementó en la tercera cosecha, respecto a su cantidad obtenida en la segunda cosecha (**Figura 29**).

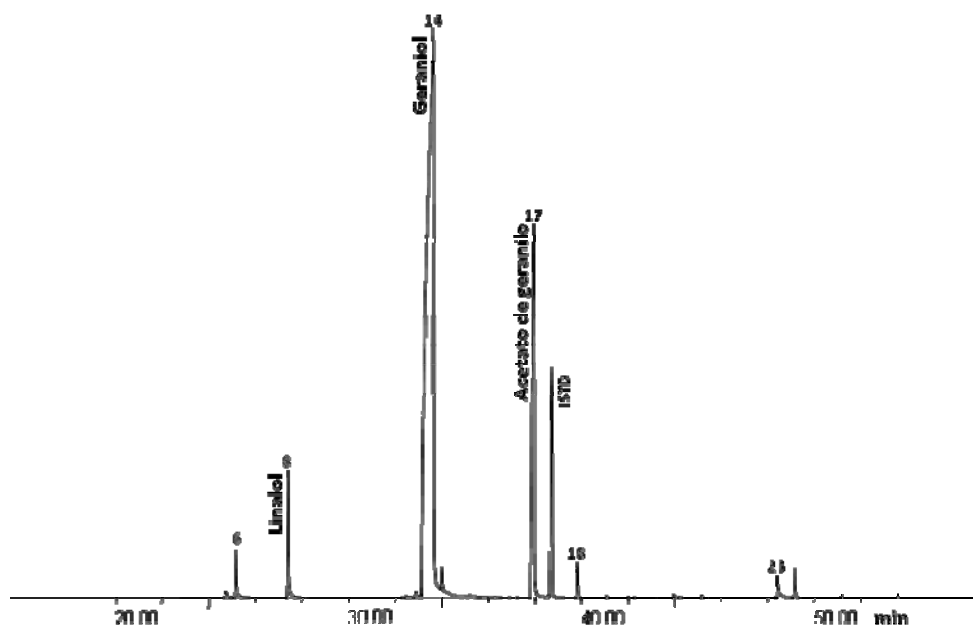


Figura 27. Perfil cromatográfico típico del AE de *C. martinii*, obtenido por MWHD. Columna DB-5 (60 m). Detector espectrométrico de masas. La identificación de componentes aparece en el **Anexo 29**.

Con el objeto de evaluar y comparar la productividad de las plantas de *C. martinii*, cultivadas en monocultivo y cultivos intercalados con *L. alba*, *L. origanoides* y *P. graveolens*, se determinó la cantidad por planta de cada uno de los componentes presentes en el AE (**Anexos 31-32**). Si se desea calcular la productividad de cada componente del AE de *C. martinii* por hectárea, es necesario tener en cuenta el número de plantas cultivadas por hectárea, según sea el sistema de cultivo (**Tabla 3**).

Las cantidades de geraniol, acetato de geraniolo y linalol producidas por planta de *C. martinii*, cultivada en monocultivo o cultivos intercalados con plantas de *L. alba*, *L. origanoides* y *P. graveolens*, se comparan en la **Figura 30**. Allí se observa, en la segunda cosecha, que cuando se intercalaron las plantas de *C. martinii* con las de *L. alba*, la producción de geraniol y acetato de geraniolo en las plantas de *C. martinii*, se incrementó considerablemente. Y, en esta misma cosecha, el

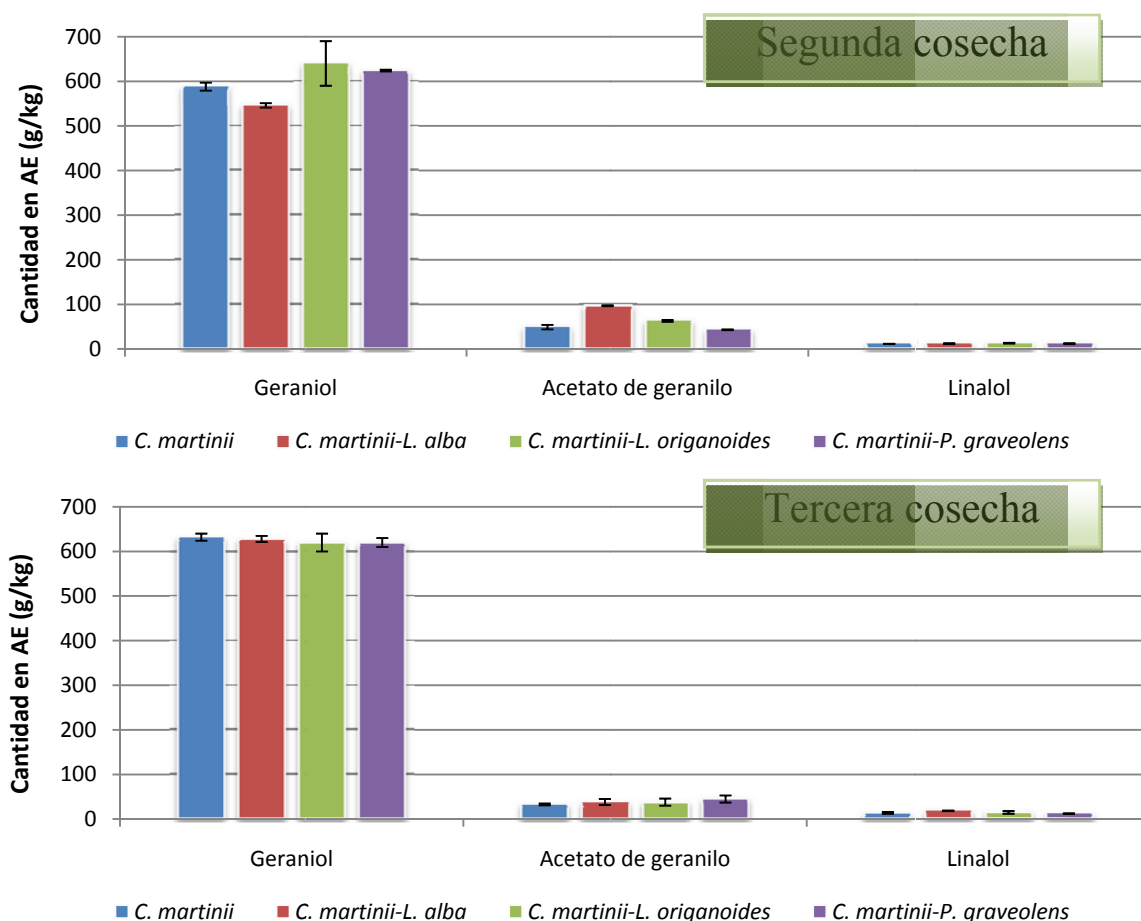


Figura 28. Cantidad de los componentes mayoritarios del AE de *C. martinii*, cultivada en monocultivo y en los cultivos intercalados *C. martinii-L. alba*, *C. martinii-L. origanoides*, y *C. martinii-P. graveolens* (Anexos 29 y 30).

cultivo intercalado *C. martinii-P. graveolens* también produjo un aumento de geraniol (por planta) en *C. martinii*.

En la tercera cosecha, las cantidades de geraniol, acetato de geranilo y linalol producidas por planta de *C. martinii*, fueron superiores cuando las plantas de *C. martinii* se intercalaron con *L. alba*, *L. origanoides* o *P. graveolens*, que cuando se cultivaron en monocultivo (Figura 30).

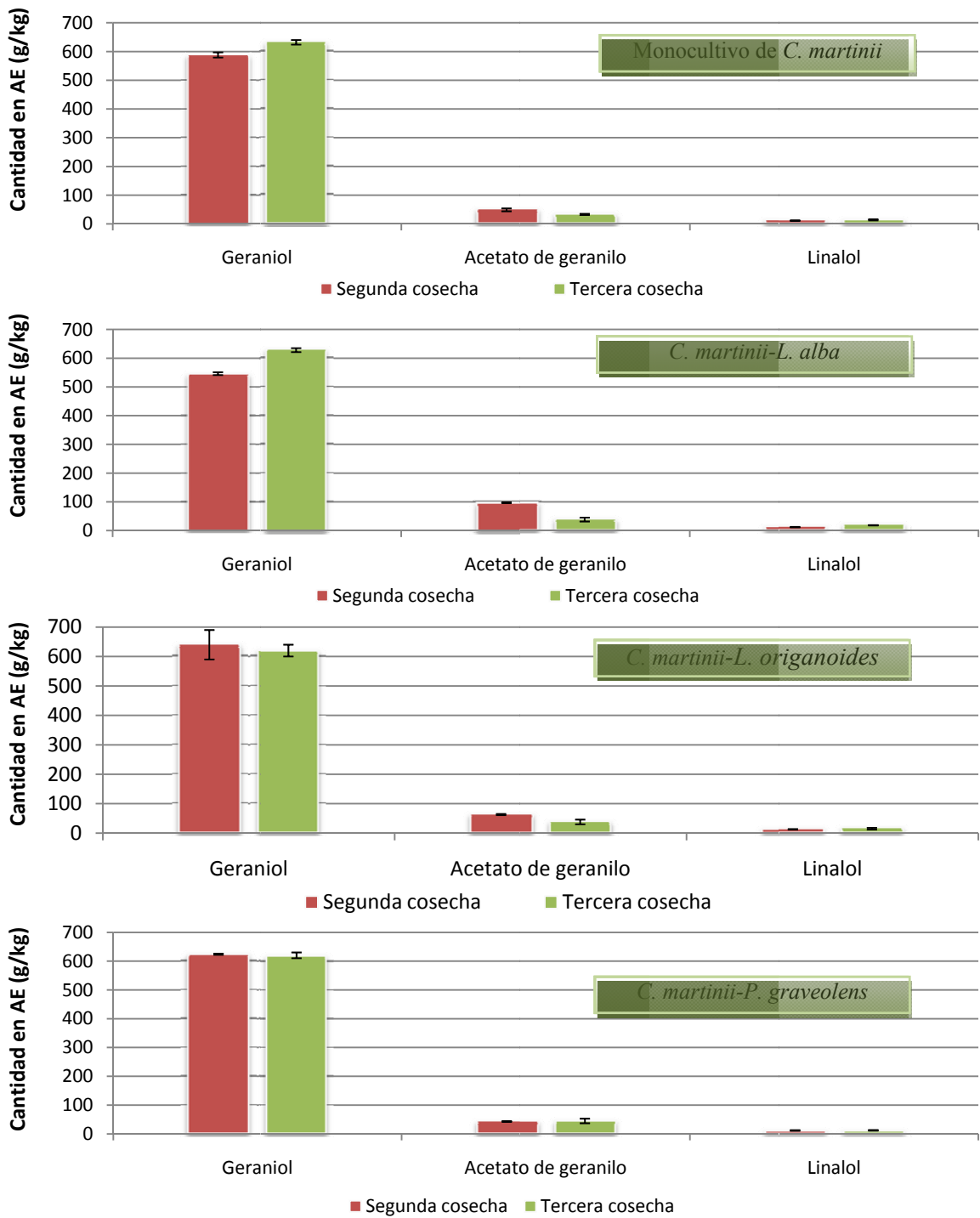


Figura 29. Cantidad de los componentes mayoritarios del AE de *C. martinii*, obtenida de dos cosechas y de los cuatro sistemas de cultivo evaluados (**Anexos 29-30**).

Al comparar el rendimiento obtenido entre la segunda y tercera cosechas, de geraniol, acetato de geraniol y linalol en las plantas de *C. martinii*, cultivadas en monocultivo o intercaladas con plantas de *L. alba*, *L. origanoides* o *P. graveolens*, se observa (**Figura 31**) que durante la tercera cosecha se obtuvo mayor rendimiento (con la excepción de acetato de geraniol en el cultivo intercalado *C. martinii-L. alba*) que en la segunda cosecha. Lo anterior puede explicarse debido a los cambios ambientales o a las diferencias ontogénicas entre la segunda y tercera cosecha, que provocaron mayor cantidad de material vegetal y de su AE por planta (**Véase Anexo 10**).

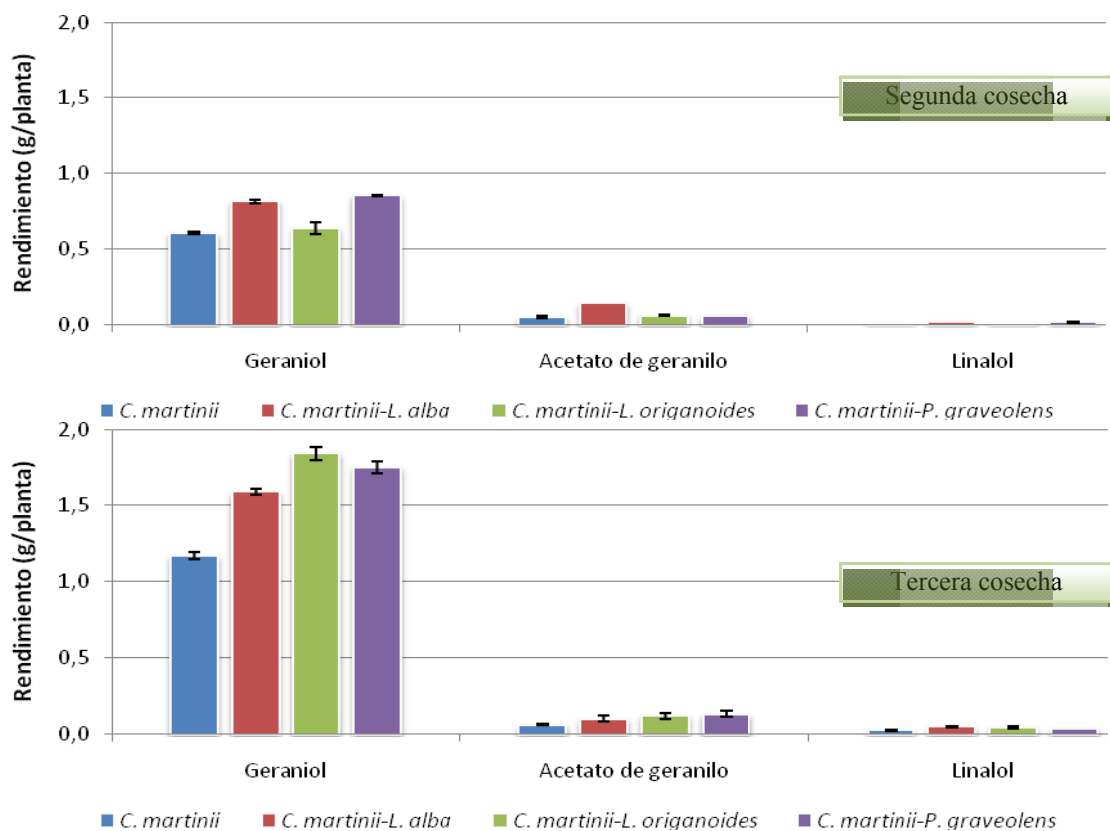


Figura 30. Rendimiento de los componentes mayoritarios del AE de *C. martinii*, cultivada en monocultivo y en los cultivos intercalados *C. martinii-L. alba*, *C. martinii-L. origanoides* y *C. martinii-P. graveolens* (**Anexo 31-32**).

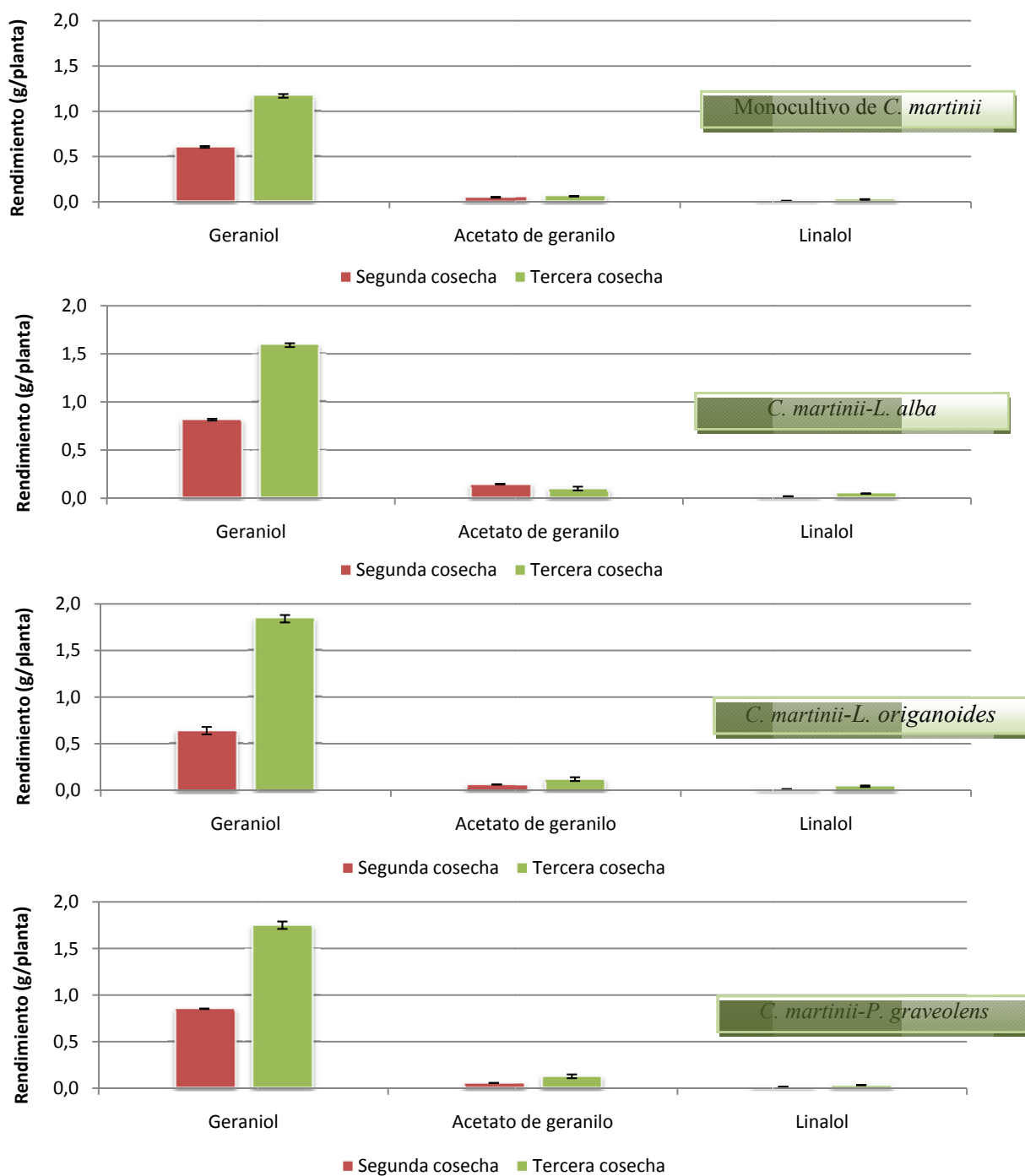


Figura 31. Rendimiento de los componentes mayoritarios del AE de *C. martinii*, obtenida de cada una de las cosechas recogidas y de los sistemas de cultivos estudiados (monocultivo y los cultivos intercalados *C. martinii-L. alba*, *C. martinii-L. origanoides* y *C. martinii-P. graveolens*) (Anexos 31-32).

5.3.5 Rendimiento de los cultivos intercalados. La relación de equivalencia de tierra (RET) (**Véase Sección 4.6**), analizada en esta sección, se calculó con base en los rendimientos por hectárea del componente mayoritario presente en el AE de cada una de las especies estudiadas, *i.e.*, carvona, en *L. alba*; carvacrol, en *L. origanoides*; citronelol, en *P. graveolens* y geraniol, en *C. martinii* (**Anexo 33**). La RET determinada en esta sección difiere de la calculada en la **Sección 5.2.5**, donde la RET se valoró teniendo en cuenta el rendimiento por hectárea del AE.

Para evitar confusión por el uso de la sigla RET, se empleará la sigla RET_c , para referir a la relación de equivalencia de tierra, teniendo en cuenta como criterio para su cálculo el rendimiento por hectárea del componente mayoritario presente en el AE de cada especie. La RET_c tiene su importancia en la medida en que, frecuentemente, un AE tiene valor para los productores o consumidores por la cantidad de su componente mayoritario.

La RET_c se calculó con la expresión de la RET que se presenta en la **Sección 4.6**, como se realizó en **Sección 5.2.5**, y con los datos de rendimiento por hectárea del componente mayoritario de cada especie, que se encuentran en el **Anexo 33**. Los resultados se presentan en las **Tablas 9-12**. Es necesario recordar que cuando la relación de equivalencia de tierra es mayor que uno, conviene hacer el cultivo intercalado y no el monocultivo.

De acuerdo con la RET_c calculada en la primera cosecha (**Véase Tabla 9**), el cultivo intercalado *L. alba-L. origanoides* ($RET_c = 1.03$) no influyó sobre la producción de carvona (en *L. alba*) y carvacrol (en *L. origanoides*). Es decir, en esta cosecha se obtuvo igual cantidad de los componentes mayoritarios, en los dos sistemas de cultivo evaluados: monocultivo y cultivo intercalado. En cambio, en el cultivo intercalado *L. alba-P. graveolens* ($RET_c = 0.53$) se redujo *ca.* 47% la cantidad (por hectárea) de los componentes mayoritarios de *L. alba* y *P.*

graveolens (carvona y citronelol, respectivamente), respecto a los alcanzados en cada uno de sus monocultivos.

No ocurrió así con el cultivo intercalado *L. origanoides*-*P. graveolens*, ($RET_c = 1.26$), el cual fue el único sistema de cultivo que superó la productividad (en un 26%) de los componentes mayoritarios (carvacrol y citronelol, respectivamente) alcanzados en los respectivos monocultivos de *L. origanoides* y *P. graveolens* (Véase Tabla 9). Al evaluar el factor de peso (rendimiento en cultivo intercalado/rendimiento en monocultivo, $\frac{RaI}{RaM}$) del rendimiento de cada componente, carvacrol y citronelol, en la RET_c del cultivo intercalado (carvacrol, 1.06 y citronelol, 0.20), se puede afirmar que, realmente, este cultivo intercalado incrementó el rendimiento por hectárea de carvacrol, en *L. origanoides* (prácticamente lo duplicó, véase también Figura 20, primera cosecha), al tiempo que redujo significativamente el de citronelol, en *P. graveolens*. Cuando un cultivo intercalado no afecta de ninguna manera la productividad de un cultivo, el factor de peso de cada una de las especies involucradas contribuye con un valor de 0.5 unidades a la RET; cuando no sucede lo anterior, se debe a que una de las especies se afecta o se favorece, dependiendo de que sea inferior o superior a 0.5, el factor de peso.

Con base en estos resultados se pueden sugerir modificaciones al arreglo del cultivo intercalado *L. origanoides*-*P. graveolens*, implementado en este trabajo (cultivo intercalado entre hileras y con igual número de plantas de cada especie en el área de cultivo), para aprovechar el efecto positivo de *P. graveolens* sobre *L. origanoides*, por ejemplo, aumentar la relación de plantas de *L. origanoides*/*P. graveolens* y modificar el ordenamiento del cultivo intercalado, colocando plantas de *P. graveolens* cada dos o más hileras, y no una de por medio como se hizo en los experimentos.

Es necesario señalar que las RET, para la primera cosecha, calculadas con base en el rendimiento en AE por hectárea (**Véase Tabla 5**) y en el rendimiento por hectárea, del componente mayoritario de cada especie (**Véase Tabla 9**), son idénticas. Este hallazgo hace suponer que la proporción del componente mayoritario en el AE de cada especie, en los diferentes sistemas de cultivo evaluados, no tuvo cambios importantes.

Tabla 9. RET_c del cultivo intercalado de las cuatro especies (*L. alba*, *L. origanoides*, y *P. graveolens*) en la primera cosecha. Criterio de cálculo: rendimiento por hectárea del compuesto mayoritario (**Véase Anexos 14-16**), Anexo 33.

Planta	<i>L. alba</i>	<i>L. origanoides</i>	<i>P. graveolens</i>
<i>L. alba</i>	1,00	1,03	0,53
<i>L. origanoides</i>	1,03	1,00	1,26
<i>P. graveolens</i>	0,53	1,26	1,00

Los valores calculados para la RET_c, correspondientes a los rendimientos por hectárea de la segunda cosecha recogida, se presentan en la **Tabla 10**. En esta tabla se observa que la RET_c del cultivo intercalado *L. alba*-*P. graveolens* fue 0.88, un poco mayor que la registrada en la primera cosecha, 0.53 (**Véase Tabla 9**), lo que sucedió gracias a un leve incremento del rendimiento de carvona y citronelol en este cultivo intercalado, respecto al obtenido en los monocultivos de *L. alba* y *P. graveolens*, repectivamente.

Por su parte, en los cultivos intercalados *L. alba*-*L. origanoides*, *L. alba*-*C. martinii*, *L. origanoides*-*P. graveolens* y *P. graveolens*-*C. martinii*, se favoreció la producción del componente mayoritario de cada una de las especies (la RET_c fue 1.37, 1.10, 1.44 y 1.25, respectivamente) (**Véase Tabla 10**).

En el caso del cultivo intercalado *L. alba-L. origanoides*, ambas especies se beneficiaron de éste, respecto al monocultivo, pues, el factor de peso en la RET_c de carvona (componente mayoritario del AE de *L. alba*) fue 0.64 y el de carvacrol (componente mayoritario del AE de *L. origanoides*) fue 0.72.

El cultivo intercalado *L. origanoides-P. graveolens*, como sucedió en la primera cosecha, también fue provechoso en la segunda cosecha ($RET_c = 1.44$), principalmente, por los beneficios de este cultivo intercalado sobre *L. origanoides*, dado que el factor de peso de carvacrol (su componente mayoritario) sobre la RET_c fue 1.09, mientras que el de citronelol (componente mayoritario de *P. graveolens*) fue sólo 0.35.

Finalmente, en la segunda cosecha, el cultivo intercalado *P. graveolens-C. martinii* ($RET_c 1.25$), favoreció el rendimiento de geraniol, componente mayoritario del AE de *C. martinii* (su factor de peso sobre la RET_c fue 0.70), y no afectó considerablemente el rendimiento de citronelol, componente mayoritario del AE de *P. graveolens* (cuyo factor de peso sobre la RET_c fue 0.55).

En relación con la segunda cosecha, es necesario resaltar la presencia de un mayor número de cultivos intercalados con RET_c mayor que uno (*L. alba-L. origanoides*, *L. alba-C. martinii*, *L. origanoides-P. graveolens* y *P. graveolens-C. martinii*) (**Véase Tabla 10**) en comparación con la primera cosecha (sólo *L. origanoides-P. graveolens*, **Véase Tabla 9**). Previo a la segunda cosecha se presentó una temporada cálida y seca (**Véase Anexos 1-2**), lo que hace suponer que en condiciones ambientales adversas, combinar estas especies en los cultivos es una alternativa para mejorar o mantener la productividad agrícola.

Las RET_c determinadas para cada uno de los cultivos intercalados, en la tercera cosecha recogida, se muestran en la **Tabla 11**. En esta cosecha, sólo el cultivo intercalado *L. alba-L. origanoides* logró una RET_c superior a uno ($RET_c = 1.23$). En

este cultivo intercalado, la especie que más contribuyó al incremento de la RET_c , fue *L. origanoides* (con el rendimiento de carvacrol, **Anexo 33**), que tuvo un factor de peso sobre la RET_c de 0.76, mientras que el factor de peso de *L. alba* (con el rendimiento de carvona, **Anexo 33**) fue de sólo 0.48.

Tabla 10. RET_c del cultivo intercalado de las cuatro especies (*L. alba*, *L. origanoides*, *P. graveolens* y *C. martinii*) en la segunda cosecha. Criterio de cálculo: rendimiento por hectárea del compuesto mayoritario, **Anexo 33**.

Planta	<i>L. alba</i>	<i>L. origanoides</i>	<i>P. graveolens</i>	<i>C. martinii</i>
<i>L. alba</i>	1,00	1,37	0,88	1,10
<i>L. origanoides</i>	1,37	1,00	1,44	0,88
<i>P. graveolens</i>	0,88	1,44	1,00	1,25
<i>C. martinii</i>	1,10	0,88	1,25	1,00

La baja productividad de los demás cultivos intercalados, *i.e.*, *L. alba-P. graveolens*, *L. alba-C. martinii*, *L. origanoides-P. graveolens*, *L. origanoides-C. martinii* y *P. graveolens-C. martinii* (**Véase Tabla 11**) puede atribuirse al deterioro de las plantas de *P. graveolens*, en el caso de sus cultivos intercalados, posiblemente, por el incremento de las precipitaciones en la temporada que antecedió a su cosecha (**Véase Anexo 2**) y las limitaciones en la captación de radiación solar; y en el caso de los cultivos intercalados que involucraron *C. martinii*, puede adjudicarse al hecho de que esta especie tuvo un crecimiento acelerado que limitó la llegada de radiación solar a sus especies acompañantes, reduciéndoles de esta manera su actividad fotosintética.

Tabla 11. RET_c del cultivo intercalado de las cuatro especies (*L. alba*, *L. origanoides*, *P. graveolens* y *C. martinii*) en la tercera cosecha. Criterio de cálculo: rendimiento por hectárea del compuesto mayoritario, **Anexo 33**.

Planta	<i>L. alba</i>	<i>L. origanoides</i>	<i>P. graveolens</i>	<i>C. martinii</i>
<i>L. alba</i>	1,00	1,23	0,63	0,75
<i>L. origanoides</i>	1,23	1,00	0,54	0,91
<i>P. graveolens</i>	0,63	0,54	1,00	0,74
<i>C. martinii</i>	0,75	0,91	0,74	1,00

Finalmente, se calculó la RET_c para las tres cosechas, con el objeto de evaluar el comportamiento total de las especies en los diferentes sistemas de cultivo (**Véase Tabla 12**). El cultivo intercalado *L. alba*-*L. origanoides* fue el único que logró una RET_c (total) superior a uno (1.24), y *L. origanoides* (que produjo carvacrol) fue la especie más beneficiada, que tuvo un factor de peso, en la RET_c total, de 0.71, mientras que el factor de peso de *L. alba* (que produjo carvona) fue de 0.53. Es decir, en las tres cosechas evaluadas, en el cultivo intercalado *L. alba*-*L. origanoides*, se obtuvo ca. 24% más de componentes mayoritarios de estas especies, y de ese 24%, ca. 21% correspondieron a carvacrol (componente mayoritario de *L. origanoides*).

Tabla 12. RET_c del cultivo intercalado de las cuatro especies (*L. alba*, *L. origanoides*, *P. graveolens* y *C. martinii*) en la totalidad de las cosechas. Criterio de cálculo: rendimiento por hectárea del compuesto mayoritario, **Anexo 33**.

Planta	<i>L. alba</i>	<i>L. origanoides</i>	<i>P. graveolens</i>	<i>C. martinii</i>
<i>L. alba</i>	1,00	1,24	0,70	0,82
<i>L. origanoides</i>	1,24	1,00	1,00	0,91
<i>P. graveolens</i>	0,70	1,00	1,00	1,03
<i>C. martinii</i>	0,82	0,91	1,03	1,00

El cultivo intercalado *L. origanoides*-*P. graveolens*, que en las dos primeras cosechas alcanzó una RET_c superior a uno (aunque en la tercera fue inferior a uno), sólo logró una RET_c total de ca. 1.00, pese a que *L. origanoides* se favoreció de esta combinación (su factor de peso en la RET_c total fue de 0.76).

Algo similar ocurrió con los cultivos intercalados *L. origanoides*-*C. martinii* (RET_c total= 0.91) y *P. graveolens*-*C. martinii* (RET_c total= 1.03), donde *C. martinii* (que produjo geraniol) se vio favorecida (con factor de peso 0.7 y 0.73, respectivamente).

Con base en estos resultados, se pueden sugerir modificaciones a la forma en que se organizaron los cultivos intercalados *L. origanoides*-*P. graveolens*, *L. origanoides*-*C. martinii* y *P. graveolens*-*C. martinii* en este trabajo, para aprovechar el efecto de *P. graveolens* sobre *L. origanoides*, en el cultivo intercalado *L. origanoides*-*P. graveolens*; el efecto de *L. origanoides* sobre *C. martinii*, en el cultivo intercalado *L. origanoides*-*C. martinii* y el efecto de *P. graveolens* sobre *C. martinii*, en el cultivo intercalado *P. graveolens*-*C. martinii*.

Lo anterior se puede lograr haciendo cambios en el número de plantas a ubicar en el sitio de cultivo (cambios en la relación de plantas), forma del cultivo intercalado y seleccionando una planta de interés (la otra se intercala sólo por sus efectos positivos, mas no, por su AE), entre otros.

6. CONCLUSIONES

1. Se propagaron y sembraron 4500 plantas (de *Lippia alba*, *Lippia origanoides*, *Pelargonium graveolens* y *Cymbopogon martinii*), en treinta huertas de 25 m² c/u, y se obtuvieron por hidrodestilación asistida por la radiación de microondas 420 muestras de aceites esenciales, a partir del material vegetal recogido en tres cosechas de plantas aromáticas, en un periodo de 15 meses. Se realizaron 670 análisis por GC-MS con columna polar y apolar y 700 análisis por GC-FID. La composición de los aceites se estableció por la técnica GC-MS, determinando los índices de retención lineales en columna de fase estacionaria polar y apolar, con base en sus espectros de masas (EI, 70 eV) y usando sustancias patrón. La cuantificación se llevó a cabo por el método de estandarización interna para los componentes mayoritarios de los aceites esencial y por el método del estándar interno (*n*-tetradecano) para los demás componentes.
2. Los sistemas de cultivos intercalados implementados y evaluados en cada una de las especies estudiadas, *i.e.*, *L. alba*, *L. origanoides*, *P. graveolens* y *C. martinii*, no modificaron la composición de los aceites esenciales, en relación a sus compuestos mayoritarios, a saber: en *L. alba*, carvona, limoneno, biciclosquifelandreno y peperitenona; en *L. origanoides*, carvacrol, timol, *p*-cimeno y γ -terpineno; en *P. graveolens*, citronelol, formiato de citronelilo, geraniol y 6,9-guaiadieno y en *C. martinii*, geraniol, acetato de geranilo y linalol. Estos cultivos intercalados, en cambio, sí afectaron el rendimiento (material vegetal/planta, aceite esencial/planta, compuesto mayoritario/planta) y ligeramente la proporción en el aceite esencial de tales componentes mayoritarios.
3. De los sistemas de cultivo evaluados en *L. alba*, *L. origanoides*, *P. graveolens* y *C. martinii*, el cultivo intercalado de planta de *L. alba* con

plantas de *L. origanoides* fue el único que, en las tres cosechas recogidas, incrementó su productividad en aceites esenciales (la relación de equivalencia de tierra, RET, fue 1.32), aproximadamente 32%. Los demás sistemas de cultivo intercalado mantuvieron su productividad similar a la de los respectivos monocultivos, con la excepción del cultivo intercalado de *L. alba*-*P. graveolens*, que tuvo una reducción en la productividad del 30% (la RET de este cultivo intercalado fue 0.7).

4. Las plantas de *C. martinii* cuando se intercalaron con plantas de alguna de las demás especies (*L. alba*, *L. origanoides* o *P. graveolens*), limitaron el crecimiento y desarrollo de éstas, presumiblemente, mediante la reducción de la radiación solar absorbida, debido a que las plantas de *C. martinii* alcanzaron alturas hasta de 2 m (muy superiores a las de las plantas de las otras especies), que bloquearon el paso de radiación solar para sus plantas acompañantes.
5. Las plantas de *P. graveolens*, bajo las condiciones de cultivo evaluadas, no se favorecieron del intercalado con plantas de las demás especies. En el cultivo intercalado *P. graveolens*-*L. origanoides*, en la primera y segunda cosechas, el incremento de la productividad (RET \geq 1.25) aconteció por un aumento en los rendimientos de la especie *L. origanoides*, cuya contribución en la RET, del cultivo intercalado, fue mayor que 1.00; es decir, prácticamente, el rendimiento de *L. origanoides* se duplicó, mientras que el de *P. graveolens* se redujo.

7. RECOMENDACIONES

1. Modificar el ordenamiento de los sistemas de cultivo *L. origanoides*-*P. graveolens* y *C. martinii*-*P. graveolens* implementados en este trabajo (cultivo intercalado entre hileras y con igual número de plantas de cada especie en el área de cultivo), para aprovechar el efecto positivo de las plantas de *P. graveolens* sobre las plantas *L. origanoides* o *C. martinii*, ya que, al evaluar el factor de peso del rendimiento en aceite esencial de cada una de las especies en la RET del cultivo intercalado, se evidencia un incremento del rendimiento en aceite esencial por hectárea en *L. origanoides* y en *C. martinii*, al tiempo que se redujo significativamente el rendimiento en aceite esencial en la especie *P. graveolens*. Estas modificaciones al sistema de cultivo *L. origanoides*-*P. graveolens* y *C. martinii*-*P. graveolens*, podrían incluir un aumento de la relación de plantas de *L. origanoides*/*P. graveolens* y *C. martinii*/*P. graveolens* y un cambio del ordenamiento del cultivo, por ejemplo, colocando plantas de *P. graveolens* cada dos o más hileras, y no una de por medio como se hizo en los cultivos experimentales implementados en este estudio.
2. Desarrollar cultivos experimentales en el sistema intercalado *L. alba*-*L. origanoides* bajo condiciones de cultivo diferentes a las desarrolladas en este trabajo, por ejemplo, en el nivel de precipitaciones, en la temperatura ambiente, en las propiedades del suelo y la altitud, entre otras, con el objeto de evaluar si los resultados positivos de este sistema intercalado, frente a los respectivos monocultivos, se mantienen.

3. Evaluar el sistema de cultivo intercalado de las especies estudiadas, *i.e.* *L. alba*, *L. organoides*, *P. graveolens* y *C. martinii*, modificando la densidad de plantas, para reducir la posibilidad de competencia por los recursos del medio, y recoger un mayor número de cosechas, a las obtenidas en este trabajo (tres en total), con el fin de explorar la posibilidad de incrementar los rendimientos agrícolas obtenidos en el presente estudio.

8. BIBLIOGRAFÍA

1. ZHANG, B.; HUANG, G., and LI, F. Effect of Limited Single Irrigation on Yield of Winter Wheat and Spring Maize Relay Intercropping. *Pedosphere*, **2007**, 17 (4), 529–537.
2. YADAV, R.L. Enhancing efficiency of fertilizer N use in rice–wheat systems of Indo-Gangetic Plains by intercropping *Sesbania aculeate* in direct seeded upland rice for green manuring. *Biores. Technol.*, **2004**, 93, 213–215.
3. LI, W.; LI, L.; SUN, J.; GUO, T.; ZHANG, F.; BAO, X.; PENG, A., and TANG, C. Effects of intercropping and nitrogen application on nitrate present in the profile of an Orthic Anthrosol in Northwest China. *Agric. Ecosyst. Environ.*, **2005**, 105, 483–491.
4. GÓMEZ-RODRÍGUEZ, O. Allelopathy and microclimatic modification of intercropping with marigold on tomato early blight disease development. *Field Crops Res.* **2003**, 83, 27–34.
5. TRENBATH, B. R. Intercropping for the management of pest and diseases. *Field Crops Res.*, **1993**, 34, 381–405.
6. RAJESWARA, R., B.R. Biomass yield, essential oil yield and essential oil composition of rose-scented geranium (*Pelargonium* species) as influenced by row spacings and intercropping with cornmint (*Mentha arvensis* L.f. *piperascens* Malinv. ex Holmes). *Ind. Crops Prod.*, **2002**, 16, 133–144.
7. HOLLANDER, D. N. G.; BASTIAANS, L., and KROPFF M.J. Clover as a cover crop for weed suppression in an intercropping design. I: Characteristics of several clover species. *Eur. J. Agron.*, **2007**, 26, 92–103.
8. IQBAL, S.M.M.; IRELAND, C.R., and RODRIGO V.H.L. A logistic analysis of the factors determining the decision of smallholder farmers to intercrop: A case study involving rubber–tea intercropping in Sri Lanka. *Agric. System.* **2006**, 87, 296–312.

9. MAFFEIA, M., and MUCCIARELLI, M. Essential oil yield in peppermint/soybean strip intercropping. *Field Crops Res.* **2003**, 84, 229–240.
10. THANGATA, P.H., and ALAVALAPATI, J.R.R. Agroforestry adoption in southern Malawi: the case of mixed intercropping of *Gliricidia sepium* and maize. *Agric. Systems.* **2003**, 78, 57–71.
11. OLASANTAN, F.O.; EZUMAH, H.C.; LUCAS, E.O. Effects of intercropping with maize on the micro-environment, growth and yield of cassava. *Agric. Ecosyst. Environ.*, **1996**, 57, 149- 158.
12. BANDONI, A. (Ed.). Los recursos vegetales aromáticos en Latinoamérica, su aprovechamiento industrial para la producción de aromas y sabores. Ed. Red de Editoriales Universitarias, La Plata, **2000**, 360 p.
13. STASHENKO, E.; JARAMILLO, B., and MARTÍNEZ, J. R. Comparison of different extraction methods for the analysis of volatile secondary metabolites of *Lippia alba* (Mill.) N.E. Brown, grown in Colombia, and evaluation of its *in vitro* antioxidant activity. *J. Chromatogr. A.*, **2004**, 1025, 93-103.
14. STASHENKO, E. E.; JARAMILLO, B. E. y MARTÍNEZ, J. R. Comparación de la composición química y la actividad antioxidante *in Vitro* de los metabolitos secundarios volátiles de plantas de la familia Verbenaceae. *Rev. Acad. Col. Cienc*, **2003**, 27, 579-598.
15. MUÑOZ, F. Plantas medicinales y aromáticas, estudio, cultivo y procesado. Ed. Mundi Prensa, Madrid, **1987**, 365 p.
16. STASHENKO, E., COMBARIZA, Y., PUERTAS, M. A., Aceites esenciales: técnicas de extracción y análisis. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander, **1998**, 30 p.
17. MONSALVE SALAMANCA, L. A. Comparación de la composición química de los aceites esenciales de las plantas de *Lippia alba* (Mill) N.E. Brown, provenientes de diferentes regiones de Colombia. Bucaramanga, Tesis de grado (Química). Universidad Industrial de Santander, Facultad de Ciencias. **2007**, 142 p.

18. FEDERER, W. T. Statistical design and analysis for intercropping experiments. Vol 1: Two crops. Ed. Springer-Verlag, New York, **1993**, 280 p.
19. MASON, R.; GUNST, R., and HESS, J. Statistical Design & Analysis of Experiments. Ed. John Wiley & Sons, New York, **1989**, 322 p.
20. EIASU, B. K.; STEYN, J. M., and SOUNDY P. Rose-scented geranium (*Pelargonium capitatum* × *P. radens*) growth and essential oil yield response to different soil water depletion regimes. *Agric. Water Manag.*, **2009**, 96, 991-1000.
21. DURÁN, D. C. Estudio del aceite esencial de *Lippia alba* (Fam. Verbenaceae) y de los aspectos fisiológicos en diferentes etapas de su crecimiento bajo tres niveles de luz. Bucaramanga, Tesis de grado (Químico). Universidad Industrial de Santander, Facultad de Ciencias, **2005**, 122 p.
22. TAIZ, L., and ZEIGER, E. Plant physiology, Ed. Sinauer Associates, 3^d Ed. **2002**. 623 p.
23. BASILE, A. Antibacterial and allelopathic activity of extract from *Castanea sativa* leaves. *Fitoterapia*, **2000**, 71, S110-S116.
24. HARMINDER P.; DAIZY R.; BATISH, and RAVINDER K. Allelopathic effect of two volatile monoterpenes against bill goat weed (*Ageratum conyzoides* L.). *Crop Prot.*, **2002**, 21, 347-350.
25. DAIZY, R.; BATISH, H. P.; SINGHA, R. K.; KOHLIA, D. B. Allelopathic effects of parthenin against two weedy species, *Avena fatua* and *Bidens pilosa*. *Environ. Exp. Bot.*, **2002**, 47, 149-155.
26. SOLEDADE, C.; PEDRAS, P. B.; WEI JIN, C.; ISLAM M., and HAUCK D. W. The Phytopathogenic fungus *Alternaria brassicicola*: hytotoxin production and phytoalexin elicitation. *Phytochemistry*, **2009**, 70, 394-402.
27. SOLEDADE, C. P.; ZHENG, Q.; GADAGIA, R. S., and RIMMERB, S. R. Phytoalexins and polar metabolites from the oilseeds canola and rapeseed:

- Differential metabolic responses to the biotroph *Albugo candida* and to abiotic stress. *Phytochemistry*, **2008**, 69, 894-910.
28. ZAGROBELNY, M.; BAK, A.; RASMUSSEN, V.; JØRGENSEN, B.; NAUMANN M., and MØLLER, M. Cyanogenic glucosides and plant–insect interactions. *Phytochemistry*, **2004**, 65, 293-306.
29. MENDIVELSO PÉREZ, D. L. y OLIVARES SANTOYO, M. C. Estudio de los metabolitos secundarios volátiles en hojas frescas y secas de *Pelargonium graveolens* (geranio), en función del método de extracción y su estado de desarrollo vegetativo. Bucaramanga, Tesis de grado (Químico). Universidad Industrial de Santander, Facultad de Ciencias. **2007**, 202 p.
30. GÓMEZ RIOS, G. A. Análisis de la composición química y de la actividad biológica de los aceites esenciales de 2 quimiotipos de *Lippia alba* (Mill.) N.E. Br., en función de las condiciones de extracción y secado de la planta. Bucaramanga, Tesis de grado (Químico). Universidad Industrial de Santander, Facultad de Ciencias. **2007**, 172 p.
31. REYES BARAJAS, J. A. y PATIÑO PORRAS, J. G. Comparación de los metabolitos secundarios volátiles de dos especies *Ocimum sp.* (Labiatae), en función del método de su extracción y estudio de las actividades antioxidante, citotóxica y antifúngica. Bucaramanga, Tesis de grado (Químico), Universidad Industrial de Santander, Facultad de Ciencias. **2007**, 193 p.
32. HARVEY, D. Modern Analytical Chemistry. Ed. McGrawHill, Boston, **2000**. 798 p.
33. SHIBAMOTO, T. Analysis of Essential Oils. Applications of Glass Capillary Gas chromatography. Ed. Marcel Decker, New York, **1981**, 472 p.
34. SKOOG, D.A. Principios de análisis instrumental, 5ª Ed., Ed. McGraw-Hill, Barcelona, **2000**, p.p. 490-528.
35. KITSON, F.; LARSEN, B., and McEwen, C. Gas chromatography and mass spectrometry, a practical guide. Ed. Academic Press, New York, **1996**, 369 p.

36. HERBERT, C. G., and JOHNSTONE, R. A. W. Mass Spectrometry Basics. Ed. CRC Press, Florida, **2003**, 453 p.
37. HILLEL, D. (Ed). Encyclopedia of soils in the environment, Vol. 3. Ed. Academic Press, New York, **2004**, p.p. 513-520.
38. TAN, K. H. Principles of soil chemistry. Ed. Marcel Dekker, New York, **1998**, 521 p.
39. FOTH, H. D. Fundamentals of soil science. Ed. John Wiley & Sons, New York, **1990**, 358 p.
40. LAVELLE, P., and SPAIN, A. V. Soil ecology. Ed. Kluwer Academic Publishers, New York, **2003**, 654 p.
41. BARDGELL, R. The biology of soil. Ed. University Press, Oxford, **2005**. 242 p.
42. GRINHUT, T.; HADAR, Y., and CHEN, Y. Degradation and transformation of humic substances by saprotrophic fungi: processes and mechanisms. *Fungal Biol. Rev.*, **2007**, 21, 179-189.
43. OTTEN, W.; HARRIS, K.; YOUNG, I.M.; RITZ, K., and GILLIGAN, C.A. Preferential spread of the pathogenic fungus *Rhizoctonia solani* through structured soil. *Soil Biol. Biochem.* **2004**, 36, 203-210.
44. HERRERA-CAMPOS, R.; GÓMEZ-ROS, J.M.; ESCUER, M.; CUADRA, L.; BARRIOS, L., and GUTIÉRREZ, C. Diversity, occurrence, and life characteristics of natural entomopathogenic nematode populations from La Rioja (Northern Spain) under different agricultural management and their relationships with soil factors. *Soil Biol. Biochem.* **2008**, 40, 1474-1484.
45. ACINAS, S. G. Diversidad y estructura de una comunidad microbiana. *Actualidad*, **2007**, 44, 24-29.
46. PLASSART, P.; VINCESLAS, M. A.; GANGNEUX, C.; MERCIER, A.; BARRAY, S., and LAVAL, K. Molecular and functional responses of soil

- microbial communities under grassland restoration. *Agric. Ecosyst. Environ.*, **2008**, 127, 286-293.
47. BAUSENWEIN, U.; GATTINGER, A.; LANGER, U.; EMBACHER, A.; HARTMANN, H.P.; SOMMER, M.; MUNCH, J.C., and SCHLOTTER, M. Exploring soil microbial communities and soil organic matter: Variability and interactions in arable soils under minimum tillage practice. *Appl. Soil Ecol.*, **2008**, 40, 67-77.
48. MAGDOFF, F., and VAN ES, H. Building soils for better crops, Sustainable agriculture, Ed. Network, Washington. **2000**, 240 p.
49. DAS, R. J. The green revolution and poverty: a theoretical and empirical examination of the relation between technology and society, *Geoforum*, **2002**, 33, 55-72.
50. BAVEC, F., and BAVEC, M. Organic production and use of alternative crops. Ed. Taylor and Francis, London, **2007**, 230 p.
51. www.sciam.com/article.cfm?id=no-till, No-Till: How Farmers Are Saving the Soil by Parking Their Plows. Consultado: 20 de julio de **2008**.
52. http://mazinger.sisib.uchile.cl/repositorio/lb/ciencias_agronomicas/g2006681059librorecomedacionesaacyted.pdf. Recomendaciones y estrategias para desarrollar la agricultura ecológica en Iberoamérica. Consultado: 20 de julio de **2010**.
53. NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES (USA). Ecologically based pest management: new solutions for a new century. Ed. Academy Press, Washington, **1996**, 145 p.
54. MOLINA, A. y PÉREZ-SARMENTERO, J. Los alimentos de cultivo ecológico. Garantía de máxima calidad. Fundamentos de Agricultura Ecológica. Ediciones de la Universidad de Castilla-La Mancha, *Colección Ciencia y Técnica*. **2003**, 41, 345-374.

55. www.lanacion.com.ar/nota.asp?nota_id=849238, el Mercado verde que madura, la Nación, Suplementos. Consultado: 20 de julio **2010**.
56. PRASAD, R., and POWER, J. Soil fertility for sustainable agriculture. Ed. CRC Press, Florida, **1997**, 347 p.
57. MCLAUGHLIN, A., and MINEAU, P. The impact of agricultural practices on biodiversity. *Agric. Ecosyst. Environ.*, **1995**, 55, 201-212.
58. CONNOLLY, J.; GOMA, H.C., and RAHIM, K. The information content of indicators in intercropping research. *Agric. Ecosyst. Environ.* **2001**, 87, 191–207.
59. SINGH, S.; LADHA, J.K.; GUPTA, R.K.; BHUSHAN, Lav.; RAO, A.N.; SIVAPRASAD, B.; SINGH, P.P. , Evaluation of mulching, intercropping with Sesbania and herbicide use for weed management in dry-seeded rice (*Oryza sativa L.*), *Crop Prot.*, **2007**, 26, 518–524
60. POGGIO, S. L., Structure of weed communities occurring in monoculture and intercropping of field pea and barley, *Agric. Ecosyst. Environ.*, **2005**, 109, 48–58
61. SINGH, K., RAM, P. Production potential in intercropping of citronella Java with cowpea and mint species. *Ann. Agric. Res.*, **1991**, 12, 128–133.
62. MAKUMBA, W.; JANSSEN, B.; OENEMA, O.; AKINNIFESI, F.; DAVIES MWETA, FREDDIE KWESIGA, The long-term effects of a gliricidia–maize intercropping system in Southern Malawi, on gliricidia and maize yields, and soil properties, *Agric. Ecosyst. Environ.*, **2006**, 116, 85–92.
63. BANIK, P. ; MIDYA, A.; SARKAR, B.K.; GHOSE, S.S., Wheat and chickpea intercropping systems in an additiveseries experiment: Advantages and weed smothering, *Eur. J. Agron.*, **2006**, 24, 325–332.
64. REYNOLDS, P. E.; SIMPSON, J A.; THEVATHASAN, N. V.; GORDON, A. M., Effects of tree competition on corn and soybean photosynthesis, growth,

and yield in a temperate tree-based agroforestry intercropping system in southern Ontario, Canada, *Ecol. Eng.*, **2007**, 29, 362–371.

65. HENNEBELLE, T.; SAHPAZ, S.; JOSEPH, H., and BAILLEUL F. Ethnopharmacology of *Lippia alba*. *J. Ethnopharmacol.*, **2008**, 116, pp. 211-222.
66. DI S., L.C.; OLIVEIRA, G.P.; CARVALHAES, M.A.; QUEIROZ-JUNIOR, M.; TIEN, O.S.; KAKINAMI, S.H., and REIS, M.S. Medicinal plants popularly used in the Brazilian Tropical Atlantic Forest. *Fitoterapia*, **2002**, 73, pp. 69–91.
67. RODRIGUES, A.C.C.; GUEDES, M.L.S. Utilização de plantas medicinais no Povoado Sapucaia, Cruz das Almas—Bahia. *Rev. Bras. Plantas Med.*, **2006**, 8, pp. 1–7.
68. PASCUAL, M.E.; SLOWING, K.; CARRETERO, E.; SÁNCHEZ MATA, D., and VILLAR, A. *Lippia*: traditional uses, chemistry and pharmacology: a review. *J. Ethnopharmacol.*, **2001**, 76, pp. 201-214.
69. TOSCANO, J. Y. Uso tradicional de plantas medicinales en la vereda San Isidro, municipio de San José de Pare-Boyacá: Un estudio preliminar usando técnicas cuantitativas. *Acta Biol. Colomb.*, **2006**, 11, pp. 137–146.
70. PINTO, E.P.P.; AMOROZO, M.C.M.; FURLAN, A.. Conhecimento popular sobre plantas medicinais em comunidades rurais de mata atlantica—Itacaré, BA, Brasil. *Acta Bot. Bras.*, **2006**, 20, pp. 751–762.
71. CÁCERES, A.; ÁLVAREZ, A.V.; OVANDO, A.E., and SAMAYOA, B.E. Plants used in Guatemala for the treatment of respiratory diseases. 1. Screening of 68 plants against Gram-positive bacteria. *J. Ethnopharmac.*, **1991**, 31, pp 193–208.
72. LOPEZ, A. A. M; ROJAS, H. N. M; JIMENEZ, M. C. A. Plant extracts with cytostatic properties growing in Cuba. II. *Rev. Cub. Med. Trop.*, 1979, 31(2), pp. 105-111.

73. OLIVEIRA, D. N.; LEITAO, G. G.; SANTOS, S. S.; BIZZO, H. R.; Lopes, D.; ALVIANO, C. S.; ALVIANO, D. S., and LEITAO, S. G. Ethnopharmacological study of two *Lippia* species from Oriximin'a, Brazil. *J. Ethnopharmacol.*, **2006**, 108, pp. 103-108.
74. PINO, J.A.; LUÍZ, A.G.O.; PÉRES, A.R.; JORGE, M.R. Y BALUJA, R. Composición y propiedades antibacterianas del aceite esencial de *Lippia alba* (Mill.) N.E. Brown. *Rev. Cub. Farmacia*, **1997**, 30, pp. 29–35.
75. VALE, T.G.; MATOS, F.J.A., and VIANA, G.S.B. Behavioral effects of essential oils from *Lippia alba* (Mill.) N.E. Brown chemotypes. *J. Ethnopharmacol.*, **1999**, 167, pp. 127–133.
76. HENNEBELLE, T.; SAHPAZ, S.; DERMONT, C.; JOSEPH, H., and BAILLEUL, F. The essential oil of *Lippia alba*: analysis of samples from French overseas departments and review of previous works. *Chem. Biodivers.*, **2006**, 3, pp. 1116–1125.
77. GUILLIARD, M.; DELGADO, W.A.; MARTÍNEZ J.R., and STASHENKO E.E., VIII Latin American Chromatography Congress, COLACRO VIII, Buenos Aires, Argentina, **2000**.
78. GUZMÁN, RIVERA, S.P.; CARDOZO, Z.R. Y GARCÍA, N. V. Desarrollo agrotecnológico de *Lippia alba* (Miller)N. E. Brown ex Britton & Wilson*. *Rev. Cient. Guillermo de Ockham*. **2004**, 7(1), pp. 202-215.
79. ANTOLINEZ-DELGADO, C.A, Y RODRÍGUEZ-LOPEZ, N. Plasticidad fenotípica en *Lippia alba* y *Lippia origanoides* (Verbenaceae), respuesta a la disponibilidad de nitrógeno. *Acta Biol. Colomb.*, **2008**, 13(1), pp. 53 – 64.
80. GONZÁLEZ, R. T. La transición desde lo etnobotánico hacia usos comerciales de plantas colombianas. FUNDACOFAN. En: <http://www.google.com.co/#hl=es&source=hp&q=%22LA+TRANSICION+DESDE+LO+ETNOBOTANICO+HACIA+USOS+COMERCIALES+DE+PLANTAS+COLOMBIANAS>&aq=f&aql=&oq=&gs_rfai=&fp=2d6355331aa99fe3. Fecha de consulta: 20 de julio de **2010**.

81. En: <http://www.siac.org.co/sib/catalogoespecies/especie.do?idBuscar=1817&method=displayAAT>. Red Nacional de Jardines Botánicos. *Lippia organoides* Kunth, **2008**. Fecha de consulta: 20 de julio de **2010**.
82. VICUÑA G. C.; STASHENKO E. E. y FUENTES J. L. Chemical composition of the *Lippia organoides* essential oils and their antigenotoxicity against bleomycin-induced DNA damage. *Fitoterapia*. **2010**, 81 (5), pp. 343-349.
83. OLIVEIRA, D.R. Levantamento Etnobotanico das Plantas Mediciniais Utilizadas pela Comunidade de Oriximina (Pará) como enfoque etnofarmacológico para o Genero *Lippia*. Master Thesis. Rio de Janeiro. **2004**, 111 p.
84. STASHENKO, E. E.; MARTÍNEZ, J. R.; RUÍZ, C. A.; ARIAS, G.; DURÁN, C.; SALGAR, W., and CALA, M. *Lippia organoides* chemotype differentiation based on essential oil GC-MS and principal component analysis. *J. Sep. Sci.* **2010**, 33, pp. 93–103.
85. SANTOS, F. J. B.; LOPES, J. A. D.; CITO, A. M. G. L.; DE OLIVEIRA, E. H., Et al. Composition and Biological Activity of Essential Oils from *Lippia organoides* H.B.K. *J. Essen. Oil Res.*, 2004, 16, (5), pp. 504-506.
86. OLIVEIRA, D. R.; LEITAO, G. G.; BIZZO, H. R.; LOPES, D.; ALVIANO, D. S.; ALVIANO, C. S.; LEITAO, S. G. Chemical and antimicrobial analyses of essential oil of *Lippia organoides* H.B.K. *Food Chem.*, **2007**, 101, pp. 236–240.
87. CASTAÑEDA, M.; MUÑOZ, A.; MARTÍNEZ, J. y STASHENKO, E. E. Estudio de la composición química y la actividad biológica de los aceites esenciales de diez plantas aromáticas colombianas. *Scientia et Technica*, **2007**, 33, pp. 165-166.
88. OLIVERO-VERBEL, J.; GÜETTE-FERNANDEZ, J., and STASHENKO, E. Acute toxicity against *Artemia franciscana* of essential oils isolated from plants

- of the genus *Lippia* and *Piper* collected in Colombia. *BLACPMA*, **2009**, 8 (5), pp. 419 - 427
89. BUENO-SÁNCHEZ, J. G.; MARTÍNEZ-MORALES, J. R.; STASHENKO, E. E., and RIBÓN, W. Anti-tubercular activity of eleven aromatic and medicinal plants occurring in Colombia. *Biomédica*. **2009**, 29, pp. 51-60
90. ROJAS, J.; MORALES, A.; PASQUALE, S.; MÁRQUEZ, A.; RONDÓN, M.; IMRÉ, M., and VERES, K. Comparative study of the chemical composition of the essential oil of *Lippia oreganoides* L. collected in two different seasons. *Nat. Prod. Comm.*, **2006**, 1 (3), pp. 205-207.
91. CELIS, C. N.; ESCOBAR, R. P.; ISAZA, J. H.; STASHENKO, E. y MARTÍNEZ, J. Estudio comparativo de la composición y la actividad biológica de los aceites esenciales extraídos de *Lippia alba*, *Lippia organoides* y *Phyllia dulcis*, especies de la familia Verbenacea. *Scientia et Technica.*, **2007**, 033, pp. 103-105.
92. MÉNDEZ, R.; SERRANO, J.; CHATAING, B.; JIMÉNEZ, D.; MORA, D.; ROJAS, L.; USUBILLAGA, A. y O'CALLAGHAN, J. Estudio comparativo de la actividad biológica del aceite esencial *Protium heptaphyllum* (aubl.) March y el aceite esencial *Lippia organoides* HBK sobre tres especies de *Nocardia* sp. *Salud & Desarrollo Social*, **2007**, 2 (6), pp. 49-52.
93. MENESES, R.; OCAZONEZ, R. E.; MARTÍNEZ, J. R., and STASHENKO, E. E. Inhibitory effect of essential oils obtained from plants grown in Colombia on yellow fever virus replication *in vitro*. *Ann. Clin. Microbiol. Antimic.*, **2009**, 8 (8).
94. ESCOBAR, P.; LEAL, S. M.; HERRERA, L. V.; MARTÍNEZ, J. R., and STASHENKO, E. Chemical composition and antiprotozoal activities of Colombian *Lippia spp* essential oils and their major components. *Mem. Inst. Oswaldo Cruz*, **2010**, 105 (2), pp. 184-190.

95. NERIO, L. S.; OLIVERO-VERBEL, J., and STASHENKO, E. E. Repellent activity of essential oils from seven aromatic plants grown in Colombia against *Sitophilus zeamais* Motschulsky (Coleoptera). *J. Stored Prod. Res.*, **2009**, 45, pp. 212–214.
96. BITTARA, F.; RODRÍGUEZ, D.; SANABRIA, M.; MONROY, J. y RODRÍGUEZ, J. L. Evaluación de fungicidas y productos vegetales en el combate de la sarna polvorienta de la papa. *Interciencia*, **2009**, 34 (4), pp. 267-269.
97. RODRÍGUEZ, D. A. y SANABRIA, M. E. Efecto del extracto de tres plantas silvestres sobre la rizoctoniosis, la mancha sureña del maíz y los patógenos que las causan. *Interciencia*, 2005, 30 (12), pp. 739-744.
98. En: <http://historico.unperiodico.unal.edu.co/ediciones/116/15.html>. Planta combate hongos en la cebolla. Fecha de consulta: 20 de julio de 2010.
99. MONTIEL, J.; SUÁREZ, C.; BUENO, J. G.; DURÁN, C.; STASHENKO, E. y MESA, A. C. Actividad antimicótica *in vitro* de aceites esenciales obtenidos de plantas del género *Lippia* de Colombia. Resumen B34, V Encuentro Nacional de Investigación en Enfermedades Infecciosas, Armenia **2006**.
100. RAMÍREZ, L. S.; ISAZA, J. H.; VELOZA, L. A.; STASHENKO, E. y MARÍN, D. Actividad antibacteriana de aceites esenciales de *Lippia organoides* de diferentes orígenes de Colombia. *Ciencia*, **2009**, 17 (4), pp. 313-321.
101. STASHENKO, E.; RUIZ, C.; MUNÓZ, A.; CASTANEDA, M., and MARTÍNEZ, J. Composition and antioxidant activity of essential oils of *Lippia organoides* HBK grown in Colombia. *Nat. Prod. Comm.*, **2008**, 3 (4), pp. 563-566.
102. OCAMPO, R., and BALICK, M. J. Plants of Semillas Sagradas: An Ethnomedicinal Garden in Costa Rica. **2009**. Finca Luna Nueva Extractos de Costa Rica, S.A. 109 p.
103. RODRÍGUEZ, J.L.; SANABRIA, M.E.; RODRÍGUEZ, D. RANGEL, M.I. Efecto del extracto etanólico de *Lippia organoides* y de sus metabolitos

secundarios, sobre el crecimiento micelial *in vitro* de *Fusarium oxysporum* f.sp. *cubense*. XVII Congreso Venezolano de Botánica. **2007**, BP14, pp.245-248.

104. En: www.naturaltoucharomatherapy.com/monographs/geraniummonograph.pdf. *Pelargonium graveolens* - Geraniaceae. Fecha de consulta: 20 de julio de **2010**.
105. SANTOS-WOLFF, V. R.; DUTRA-RAMOS R. L. & MARODIN-MEDEIROS S. M. Cochonilhas (Hemiptera, Sternorrhyncha, Coccoidea) asociadas à plantas medicinais e aromáticas. *Pesq. Agrop. Gaúcha.*, **2009**, 15 (1), pp.65-68.
106. RAM, M.; RAM, D., and ROY, S.K. Influence of an organic mulching on fertilizer nitrogen use efficiency and herb and essential oil yields in geranium (*Pelargonium graveolens*). *Biores. Techn.*, **2003**, 87, pp. 273–278.
107. SAXENA, G.; VERMA, P. C.; RAHMAN, L.; BANERJEE, S.; SHUKLA, R.S., and KUMAR, S. Selection of leaf blight-resistant *Pelargonium graveolens* plants regenerated from callus resistant to a culture filtrate of *Alternaria alternata*. *Crop Prot.*. **2008**, 27, pp. 558–565.
108. COELHO DE SOUZA, G.; HAAS, A.P.S.; VON POSER, G.L.; SCHAPOVAL, E.E.S., and ELISABETSKY, E. Ethnopharmacological studies of antimicrobial remedies in the south of Brazil. *J. Ethnopharmacol.*, **2004**, 90, pp. 135–143.
109. STEFLITSCH, W., and STEFLITSCH, M. Clinical aromatherapy. *J. Men's Health*. **2008**, 5 (1) pp. 74–85.
110. TENE, V.; MALAGÓN, O.; VITA, F. P.; VIDARI, G.; ARMIJOS, C., and ZARAGOZA, T. An ethnobotanical survey of medicinal plants used in Loja and Zamora-Chinchipe, Ecuador. *J. Ethnopharmacol.*, **2007**, 111, pp. 63–81.
111. RAJESWARA, B. R.; KAUL, P N.; MALLAVARAPU, G. R., and RAMESH, S. Effect of seasonal climatic changes on biomass yield and terpenoid composition of rose-scented geranium (*Pelargonium* species). *Biochem. Syst. Ecol.*. **1996**, 24 (7/8), pp. 627-635.

112. BUCKLE, J. Essential oils: management and treatment of gynecologic infections and stressors. *Sex. Reprod. Menop.*, **2006**, 4 (1), pp.38-41.
113. WILLIAMS, C. A., and HARBORNE, J. B. Phytochemistry of the genus *Pelargonium*, in: Lis-Balchin, M. (Ed.), *Geranium and Pelargonium*, Taylor & Francis, London and New York, **2002**, pp. 99–115.
114. DEMARNE, F. E. Rose-scented geranium' a *Pelargonium* grown for the perfume industry, In: Lis-Balchin, M. (Ed.), *Geranium and Pelargonium*, Taylor & Francis, London and New York, **2002**, pp. 193–211.
115. LIS-BALCHIN, M. Essential oils from different *Pelargonium* species and cultivars: their chemical composition (using GC, GC/MS) and appearance of trichomes (under EM), In: Lis-Balchin, M. (Ed.), *Geranium and Pelargonium*, Taylor & Francis, London and New York, **2002**, pp. 147-165.
116. ROSATO, A.; VITALI, C.; PIARULLI, M.; MAZZOTTA, M.; ARGENTIERI, M. P., and MALLAMACI R. *In vitro* synergic efficacy of the combination of Nystatin with the essential oils of *Origanum vulgare* and *Pelargonium graveolens* against some *Candida* species. *Phytomedicine*. **2009**, 16, pp. 972–975 .
117. ELMANN, A.; MORDECHAY, S.; RINDNER, M.; RAVID, U. Anti-neuroinflammatory effects of geranium oil in microglial cells. *J. Funct. Food*, **2010**, 2, pp. 17–22.
118. TUERY, A., BHAT, Z .A.; RATHER, J. A., and KUMAR, T. Cultivation of rose scented geranium (*Pelargonium* sp.) and their industrial value and economical importance. *J. Res. Dev.*, **2008**, 8, pp. 62-68.
119. GOMES, P. B.; MATA, V. G., and RODRIGUES, A. E. Production of rose geranium oil using supercritical fluid extraction. *J. Supercrit. Fluids*, **2007**, 41, pp. 50-60.

120. HASHEM, M.; MOHARAM, A. M.; ZAIED, A. A., and SALEH, F. E. M. Efficacy of essential oils in the control of cumin root rot disease caused by *Fusarium spp.*, *Crop Prot.*, **2010**, pp. 1-7.
121. SANGEETHA, G.; THANGAVELU R., and RANI S. Evaluation of plant oils for suppression of crown rot disease and improvement of shelf life of banana (*Musa spp.* AAA subgroup, cv. Robusta). *Int. J. Food Sci. Technol.*, **2010**, 45 (5), pp. 1024-1032.
122. TADMOR, Y.; JEFTHAS, E.; GOLIATH J.; SMITH, M.; LANGENHOVEN, P. *et al.* Quality assurance and quality control for African natural plant products from the ground up. *In*: Trends in new crops and new uses. Janick J. and Whipkey A. (Eds.). ASHS Press, Alexandria, VA. **2002**, pp.93-95.
123. YANG, V. W., and CLAUSEN, C. A. Antifungal effect of essential oils on southern yellow pine. *Int. Biodet. Biodeg.*, **2007**, 59, pp. 302-306.
124. SINGH, P.; SRIVASTAVA, B.; KUMAR, A.; KUMAR, R.; DUBEY, N. K., and GUPTA, R. Assessment of *Pelargonium graveolens* oil as plant-based antimicrobial and aflatoxin suppressor in food preservation. *J. Sci. Food Agric.*, **2008**, 88 (14), pp. 2421-2425.
125. ROSATO, A.; VITALI, C.; GALLO, D.; BALENZANO, L., and MALLAMACI, R. The inhibition of *Candida* species by selected essential oils and their synergism with amphotericin B. *Phytomedicine*, **2008**, 15 (8), pp. 635-638.
126. MAHBOOBI, M.; SHAHCHERAGHI, F., and MEHDI, F. M. Bactericidal effects of essential oils from clove, lavender and geranium on multi-drug resistant isolates of *Pseudomonas aeruginosa*. *Iranian J. Biotechnol.*, **2006**, 4 (2), pp. 137-140.
127. ROSATO, A.; VITALI, C.; DE LAURENTIS, N.; ARMENISE, D., and MILILLO, M. A. Antibacterial effect of some essential oils administered alone or in combination with norfloxacin. *Phytomedicine*, **2007**, 14, pp. 727–732.

128. GHRABI-GAMMAR, Z.; D.R. GEORGE; DAOUD-BOUATTOUR, A., and SPARAGANO, O.A.E. Toxicity to the poultry red mite (*Dermanyssus gallinae*) and yield of essential oils harvested from wild growing plants in Tunisia. The 10th Biennial Conference of the Society for Tropical Veterinary Medicine. Berlín, 28/06-3/07 de 2009. Abstract: O46.
129. KIM, S.; YI, J. H.; TAK, J., and AHN, Y. J. Acaricidal activity of plant essential oils against *Dermanyssus gallinae* (Acari: Dermanyssidae). *Vet., Parasitol.*, **2004**, 120, pp. 297–304.
130. GHRABI-GAMMAR, Z.; GEORGE, D. R.; DAOUD-BOUATTOUR, A.; HAJ-JILANI, I. B.; SAAD-LIMAM, S. B., and SPARAGANO, O. A. E. Screening of essential oils from wild-growing plants in Tunisia for their yield and toxicity to the poultry red mite, *Dermanyssus gallinae*. *Ind. Crops Prod.*, **2009**, 30, pp. 441–443.
131. JEON, J.H.; LEE, C.H., and LEE, H.S. Food protective effect of geraniol and its congeners against stored food mites. *J. Food Prot.*, **2009**, 72, pp. 1468–1471.
132. JEON, J. H.; KIM, H. W.; KIM, M. G., and LEE, H.S. Mite-control activities of active constituents isolated from *Pelargonium graveolens* against house dust mites. *J. Microbiol. Biotechnol.*, **2008**, 18 (10), pp. 1666-1671.
133. PAVELA, R. Insecticidal activity of some essential oils against larvae of *Spodoptera littoralis*. *Fitoterapia*. **2005**, 76, pp. 691–69.
134. EAMSOBHANA, P.; YOOLEK, A.; KONGKAEW, W.; LERDTHUSNEE, K.; KHLAIMANEE, N.; PARSARTVIT, A.; MALAINUAL, N., and YONG, H. S. Laboratory evaluation of aromatic essential oils from thirteen plant species as candidate repellents against *Leptotrombidium chiggers* (Acari: *Trombiculidae*), the vector of scrub typhus. *Exp. Appl. Acarol.*, **2009**, 47 (3), pp. 257-262.
135. EAMSOBHANA, P., and YOOLEK, A. In search of natural repellents against *Leptotrombidium chiggers* (acari: *Trombiculidae*) the vector of scrub

- typhus: a laboratory evaluation of 13 aromatic essential oils from Thailand. 13th International Congress on Infectious Diseases. Kuala Lumpur, Malaysia, June 19-22, **2008**, Abstract: ISE.204.
136. SIMMONDS, M. S. J. Interactions between arthropod pests and pelargoniums. in: M. Lis-Balchin (Ed.), *Geranium and Pelargonium*, Taylor & Francis, London, **2002**, pp. 291–298.
137. SINGH, S.; RAM, M.; RAM, D.; SHARMA, S., and SINGH, D.V. Water requirement and productivity of palmarosa on sandy loam soil under a sub-tropical climate. *Agric. Water Manag.*, 1997, 35, pp. 1-10.
138. SINGH, M. Effect of nitrogen and potassium fertilizer on growth, herbage and oil yield of irrigated palmarosa (*Cymbopogon martinii* [roxb.] Wats. Var. Motia burk) in a semi-arid tropical climate. *Arch. Agron. Soil sci.*, **2008**, 54 (4), pp. 395–400.
139. SINGH, M., and SHARMA, S. Influence of irrigation and nitrogen on herbage and oil yield of palmarosa (*Cymbopogon martinii*) under semi-arid tropical conditions. *Eur. J. Agron.*, **2001**, 14, pp. 157–159.
140. En: www.keralaagriculture.gov.in/html/package/mediplants.pdf. Medicinal and aromatic plants. Fecha de consulta: 20 de julio de **2010**.
141. KATEWA, S. S.; GURIA, B. D., and JAIN, A. Ethnomedicinal and obnoxious grasses of Rajasthan, India. *J. Ethnopharmacol.*, **2001**, 76, pp. 293–297.
142. TEIXEIRA-DUARTE, M. C.; FIGUEIRA, G. M.; SARTORATTO, A.; GARCIA-REHDER, V. L. DELARMELENA, C. Anti-*Candida* activity of Brazilian medicinal plants. *J. Ethnopharmac.*, **2005**, 97, pp. 305–311.
143. JAGTAP, S. D.; DEOKULE, S. S., and BHOSLE, S. V. Some unique ethnomedicinal uses of plants used by the Korku tribe of Amravati district of Maharashtra, India. *J. Ethnopharmacol.*, **2006**, 107, pp. 463–469.

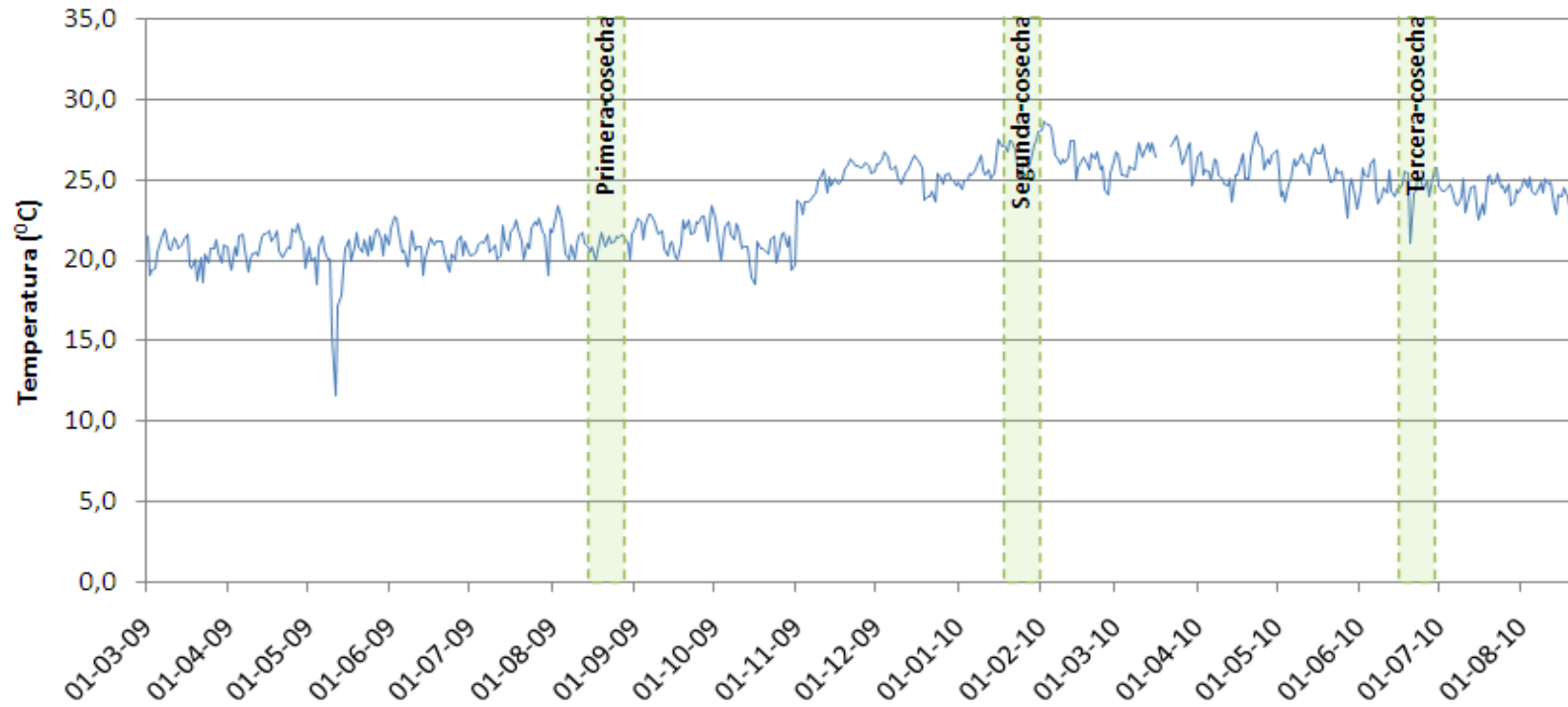
144. KEIZER, C. A compendium of Bhutanese natural products. Netherlands Development Organisation. Thimphu, Kingdom of Bhutan, **2005**, 34 p.
145. KUMAR, S.; DWIVEDI, S.; KUKREJA, A. K.; SHARMA, J. R., and BAGCHI, G. D.. *Cymbopogon: The Aromatic Grass Monograph*. **2000**, Lucknow: Central Institute of Medicinal & Aromatic Plants. 380 p.
146. SUMAN, P. S. K.; AJIT, K. S.; ANUBHA, P.; LAL, R. K.; DAROKAR, M. P.; NAQVI A. A.; RAJKUMAR, S.; SUNDARESAN, V.; LAL, N., and KUMAR, S. Essential oil constituents and RAPD markers to establish species relationship in *Cymbopogon* Spreng. (Poaceae). *Biochem. Syst. Ecol.* **2005**, 33, pp. 171–186.
147. RAJESWARA, R.; RAJPUT, D. K., and PATEL, R. P. Essential Oil Profiles of Different Parts of Palmarosa (*Cymbopogon martini* (Roxb.) Wats. var. *motia* Burk.) *J. Essen. Oil Res.*, **2009**, 21 (6), pp. 519-521.
148. RATTI, N.; KUMAR, S.; VERMA, H. N., and GAUTAM, S. P. Improvement in bioavailability of tricalcium phosphate to *Cymbopogon martinii* var. *motia* by rhizobacteria, AMF, and *Azospirillum* inoculation. *Microbiol. Res.*, **2001**, 156, pp. 145–149.
149. PATRA, D.D.; CHAND, S.; ANWAR, M.; SINGH, S., and KHANUJA, S. P. S. Medicinal and aromatic plants offer specific technologies and processing technologies for marginal lands: case studies. *J. Rural Technol.*, **2004**, 1 (4), pp. 197-198.
150. RAJESWARA, R. B. R.; KAUL, P. N.; SYAMASUNDAR, K. V., and RAMESH, S. Chemical profiles of primary and secondary essential oils of palmarosa (*Cymbopogon martinii* (Roxb.) Wats var. *motia* Burk.). *Ind. Crops Prod.*, **2005**, 21, pp. 121–127.
151. KUMAR, R.; SRIVASTAVA, M., and DUBEY, N. K. Evaluation of *Cymbopogon martinii* oil extract for control of postharvest insect deterioration in cereals and legumes. *J. Food Prot.* **2007**, 70 (1), pp. 172-178.

152. DAS, M. K., and ANSARI, M. A. Evaluation of repellent action of *Cymbopogon martinii martinii* Stapf var *sofia* oil against *Anopheles sundaicus* in tribal villages of Car Nicobar Island, Andaman & Nicobar Islands, India. *J. Vector Borne Dis.*, **2003**, 40 (3-4), pp. 100-104.
153. DUARTE, M. C.; LEME, E. E.; DELARMELENA, C.Ç; SOARES, A. A.; FIGUEIRA, G. M., and SARTORATTO, A. Activity of essential oils from Brazilian medicinal plants on *Escherichia coli*. *J. Ethnopharmacol.*, **2007**, 111 (2), pp. 197-201.
154. OUSSALAH, M.; CAILLET, S.; SAUCIER, L., and LACROIX, M. Antimicrobial effects of selected plant essential oils on the growth of a *Pseudomonas putida* strain isolated from meat. *Meat Sci.*, **2006**, 73, pp. 236–244.
155. OUSSALAH, M.; CAILLET, S.; SAUCIER, L., and LACROIX, M. Inhibitory effects of selected plant essential oils on the growth of four pathogenic bacteria: *E. coli* O157:H7, *Salmonella Typhimurium*, *Staphylococcus aureus* and *Listeria monocytogenes*. *Food Control*, **2007**, 18, pp. 414–420.
156. KUMARAN, A. M.; D'SOUZA, P.; AGARWAL, A.; BOKKOLLA, R. M., and BALASUBRAMANIAM, M. Geraniol, the putative anthelmintic principle of *cymbopogon martinii*. *PHYTOTHER. RES.*, 2003, 17 (8), pp. 957-961
157. SINGH, A. K.; DIKSHIT, A.; SHARMA, M. L., and DIXIT, S. N. Fungitoxic activity of some essential oils. *Econ. Bot.*, 1980, 34 (2), pp. 186-190.
158. PRASHARA, A.; HILIB, P.; VENESSA, R. G., and EVANSA, C. S. Antimicrobial action of palmarosa oil (*Cymbopogon martinii*) on *Saccharomyces cerevisiae*. *Phytochemistry.*, **2003**, 63, pp. 569–575.
159. BANSOD, S., and RAI, M. Antifungal Activity of Essential Oils from Indian Medicinal Plants Against Human Pathogenic *Aspergillus fumigatus* and *A. niger*. *World J. Med. Sci.*, **2008**, 3 (2), pp. 81-88.

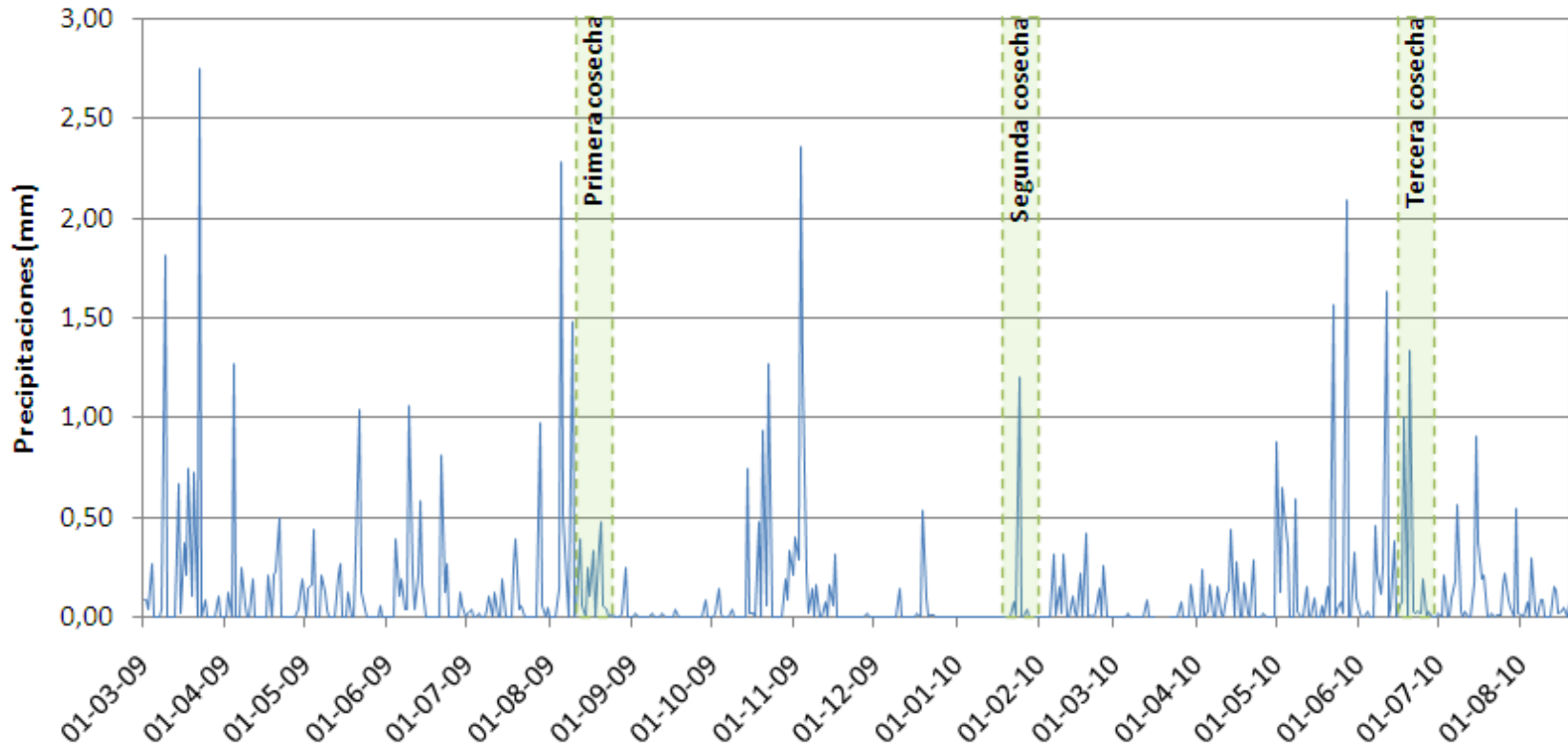
160. WILLEY, R. W. Intercropping. Its importance and research needs. Part I. Competition and yield advantages. *Field Crops Abstr.*, **1979**, 32(1), 1-10.
161. ADAMS, R. Identification of essential oil components by gas chromatography/mass spectrometry, 4th Ed. Allured Publishing Corporation, Carol Stream, Illinois, EE. UU., **2007**, 804 p.

9. ANEXOS

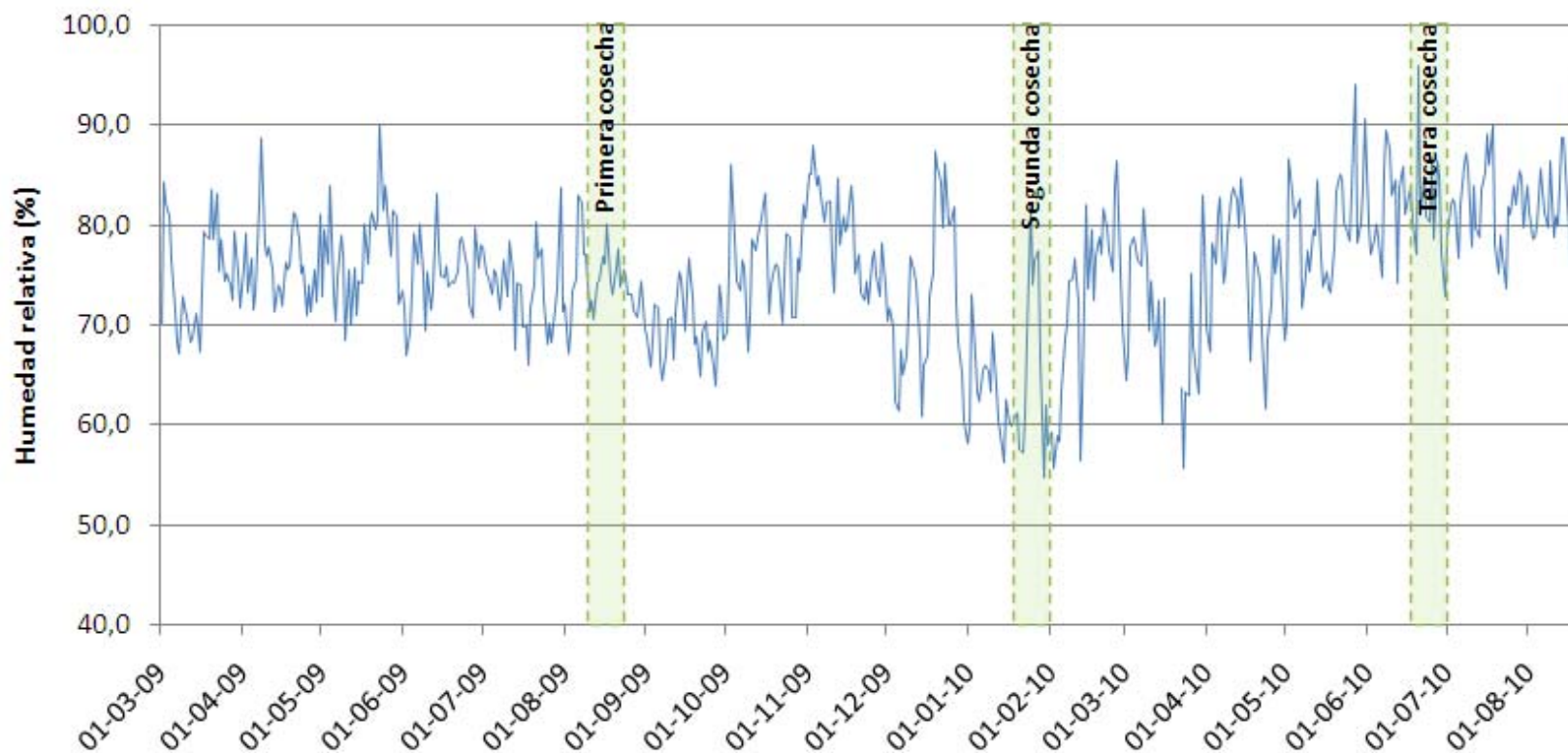
Anexo 1. Temperatura ambiente (promedio diario) desde el inicio de los cultivos experimentales hasta la última cosecha recogida en el presente trabajo. Datos registrados por la estación meteorológica de la CDMB que se encuentra ubicada en la terraza del Hospital Local de Norte (Cra. 9 No. 12 norte, Ciudad Norte, Bucaramanga).



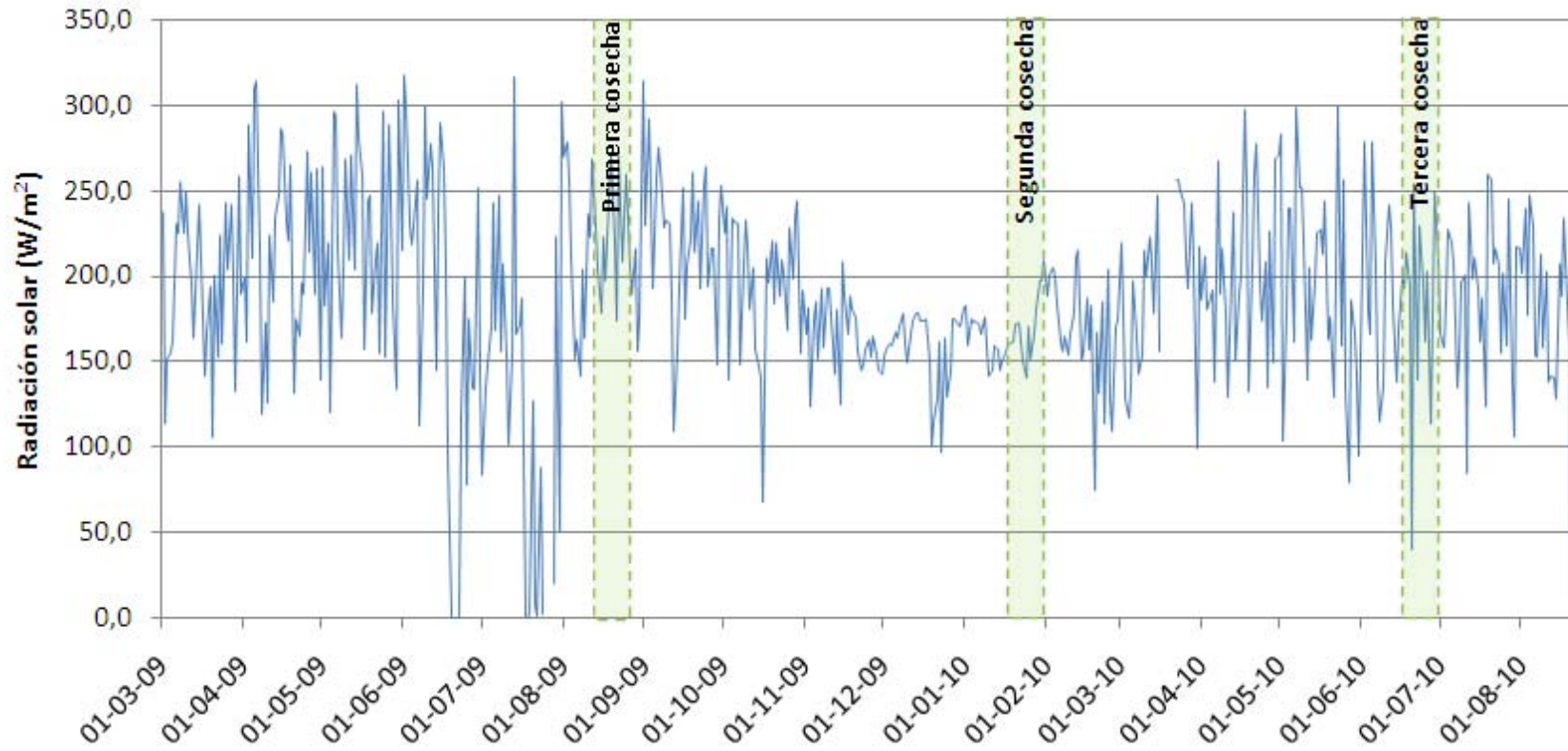
Anexo 2. Precipitaciones (promedio diario) desde el inicio de los cultivos experimentales hasta la última cosecha recogida en el presente trabajo. Datos registrados por la estación meteorológica de la CDMB que se encuentra ubicada en la terraza del Hospital Local de Norte (Cra. 9 No. 12 norte, Ciudad Norte, Bucaramanga).



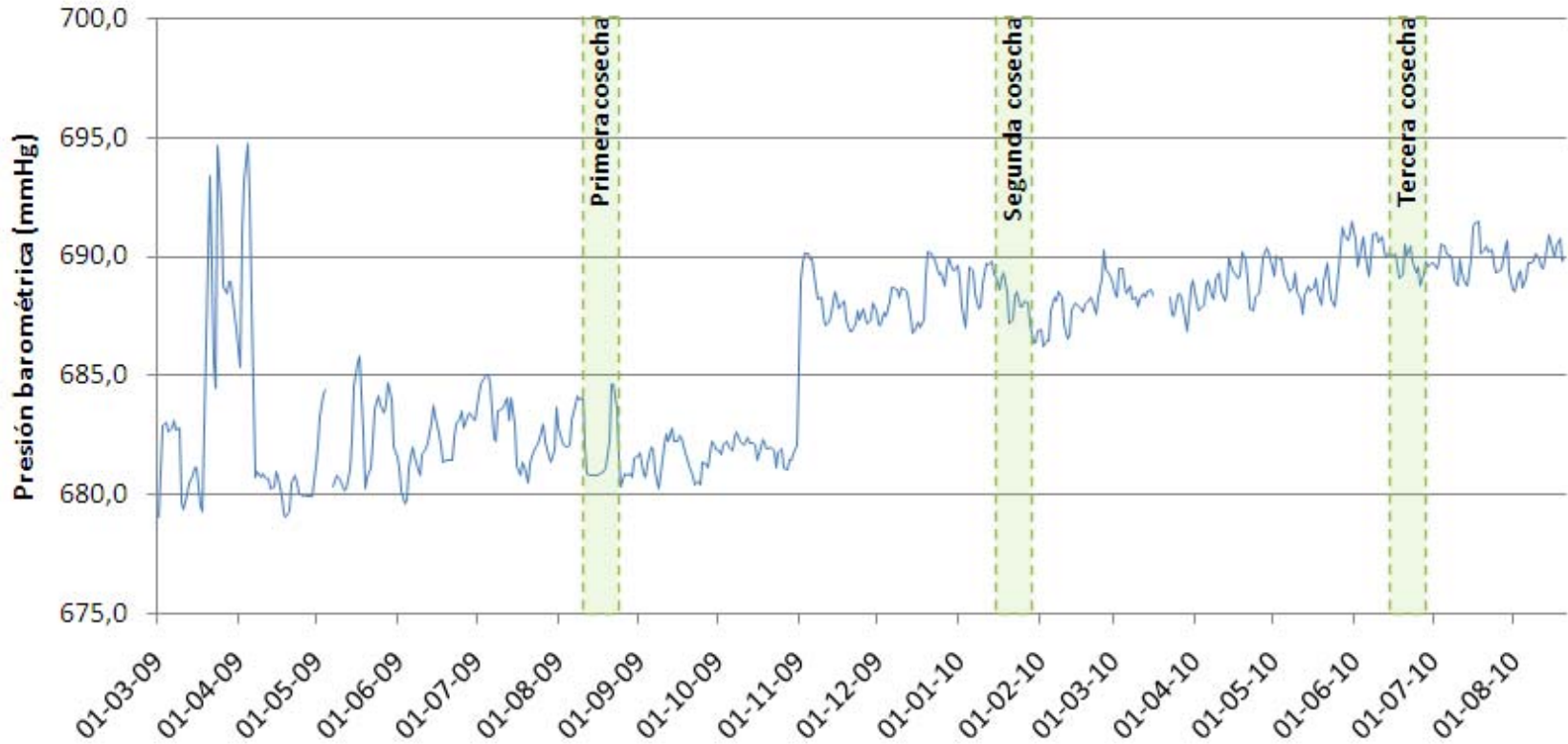
Anexo 3. Humedad relativa (promedio diario) desde el inicio de los cultivos experimentales hasta la última cosecha recogida en el presente trabajo. Datos registrados por la estación meteorológica de la CDMB que se encuentra ubicada en la terraza del Hospital Local de Norte (Cra. 9 No. 12 norte, Ciudad Norte, Bucaramanga).



Anexo 4. Radiación solar (promedio diario) desde el inicio de los cultivos experimentales hasta la última cosecha recogida en el presente trabajo. Datos registrados por la estación meteorológica de la CDMB que se encuentra ubicada en la terraza del Hospital Local de Norte (Cra. 9 No. 12 norte, Ciudad Norte, Bucaramanga).



Anexo 5. Presión barométrica (promedio diario) desde el inicio de los cultivos experimentales hasta la última cosecha recogida en el presente trabajo. Datos registrados por la estación meteorológica de la CDMB que se encuentra ubicada en la terraza del Hospital Local de Norte (Cra. 9 No. 12 norte, Ciudad Norte, Bucaramanga).



Anexo 6. Análisis de suelos, del sitio donde se implementaron los cultivos experimentales del presente estudio (lado izquierdo de la entrada a la planta de compostaje de la Universidad Industrial de Santander). Realizado por el Laboratorio de Suelos de la Universidad Industrial de Santander, febrero de 2009.

Propiedad	Valor
%C	0,89
P (ppm) Bray II	35,3
Ca (meq/100 g suelo)	10,6
Mg (meq/100 g suelo)	3,2
Na (meq/100 g suelo)	0,17
K (meq/100 g suelo)	0,15
TEXTURA	Franco-arcillo-arenoso
B (ppm)	0,31
Fe (ppm)	2,4
Mn (ppm)	2,08
Cu (ppm)	0,24
Zn (ppm)	0,56
Nitrógeno total	Bajo
pH	7,2

Anexo 7. Rendimientos calculados para *Lippia alba* (pronto alivio), obtenida en diferentes sistemas de cultivos.

Sistema de cultivo *	Rendimiento											
	g de MV/planta **			% p/p (AE/MV)**			g de AE/planta **			kg de AE/ha **		
	Prom.	desv.	CV,%	Prom.	desv.	CV,%	Prom.	desv.	CV,%	Prom.	desv.	CV,%
<i>L. alba</i> (1)	382	45	12	0,16	0,01	6	0,59	0,07	12	24,5	0,8	3
<i>L. alba-L. organoides</i> (1)	243	35	14	0,18	0,03	15	0,50	0,08	16	10	2	16
<i>L. alba-P. graveolens</i> (1)	300	23	8	0,19	0,01	6	0,54	0,03	6	11,2	0,7	6
<i>L. alba-C. martinii</i> (1)	288	45	16	0,18	0,02	13	0,48	0,05	10	10	1	10
<i>L. alba</i> (2)	261	35	13	0,27	0,02	6	0,70	0,09	13	29	4	13
<i>L. alba-L. organoides</i> (2)	379	65	17	0,29	0,02	7	0,98	0,09	9	20	2	9
<i>L. alba-P. graveolens</i> (2)	348	22	6	0,23	0,02	9	0,8	0,1	13	17	2	13
<i>L. alba-C. martinii</i> (2)	275	29	10	0,29	0,01	4	0,8	0,1	14	16	2	14
<i>L. alba</i> (3)	321	45	14	0,24	0,03	13	0,7	0,1	15	31	5	15
<i>L. alba-L. organoides</i> (3)	404	63	16	0,20	0,03	14	0,81	0,02	3	16,9	0,5	3
<i>L. alba-P. graveolens</i> (3)	353	52	15	0,20	0,03	15	0,7	0,1	15	15	2	15
<i>L. alba-C. martinii</i> (3)	139	21	15	0,23	0,01	6	0,33	0,03	9	6,8	0,6	9

* El número entre paréntesis corresponde al número de cosecha. La primera cosecha del intercalado *L. alba-C. martinii* no se tuvo en cuenta, debido a que *C. martinii* se sembró después de *L. alba*.

** MV, material vegetal; AE, aceite esencial; prom., desv. y CV,%, corresponde, respectivamente, al promedio, la desviación estándar y el porcentaje de error de 5 réplicas.

Anexo 8. Rendimientos calculados para *Lippia origanoides* (orégano de monte), obtenida en diferentes sistemas de cultivos.

Sistema de cultivo*	Rendimiento											
	g de MV/planta**			% p/p (AE/MV)**			g de AE/planta**			kg de AE/ha**		
	Prom.	desv.	CV,%	Prom.	desv.	CV,%	Prom.	desv.	CV,%	Prom.	desv.	CV,%
<i>L. origanoides</i> (1)	205	6	3	0,8	0,1	12	1,6	0,3	18	82	15	18
<i>L. origanoides-L. alba</i> (1)	323	12	4	0,7	0,1	14	2,5	0,3	12	47	6	12
<i>L. origanoides-P. graveolens</i> (1)	613	222	36	0,6	0,2	33	3,6	0,9	24	90	22	24
<i>L. origanoides</i> (2)	187	36	19	1,05	0,02	2	2,0	0,3	18	98	17	18
<i>L. origanoides-L. alba</i> (2)	333	46	14	1,09	0,04	4	3,6	0,6	16	75	12	16
<i>L. origanoides-P. graveolens</i> (2)	451	75	17	0,93	0,04	4	4,2	0,6	14	105	14	14
<i>L. origanoides-C. martinii</i> (2)	149	11	7	1,0	0,2	21	1,4	0,2	14	35	5	14
<i>L. origanoides</i> (3)	512	85	17	0,6	0,1	12	2,9	0,4	14	146	20	14
<i>L. origanoides-L. alba</i> (3)	985	85	9	0,6	0,1	17	6,2	1,0	16	129	21	16
<i>L. origanoides-P. graveolens</i> (3)	510	99	19	0,5	0,1	19	2,4	0,4	16	59	9	16
<i>L. origanoides-C. martinii</i> (3)	150	25	17	0,5	0,1	21	0,7	0,1	14	18	3	14

* El número entre paréntesis corresponde al número de cosecha. La primera cosecha del intercalado *L. origanoides-C. martinii* no se tuvo en cuenta, debido a que *C. martinii* se sembró después de *L. origanoides*.

** MV, material vegetal; AE, aceite esencial; prom., desv. y CV,%, corresponde, respectivamente, al promedio, la desviación estándar y el porcentaje de error de 5 réplicas.

Anexo 9. Rendimientos calculados para *Pelargonium graveolens* (geranio), obtenida en diferentes sistemas de cultivos.

Sistema de cultivo*	Rendimiento											
	g de MV/planta**			% p/p (AE/MV)**			g de AE/planta**			kg de AE/ha**		
	Prom.	desv.	CV,%	Prom.	desv.	CV,%	Prom.	desv.	CV,%	Prom.	desv.	CV,%
<i>P. graveolens</i> (1)	97	25	26	0,09	0,03	33	0,09	0,02	23	6	1	18
<i>P. graveolens-L. alba</i> (1)	22	5	23	0,13	0,03	22	0,03	0,01	28	0,5	0,1	28
<i>P. graveolens-L. origanoides</i> (1)	35	3	9	0,11	0,02	14	0,04	0,01	14	0,9	0,1	14
<i>P. graveolens</i> (2)	101,7	0,5	0,5	0,08	0,01	12	0,08	0,01	12	4,9	0,6	12
<i>P. graveolens-L. alba</i> (2)	83	15	18	0,10	0,02	16	0,09	0,01	12	1,8	0,3	17
<i>P. graveolens-L. origanoides</i> (2)	76	17	22	0,09	0,01	11	0,07	0,01	22	1,6	0,4	22
<i>P. graveolens-C. martinii</i> (2)	112	24	21	0,09	0,01	6	0,11	0,02	19	2,6	0,5	19
<i>P. graveolens</i> (3)	77	17	22	0,11	0,01	7	0,08	0,01	12	6,0	0,7	12
<i>P. graveolens-L. alba</i> (3)	41	3	7	0,11	0,01	9	0,04	0,01	14	0,9	0,1	14
<i>P. graveolens-L. origanoides</i> (3)	23	4	18	0,10	0,01	10	0,024	0,003	13	0,6	0,1	17
<i>P. graveolens-C. martinii</i> (3)	2,6	0,2	7,6	--	--	--	--	--	--	--	--	--

* El número entre paréntesis corresponde al número de cosecha. La primera cosecha del intercalado *P. graveolens-C. martinii* no se tuvo en cuenta, debido a que *C. martinii* se sembró después de *P. graveolens*.

** MV, material vegetal; AE, aceite esencial; prom., desv. y CV,%, corresponde, respectivamente, al promedio, la desviación estándar y el porcentaje de error de 5 réplicas.

Anexo 10. Rendimientos calculados para *Cymbopogon martinii* (palmarrosa), obtenida en diferentes sistemas de cultivos.

Sistema de cultivo*	Rendimiento											
	g de MV/planta**			% p/p (AE/MV)**			g de AE/planta**			kg de AE/ha**		
	Prom.	desv.	CV,%	Prom.	desv.	CV,%	Prom.	desv.	CV,%	Prom.	desv.	CV,%
<i>C. martinii</i> (2)	255	17	7	0,35	0,03	9	0,9	0,1	10	46	5	11
<i>C. martinii</i> – <i>L. alba</i> (2)	262	36	14	0,40	0,06	14	1,3	0,1	11	28	3	11
<i>C. martinii</i> – <i>L. origanoides</i> (2)	219	17	8	0,39	0,07	17	0,9	0,1	12	22	3	12
<i>C. martinii</i> – <i>P. graveolens</i> (2)	365	45	12	0,33	0,04	12	1,2	0,2	17	30	5	17
<i>C. martinii</i> (3)	642	127	20	0,24	0,03	12	1,6	0,2	10	83	4	5
<i>C. martinii</i> – <i>L. alba</i> (3)	692	99	14	0,35	0,03	9	2,4	0,1	5	47	5	10
<i>C. martinii</i> – <i>L. origanoides</i> (3)	885	126	14	0,32	0,04	13	2,7	0,3	12	66	7	11
<i>C. martinii</i> – <i>P. graveolens</i> (3)	865	132	15	0,296	0,002	1	2,6	0,4	17	63	5	8

* El número entre paréntesis corresponde al número de cosecha. *C. martinii* se sembró en el mes de octubre de 2009, en época de la primera cosecha de las otras especies; es por eso que no reportan los datos de la primera cosecha de *C. martinii*.

** MV, material vegetal; AE, aceite esencial; prom., desv. y CV,%, corresponde, respectivamente, al promedio, la desviación estándar y el porcentaje de error de 5 réplicas.

Anexo 11. Composición del AE obtenido de la especie de *Lippia alba*, cultivada en diferentes sistemas de cultivo y correspondiente a la primera cosecha.

No ^a	Compuesto	IR*		Cantidad en AE, g/kg**		
		DB-5	DBWAX	<i>L. alba</i>	<i>L. alba-L. origanoides</i>	<i>L. alba-P. graveolens</i>
				X±s	X±s	X±s
1	Canfeno	958	1176	0,77±0,03	0,367±0,005	0,35±0,08
2	β -Mirceño	993	1213	2,6±0,3	1,5±0,02	1,5±0,3
3	Limoneno α	1038	1257	100±20	130±4	120±20
4	<i>trans</i> - β -Ocimeno	1052	1262	2,4±0,7	1±0,2	1±0,2
5	Linalol	1101	1310	1,74±0,09	1,82±0,05	1,55±0,04
6	<i>trans-p</i> -Menta-2,8-dien-1-ol	1128	1334	0,62±0,08	0,77±0,09	0,6±0,06
7	<i>cis</i> -Óxido de limoneno	1142	1345	0,9±0,03	0,69±0,08	0,55±0,05
8	Borneol	1178	1380	2,81±0,01	3,08±0,05	2,5±0,2
9	<i>trans</i> -Menta-1(7),8-dien-2-ol	1195		0,26±0,04	0,48±0,04	0,35±0,09
10	<i>cis</i> -Dihidrocarvona	1205		0,53±0,05	1,42±0,06	1,4±0,4
11	<i>trans</i> -Dihidrocarvona	1214	1406	2,3±0,2	7,5±0,1	8±2
12	NI	1223		ND	0,97±0,02	4±4
13	<i>trans</i> -Carveol	1228	1843	1,8±0,3	ND	2,4±0,2
14	NI	1241		0,81±0,08	0,83±0,07	0,82±0,008
15	Carvon α	1257	1440	370±20	400±10	340±20
16	Piperitona	1265	1446	10,3±0,3	12±1	10,6±0,6
17	<i>cis</i> -Óxido de carvona	1272		0,41±0,03	0,44±0,04	0,41±0,02
18	<i>trans</i> -Óxido de carvona	1286	1452	0,6±0,2	0,78±0,03	0,9±0,2
19	Timol	1293		0,71±0,09	1±0,09	1,1±0,3
20	Acetato de <i>trans</i> -carveilo	1344		0,44±0,002	0,46±0,01	0,414±0,001
21	Piperitenona	1356	1515	20±2	19±2	19,1±0,2
22	α -Copaeno	1394	1547	0,292±0,001	0,314±0,009	0,33±0,03
23	β -Bourboneno	1405	1554	5,61±0,03	6,2±0,6	6,2±0,2
24	β -Elemeno	1407	1594	4±1	4,1±0,8	3,8±0,3
25	NI	1441		0,388±0,005	1,14±0,01	1,12±0,06
26	<i>trans</i> - β -Cariofileno	1443	1583	0,75±0,05	0,76±0,09	0,85±0,08
27	β -Copaeno	1451	1590	1,31±0,06	1,423±0,006	1,46±0,06
28	β -Farneseno	1463	1597	4,3±0,4	3,8±0,3	3,7±0,8
29	<i>allo</i> -Aromadendreno	1467	1614	0,76±0,05	0,79±0,03	0,81±0,01
30	9- <i>epi</i> -(E)-Cariofileno	1485		1,1±0,2	2,2±0,3	2,23±0,02
31	Germacreno-D	1490	1601	0,37±0,06	0,51±0,01	0,54±0,01
32	Biciclosesquifelandreno	1504	1635	63±7	60±10	59±3
33	Biciclogermacreno	1515	1642	ND	0,8±0,1	0,85±0,04
34	Germacreno A	1519		7,9±0,7	2,6±0,5	2,54±0,06
35	δ -Cadineno	1537		0,89±0,02	3±0,4	2,7±0,4
36	NI	1554		0,5±0,1	0,5±0,1	0,45±0,07
37	Germacreno D-4-ol	1598	2067	1,12±0,05	1,2±0,3	1±0,2
38	NI	1635		0,8±0,1	0,7±0,1	0,8±0,1
39	α -Cadinol	1674		0,9±0,2	0,16±0,03	0,22±0,08

a Número de pico en la **Figura 12**.

* Índices de retención determinados experimentalmente en las columnas DB-5 y DBWAX.

** Cantidad calculada con base en el método de ISTD (*n*-tetradecano), (n=4).

α Cantidad calculada con base en el método de estandarización interna, con *n*-tetradecano como ISTD, (n=4).

ND No detectado

NI No identificado

Anexo 12. Composición del AE obtenido de la especie *Lippia alba*, cultivada en diferentes sistemas de cultivo y correspondiente a la segunda cosecha.

No ^a	Compuesto	IR*		Cantidad en AE, g/kg**			
		DB-5	DBWAX	<i>L. alba</i>	<i>L. alba-L. organoides</i>	<i>L. alba-P. graveolens</i>	<i>L. alba-C. martinii</i>
				X±s	X±s	X±s	X±s
1	Canfeno	958	1176	0,8±0,2	0,94±0,05	0,7±0,3	1±0,1
2	β-Mirceno	993	1213	2,5±0,5	3,1±0,1	2,5±0,8	3,1±0,1
3	Limoneno ^α	1038	1257	240±30	254,6±0,7	210±60	250 20
4	<i>trans</i> -β-Ocimeno	1052	1262	3±2	1,9±0,2	1,6±0,2	2±0,5
5	Linalol	1101	1310	2±0,2	2,3±0,2	2,1±0,1	2,2±0,01
6	<i>trans-p</i> -Menta-2,8-dien-1-ol	1128	1334	0,7±0,2	1,22±0,08	1,2±0,2	1,2±0,1
7	<i>cis</i> -Óxido de limoneno	1142	1345	1±0,3	1,1±0,1	1±0,2	0,99±0,09
8	Borneol	1178	1380	2,9±0,4	3,43±0,06	3,44±0,03	3,47±0,01
9	<i>trans</i> -Menta-1(7),8-dien-2-ol	1195		0,4±0,1	0,69±0,05	0,7±0,1	0,67±0,08
10	<i>cis</i> -Dihidrocarvona	1205		0,6±0,1	0,74±0,07	1,3±0,3	1,3±0,4
11	<i>trans</i> -Dihidrocarvona	1214	1406	2±2	1,1±0,1	4±3	2,9±0,4
12	NI	1223		ND	ND	ND	ND
13	<i>trans</i> -Carveol	1228	1843	2,1±0,4	2,9±0,1	3,04±0,05	2,7±0,2
14	NI	1241		0,88±0,08	ND	0,99±0,03	ND
15	Carvona ^α	1257	1440	400±20	410±10	410±30	410 20
16	Piperitona	1265	1446	11±0,4	11,19±0,06	10,9±0,7	11±0,7
17	<i>cis</i> -Óxido de carvona	1272		0,54±0,04	0,563±0,001	0,51±0,08	0,54±0,05
18	<i>trans</i> -Óxido de carvona	1286	1452	0,7±0,02	1,1±0,1	1±0,3	1±0,2
19	Timol	1293		0,715±0,008	0,76±0,05	0,78±0,06	0,76±0,09
20	Acetato de <i>trans</i> -carveilo	1344		0,6±0,1	0,51±0,03	0,48±0,02	0,501±0,001
21	Piperitenona	1356	1515	18,8±0,7	18,7±0,2	19,5±0,9	18 2
22	α-Copaeno	1394	1547	0,44±0,07	0,328±0,001	0,36±0,05	0,32±0,02
23	β-Bourboneno	1405	1554	5±1	7±0,3	7,8±0,3	7±0,7
24	β-Elemeno	1407	1594	4,8±0,8	4,4±0,6	4,6±0,5	4,7±0,5
25	NI	1441		0,51 0,02	1,36±0,08	1,43 0,04	1,37±0,07
26	<i>trans</i> -β-Cariofileno	1443	1583	0,73±0,009	0,68±0,03	0,8±0,1	0,7±0,06
27	β-Copaeno	1451	1590	1,8±0,4	1,5±0,2	1,61±0,04	1,5±0,2
28	β-Farneseno	1463	1597	3,6±0,4	4,2±0,5	5±1	4±0,5
29	<i>allo</i> -Aromadendreno	1467	1614	0,78±0,04	0,9±0,03	0,99±0,05	0,91±0,07
30	9- <i>epi</i> -(E)-Cariofileno	1485		1,4±0,1	1,94±0,02	2,3±0,5	2,01±0,09
31	Germacreno-D	1490	1601	0,49±0,05	0,557±0,004	0,65±0,01	0,58±0,08
32	Biciclosesquifelandreno	1504	1635	53±3	48,9±0,6	60±20	51 0,7
33	Biciclogermacreno	1515	1642	ND	0,4 0,1	0,52 0,05	0,5±0,2
34	Germacreno A	1519		6,6±0,6	1,89±0,06	2,3±0,5	2±0,2
35	δ-Cadineno	1537		0,93±0,09	1,9±0,6	2,3±0,3	2,1±0,9
36	NI	1554		0,6±0,1	0,41±0,02	0,5±0,1	0,42±0,01
37	Germacreno D-4-ol	1598	2067	1,3±0,8	0,78±0,03	1,1±0,3	0,94±0,03
38	NI	1635		0,85±0,07	0,571±0,003	0,74±0,09	0,71±0,05
39	α-Cadinol	1674		1±0,5	0,093±0,002	0,13±0,02	0,125±0,007

a Número de pico en la Figura 12.

* Índices de retención determinados experimentalmente en las columnas DB-5 y DBWAX.

** Cantidad calculada con base en el método de ISTD (*n*-tetradecano), (*n*=4).

α Cantidad calculada con base en el método de estandarización interna, con *n*-tetradecano como ISTD, (*n*=4).

ND No detectado

NI No identificado

Anexo 13. Composición del AE obtenido de la especie *Lippia alba*, cultivada en diferentes sistemas de cultivo y correspondiente a la tercera cosecha.

No _a	Compuesto	IR*		Cantidad en AE, g/kg**			
		DB-5 DBWAX		<i>L. alba</i>	<i>L. alba-L. origanoides</i>	<i>L. alba-P. graveolens</i>	<i>L. alba-C. martinii</i>
				X±s	X±s	X±s	X±s
1	Canfeno	958	1176	0,8±0,4	ND	ND	ND
2	β-Mirceno	993	1213	2,7±0,7	ND	ND	ND
3	Limoneno ^α	1038	1257	240±10	240±10	232±8	220±20
4	<i>trans</i> -β-Ocimeno	1052	1262	2,5±0,2	2±0,5	1,9±0,1	2±0,5
5	Linalol	1101	1310	2,18±0,04	2,3±0,4	2,4±0,2	2,4±0,2
6	<i>trans-p</i> -Menta-2,8-dien-1-ol	1128	1334	0,69±0,05	0,93±0,09	0,93±0,02	1,02±0,02
7	<i>cis</i> -Óxido de limoneno	1142	1345	0,9±0,1	0,9±0,1	0,96±0,03	0,914±0,007
8	Borneol	1178	1380	2,95±0,1	3,8±0,3	3,9±0,2	4,1±0,4
9	<i>trans</i> -Menta-1(7),8-dien-2-ol	1195		0,36±0,02	0,55±0,07	0,54±0,02	0,61±0,01
10	<i>cis</i> -Dihidrocarvona	1205		0,54±0,02	1±0,1	0,9±0,5	0,8±0,1
11	<i>trans</i> -Dihidrocarvona	1214	1406	2,3±0,2	2,6±0,3	3±2	2±1
12	NI	1223		ND	ND	ND	ND
13	<i>trans</i> -Carveol	1228	1843	2,2±0,2	2,52±0,06	2,5±0,1	2,39±0,05
14	NI	1241		0,9±0,2	0,62±0,02	0,6±0,2	0,64±0,04
15	Carvona ^α	1257	1440	400±10	400±10	405±3	397±8
16	Piperitona	1265	1446	10,6±0,7	11±0,5	11,3±0,7	11,2±0,3
17	<i>cis</i> -Óxido de carvona	1272		0,4991±0,01	0,467±0,004	0,5±0,04	0,54±0,01
18	<i>trans</i> -Óxido de carvona	1286	1452	0,7±0,2	0,9±0,2	0,98±0,08	0,93±0,06
19	Timol	1293		0,7±0,1	0,74±0,03	0,75±0,05	0,71±0,07
20	Acetato de <i>trans</i> -carveilo	1344		0,53±0,08	0,55±0,02	0,499±0,008	0,53±0,06
21	Piperitenona	1356	1515	15,8±0,5	16±1	17±2	16±1
22	α-Copaeno	1394	1547	0,386±0,005	0,39±0,02	0,36±0,02	0,46±0,01
23	β-Bourboneno	1405	1554	5,3±0,3	7,3±0,2	7,1±0,6	8,6±0,6
24	β-Elemeno	1407	1594	5±1	5,2±0,9	4,7±0,5	5,8±0,2
25	NI	1441		0,49±0,07	1,43±0,05	1,3±0,2	1,6±0,1
26	<i>trans</i> -β-Cariofileno	1443	1583	0,74±0,01	0,76±0,03	0,7±0,07	0,86±0,08
27	β-Copaeno	1451	1590	1,7±0,1	1,49±0,09	1,5±0,2	1,7±0,3
28	β-Farneseno	1463	1597	4,1±0,4	4,6±0,8	4,2±0,02	5,6±0,9
29	<i>allo</i> -Aromadendreno	1467	1614	0,83±0,03	0,9±0,03	0,85±0,07	1,02±0,08
30	9- <i>epi</i> -(E)-Cariofileno	1485		1,6±0,6	2,2±0,2	2±0,2	2,6±0,1
31	Germacreno-D	1490	1601	0,49±0,07	0,6±0,1	0,6±0,1	0,78±0,04
32	Biciclosesquifelandreno	1504	1635	55±2	54±6	47±5	61±2
33	Biciclogermacreno	1515	1642	ND	ND	0,7±0,2	0,94±0,05
34	Germacreno A	1519		7±0,6	2,6±0,7	2±0,3	2,9±0,2
35	δ-Cadineno	1537		0,9±0,2	1,8±0,5	2,3±0,4	2,1±0,8
36	NI	1554		0,6±0,2	0,5±0,1	0,45±0,04	0,6±0,02
37	Germacreno D-4-ol	1598	2067	1,37±0,07	0,73±0,07	0,7±0,1	0,77±0,04
38	NI	1635		0,86±0,06	0,5±0,1	0,55±0,09	0,64±0,04
39	α-Cadinol	1674		1±0,2	0,1±0,02	0,16±0,09	0,2±0,1

a Número de pico en la **Figura 12**.

* Índices de retención determinados experimentalmente en las columnas DB-5 y DBWAX.

** Cantidad calculada con base en el método de ISTD (*n*-tetradecano), (n=4).

α Cantidad calculada con base en el método de estandarización interna, con *n*-tetradecano como ISTD, (n=4).

ND No detectado

NI No identificado

Anexo 14. Composición del AE obtenido de la especie *Lippia alba*, cultivada en diferentes sistemas de cultivo, y el rendimiento por planta durante la primera cosecha.

No ^a	Compuesto	IR*		Rendimiento (mg/planta)**		
		DB-5	DBWAX	<i>L. alba</i>	<i>L. alba-L. origanoides</i>	<i>L. alba-P. graveolens</i>
				X±s	X±s	X±s
1	Canfeno	958	1176	0,4±0,2	0,15±0,02	0,1±0,01
2	β-Mirceno	993	1213	1,4±0,5	0,5±0,05	0,43±0,05
3	Limoneno _α	1038	1257	72±24	86±10	72±5
4	<i>trans</i> -β-Ocimeno	1052	1262	1,1±0,2	0,38±0,05	0,31±0,02
5	Linalol	1101	1310	1,4±0,2	0,55±0,05	0,46±0,02
6	<i>trans-p</i> -Menta-2,8-dien-1-ol	1128	1334	0,5±0,1	0,25±0,02	0,18±0,01
7	<i>cis</i> -Óxido de limoneno	1142	1345	0,53±0,07	0,22±0,02	0,17±0,02
8	Borneol	1178	1380	2,2±0,2	1,01±0,05	0,74±0,05
9	<i>trans</i> -Menta-1(7),8-dien-2-ol	1195		0,2±0,1	0,15±0,01	0,1±0,02
10	<i>cis</i> -Dihidrocarvona	1205		0,41±0,05	0,43±0,05	0,4±0,1
11	<i>trans</i> -Dihidrocarvona	1214	1406	1,4±0,2	2,2±0,1	2,4±0,7
12	NI	1223		ND	0,18±0,02	1,2±0,5
13	<i>trans</i> -Carveol	1228	1843	1,7±0,5	ND	ND
14	NI	1241		0,5±0,2	0,25±0,01	0,24±0,01
15	Carvona _α	1257	1440	247±19	226±10	206±5
16	Piperitona	1265	1446	7±0,5	3,1±0,2	3,2±0,1
17	<i>cis</i> -Óxido de carvona	1272		0,3±0,1	0,13±0,01	0,12±0,02
18	<i>trans</i> -Óxido de carvona	1286	1452	0,4±0,1	0,23±0,01	0,26±0,02
19	Timol	1293		0,5±0,02	0,26±0,01	0,34±0,05
20	Acetato de <i>trans</i> -carveilo	1344		0,3±0,01	0,134±0,002	0,12±0,01
21	Piperitenona	1356	1515	13±1	10,4±0,3	11,5±0,2
22	α-Copaeno	1394	1547	0,18±0,02	0,1±0,02	0,1±0,02
23	β-Bourboneno	1405	1554	3,6±0,1	2±0,1	1,9±0,2
24	β-Elemeno	1407	1594	3,1±0,5	1,4±0,2	1,2±0,2
25	NI	1441		ND	0,36±0,05	0,34±0,05
26	<i>trans</i> -β-Cariofileno	1443	1583	0,4±0,1	0,22±0,02	0,26±0,02
27	β-Copaeno	1451	1590	0,7±0,1	0,41±0,05	0,43±0,05
28	β-Farneseno	1463	1597	2,9±0,2	1,3±0,2	1,1±0,2
29	<i>allo</i> -Aromadendreno	1467	1614	0,48±0,05	0,25±0,02	0,24±0,02
30	9- <i>epi</i> -(E)-Cariofileno	1485		1±0,5	0,7±0,07	0,67±0,07
31	Germacreno-D	1490	1601	0,26±0,05	0,16±0,01	0,16±0,02
32	Biciclosesquifelandreno	1504	1635	36±12	38±5	34±2
33	Biciclogermacreno	1515	1642	ND	0,197±0,007	0,26±0,02
34	Germacreno A	1519		2±2	0,7±0,1	0,8±0,1
35	δ-Cadineno	1537		0,7±0,2	0,77±0,02	0,82±0,07
36	NI	1554		0,36±0,05	0,16±0,02	0,13±0,02
37	Germacreno D-4-ol	1598	2067	0,7±0,1	0,37±0,02	0,29±0,05
38	NI	1635		0,4±0,1	0,21±0,01	0,24±0,02
39	α-Cadinol	1674		0,5±0,5	0,05±0,005	0,06±0,02

a Número de pico en la **Figura 12**.

* Índices de retención determinados experimentalmente en las columnas DB-5 y DBWAX

** Cantidad obtenida por planta, calculada con base en el método de ISTD (*n*-tetradecano) y teniendo en cuenta el rendimiento de AE por planta, (n=4). Para calcular el Rendimiento de cada componente por hectárea, de debe multiplicar por el número de plantas presentes por hectárea, de acuerdo con el sistema de cultivo implementado (ver **Tabla 3**).

α Cantidad obtenida por planta, calculada con base en el método de estandarización interna y teniendo en cuenta el rendimiento de AE por planta, (n=4).

ND No detectado

NI No identificado

Anexo 15. Composición del AE obtenido de la especie *Lippia alba*, cultivada en diferentes sistemas de cultivo, y el rendimiento por planta durante la segunda cosecha.

No _a	Compuesto	IR*		Rendimiento (mg/planta)**			
		DB-5	DBWAX	<i>L. alba</i>	<i>L. alba-L. origanoides</i>	<i>L. alba-P. graveolens</i>	<i>L. alba-C. martinii</i>
				X±s	X±s	X±s	X±s
1	Canfeno	958	1176	0,8±0,1	0,53±0,07	0,38±0,05	0,46±0,07
2	β-Mirceno	993	1213	2,6±0,2	1,6±0,2	1,2±0,2	1,4±0,2
3	Limoneno _‡	1038	1257	220±20	269±29	200±30	221±34
4	<i>trans</i> -β-Ocimeno	1052	1262	1,9±0,5	1,1±0,1	0,8±0,2	0,9±0,1
5	Linalol	1101	1310	2,2±0,7	1,4±0,2	1±0,1	1±0,1
6	<i>trans-p</i> -Menta-2,8-dien-1-ol	1128	1334	0,9±0,2	0,6±0,1	0,6±0,1	0,5±0,05
7	<i>cis</i> -Óxido de limoneno	1142	1345	0,8±0,1	0,55±0,07	0,46±0,07	0,43±0,05
8	Borneol	1178	1380	2,9±0,7	2,2±0,2	1,7±0,2	1,5±0,2
9	<i>trans</i> -Menta-1(7),8-dien-2-ol	1195		0,5±0,1	0,34±0,05	0,3±0,1	0,29±0,02
10	<i>cis</i> -Dihidrocarvona	1205		0,9±0,2	0,41±0,05	0,4±0,1	0,58±0,07
11	<i>trans</i> -Dihidrocarvona	1214	1406	2±1	0,67±0,07	0,7±0,5	1,3±0,1
12	NI	1223		ND	ND	ND	ND
13	<i>trans</i> -Carveol	1228	1843	2,4±0,5	1,6±0,2	ND	1,2±0,1
14	NI	1241		0,2±0,2	ND	0,17±0,02	ND
15	Carvona _‡	1257	1440	340±20	432±48	350±40	360±38
16	Piperitona	1265	1446	9±1	5,8±0,7	4,8±0,5	4,8±0,5
17	<i>cis</i> -Óxido de carvona	1272		0,5±0,1	0,31±0,05	0,24±0,02	0,24±0,02
18	<i>trans</i> -Óxido de carvona	1286	1452	0,82±0,07	0,6±0,07	0,46±0,07	0,46±0,05
19	Timol	1293		0,62±0,05	0,41±0,07	0,31±0,05	0,34±0,05
20	Acetato de <i>trans</i> -carveilo	1344		0,43±0,07	0,29±0,05	0,22±0,02	0,22±0,02
21	Piperitenona	1356	1515	17±2	19±2	15±2	16±2
22	α-Copaeno	1394	1547	0,29±0,05	0,19±0,02	0,14±0,02	0,14±0,02
23	β-Bourboneno	1405	1554	6±1	4,1±0,5	3,1±0,5	3,1±0,5
24	β-Elemeno	1407	1594	4±1	2,9±0,5	1,9±0,2	2,2±0,2
25	NI	1441		1,1±0,2	0,8±0,1	0,6±0,1	0,6±0,07
26	<i>trans</i> -β-Cariofileno	1443	1583	0,6±0,1	0,41±0,05	0,29±0,05	0,31±0,05
27	β-Copaeno	1451	1590	1,2±0,1	0,8±0,1	0,6±0,1	0,62±0,07
28	β-Farneseno	1463	1597	4±2	2,6±0,5	1,9±0,5	1,8±0,2
29	<i>allo</i> -Aromadendreno	1467	1614	0,7±0,1	0,5±0,07	0,38±0,07	0,41±0,05
30	9- <i>epi</i> -(E)-Cariofileno	1485		1,7±0,2	1,2±0,2	0,9±0,1	0,9±0,1
31	Germacreno-D	1490	1601	0,5±0,1	0,31±0,05	0,26±0,05	0,26±0,02
32	Biciclosesquifelandreno	1504	1635	43±7	58±10	40±10	43±5
33	Biciclogermacreno	1515	1642	ND	0,22±0,02	0,22±0,05	0,19±0,02
34	Germacreno A	1519		1,7±0,2	1,1±0,2	0,8±0,1	0,9±0,1
35	δ-Cadineno	1537		1,4±0,5	1±0,1	0,9±0,2	0,9±0,1
36	NI	1554		0,4±0,1	0,26±0,05	0,19±0,05	0,19±0,02
37	Germacreno D-4-ol	1598	2067	0,7±0,1	0,48±0,05	0,38±0,07	0,41±0,05
38	NI	1635		0,48±0,05	0,34±0,05	0,26±0,07	0,31±0,05
39	α-Cadinol	1674		0,07±0,07	0,06±0,01	0,05±0,01	0,055±0,007

a Número de pico en la **Figura 12**.

* Índices de retención determinados experimentalmente en las columnas DB-5 y DBWAX

** Cantidad obtenida por planta, calculada con base en el método de ISTD (*n*-tetradecano) y teniendo en cuenta el rendimiento de AE por planta, (*n*=4). Para calcular el Rendimiento de cada componente por hectárea, de debe multiplicar por el número de plantas presentes por hectáreas, de acuerdo con el sistema de cultivo implementado (ver **Tabla 3**)

‡ Cantidad obtenida por planta, calculada con base en el método de estandarización interna y teniendo en cuenta el rendimiento de AE por planta, (*n*=4).

ND No detectado

NI No identificado

Anexo 16. Composición del AE obtenido de la especie *Lippia alba*, cultivada en diferentes sistemas de cultivo, y el rendimiento por planta durante la tercera cosecha.

No _a	Compuesto	IR*		Rendimiento (mg/planta)**			
		DB-5	DBWAX	<i>L. alba</i>	<i>L. alba-L. origanoides</i>	<i>L. alba-P. graveolens</i>	<i>L. alba-C. martinii</i>
				X±s	X±s	X±s	X±s
1	Canfeno	958	1176	ND	ND	ND	ND
2	β-Mirceno	993	1213	ND	ND	ND	ND
3	Limoneno _κ	1038	1257	216±72	220±20	192±29	80±10
4	<i>trans</i> -β-Ocimeno	1052	1262	2,2±0,5	0,9±0,1	0,8±0,1	0,38±0,05
5	Linalol	1101	1310	2,6±0,1	1±0,1	1±0,1	0,46±0,05
6	<i>trans-p</i> -Menta-2,8-dien-1-ol	1128	1334	0,96±0,07	0,43±0,07	0,38±0,05	0,19±0,02
7	<i>cis</i> -Óxido de limoneno	1142	1345	0,94±0,07	0,41±0,05	0,38±0,05	0,17±0,02
8	Borneol	1178	1380	4,27±0,02	1,7±0,2	1,6±0,2	0,8±0,1
9	<i>trans</i> -Menta-1(7),8-dien-2-ol	1195		0,53±0,07	0,24±0,05	0,22±0,05	0,11±0,01
10	<i>cis</i> -Dihidrocarvona	1205		1±0,2	0,46±0,07	0,34±0,07	0,13±0,02
11	<i>trans</i> -Dihidrocarvona	1214	1406	3,6±0,5	1,2±0,2	1±0,2	0,29±0,02
12	NI	1223		ND	ND	ND	ND
13	<i>trans</i> -Carveol	1228	1843	2,5±0,1	1,2±0,2	ND	0,43±0,07
14	NI	1241		0,2±0,5	0,29±0,02	0,24±0,02	ND
15	Carvona _κ	1257	1440	384±24	360±40	331±38	140±20
16	Piperitona	1265	1446	10,8±0,2	5±0,7	4,6±0,5	1,9±0,2
17	<i>cis</i> -Óxido de carvona	1272		0,45±0,02	0,22±0,05	0,22±0,02	0,1±0,01
18	<i>trans</i> -Óxido de carvona	1286	1452	0,74±0,01	0,38±0,05	0,41±0,05	0,17±0,02
19	Timol	1293		0,67±0,02	0,34±0,05	0,31±0,05	0,13±0,02
20	Acetato de <i>trans</i> -carveilo	1344		0,5±0,07	0,24±0,05	0,19±0,02	0,1±0,01
21	Piperitenona	1356	1515	16,3±0,5	15±2	14±2	6±1
22	α-Copaeno	1394	1547	0,38±0,05	0,17±0,05	0,14±0,02	0,08±0,01
23	β-Bourboneno	1405	1554	2±5	3,4±0,5	2,9±0,5	1,4±0,2
24	β-Elemeno	1407	1594	5,5±0,5	2,4±0,2	1,9±0,2	1,1±0,1
25	NI	1441		1,3±0,1	0,65±0,07	0,53±0,07	0,29±0,05
26	<i>trans</i> -β-Cariofileno	1443	1583	0,74±0,05	0,34±0,05	0,29±0,05	0,14±0,02
27	β-Copaeno	1451	1590	1,3±0,1	0,7±0,1	0,6±0,1	0,29±0,05
28	β-Farneseno	1463	1597	5,3±0,5	2,2±0,2	1,7±0,2	1±0,1
29	<i>allo</i> -Aromadendreno	1467	1614	0,84±0,07	0,41±0,05	0,34±0,05	0,19±0,02
30	9- <i>epi</i> -(E)-Cariofileno	1485		2,2±0,2	1±0,1	0,8±0,1	0,48±0,07
31	Germacreno-D	1490	1601	0,7±0,01	0,29±0,05	0,22±0,05	0,14±0,02
32	Biciclosesquifelandreno	1504	1635	55±2	48±5	38±5	22±3
33	Biciclogermacreno	1515	1642	ND	0,14±0,02	0,26±0,05	0,053±0,007
34	Germacreno A	1519		2,4±0,2	1,2±0,1	0,8±0,1	0,55±0,07
35	δ-Cadineno	1537		1,44±0,05	0,8±0,1	0,9±0,1	0,34±0,05
36	NI	1554		0,48±0,02	0,22±0,02	0,17±0,02	0,11±0,01
37	Germacreno D-4-ol	1598	2067	0,84±0,07	0,34±0,05	0,29±0,05	0,14±0,02
38	NI	1635		0,5±0,1	0,22±0,07	0,22±0,05	0,12±0,02
39	α-Cadinol	1674		0,12±0,05	0,05±0,01	0,06±0,01	0,04±0,01

a Número de pico en la **Figura 12**.

* Índices de retención determinados experimentalmente en las columnas DB-5 y DBWAX.

** Cantidad obtenida por planta, calculada con base en el método de ISTD (*n*-tetradecano) y teniendo en cuenta el rendimiento de AE por planta, (*n*=4). Para calcular el Rendimiento de cada componente por hectárea, de debe multiplicar por el número de plantas presentes por hectáreas, de acuerdo con el sistema de cultivo implementado (ver **Tabla 3**)

κ Cantidad obtenida por planta, calculada con base en el método de estandarización interna y teniendo en cuenta el rendimiento de AE por planta, (*n*=4).

ND No detectado

NI No identificado

Anexo 17. Composición del AE obtenido de la especie *Lippia origanoides*, cultivada en diferentes sistemas de cultivo y correspondiente a la primera cosecha.

No ^a	Compuesto	IR*		Cantidad en AE, g/kg**		
		DB-5	DBWAX	<i>L. origanoides</i>	<i>L. origanoides-L. alba</i>	<i>L. origanoides-P. graveolens</i>
				X ± s	X ± s	X ± s
1	β-Mirceno	993	1156	8 ± 0,7	8 ± 2	7,2 ± 0,7
2	α-Felandreno	1010	1160	0,7 ± 0,2	0,6 ± 0,1	0,55 ± 0,06
3	α-Terpineno	1023	1166	6,1 ± 0,6	6 ± 1	5,7 ± 0,9
4	p-Cimeno _x	1032	1274	51 ± 1	50 ± 10	43 ± 0
5	Limoneno	1037	1199	1,27 ± 0,07	1,3 ± 0,2	1,23 ± 0,04
6	cis-β-Ocimeno	1041		1,1 ± 0,3	0,8 ± 0,1	0,7 ± 0,1
7	trans-β-Ocimeno	1052	1254	0,63 ± 0,08	0,7 ± 0,2	0,55 ± 0,05
8	γ-Terpineno	1067	1243	42 ± 3	41 ± 7	39 ± 6
9	cis-Hidrato de sabibeno	1075	1556	1,45 ± 0,06	1,6 ± 0,4	1,1 ± 0,1
10	Linalol	1100	1543	1,6 ± 0,4	1,56 ± 0,03	1,13 ± 0,09
11	trans-Hidrato de sabineno	1105	1465	0,95 ± 0,02	1 ± 0,2	0,76 ± 0,08
12	Ipsdienol	1150		1,6 ± 0,2	1,8 ± 0,6	1,6 ± 0,2
13	Umbellulona	1184		0,8 ± 0,1	0,86 ± 0,02	0,8 ± 0,3
14	Terpinen-4-ol	1187	1600	4,2 ± 0,5	4,27 ± 0,04	4,1 ± 0,5
15	Timil metil éter	1238	1585	4,1 ± 0,5	4,37 ± 0,07	5 ± 1
16	Carvacril metil éter	1248	1602	1,15 ± 0,06	0,98 ± 0,09	0,9 ± 0,1
17	NI	1285		0,7 ± 0,1	0,6 ± 0,1	0,64 ± 0,06
18	Timol	1294	2170	47 ± 6	60 ± 7	41 ± 2
19	NI	1299		0,7 ± 0,2	0,6 ± 0,1	0,5 ± 0,2
20	Carvacrol _x	1311	2204	408 ± 12	390 ± 40	387 ± 39
21	Acetato de timilo	1361	1869	0,3 ± 0,1	0,24 ± 0,04	0,22 ± 0,05
22	Acetato de carvacrilo	1379	1893	3 ± 2	1,1 ± 0,5	2,1 ± 0,7
23	Trans-β-Cariofileno	1444	1599	15 ± 2	14 ± 3	11,7 ± 0,4
24	trans-α-Bergamoteno	1451	1597	1,7 ± 0,3	1,82 ± 0,05	1,5 ± 0,1
25	α-Humuleno	1478		8,3 ± 0,8	8 ± 2	6,9 ± 0,5
26	NI	1487		4,4 ± 0,4	5 ± 1	4,2 ± 0,7
27	Germacreno D	1502	1713	0,2 ± 0,1	0,4 ± 0,2	0,4 ± 0,3
28	β-Bisaboleno	1521		2,29 ± 0,09	3 ± 1	3 ± 0,8
29	δ-Cadineno	1536	1790	0,204 ± 0,007	0,3 ± 0,1	0,73 ± 0,05
30	trans-γ-Bisaboleno	1546		0,4 ± 0,04	0,4 ± 0,2	0,7 ± 0,4
31	Óxido de cariofileno	1611	2012	2,5 ± 0,3	2,3 ± 0,5	2,2 ± 0,2
32	NI	1638		1 ± 0,1	1 ± 0,3	1 ± 0,1

a Número de pico en la **Figura 17**.

* Índices de retención determinados experimentalmente en las por columnas DB-5 y DBWAX.

** Cantidad calculada con base en el método de ISTD (*n*-tetradecano). (n=4).

_x Cantidad calculada con base en el método de estandarización interna, con *n*-tetradecano como ISTD. (n=4).

ND No detectado

NI No identificado

Anexo 18. Composición del AE obtenido de la especie *Lippia origanoides*, cultivada en diferentes sistemas de cultivo y correspondiente a la segunda cosecha.

No _a	Compuesto	IR*		Cantidad en AE, g/kg**			
		DB-5	DBWAX	<i>L. origanoides</i>	<i>L. origanoides-L. alba</i>	<i>L. origanoides-P. graveolens</i>	<i>L. origanoides-C. martinii</i>
				X ± s	X ± s	X ± s	X ± s
1	β-Mirceno	993	1156	13 ± 2	16 ± 2	15 ± 2	14,8 ± 0,2
2	α-Felandreno	1010	1160	1,3 ± 0,8	1,1 ± 0,1	1,1 ± 0,1	1,06 ± 0,05
3	α-Terpineno	1023	1166	8 ± 2	11 ± 1	10 ± 0,6	10,56 ± 0,06
4	p-Cimeno _‡	1032	1274	87 ± 1	76 ± 2	90 ± 2	82 ± 11
5	Limoneno	1037	1199	1,7 ± 0,4	2,1 ± 0,6	1,65 ± 0,01	1,7 ± 0,2
6	cis-β-Ocimeno	1041		2,5 ± 0,6	1,6 ± 0,3	2 ± 0,2	1,6 ± 0,1
7	trans-β-Ocimeno	1052	1254	0,8 ± 0,03	1,27 ± 0,05	1,2 ± 0,5	0,91 ± 0,08
8	γ-Terpineno	1067	1243	50 ± 10	71 ± 4	63 ± 2	67 ± 3
9	cis-Hidrato de sabibeno	1075		2 ± 0,1	2,2 ± 0,3	2,1 ± 0,2	1,83 ± 0,06
10	Linalol	1100		2,1 ± 0,3	1,7 ± 0,2	1,7 ± 0,3	1,7 ± 0,2
11	trans-Hidrato de sabineno	1105	1465	1,4 ± 0,1	1,3 ± 0,2	1,35 ± 0,01	1,33 ± 0,06
12	Ipsdienol	1150		2,6 ± 0,1	2,2 ± 0,3	2,7 ± 0,5	2,6 ± 0,2
13	Umbellulona	1184		0,85 ± 0,09	0,85 ± 0,03	0,93 ± 0,08	0,8 ± 0,3
14	Terpinen-4-ol	1187	1600	5,5 ± 0,8	4,94 ± 0,03	5,6 ± 0,3	5,2 ± 0,2
15	Timil metil éter	1238	1585	5,2 ± 0,6	6 ± 0,3	5,6 ± 0,3	4,8 ± 0,5
16	Carvacril metil éter	1248	1602	1,1 ± 0,4	0,93 ± 0,07	1,05 ± 0,09	0,98 ± 0,03
17	NI	1285		1 ± 0,07	0,91 ± 0,03	0,97 ± 0,09	1,2 ± 0,1
18	Timol	1294	2170	50 ± 3	100 ± 40	51 ± 4	61 ± 27
19	NI	1299		0,82 ± 0,04	0,78 ± 0,006	0,8 ± 0,1	1 ± 0,1
20	Carvacrol _‡	1311	2204	451 ± 34	430 ± 60	460 ± 40	443 ± 12
21	Acetato de timilo	1361	1869	0,532 ± 0,004	0,9 ± 0,5	0,38 ± 0,01	1 ± 0,5
22	Acetato de carvacrilo	1379	1893	5,6 ± 0,5	3 ± 1	3,7 ± 0,4	6 ± 2
23	trans-β-Cariofileno	1444	1599	15 ± 3	16 ± 3	14 ± 1	13,5 ± 0,8
24	trans-α-Bergamoteno	1451	1597	1,9 ± 0,4	2,33 ± 0,02	1,9 ± 0,4	2 ± 0,4
25	α-Humuleno	1478		8 ± 1	9 ± 1	7,4 ± 0,8	7,5 ± 0,3
26	NI	1487		4 ± 0,6	4,4 ± 0,3	4 ± 1	4,4 ± 0,6
27	Germacreno D	1502	1713	0,6 ± 0,2	0,4 ± 0,2	0,7 ± 0,02	0,2 ± 0,1
28	β-Bisaboleno	1521		2,3 ± 0,8	2,7 ± 0,6	3 ± 0,2	2 ± 0,2
29	δ-Cadineno	1536	1790	0,5 ± 0,1	0,35 ± 0,08	0,48 ± 0,01	0,3 ± 0,2
30	trans-γ-Bisaboleno	1546		0,45 ± 0,02	0,6 ± 0,2	0,5 ± 0,3	0,5 ± 0,1
31	Óxido de cariofileno	1611	2012	2,25 ± 0,04	2,2 ± 0,2	1,9 ± 0,2	2,6 ± 0,1
32	NI	1638		0,91 ± 0,02	0,9 ± 0,1	0,79 ± 0,04	1,11 ± 0,02

a Número de pico en la **Figura 17**.

* Índices de retención determinados experimentalmente en las columnas DB-5 y DBWAX.

** Cantidad calculada con base en el método de ISTD (*n*-tetradecano). (*n*=4).

‡ Cantidad calculada con base en el método de estandarización interna, con *n*-tetradecano como ISTD. (*n*=4).

ND No detectado

NI No identificado

Anexo 19. Composición del AE obtenido de la especie *Lippia origanoides*, cultivada en diferentes sistemas de cultivo y correspondiente a la tercera cosecha.

No ^a	Compuesto	IR*		Cantidad en AE, g/kg**			
		DB-5	DBWAX	<i>L.</i>	<i>L. origanoides-</i>	<i>L. origanoides-</i>	<i>L. origanoides-</i>
				<i>origanoides</i>	<i>L. alba</i>	<i>P. graveolens</i>	<i>C. martinii</i>
		X±s	X±s	X±s	X±s		
1	β-Mirceno	993	1156	13±2	13±2	13±6	16±2
2	α-Felandreno	1010	1160	0,9±0,3	0,7±0,4	0,8±0,7	1,1±0,1
3	α-Terpineno	1023	1166	9±3	8±4	9±8	11,6±0,6
4	<i>p</i> -Cimeno _α	1032	1274	78±3	90±20	91±3	70±10
5	Limoneno	1037	1199	1,5±0,2	1,5±0,1	1,4±0,5	1,6±0,2
6	<i>cis</i> -β-Ocimeno	1041		1,5±0,2	1,1±0,4	1,1±0,3	1,8±0,3
7	<i>trans</i> -β-Ocimeno	1052	1254	0,8±0,2	1,2±0,4	0,7±0,4	0,99±0,04
8	γ-Terpineno	1067	1243	60±20	50±30	58±15	76±2
9	<i>cis</i> -Hidrato de sabineno	1075		2,11±0,03	2,31±0,06	2,2±0,4	2,3±0,3
10	Linalol	1100		2±0,3	3±2	1,5±0,1	1,5±0,3
11	<i>trans</i> -Hidrato de sabineno	1105	1465	1±0,3	1,1±0,7	0,9±0,2	0,9±0,3
12	Ipsdienol	1150		1,9±0,2	1,5±0,5	1,8±0,7	1,9±0,5
13	Umbellulona	1184		ND	1,4±0,1	ND	1,05±0,08
14	Terpinen-4-ol	1187	1600	5,5±0,3	5±2	5,8±0,4	5±0,4
15	Timil metil éter	1238	1585	3,1±0,5	6±0,4	3,6±0,2	3,1±0,4
16	Carvacril metil éter	1248	1602	1,5±0,1	0,9±0,03	1,1±0,2	1,6±0,5
17	NI	1285		0,77±0,03	0,8±0,2	0,8±0,2	0,7±0,2
18	Timol	1294	2170	55±1	120±20	56±3	51±4
19	NI	1299		0,51±0,01	0,59±0,08	0,74±0,03	0,38±0,04
20	Carvacrol _α	1311	2204	460±20	396±3	464±40	456±3
21	Acetato de timilo	1361	1869	0,5±0,2	0,8±0,5	0,4±0,4	0,4±0,2
22	Acetato de carvacrilo	1379	1893	4±1	2±2	3±2	2±1
23	<i>trans</i> -β-Cariofileno	1444	1599	18±2	17±3	15±4	16±3
24	<i>trans</i> -α-Bergamoteno	1451	1597	1,5±0,1	2,1±0,2	2±1	2±0,8
25	α-Humuleno	1478		9±1	9±2	8±2	9±2
26	NI	1487		3,4±0,01	2,3±0,9	2,9±0,3	4,4±0,7
27	Germacreno D	1502	1713	0,27±0,04	0,42±0,07	0,14±0,01	0,33±0,04
28	β-Bisaboleno	1521		1,3±0,6	4±2	4,3±0,3	2±0,4
29	δ-Cadineno	1536	1790	0,22±0,03	0,7±0,6	0,53±0,05	0,31±0,06
30	<i>trans</i> -γ-Bisaboleno	1546		0,42±0,08	1,5±0,2	0,6±0,7	0,6±0,3
31	Óxido de cariofileno	1611	2012	1,4±0,4	1,12±0,04	1,1±0,2	1,1±0,5
32	NI	1638		0,5±0,2	0,435±0,004	0,4±0,1	0,4±0,2

^a Número de pico en la **Figura 17**.

* Índices de retención determinados experimentalmente en las columnas DB-5 y DBWAX.

** Cantidad calculada con base en el método de ISTD (*n*-tetradecano). (*n*=4).

_α Cantidad calculada con base en el método de estandarización interna, con *n*-tetradecano como ISTD. (*n*=4).

ND No detectado

NI No identificado

Anexo 20. Composición del AE obtenido de la especie *Lippia organoides*, cultivada en diferentes sistemas de cultivo, y rendimiento por planta de la primera cosecha obtenida.

No ^a	Compuesto	IR*		Rendimiento (mg/planta)**		
		DB-5	DBWAX	<i>L. organoides</i>	<i>L. organoides</i> - <i>L. alba</i>	<i>L. organoides</i> - <i>P. graveolens</i>
				X±s	X±s	X±s
1	β-Mirceno	993	1156	14±1	19±5	27±2
2	α-Felandreno	1010	1160	1,2±0,4	1,4±0,2	2,1±0,2
3	α-Terpineno	1023	1166	11±1	15±3	22±3
4	p-Cimeno _α	1032	1274	88±1	120±20	164±0,8
5	Limoneno	1037	1199	2,2±0,1	3,2±0,4	4,7±0,2
6	cis-β-Ocimeno	1041		2±0,6	1,9±0,3	2,8±0,4
7	trans-β-Ocimeno	1052	1254	1,1±0,1	1,7±0,4	2,1±0,2
8	γ-Terpineno	1067	1243	72±4	100±20	150±20
9	cis-Hidrato de sabibeno	1075	1556	2,5±0,1	4±1	4,3±0,4
10	Linalol	1100	1543	2,8±0,6	3,8±0,1	4,3±0,3
11	trans-Hidrato de sabineno	1105	1465	1,64±0,02	2,4±0,4	2,9±0,3
12	Ipsdienol	1150		2,8±0,4	4±1	6±0,8
13	Umbellulona	1184		1,4±0,2	2,07±0,04	2,8±0,8
14	Terpinen-4-ol	1187	1600	7,2±0,8	10,3±0,1	16±2
15	Timil metil éter	1238	1585	7±1	10,5±0,1	20±4
16	Carvacril metil éter	1248	1602	2±0,1	2,4±0,2	3,2±0,4
17	NI	1285		1,2±0,2	1,5±0,3	2,4±0,2
18	Timol	1294	2170	82±10	140±20	156±8
19	NI	1299		1,2±0,2	1,3±0,2	2±0,4
20	Carvacrol _α	1311	2204	700±20	960±100	1480±200
21	Acetato de timilo	1361	1869	0,4±0,2	0,6±0,1	0,8±0,2
22	Acetato de carvacrilo	1379	1893	4±4	2±1	8±3
23	trans-β-Cariofileno	1444	1599	26±2	34±5	44±2
24	trans-α-Bergamoteno	1451	1597	3±0,4	4,4±0,1	6±0,4
25	α-Humuleno	1478		14±1	20±4	26±2
26	NI	1487		7,6±0,8	12±3	16±3
27	Germacreno D	1502	1713	0,4±0,2	0,9±0,4	2±1
28	β-Bisaboleno	1521		4±0,1	8±2	12±3
29	δ-Cadineno	1536	1790	0,35±0,01	0,6±0,3	2,76±0,04
30	trans-γ-Bisaboleno	1546		0,7±0,08	1±0,5	2±2
31	Óxido de cariofileno	1611	2012	4,4±0,4	6±1	8±0,8
32	NI	1638		1,8±0,2	2,4±0,5	3,7±0,4

a Número de pico en la **Figura 17**.

* Índices de retención determinados experimentalmente en las columnas DB-5 y DBWAX.

** Cantidad obtenida por planta, calculada con base en el método de ISTD (*n*-tetradecano) y teniendo en cuenta el rendimiento de AE por planta, (*n*=4). Para calcular el Rendimiento de cada componente por hectárea, de debe multiplicar por el número de plantas presentes por hectáreas, de acuerdo con el sistema de cultivo implementado (ver **Tabla 3**)

α Cantidad obtenida por planta, calculada con base en el método de estandarización interna y teniendo en cuenta el rendimiento de AE por planta. (*n*=4).

ND No detectado

NI No identificado

Anexo 21. Composición del AE obtenido de la especie *Lippia origanoides*, cultivada en diferentes sistemas de cultivo, y el rendimiento por planta durante la segunda cosecha.

No ^a	Compuesto	IR*		Rendimiento (mg/planta)**			
		DB-5 DBWAX		<i>L. origanoides</i>	<i>L. origanoides-L. alba</i>	<i>L. origanoides-P. graveolens</i>	<i>L. origanoides-C. martinii</i>
				X±s	X±s	X±s	X±s
1	β-Mirceno	993	1156	28±4	62±5	68±8	22±0,3
2	α-Felandreno	1010	1160	3±2	4,3±0,5	4,8±0,4	1,56±0,08
3	α-Terpineno	1023	1166	18±4	42±4	44±3	15,68±0,08
4	p-Cimeno _α	1032	1274	180±1	293±5	400±8	120±20
5	Limoneno	1037	1199	3,4±0,8	8±2	7,32±0,04	2,5±0,2
6	cis-β-Ocimeno	1041		5±1	6±1	8,8±0,8	2,3±0,2
7	trans-β-Ocimeno	1052	1254	1,66±0,06	4,8±0,2	5±2	1,4±0,1
8	γ-Terpineno	1067	1243	120±20	270±10	280±8	100±4
9	cis-Hidrato de sabibeno	1075	1556	4,2±0,2	8±1	9,2±0,8	2,72±0,08
10	Linalol	1100	1543	4,4±0,8	6±1	8±1	2,6±0,3
11	trans-Hidrato de sabineno	1105	1465	2,8±0,2	5,3±0,5	6±0,08	1,96±0,08
12	Ipsdienol	1150		5,2±0,2	9±1	12±2	3,9±0,3
13	Umbellulona	1184		1,8±0,2	3,3±0,1	4,2±0,4	1,2±0,4
14	Terpinen-4-ol	1187	1600	11±2	18,9±0,1	25±1	7,8±0,3
15	Timil metil éter	1238	1585	11±1	23±1	25±1	7,2±0,8
16	Carvacril metil éter	1248	1602	2,2±0,8	3,6±0,2	4,8±0,4	1,44±0,04
17	NI	1285		2,1±0,1	3,5±0,1	4,4±0,4	1,8±0,2
18	Timol	1294	2170	102±6	400±100	220±20	90±40
19	NI	1299		1,7±0,08	2,99±0,02	3,6±0,4	1,6±0,2
20	Carvacrol _α	1311	2204	940±80	1600±200	2000±200	660±20
21	Acetato de timilo	1361	1869	1,102±0,008	3±2	1,68±0,04	1,6±0,8
22	Acetato de carvacrilo	1379	1893	12±1	14±5	16±2	9±4
23	trans-β-Cariofileno	1444	1599	30±6	60±10	60±8	20±1
24	trans-α-Bergamoteno	1451	1597	3,8±0,8	8,93±0,05	8±2	2,8±0,4
25	α-Humuleno	1478		16±2	34±4	33±4	11,2±0,4
26	NI	1487		8±1	17±1	20±4	6,4±0,8
27	Germacreno D	1502	1713	1,2±0,4	1±1	3,12±0,08	0,3±0,2
28	β-Bisaboleno	1521		5±2	11±2	13,2±0,8	3±0,3
29	δ-Cadineno	1536	1790	1±0,4	1,3±0,3	2,12±0,04	0,4±0,2
30	trans-γ-Bisaboleno	1546		0,92±0,04	2±1	2±1	0,7±0,2
31	Óxido de cariofileno	1611	2012	4,64±0,08	8±1	8,4±0,8	3,8±0,2
32	NI	1638		1,9±0,04	3,6±0,4	3,5±0,2	1,65±0,03

a Número de pico en la **Figura 17**.

* Índices de retención determinados experimentalmente en las columna DB-5 y DBWAX.

** Cantidad obtenida por planta, calculada con base en el método de ISTD (*n*-tetradecano) y teniendo en cuenta el rendimiento de AE por planta, (*n*=4). Para calcular el Rendimiento de cada componente por hectárea, de debe multiplicar por el número de plantas presentes por hectáreas, de acuerdo con el sistema de cultivo implementado (ver **Tabla 3**)

α Cantidad obtenida por planta, calculada con base en el método de estandarización interna y teniendo en cuenta el rendimiento de AE por planta, (*n*=4).

ND No detectado

NI No identificado

Anexo 22. Composición del AE obtenido de la especie *Lippia origanoides*, cultivada en diferentes sistemas de cultivo, y rendimiento por planta de la tercera cosecha obtenida.

No ^a	Compuesto	IR*		Rendimiento (mg/planta)**			
		DB-5	DBWAX	<i>L. origanoides</i>	<i>L. origanoides</i> - <i>L. alba</i>	<i>L. origanoides</i> - <i>P. graveolens</i>	<i>L. origanoides</i> - <i>C. martinii</i>
				X ± s	X ± s	X ± s	X ± s
1	β-Mirceno	993	1156	40 ± 8	80 ± 10	30 ± 20	12 ± 2
2	α-Felandreno	1010	1160	2,8 ± 0,8	5 ± 2	2 ± 2	0,8 ± 0,1
3	α-Terpineno	1023	1166	28 ± 8	50 ± 20	20 ± 20	8,8 ± 0,4
4	p-Cimeno _α	1032	1274	240 ± 10	580 ± 100	228 ± 8	56 ± 8
5	Limoneno	1037	1199	4,6 ± 0,6	10 ± 1	4 ± 1	1,2 ± 0,2
6	cis-β-Ocimeno	1041		4,6 ± 0,6	7 ± 2	2,8 ± 0,8	1,4 ± 0,2
7	trans-β-Ocimeno	1052	1254	2,6 ± 0,6	8 ± 3	2 ± 1	0,76 ± 0,03
8	γ-Terpineno	1067	1243	200 ± 60	300 ± 60	160 ± 20	58 ± 1
9	cis-Hidrato de sabibeno	1075	1556	6,5 ± 0,08	15,1 ± 0,4	6 ± 1	1,8 ± 0,2
10	Linalol	1100	1543	6 ± 1	20 ± 10	3,8 ± 0,3	1,2 ± 0,2
11	trans-Hidrato de sabineno	1105	1465	3 ± 0,8	7 ± 4	2,4 ± 0,4	0,7 ± 0,2
12	Ipsdienol	1150		5,8 ± 0,6	10 ± 3	4 ± 2	1,6 ± 0,4
13	Umbellulona	1184		ND	ND	ND	0,8 ± 0,2
14	Terpinen-4-ol	1187	1600	17 ± 1	30 ± 10	15 ± 1	3,8 ± 0,3
15	Timil metil éter	1238	1585	9 ± 2	39 ± 2	9,2 ± 0,4	2,4 ± 0,3
16	Carvacril metil éter	1248	1602	4,8 ± 0,4	5,9 ± 0,2	2,8 ± 0,8	1,2 ± 0,4
17	NI	1285		2,4 ± 0,1	5 ± 1	2 ± 0,4	0,5 ± 0,1
18	Timol	1294	2170	170 ± 4	800 ± 100	140 ± 8	39 ± 3
19	NI	1299		1,58 ± 0,04	3,8 ± 0,5	1,9 ± 0,1	0,29 ± 0,02
20	Carvacrol _α	1311	2204	1420 ± 80	2590 ± 20	1160 ± 160	349 ± 2
21	Acetato de timilo	1361	1869	1,4 ± 0,8	5 ± 3	1 ± 1	0,3 ± 0,2
22	Acetato de carvacrilo	1379	1893	12 ± 4	10 ± 10	8 ± 4	2 ± 0,8
23	trans-β-Cariofileno	1444	1599	54 ± 6	110 ± 20	40 ± 8	12 ± 2
24	trans-α-Bergamoteno	1451	1597	4,6 ± 0,4	14 ± 1	6 ± 3	1,6 ± 0,8
25	α-Humuleno	1478		30 ± 4	60 ± 10	20 ± 4	6 ± 1
26	NI	1487		10,5 ± 0,04	14 ± 5	7,2 ± 0,8	3,2 ± 0,4
27	Germacreno D	1502	1713	0,8 ± 0,1	2,7 ± 0,4	0,36 ± 0,04	0,25 ± 0,03
28	β-Bisaboleno	1521		4 ± 2	20 ± 10	10,8 ± 0,8	1,5 ± 0,3
29	δ-Cadineno	1536	1790	0,7 ± 0,1	4 ± 4	1,32 ± 0,04	0,24 ± 0,04
30	trans-γ-Bisaboleno	1546		1,4 ± 0,2	10 ± 10	1 ± 2	0,4 ± 0,2
31	Óxido de cariofileno	1611	2012	4 ± 1	7,3 ± 0,3	2,8 ± 0,4	0,8 ± 0,4
32	NI	1638		1,6 ± 0,4	2,84 ± 0,03	1,1 ± 0,3	0,3 ± 0,2

a Número de pico en la **Figura 17**.

* Índices de retención determinados experimentalmente en las columnas DB-5 y DBWAX.

** Cantidad obtenida por planta, calculada con base en el método de ISTD (*n*-tetradecano) y teniendo en cuenta el rendimiento de AE por planta, (*n*=4). Para calcular el Rendimiento de cada componente por hectárea, de debe multiplicar por el número de plantas presentes por hectáreas, de acuerdo con el sistema de cultivo implementado (ver **Tabla 3**)

α Cantidad obtenida por planta, calculada con base en el método de estandarización interna y teniendo en cuenta el rendimiento de AE por planta. (*n*=4).

ND No detectado
NI No identificado

Anexo 23. Composición del AE obtenido de la especie *Pelargonium graveolens*, cultivada en diferentes sistemas de cultivo y correspondiente a la primera cosecha.

No ^a	Compuesto	IR*		Cantidad en AE, g/kg**		
		DB-5	DBWAX	<i>P. graveolens</i>	<i>P. graveolens</i> -L. <i>alba</i>	<i>P. graveolens</i> -L. <i>origanoides</i>
				X±s	X±s	X±s
1	α-Pineno	942	1014	0,29±0,03	0,3±0,2	0,23±0,04
2	β-Mirceno	993	1157	0,32±0,06	0,37±0,06	0,32±0,06
3	Limoneno	1037	1192	0,6±0,2	1±0,6	0,5±0,2
4	β-Felandreno	1041	1158	0,204±0,001	0,25±0,04	0,2±0,003
5	Linalol	1101	1540	4±1	6,9±0,8	4,012±0,001
6	cis-Óxido de rosa	1115	1350	3±0,2	3,7±0,5	4±1
7	trans-Óxido de rosa	1134	1365	1,4±0,1	1,7±0,2	1,8±0,6
8	Citronelal	1157	1475	1,7±0,3	2,3±0,3	1,88±0,04
9	Mentona	1164	1463	0,4±0,2	0,5±0,03	0,5±0,1
10	iso-Mentona	1175	1493	23±3	30±1	25±2
11	neo-iso-Mentol	1194		0,7±0,3	0,72±0,03	0,83±0,09
12	α-Terpineol	1198		0,4±0,1	0,62±0,07	0,38±0,01
13	Citronelol _±	1232	1768	132±6	158±4	150±10
14	Neral	1245	1678	2,3±0,5	3,6±0,6	2,04±0,06
15	Geraniol _±	1258	1845	51±8	90±30	50±10
16	Geranial	1274	1728	4±1	7±1	3,95±0,06
17	Formiato de citronelilo	1278	1618	59±0,7	59±9	60±10
18	Formiato de nerilo	1283		0,69±0,03	1,3±0,2	0,65±0,03
19	Formiato de geranilo	1305		22,2±0,5	28±1	21±2
20	Acetato de citronelilo	1355	1657	2,2±0,4	1,68±0,03	2,43±0,01
21	α-Cubebeno	1359	1457	0,3±0,1	0,35±0,01	0,3±0,05
22	Acetato de geranilo	1385	1751	1,78±0,08	2±0,4	1,7±0,1
23	α-Copaeno	1394		2,1±0,5	1,9±0,2	2,02±0,07
24	β-Bourboneno	1405	1522	6±1	6,5±0,4	5,72±0,02
25	NI	1406		5±1	3,9±0,1	4,3±0,7
26	α-Gurjuneno	1432	1532	0,46±0,09	0,42±0,06	0,45±0,03
27	β-Gurjuneno (tentativo)	1441		0,9±0,3	0,85±0,02	0,8±0,05
28	trans-β-Cariofileno	1444	1602	12±4	10±1	10±1
29	Propionato de citronelilo + α-trans-Bergamoteno	1451		1,5±0,4	1,4±0,05	1,3±0,1
30	α-Guaieno	1457	1593	4±0,9	3,8±0,3	3,7±0,5
31	6,9-Guaiadieno	1463		50±10	45±4	45±7
32	NI	1477		7,17±0,03	7±0,1	6±0,6

33	<i>allo</i> -Aromadendreno	1485	1655	3,6±0,9	3,1±0,4	3,6±0,3
34	NI	1492		1±0,5	0,8±0,3	1,1±0,2
35	α-Amorfeno (tentativo)	1497		0,5±0,1	0,47±0,04	0,46±0,09
36	Germacreno-D	1503	1718	20±8	16±3	18±5
37	Isobutanoato de geranilo	1510	1806	1,8±0,5	1,6±0,2	1,73±0,07
38	Viridifloreno	1518	1702	14±5	11±2	15±2
39	γ-Cadineno	1527		1,1±0,5	0,9±0,3	1,2±0,3
40	Calameneno	1531		3,1±0,5	2±0,1	2,9±0,4
41	NI	1535		1,7±0,4	1,66±0,08	1,6±0,2
42	δ-Cadineno	1542	1791	6±1	5±0,5	5,4±0,1
43	<i>trans</i> -Calameneno	1546		1,2±0,5	1,1±0,2	1,2±0,2
44	Cadina-1,4-dieno (tentativo)	1553		1,1±0,2	0,9±0,1	1,16±0,09
45	Butanoato de geranilo	1563		5,4±0,7	4,5±0,3	4,1±0,2
46	NI	1596		8,67±0,04	8,72±0,07	9,8±0,4
47	NI	1604		12±2	11±1	14±2
48	Óxido de cariofileno + NI	1611	1998	7±1	6,3±0,3	7,8±0,3
49	1-10-di- <i>epi</i> -Cubenol	1639	2067	3,1±0,7	2,8±0,2	3±0,1
50	1- <i>epi</i> -Cubenol	1653	2075	2,6±0,4	2,1±0,2	2,7±0,09
51	NI	1660		0,89±0,08	0,8±0,1	0,7±0,1
52	Valerato de geranilo	1665		0,8±0,2	0,87±0,03	0,84±0,07
53	NI	1671		5±1	3,3±0,8	5,5±0,5
54	<i>trans</i> -Tiglato de citronelilo	1678	2007	1,6±0,3	1,5±0,1	1,5±0,1
55	α-Cadinol	1683	2237	1,1±0,3	0,9±0,2	0,91±0,06
56	<i>neo</i> -Intermedeol	1688	2267	1,7±0,3	1,1±0,1	1,8±0,05
57	Tiglato de geranilo	1705	2108	16±3	15,5±0,6	15±4
58	Caproato de geranilo (tentativo)	1764		0,117±0,007	0,13±0,01	0,12±0,02
59	<i>n</i> -Hexadecanol	1794		0,105±0,005	0,122±0,001	0,11±0,02

a Número de pico en la **Figura 22**.

* Índices de retención determinados experimentalmente en las columnas DB-5 y DBWAX.

** Cantidad calculada con base en el método de ISTD (*n*-tetradecano). (n=4).

⌘ Cantidad calculada con base en el método de estandarización interna, con *n*-tetradecano como ISTD. (n=4).

ND No detectado

NI No identificado

Anexo 24. Composición del AE obtenido de la especie *Pelargonium graveolens*, cultivada en diferentes sistemas de cultivo y correspondiente a la segunda cosecha.

No ^a	Compuesto	IR*		Cantidad en AE, g/kg**			
		DB-5	DBWAX	<i>P. graveolens</i>	<i>P. graveolens-L.P. alba</i>	<i>P. graveolens-L.P. origanoides</i>	<i>P. graveolens-C. martinii</i>
				X±s	X±s	X±s	X±s
1	α-Pineno	942	1014	0,7±0,1	0,69±0,09	0,6±0,1	0,75±0,03
2	β-Mirceno	993	1157	0,24±0,04	0,313±0,007	0,28±0,02	0,28±0,02
3	Limoneno	1037	1192	0,8±0,06	0,94±0,05	0,7±0,2	0,89±0,05
4	β-Felandreno	1041	1158	0,21±0,01	0,29±0,06	0,25±0,04	0,22±0,06
5	Linalol	1101	1540	4,9±0,3	8,3±0,6	5,1±0,3	4,2±0,7
6	<i>cis</i> -Óxido de rosa	1115	1350	9,712±0,001	8,2±0,4	7±2	8±0,1
7	<i>trans</i> -Óxido de rosa	1134	1365	4,5±0,2	3,7±0,2	3±1	3,79±0,08
8	Citronelal	1157	1475	3±0,6	2,62±0,04	2,9±0,3	3,4±0,1
9	Mentona	1164	1463	0,612±0,008	0,58±0,03	0,5±0,07	0,54±0,02
10	<i>iso</i> -Mentona	1175	1493	34,8±0,3	38±0,4	32±3	38±2
11	<i>neo-iso</i> -Mentol	1194		ND±	2±0,1	0,82±0,05	ND
12	α-Terpineol	1198		0,57±0,01	0,7±0,1	0,4±0,02	0,55±0,005
13	Citronelol _κ	1232	1768	214±2	214±8	224±8	216±8
14	Neral	1245	1678	2,8±0,3	3,5±0,2	2,7±0,2	2,6±0,3
15	Geraniol	1258	1845	52±2	77±5	50±3	40±10
16	Geranial _κ	1274	1728	5,9±0,8	7±1	5,5±0,6	5,7±0,9
17	Formiato de citronelilo	1278	1618	70±10	70±1	77±3	74,9±0,9
18	Formiato de nerilo	1283		0,7±0,1	0,772±0,001	0,71±0,06	0,731±0,004
19	NI	1305		19±2	21,8±0,4	20±1	19±1
20	Acetato de citronelilo	1355	1657	3,1±0,2	3,8±0,5	3,2±0,5	3,3±0,3
21	α-Cubebeno	1359	1457	0,3±0,1	0,36±0,02	0,35±0,06	0,3±0,06
22	Acetato de geranilo	1385	1751	2,031±0,003	2,4±0,1	1,98±0,08	2,13±0,05
23	α-Copaeno	1394		1,76±0,09	1,712±0,009	1,95±0,09	2±0,2
24	β-Bourboneno	1405	1522	5,4±0,9	5,74±0,05	5,1±0,5	4,7±0,2
25	NI	1406		3,52±0,04	3,5±0,6	4±1	3,78±0,05
26	α-Gurjuneno	1432	1532	0,44±0,05	0,386±0,004	0,48±0,05	0,5±0,01
27	β-Gurjuneno (tentativo)	1441		0,76±0,08	0,79±0,04	0,6±0,2	0,66±0,04
28	<i>trans</i> -β-Cariofileno	1444	1602	8,6±0,5	8,4±0,9	9,8±0,6	9,6±0,8
29	Propionato de citronelilo + α- <i>trans</i> -Bergamoteno	1451		1,1±0,2	1,226±0,005	1,21±0,06	1,12±0,06
30	α-Guaieno	1457	1593	2,9±0,1	2,9±0,2	3,5±0,2	3,01±0,02
31	6,9-Guaiadieno	1463		32,6±0,2	34±5	41±3	33,4±0,8

32 NI	1477		7±1	7±0,8	8±2	6,199±0,001
33 <i>allo</i> -Aromadendreno	1485	1655	2,6±0,2	2,55±0,08	3,1±0,3	2,9±0,2
34 NI	1492		0,39±0,01	0,4±0,2	0,6±0,2	0,33±0,05
35 α -Amorfenol (tentativo)	1497		0,47±0,03	0,448±0,006	0,47±0,05	0,5±0,03
36 Germacreno-D	1503	1718	9±1	8±3	13±2	8,7±0,4
37 Isobutanoato de geranilo	1510	1806	1,46±0,08	1,5±0,1	1,6±0,1	1,6±0,1
38 Viridifloreno	1518	1702	8,1±0,8	7±1	12±1	8,6±0,06
39 γ -Cadineno	1527		0,48±0,03	0,4±0,1	0,7±0,1	0,45±0,04
40 Calameneno	1531		3,01±0,02	2,85±0,07	3,3±0,4	3,4±0,5
41 NI	1535		1,45±0,08	1,3±0,1	1,49±0,06	1,6±0,1
42 δ -Cadineno	1542	1791	4,3±0,6	4±2	5,4±0,2	3,3±0,5
43 <i>trans</i> -Calameneno	1546		0,61±0,08	0,6±0,2	0,8±0,2	0,48±0,07
44 Cadina-1,4-dieno (tentativo)	1553		0,63±0,05	0,5±0,2	0,75±0,09	0,54±0,03
45 Butanoato de geranilo	1563		4,2±0,2	4,3±0,4	4,1±0,7	4,5±0,6
46 NI	1596		8,8±0,3	7,2±0,5	9,2±0,8	9,4±0,3
47 NI	1604		11,9±0,2	9,6±0,9	12±1	13±2
48 Óxido de cariofileno + NI	1611	1998	7±0,2	6,1±0,1	6,2±0,2	8±1
49 1-10-di- <i>epi</i> -Cubenol	1639	2067	2,74±0,02	2,5±0,1	2,63±0,06	2,9±0,3
50 1- <i>epi</i> -Cubenol	1653	2075	1,99±0,03	1,8±0,2	2,1±0,1	2,07±0,04
51 NI	1660		0,66±0,02	0,75±0,07	0,7±0,1	0,69±0,07
52 Valerato de geranilo	1665		0,55±0,02	0,51±0,04	0,6±0,1	0,56±0,02
53 NI	1671		4,2±0,4	3,2±0,1	4,7±0,2	4,2±0,2
54 <i>trans</i> -Tiglato de citronelilo	1678	2007	1,1±0,2	1±0,3	1,1±0,2	1±0,2
55 α -Cadinol	1683	2237	0,58±0,03	0,575±0,004	0,62±0,08	0,6±0,02
56 <i>neo</i> -Intermedeol	1688	2267	1,5±0,2	1,35±0,08	1,59±0,09	1,34±0,07
57 Tiglato de geranilo	1705	2108	12±0,6	10±1	12±2	11,6±0,1
58 Caproato de geranilo (Tentativo)	1764		0,19±0,06	0,17±0,06	0,13±0,03	0,19±0,01
59 <i>n</i> -Hexadecanol	1794		0,13±0,01	0,096±0,007	0,13±0,02	0,13±0,02

a Número de pico en la **Figura 22**.

* Índices de retención determinados experimentalmente en las columnas DB-5 y DBWAX.

** Cantidad calculada con base en el método de ISTD (*n*-tetradecano). (n=4).

⌘ Cantidad calculada con base en el método de estandarización interna, con *n*-tetradecano como ISTD. (n=4).

ND No detectado

NI No identificado

Anexo 25. Composición del AE obtenido de la especie *Pelargonium graveolens*, cultivada en diferentes sistemas de cultivo y correspondiente a la tercera cosecha.

No ^a	Compuesto	IR*		Cantidad en AE, g/kg**		
		DB-5	DBWAX	<i>P. graveolens</i>	<i>P. graveolens</i> - <i>L. alba</i>	<i>P. graveolens</i> - <i>L. origanoides</i>
		X±s			X±s	X±s
1	α-Pineno	942	1014	0,5±0,2	0,33±0,03	0,3±0,1
2	β-Mirceno	993	1157	0,33±0,08	0,29±0,02	0,26±0,09
3	Limoneno	1037	1192	0,6±0,1	0,37±0,01	0,39±0,05
4	β-Felandreno	1041	1158	0,3±0,07	0,31±0,05	0,3±0,1
5	Linalol	1101	1540	7,4±0,8	9±2	5,6±0,5
6	<i>cis</i> -Óxido de rosa	1115	1350	4,3±0,5	3,8±0,9	3±1
7	<i>trans</i> -Óxido de rosa	1134	1365	2±0,2	1,8±0,4	1,4±0,5
8	Citronelal	1157	1475	2,5±0,4	2,05±0,01	2,8±0,3
9	Mentona	1164	1463	0,5±0,2	0,32±0,05	0,25±0,06
10	<i>iso</i> -Mentona	1175	1493	35±3	32±2	29±4
11	<i>neo-iso</i> -Mentol	1194		0,9±0,5	0,8±0,2	0,8±0,2
12	α-Terpineol	1198		0,48±0,07	0,8±0,1	0,37±0,06
13	Citronelol _α	1232	1768	177±7	190±20	200±20
14	Neral	1245	1678	4,6±0,9	4,4±0,6	3,7±0,4
15	Geraniol _α	1258	1845	100±20	114±1	90±20
16	Geranial	1274	1728	9±1	8±1	7±1
17	Formiato de citronelilo	1278	1618	63±3	58±2	64±7
18	Formiato de nerilo	1283		1,2±0,3	1,15±0,06	1,13±0,02
19	NI	1305		29±2	26±2	28±3
20	Acetato de citronelilo	1355	1657	2,3±0,7	2,2±0,5	2,1±0,6
21	α-Cubebeno	1359	1457	0,3±0,06	0,34±0,07	0,34±0,05
22	Acetato de geranilo	1385	1751	2,4±0,3	2,1±0,3	1,9±0,2
23	α-Copaeno	1394		1,8±0,5	1,6±0,1	1,5±0,2
24	β-Bourboneno	1405	1522	6,9±0,6	6±2	4±1
25	NI	1406		2,7±0,2	1,4±0,1	1,46±0,03
26	α-Gurjuneno	1432	1532	0,41±0,06	0,46±0,05	0,47±0,05
27	β-Gurjuneno (tentativo)	1441		0,8±0,1	0,8±0,3	0,72±0,05
28	<i>trans</i> -β-Cariofileno	1444	1602	10±3	9±1	8,5±0,7
29	Propionato de citronelilo + α- <i>trans</i> -Bergamoteno	1451		1,3±0,2	1,3±0,3	1,21±0,03
30	α-Guaieno	1457	1593	3,3±0,4	3,6±0,2	3,5±0,2
31	6,9-Guaiadieno	1463		39±7	41,6±0,2	41±4
32	NI	1477		6±2	8±2	7±2
33	<i>allo</i> -Aromadendreno	1485	1655	2,7±0,5	2,8±0,3	2,8±0,2

34	NI	1492		0,69±0,08	1±0,1	1,04±0,06
35	α-Amorfeno (tentativo)	1497		0,8±0,2	0,6±0,3	0,7±0,3
36	Germacreno-D	1503	1718	14±2	16,8±0,2	20±3
37	Isobutanoato de geranilo	1510	1806	1,5±0,3	1,4±0,1	1,39±0,04
38	Viridifloreno	1518	1702	10±4	9,3±0,9	10±1
39	γ-Cadineno	1527		0,65±0,02	0,886±0,005	1,01±0,08
40	Calameneno	1531		2,4±0,9	1,94±0,03	2,02±0,08
41	NI	1535		1,2±0,3	1,14±0,02	0,99±0,04
42	δ-Cadineno	1542	1791	4,8±0,8	4,4±0,5	4,38±0,08
43	<i>trans</i> -Calameneno	1546		0,91±0,07	1,11±0,07	1,21±0,04
44	Cadina-1,4-dieno (tentativo)	1553		0,79±0,09	0,9±0,1	0,88±0,06
45	Butanoato de geranilo	1563		5±1	4,3±0,5	4,3±0,9
46	NI	1596		7,3±0,8	7,4±0,3	9±1
47	NI	1604		10±1	8±2	10±2
48	Óxido de cariofileno + NI	1611	1998	6,1±0,5	5±2	6±1
49	1-10-di- <i>epi</i> -Cubenol	1639	2067	2,7±0,1	2,4±0,4	2,7±0,5
50	1- <i>epi</i> -Cubenol	1653	2075	2,1±0,2	1,9±0,3	2,3±0,3
51	NI	1660		0,9±0,3	1,1±0,2	1,1±0,2
52	Valerato de geranilo	1665		1,1±0,2	0,9±0,4	1,4±0,2
53	NI	1671		2,9±0,3	3,11±0,09	4±0,2
54	<i>trans</i> -Tiglato de citronelilo	1678	2007	1,6±0,2	1,5±0,1	2,1±0,3
55	α-Cadinol	1683	2237	0,8±0,1	0,8±0,1	1±0,2
56	<i>neo</i> -Intermedeol	1688	2267	1,2±0,1	1,35±0,04	1,41±0,09
57	Tiglato de geranilo	1705	2108	12±1	13,8±0,1	15±3
58	Caproato de geranilo (Tentativo)	1764		0,17±0,01	0,13±0,06	0,09±0,04
59	<i>n</i> -Hexadecanol	1794		0,14±0,05	0,13±0,04	0,09±0,01

a Número de pico en la **Figura 22**.

* Índices de retención determinados experimentalmente en las columnas DB-5 y DBWAX.

** Cantidad calculada con base en el método de ISTD (*n*-tetradecano). (n=4).

‡ Cantidad calculada con base en el método de estandarización interna, con *n*-tetradecano como ISTD. (n=4).

ND No detectado

NI No identificado

Anexo 26. Composición del AE obtenido de la especie *Pelargonium graveolens*, cultivada en diferentes sistemas de cultivo, y rendimiento por planta durante la primera cosecha.

No ^a	Compuesto	IR*		Rendimiento (mg/planta)**		
		DB-5	DBWAX	<i>P. graveolens</i>	<i>P. graveolens</i> -L. <i>alba</i>	<i>P. graveolens</i> -L. <i>origanoides</i>
				X±s	X±s	X±s
1	α-Pineno	942	1014	0,03±0,003	0,01±0,005	0,01±0,002
2	β-Mirceno	993	1157	0,034±0,006	0,011±0,002	0,014±0,003
3	Limoneno	1037	1192	0,06±0,03	0,03±0,02	0,02±0,008
4	β-Felandreno	1041	1158	0,021±0,001	0,008±0,001	0,0087±0,0002
5	Linalol	1101	1540	0,4±0,1	0,21±0,02	0,1755±0,0001
6	<i>cis</i> -Óxido de rosa	1115	1350	0,32±0,02	0,11±0,01	0,16±0,04
7	<i>trans</i> -Óxido de rosa	1134	1365	0,15±0,01	0,048±0,005	0,08±0,03
8	Citronelal	1157	1475	0,18±0,03	0,07±0,01	0,082±0,002
9	Mentona	1164	1463	0,05±0,02	0,015±0,001	0,02±0,004
10	<i>iso</i> -Mentona	1175	1493	2,4±0,3	0,91±0,03	1,08±0,08
11	<i>neo-iso</i> -Mentol	1194		0,08±0,03	0,021±0,001	0,036±0,004
12	α-Terpineol	1198		0,04±0,01	0,019±0,002	0,0168±0,0004
13	Citronelol _κ	1232	1768	13,7±0,7	4,7±0,1	6,8±0,4
14	Neral	1245	1678	0,24±0,05	0,11±0,02	0,089±0,003
15	Geraniol _κ	1258	1845	5,3±0,8	2±1	2,4±0,8
16	Geranial	1274	1728	0,4±0,1	0,21±0,03	0,173±0,002
17	Formiato de citronelilo	1278	1618	6,13±0,06	1,7±0,3	2,8±0,4
18	Formiato de nerilo	1283		0,072±0,003	0,038±0,005	0,028±0,001
19	NI	1305		2,3±0,05	0,85±0,03	0,9±0,1
20	Acetato de citronelilo	1355	1657	0,22±0,03	0,05±0,001	0,106±0,0004
21	α-Cubebeno	1359	1457	0,03±0,01	0,01±0,0004	0,013±0,002
22	Acetato de geranilo	1385	1751	0,184±0,008	0,06±0,01	0,072±0,004
23	α-Copaeno	1394		0,21±0,05	0,058±0,005	0,088±0,003
24	β-Bourboneno	1405	1522	0,7±0,1	0,19±0,01	0,2504±0,0008
25	NI	1406		0,5±0,1	0,117±0,003	0,19±0,03
26	α-Gurjuneno	1432	1532	0,05±0,01	0,012±0,002	0,02±0,001
27	β-Gurjuneno (tentativo)	1441		0,1±0,03	0,03±0,0005	0,035±0,002
28	<i>trans</i> -β-Cariofileno	1444	1602	1,2±0,4	0,31±0,04	0,44±0,04
29	Propionato de citronelilo + α- <i>trans</i> -Bergamoteno	1451		0,16±0,05	0,042±0,001	0,056±0,004
30	α-Guaieno	1457	1593	0,4±0,1	0,11±0,01	0,16±0,02
31	6,9-Guaiadieno	1463		5±1	1,3±0,1	2±0,3
32	NI	1477		0,744±0,003	0,207±0,004	0,26±0,03

33	<i>allo</i> -Aromadendreno	1485	1655	0,4±0,1	0,09±0,01	0,16±0,01
34	NI	1492		0,1±0,05	0,02±0,01	0,048±0,008
35	α-Amorfeno (tentativo)	1497		0,05±0,01	0,014±0,001	0,02±0,004
36	Germacreno-D	1503	1718	2±0,8	0,5±0,1	0,8±0,2
37	Isobutanoato de geranilo	1510	1806	0,19±0,05	0,048±0,005	0,076±0,003
38	Viridifloreno	1518	1702	1,4±0,5	0,34±0,05	0,68±0,08
39	γ-Cadineno	1527		0,11±0,05	0,03±0,01	0,05±0,01
40	Calameneno	1531		0,32±0,05	0,06±0,004	0,13±0,02
41	NI	1535		0,18±0,03	0,049±0,002	0,072±0,008
42	δ-Cadineno	1542	1791	0,6±0,1	0,15±0,01	0,236±0,004
43	<i>trans</i> -Calameneno	1546		0,13±0,05	0,034±0,005	0,056±0,008
44	Cadina-1,4-dieno (tentativo)	1553		0,11±0,02	0,025±0,004	0,052±0,004
45	Butanoato de geranilo	1563		0,56±0,08	0,13±0,01	0,18±0,008
46	NI	1596		0,899±0,005	0,26±0,002	0,43±0,02
47	NI	1604		1,3±0,2	0,33±0,03	0,64±0,08
48	Óxido de cariofileno + NI	1611	1998	0,7±0,1	0,19±0,01	0,34±0,01
49	1-10-di- <i>epi</i> -Cubanol	1639	2067	0,32±0,08	0,082±0,005	0,132±0,004
50	1- <i>epi</i> -Cubanol	1653	2075	0,27±0,05	0,062±0,005	0,12±0,004
51	NI	1660		0,093±0,008	0,024±0,004	0,032±0,004
52	Valerato de geranilo	1665		0,08±0,02	0,026±0,001	0,036±0,003
53	NI	1671		0,5±0,1	0,1±0,02	0,24±0,02
54	<i>trans</i> -Tiglato de citronelilo	1678	2007	0,16±0,03	0,045±0,004	0,064±0,008
55	α-Cadinol	1683	2237	0,11±0,03	0,029±0,005	0,04±0,002
56	<i>neo</i> -Intermedeol	1688	2267	0,18±0,03	0,032±0,004	0,079±0,002
57	Tiglato de geranilo	1705	2108	1,7±0,3	0,46±0,02	0,6±0,2
58	Caproato de geranilo (Tentativo)	1764		0,012±0,002	0,004±0,0001	0,005±0,001
59	<i>n</i> -Hexadecanol	1794		0,016±0,001	0,0036±0,0001	0,0048±0,0008

a Número de pico en la **Figura 22**.

* Índices de retención determinados experimentalmente en las columna DB-5 y DBWAX.

** Cantidad obtenida por planta, calculada con base en el método de ISTD (*n*-tetradecano) y teniendo en cuenta el rendimiento de AE por planta, (*n*=4). Para calcular el Rendimiento de cada componente por hectárea, de debe multiplicar por el número de plantas presentes por hectárea, de acuerdo con el sistema de cultivo implementado (ver **Tabla 3**)

‡ Cantidad obtenida por planta, calculada con base en el método de estandarización interna y teniendo en cuenta el rendimiento de AE por planta. (*n*=4).

ND No detectado

NI No identificado

Anexo 27. Composición del AE obtenido de la especie *Pelargonium graveolens*, cultivado en diferentes sistemas de cultivo, y el rendimiento por planta durante la segunda cosecha.

No ^a	Compuesto	IR*		Rendimiento (mg/planta)**			
		DB-5	DBWAX	<i>P. graveolens</i>	<i>P. graveolens</i> -L. <i>alba</i>	<i>P. graveolens</i> -L. <i>origanoides</i>	<i>P. graveolens</i> -C. <i>martinii</i>
				X±s	X±s	X±s	X±s
1	α-Pineno	942	1014	0,06±0,01	0,07±0,01	0,04±0,01	0,092±0,004
2	β-Mirceno	993	1157	0,022±0,003	0,0317±0,0005	0,022±0,001	0,035±0,002
3	Limoneno	1037	1192	0,074±0,005	0,096±0,005	0,06±0,01	0,112±0,008
4	β-Felandreno	1041	1158	0,019±0,001	0,029±0,005	0,019±0,003	0,028±0,008
5	Linalol	1101	1540	0,45±0,02	0,82±0,05	0,39±0,02	0,52±0,08
6	<i>cis</i> -Óxido de rosa	1115	1350	0,8891±0,0001	0,83±0,04	0,6±0,2	0,99±0,02
7	<i>trans</i> -Óxido de rosa	1134	1365	0,41±0,01	0,38±0,02	0,24±0,08	0,47±0,01
8	Citronelal	1157	1475	0,27±0,05	0,266±0,004	0,22±0,02	0,42±0,02
9	Mentona	1164	1463	0,056±0,0006	0,059±0,003	0,04±0,004	0,066±0,002
10	<i>iso</i> -Mentona	1175	1493	3,18±0,03	3,85±0,04	2,4±0,2	4,6±0,2
11	<i>neo-iso</i> -Mentol	1194			0,2±0,02	0,064±0,004	
12	α-Terpineol	1198		0,052±0,001	0,07±0,01	0,031±0,002	0,068±0,0008
13	Citronelol _α	1232	1768	19,6±0,2	22±1	17,2±0,8	26,8±0,8
14	Neral	1245	1678	0,26±0,03	0,35±0,02	0,21±0,02	0,32±0,04
15	Geraniol _α	1258	1845	4,7±0,2	7,7±0,5	3,8±0,3	5±2
16	Geranial	1274	1728	0,54±0,06	0,8±0,1	0,4±0,04	0,7±0,1
17	Formiato de citronelilo	1278	1618	6±1	7,2±0,1	5,9±0,2	9,3±0,1
18	Formiato de nerilo	1283		0,07±0,01	0,0783±0,0001	0,056±0,004	0,0904±0,0004
19	NI	1305		1,7±0,2	2,21±0,04	1,52±0,08	2,4±0,1
20	Acetato de citronelilo	1355	1657	0,29±0,02	0,38±0,05	0,24±0,04	0,4±0,04
21	α-Cubebeno	1359	1457	0,03±0,01	0,036±0,002	0,028±0,004	0,036±0,008
22	Acetato de geranilo	1385	1751	0,1859±0,0003	0,24±0,01	0,152±0,008	0,264±0,008
23	α-Copaeno	1394		0,162±0,008	0,174±0,001	0,148±0,008	0,24±0,03
24	β-Bourboneno	1405	1522	0,5±0,08	0,581±0,005	0,39±0,04	0,58±0,02
25	NI	1406		0,323±0,003	0,34±0,05	0,28±0,08	0,468±0,008
26	α-Gurjuneno	1432	1532	0,04±0,005	0,0392±0,0004	0,036±0,004	0,062±0,002
27	β-Gurjuneno (tentativo)	1441		0,069±0,006	0,081±0,004	0,05±0,01	0,084±0,004
28	<i>trans</i> -β-Cariofileno	1444	1602	0,78±0,05	0,9±0,1	0,76±0,04	1,2±0,08
29	Propionato de citronelilo + α- <i>trans</i> -Bergamoteno	1451		0,1±0,02	0,1243±0,0005	0,092±0,004	0,14±0,008
30	α-Guaieno	1457	1593	0,26±0,01	0,29±0,02	0,26±0,02	0,372±0,003
31	6,9-Guaiadieno	1463		2,99±0,01	3,4±0,5	3,2±0,2	4,12±0,08
32	NI	1477		0,6±0,1	0,7±0,1	0,6±0,2	0,7663±0,0002

33 <i>allo</i> -Aromadendreno	1485	1655	0,24±0,02	0,26±0,01	0,24±0,02	0,36±0,03
34 NI	1492		0,036±0,001	0,04±0,02	0,05±0,02	0,04±0,008
35 α -Amorfeno (tentativo)	1497		0,043±0,003	0,0456±0,0005	0,036±0,004	0,06±0,004
36 Germacreno-D	1503	1718	0,8±0,1	0,8±0,3	1±0,2	1,08±0,04
37 Isobutanoato de geranilo	1510	1806	0,133±0,006	0,15±0,01	0,12±0,01	0,2±0,02
38 Viridifloreno	1518	1702	0,75±0,08	0,7±0,1	0,9±0,1	1,064±0,008
39 γ -Cadineno	1527		0,043±0,002	0,04±0,01	0,05±0,01	0,056±0,004
40 Calameneno	1531		0,275±0,002	0,288±0,005	0,25±0,03	0,44±0,08
41 NI	1535		0,133±0,006	0,13±0,01	0,112±0,004	0,19±0,01
42 δ -Cadineno	1542	1791	0,38±0,05	0,4±0,2	0,41±0,01	0,4±0,08
43 <i>trans</i> -Calameneno	1546		0,056±0,006	0,06±0,02	0,06±0,02	0,06±0,008
44 Cadina-1,4-dieno (tentativo)	1553		0,058±0,005	0,05±0,02	0,056±0,008	0,068±0,004
45 Butanoato de geranilo	1563		0,38±0,02	0,44±0,04	0,32±0,04	0,56±0,08
46 NI	1596		0,8±0,03	0,72±0,05	0,72±0,08	1,16±0,04
47 NI	1604		1,09±0,02	1±0,1	0,88±0,08	1,6±0,3
48 Óxido de cariofileno + NI	1611	1998	0,64±0,02	0,61±0,01	0,48±0,02	1±0,2
49 1-10-di- <i>epi</i> -Cubenol	1639	2067	0,251±0,002	0,25±0,01	0,2±0,004	0,36±0,04
50 1- <i>epi</i> -Cubenol	1653	2075	0,182±0,003	0,18±0,02	0,156±0,008	0,256±0,004
51 NI	1660		0,061±0,002	0,077±0,005	0,052±0,008	0,084±0,008
52 Valerato de geranilo	1665		0,051±0,002	0,051±0,003	0,048±0,008	0,07±0,001
53 NI	1671		0,38±0,05	0,32±0,01	0,36±0,02	0,52±0,02
54 <i>trans</i> -Tiglato de citronelilo	1678	2007	0,1±0,02	0,1±0,03	0,09±0,01	0,12±0,02
55 α -Cadinol	1683	2237	0,053±0,003	0,0584±0,0004	0,048±0,008	0,074±0,003
56 <i>neo</i> -Intermedeol	1688	2267	0,13±0,02	0,14±0,01	0,12±0,008	0,164±0,008
57 Tiglato de geranilo	1705	2108	1,1±0,05	1,1±0,1	1±0,1	1,44±0,02
58 Caproato de geranilo (Tentativo)	1764		0,018±0,006	0,019±0,005	0,01±0,002	0,024±0,002
59 <i>n</i> -Hexadecanol	1794		0,012±0,001	0,0096±0,0005	0,01±0,002	0,017±0,003

a Número de pico en la **Figura 22**.

* Índices de retención determinados experimentalmente en las columna DB-5 y DBWAX.

** Cantidad obtenida por planta, calculada con base en el método de ISTD (*n*-tetradecano) y teniendo en cuenta el rendimiento de AE por planta, (*n*=4). Para calcular el Rendimiento de cada componente por hectárea, de debe multiplicar por el número de plantas presentes por hectárea, de acuerdo con el sistema de cultivo implementado (ver **Tabla 3**)

‡ Cantidad obtenida por planta, calculada con base en el método de estandarización interna y teniendo en cuenta el rendimiento de AE por planta, (*n*=4).

ND No detectado
NI No identificado

Anexo 28. Composición del AE obtenido de la especie *Pelargonium graveolens*, cultivado en diferentes sistemas de cultivo, y rendimiento por planta durante la tercera cosecha.

No ^a	Compuesto	IR*		Rendimiento (mg/planta)**		
		DB-5	DBWAX	<i>P. graveolens</i>	<i>P. graveolens</i> -L. <i>alba</i>	<i>P. graveolens</i> -L. <i>origanoides</i>
				X±s	X±s	X±s
1	α-Pineno	942	1014	0,04±0,01	0,017±0,001	0,008±0,004
2	β-Mirceno	993	1157	0,032±0,008	0,015±0,001	0,007±0,002
3	Limoneno	1037	1192	0,06±0,01	0,019±0,003	0,011±0,001
4	β-Felandreno	1041	1158	0,027±0,006	0,016±0,002	0,008±0,004
5	Linalol	1101	1540	0,69±0,06	0,5±0,1	0,16±0,02
6	<i>cis</i> -Óxido de rosa	1115	1350	0,4±0,05	0,19±0,04	0,08±0,03
7	<i>trans</i> -Óxido de rosa	1134	1365	0,19±0,01	0,09±0,02	0,04±0,02
8	Citronelal	1157	1475	0,22±0,03	0,105±0,001	0,08±0,008
9	Mentona	1164	1463	0,05±0,02	0,016±0,002	0,007±0,002
10	<i>iso</i> -Mentona	1175	1493	3,3±0,3	1,64±0,01	0,8±0,1
11	<i>neo-iso</i> -Mentol	1194		0,08±0,05	0,04±0,01	0,02±0,008
12	α-Terpineol	1198		0,045±0,006	0,043±0,005	0,01±0,002
13	Citronelol _α	1232	1768	16,7±0,7	10±1	5,6±0,4
14	Neral	1245	1678	0,43±0,08	0,23±0,03	0,1±0,01
15	Geraniol _α	1258	1845	10±2	5,81±0,05	2,4±0,4
16	Geranial	1274	1728	0,8±0,1	0,38±0,05	0,19±0,03
17	Formiato de citronelilo	1278	1618	5,9±0,3	3±0,1	1,8±0,2
18	Formiato de nerilo	1283		0,11±0,03	0,059±0,003	0,0316±0,0004
19	NI	1305		2,7±0,2	1,35±0,01	0,76±0,08
20	Acetato de citronelilo	1355	1657	0,21±0,06	0,12±0,02	0,06±0,02
21	α-Cubebeno	1359	1457	0,029±0,005	0,018±0,004	0,01±0,001
22	Acetato de geranilo	1385	1751	0,22±0,03	0,11±0,01	0,056±0,004
23	α-Copaeno	1394		0,18±0,05	0,082±0,005	0,04±0,004
24	β-Bourboneno	1405	1522	0,64±0,05	0,3±0,1	0,12±0,04
25	NI	1406		0,256±0,001	0,067±0,005	0,0408±0,0008
26	α-Gurjuneno	1432	1532	0,038±0,006	0,024±0,003	0,013±0,002
27	β-Gurjuneno (tentativo)	1441		0,08±0,01	0,04±0,01	0,02±0,001
28	<i>trans</i> -β-Cariofileno	1444	1602	0,9±0,2	0,43±0,05	0,24±0,02
29	Propionato de citronelilo + α- <i>trans</i> -Bergamoteno	1451		0,12±0,01	0,07±0,02	0,0336±0,0008
30	α-Guaieno	1457	1593	0,3±0,03	0,18±0,01	0,096±0,008
31	6,9-Guaiadieno	1463		3,7±0,6	2,13±0,01	1,16±0,08
32	NI	1477		0,6±0,2	0,4±0,1	0,2±0,04

33	<i>allo</i> -Aromadendreno	1485	1655	0,26±0,05	0,14±0,01	0,08±0,004
34	NI	1492		0,066±0,008	0,048±0,005	0,029±0,002
35	α -Amorfenol (tentativo)	1497		0,08±0,02	0,03±0,01	0,02±0,008
36	Germacreno-D	1503	1718	1,3±0,2	0,86±0,01	0,56±0,08
37	Isobutanoato de geranilo	1510	1806	0,14±0,03	0,07±0,01	0,039±0,001
38	Viridifloreol	1518	1702	0,9±0,4	0,48±0,05	0,29±0,04
39	γ -Cadinol	1527		0,061±0,002	0,045±0,001	0,028±0,002
40	Calamenol	1531		0,22±0,08	0,099±0,001	0,056±0,002
41	NI	1535		0,11±0,03	0,058±0,001	0,028±0,001
42	δ -Cadinol	1542	1791	0,45±0,08	0,23±0,02	0,122±0,002
43	<i>trans</i> -Calamenol	1546		0,086±0,006	0,057±0,003	0,034±0,0008
44	Cadina-1,4-dieno (tentativo)	1553		0,075±0,008	0,043±0,005	0,024±0,002
45	Butanoato de geranilo	1563		0,5±0,1	0,22±0,02	0,12±0,02
46	NI	1596		0,69±0,06	0,38±0,01	0,26±0,03
47	NI	1604		0,9±0,1	0,4±0,1	0,28±0,04
48	Óxido de cariofileno + NI	1611	1998	0,58±0,05	0,2±0,1	0,16±0,04
49	1-10-di- <i>epi</i> -Cubenol	1639	2067	0,25±0,01	0,12±0,02	0,08±0,01
50	1- <i>epi</i> -Cubenol	1653	2075	0,21±0,02	0,1±0,01	0,064±0,008
51	NI	1660		0,1±0,03	0,06±0,01	0,028±0,004
52	Valerato de geranilo	1665		0,11±0,02	0,04±0,02	0,04±0,004
53	NI	1671		0,27±0,03	0,159±0,004	0,112±0,004
54	<i>trans</i> -Tiglatol de citronelilo	1678	2007	0,14±0,02	0,077±0,005	0,056±0,008
55	α -Cadinol	1683	2237	0,08±0,01	0,038±0,005	0,028±0,004
56	<i>neo</i> -Intermedeol	1688	2267	0,12±0,01	0,069±0,002	0,039±0,003
57	Tiglatol de geranilo	1705	2108	1,1±0,1	0,706±0,005	0,44±0,08
58	Caproato de geranilo (Tentativo)	1764		0,016±0,001	0,007±0,003	0,002±0,001
59	<i>n</i> -Hexadecanol	1794		0,013±0,005	0,007±0,002	0,003±0,001

a Número de pico en la **Figura 22**.

* Índices de retención determinados experimentalmente en las columnas DB-5 y DBWAX.

** Cantidad obtenida por planta, calculada con base en el método de ISTD (*n*-tetradecano) y teniendo en cuenta el rendimiento de AE por planta, (*n*=4). Para calcular el Rendimiento de cada componente por hectárea, de debe multiplicar por el número de plantas presentes por hectárea, de acuerdo con el sistema de cultivo implementado (ver **Tabla 3**)

⌘ Cantidad obtenida por planta, calculada con base en el método de estandarización interna y teniendo en cuenta el rendimiento de AE por planta. (*n*=4).

ND No detectado

NI No identificado

Anexo 29. Composición del AE obtenido de la especie *Cymbopogon martinii*, cultivado en diferentes sistemas de cultivo y correspondiente a la segunda cosecha.

No ^a	Compuesto	IR*		Cantidad en AE, g/kg**			
		DB-5	DBWAX	<i>C. martinii</i>	<i>C. martinii-L. alba</i>	<i>C. martinii-L. origanoides</i>	<i>C. martinii-P. graveolens</i>
				X±s	X±s	X±s	X±s
1	6-Metil-5-hepten-2-ona	988		ND	ND	0,127±0,009	0,136±0,007
2	β-Mirceno	993	1152	1,4±0,3	1,12±0,08	0,69±0,02	0,7±0,1
3	Limoneno	1036	1183	0,36±0,03	0,34±0,03	0,32±0,01	0,32±0,02
4	<i>cis</i> - β-Ocimeno	1040		1,63±0,06	1,5±0,2	1,5±0,1	1,9±0,2
5	NI	1047		0,245±0,005	ND±0	0,282±0,002	0,29±0,04
6	<i>trans</i> - β -Ocimeno	1052	1256	5±0,1	5,5±0,8	5,6±0,8	6±1
7	<i>n</i> -Octanol	1072		0,155±0,02	ND±0	0,12±0,02	0,193±0,006
8	Linalol	1101	1540	11,4±0,2	12±1	12,9±0,9	12±1
9	Decanal	1206		ND 0	ND	0,047±0,001	0,08±0,01
10	NI	1226		0,26±0,08	0,16±0,03	0,233±0,009	0,26±0,07
11	Nerol	1231		1,2±0,2	1,3±0,3	1,1±0,4	1,2±0,3
12	NI	1236		0,44±0,09	0,31±0,05	0,443±0,005	0,5±0,1
13	Neral	1244	1665	2,68±0,08	2,6±0,3	2,8±0,6	2,7±0,2
14	Geraniol _‡	1263	1840	588±9	546±5	640±50	624±2
15	Geranial	1275	1720	6,1±0,3	5,5±0,5	6±1	5,71±0,01
16	Formiato de geranilo	1304	1720	0,211±0,005	0,145±0,003	0,22±0,09	0,2±0,03
17	Acetato de geranilo	1387	1753	49±5	97±1	63±2	43±0,9
18	<i>trans</i> -β-Cariofileno	1443	1595	3±0,2	2,1±0,3	2,6±0,7	2,9±0,9
19	α-Humuleno	1477		0,4±0,2	0,18±0,02	0,19±0,05	0,21±0,06
20	Butanoato de geranilo	1563		0,37±0,09	0,8±0,3	0,61±0,05	0,47±0,02
21	<i>trans</i> -Nerolidol	1571		0,4±0,1	0,25±0,03	0,4±0,1	0,35±0,08
22	Isovalerato de geranilo	1611		1,1±0,2	0,51±0,08	0,8±0,2	0,94±0,05
23	2- <i>trans</i> ,6- <i>cis</i> -Farnesol	1730		5,8±0,4	3,88±0,09	6±2	6±1
24	NI	1757		1,93±0,05	2,2±0,5	2,4±0,6	2,1±0,6
25	NI	1846		0,3±0,03	0,52±0,09	0,4±0,05	0,27±0,06
26	NI	1954		0,5±0,2	0,38±0,06	2±2	0,6±0,4

a Número de pico en la **Figura 27**.

* Índices de retención determinados experimentalmente en las columnas DB-5 y DBWAX.

** Cantidad calculada con base en el método de ISTD (*n*-tetradecano). (n=4).

‡ Cantidad calculada con base en el método de estandarización interna, con *n*-tetradecano como ISTD. (n=4).

ND No detectado

NI No identificado

Anexo 30. Composición del AE obtenido de la especie *Cymbopogon martinii*, cultivada en diferentes sistemas de cultivo y correspondiente a la tercera cosecha.

No ^a	Compuesto	IR*		Cantidad en AE, g/kg**			
		DB-5	DBWAX	<i>C. martinii</i>	<i>C. martinii-L. alba</i>	<i>C. martinii-L. origanoides</i>	<i>C. martinii-P. graveolens</i>
				X ± s	X ± s	X ± s	X ± s
1	6-Metil-5-hepten-2-ona	988		0,11 ± 0,08	0,6 ± 0,08	0,7 0,4	ND
2	β-Mirceno	993	1152	0,5 ± 0,02	0,69 ± 0,06	0,6 ± 0,06	0,661 ± 0,002
3	Limoneno	1036	1183	0,18 ± 0,01	0,225 ± 0,002	0,2 ± 0,2	0,21 ± 0,02
4	cis-β-Ocimeno	1040		1,1 ± 0,1	1,4 ± 0,3	1,3 ± 0,6	1,19 ± 0,08
5	NI	1047		0,23 ± 0,01	0,17 ± 0,02	0,2 ± 0,03	0,21 ± 0,02
6	trans-β-Ocimeno	1052	1256	3,8 ± 0,6	5,5 ± 1,6	5 ± 2	5,1 ± 0,6
7	n-Octanol	1072		0,097 ± 0,008	0,077 ± 0,005	0,076 ± 0,008	ND
8	Linalol	1101	1540	14 ± 2	18,6 ± 0,6	15 ± 3	12,3 ± 0,9
9	Decanal	1206		0,043 ± 0,003	ND	0,02 ± 0,003	0,047 ± 0,004
10	NI	1226		0,2 ± 0,06	0,24 ± 0,07	0,19 ± 0,05	0,17 ± 0,04
11	Nerol	1231		1,1 ± 0,7	1,1 ± 0,8	0,9 ± 0,5	0,5 ± 0,1
12	NI	1236		0,37 ± 0,03	0,43 ± 0,02	0,35 ± 0,07	0,3 ± 0,05
13	Neral	1244	1665	2,7 ± 0,9	2,5 ± 1,3	4 ± 2	2,2 ± 0,6
14	Geraniol _{ix}	1263	1840	632 ± 8	628 ± 6,8	620 ± 20	620 ± 10
15	Geranial	1275	1720	4,8 ± 0,7	4,1 ± 1,4	6 ± 3	4 ± 0,9
16	Formiato de geranilo	1304	1720	0,126 ± 0,005	0,1 ± 0,01	0,19 ± 0,08	0,12 ± 0,01
17	Acetato de geranilo	1387	1753	33 ± 2	38,4 ± 6,7	38 ± 8	45 ± 8
18	trans-β-Cariofileno	1443	1595	3 ± 1	2,4 ± 0,9	2,5 ± 0,2	3,3 ± 0,5
19	α-Humuleno	1477		0,2 ± 0,09	0,17 ± 0,05	0,18 ± 0,02	0,23 ± 0,04
20	Butanoato de geranilo	1563		0,3 ± 0,1	0,4 ± 0,2	0,4 ± 0,1	0,3 ± 0,2
21	trans-Nerolidol	1571		0,6 ± 0,3	0,35 ± 0,04	0,3 ± 0,1	0,7 ± 0,3
22	Isovalerato de geranilo	1611		0,8 ± 0,4	0,59 ± 0,002	0,67 ± 0,02	0,85 ± 0,06
23	2-trans,6-cis-Farnesol	1730		6 ± 5	4 ± 0,4	3 ± 1	8 ± 3
24	NI	1757		2,1 ± 0,6	1,9 ± 0,1	2,3 ± 0,6	2,6 ± 0,5
25	NI	1846		0,2 ± 0,2	0,18 ± 0,06	0,19 ± 0,06	0,37 ± 0,09
26	NI	1954		0,6 ± 0,4	0,522 ± 0,003	0,6 ± 0,2	0,5 ± 0,2

a Número de pico en la Figura 27.

* Índices de retención determinados experimentalmente en las columnas DB-5 y DBWAX.

** Cantidad calculada con base en el método de ISTD (*n*-tetradecano), (*n*=4).

ix Cantidad calculada con base en el método de estandarización interna, con *n*-tetradecano como ISTD, (*n*=4).

ND No detectado

NI No identificado

Anexo 31. Composición del AE obtenido de la especie *Cymbopogon martinii*, cultivado en diferentes sistemas de cultivo, y el rendimiento por planta durante la segunda cosecha.

No ^a	Compuesto	IR*		Rendimiento (mg/planta)**				
		DB-5 DBWAX		<i>C. martinii</i>	<i>C. martinii-L. alba</i>	<i>C. martinii-L. origanoides</i>	<i>C. martinii-P. graveolens</i>	
				X±s	X±s	X±s	X±s	
1	6-Metil-5-hepten-2-ona	988		ND	ND	0,128±0,008	0,188±0,008	
2	β -Mirceño	993	1152	1,4±0,4	1,7±0,1	0,688±0,024	1±0,2	
3	Limoneno	1036	1183	0,36±0,04	0,51±0,04	0,32±0,012	0,44±0,03	
4	<i>cis</i> - β -Ocimeno	1040		1,68±0,06	2,3±0,2	1,48±0,12	2,6±0,2	
5	NI	1047		0,26±0,02	ND	0,2792±0,0016	0,4±0,04	
6	<i>trans</i> - β -Ocimeno	1052	1256	5,1±0,1	8±1	5,6±0,8	8±2	
7	<i>n</i> -Octanol	1072		0,16±0,02	ND	0,116±0,02	0,264±0,008	
8	Linalol	1101	1540	11,7±0,2	19±2	12,8±0,8	16±2	
9	Decanal	1206		ND	ND	0,0464±0,0012	0,1±0,02	
10	NI	1226		0,28±0,08	0,23±0,04	0,232±0,008	0,36±0,08	
11	Nerol	1231		1,2±0,2	1,9±0,4	1,08±0,36	1,6±0,4	
12	NI	1236		0,5±0,1	0,5±0,1	0,44±0,004	0,7±0,2	
13	Neral	1244	1665	2,76±0,08	3,8±0,5	2,8±0,8	3,7±0,2	
14	Geraniol α	1263	1840	606±10	816±10	640±40	854±3	
15	Geranial	1275	1720	6,2±0,2	8±1	5,6±0,8	7,82±0,01	
16	Formiato de geranilo	1304	1720	0,218±0,004	0,216±0,005	0,24±0,08	0,28±0,04	
17	Acetato de geraniol α	1387	1753	50±6	146±2	62±2	59±1	
18	<i>trans</i> - β -Cariofileno	1443	1595	3±0,2	3,2±0,4	2,4±0,8	4±1	
19	α -Humuleno	1477		0,4±0,2	0,26±0,03	0,2±0,04	0,28±0,08	
20	Butanoato de geranilo	1563		0,4±0,1	1±0,5	0,6±0,04	0,64±0,03	
21	<i>trans</i> -Nerolidol	1571		0,4±0,1	0,37±0,04	0,4±0,12	0,5±0,1	
22	Isovalerato de geranilo	1611		1,1±0,2	0,8±0,1	0,76±0,2	1,28±0,08	
23	2- <i>trans</i> ,6- <i>cis</i> -Farnesol	1730		6±0,4	5,8±0,1	6±2,4	8±2	
24	NI	1757		1,98±0,04	3±1	2,4±0,8	2,8±0,8	
25	NI	1846		0,3±0,02	0,8±0,1	0,4±0,04	0,36±0,08	
26	NI	1954		0,6±0,2	0,6±0,1	2±2,4	0,8±0,4	

a Número de pico en la **Figura 27**.

* Índices de retención determinados experimentalmente en las columnas DB-5 y DBWAX.

** Cantidad obtenida por planta, calculada con base en el método de ISTD (*n*-tetradecano) y teniendo en cuenta el rendimiento de AE por planta, (*n*=4). Para calcular el Rendimiento de cada componente por hectárea, de debe multiplicar por el número de plantas presentes por hectárea, de acuerdo con el sistema de cultivo implementado (ver **Tabla 3**).

α Cantidad obtenida por planta, calculada con base en el método de estandarización interna y teniendo en cuenta el rendimiento de AE por planta, (*n*=4).

ND No detectado
NI No identificado

Anexo 32. Composición del AE obtenido de la especie *Cymbopogon martinii*, cultivado en diferentes sistemas de cultivo, y el rendimiento por hectárea durante la tercera cosecha.

No ^a	Compuesto	IR*		Rendimiento (kg/ha)**			
		DB-5	DBWAX	<i>C. martinii</i>	<i>C. martinii-L. alba</i>	<i>C. martinii-L. origanoides</i>	<i>C. martinii-P. graveolens</i>
				X±s	X±s	X±s	X±s
1	6-Metil-5-hepten-2-ona	988		0,2 0,1	1,4 0,1	2±1	ND±
2	β -Miraceno	993	1152	0,92±0,04	1,7±0,1	1,8±0,2	1,872±0,004
3	Limoneno	1036	1183	0,34±0,02	0,572±0,005	0,4±0,8	0,6±0,04
4	<i>cis</i> - β -Ocimeno	1040		2±0,2	3±1	4±2	3,4±0,2
5	NI	1047		0,44±0,02	0,43 0,05	0,6±0,08	0,6±0,08
6	<i>trans</i> - β -Ocimeno	1052	1256	7±1	14±4	16±4	14±2
7	<i>n</i> -Octanol	1072		0,18±0,01	0,2 0,01	0,23±0,04	ND±
8	Linalol	1101	1540	26±4	48±1	44±8	35±3
9	Decanal	1206		0,08 0,006	ND	0,06±0,008	0,132±0,008
10	NI	1226		0,4±0,1	0,6±0,2	0,6±0,2	0,5±0,1
11	Nerol	1231		2±1	3±2	3±2	1,4±0,3
12	NI	1236		0,7±0,04	1,1±0,05	1±0,2	0,8±0,1
13	Neral	1244	1665	5±2	6±3	12±8	6±2
14	Geraniol α	1263	1840	1170±20	1590±20	1840±40	1750±40
15	Geranial	1275	1720	9±1	11±3	16±8	11±2
16	Formiato de geranilo	1304	1720	0,234±0,008	0,26±0,02	0,6±0,2	0,34±0,04
17	Acetato de geranilo α	1387	1753	62±4	100±20	120±20	130±20
18	<i>trans</i> - β -Cariofileno	1443	1595	6±2	6±2	7,6±0,8	9±2
19	α -Humuleno	1477		0,4±0,2	0,4±0,1	0,52±0,04	0,64±0,08
20	Butanoato de geranilo	1563		0,6±0,2	1±0,4	1,2±0,4	0,8±0,4
21	<i>trans</i> -Nerolidol	1571		1,2±0,6	0,9±0,1	1±0,3	2±0,8
22	Isovalerato de geranilo	1611		1,6±0,8	1,498±0,005	2±0,04	2,4±0,2
23	2- <i>trans</i> ,6- <i>cis</i> -Farnesol	1730		10±8	10±1	10±3	24±8
24	NI	1757		4±1	4,9±0,2	7±2	7±2
25	NI	1846		0,4±0,4	0,4±0,1	0,6±0,2	1±0,2
26	NI	1954		1±0,6	1,33±0,005	2±0,8	1,6±0,8

a Número de pico en la Figura 27.

* Índices de retención determinados experimentalmente en las columnas DB-5 y DBWAX.

** Cantidad obtenida por planta, calculada con base en el método de ISTD (*n*-tetradecano) y teniendo en cuenta el rendimiento de AE por planta, (n=4). Para calcular el Rendimiento de cada componente por hectárea, de debe multiplicar por el número de plantas presentes por hectárea, de acuerdo con el sistema de cultivo implementado (ver Tabla 3).

α Cantidad obtenida por planta, calculada con base en el método de estandarización interna y teniendo en cuenta el rendimiento de AE por planta, (n=4).

ND No detectado

NI No identificado

Anexo 33. Rendimiento (kg/ha) del componente mayoritario de *L. alba*, *L. origanoides*, *P. graveolens* y *C. martinii*, cultivadas en los sistemas de cultivo estudiados. Datos empleados para el cálculo de la RET_c.

Sistema de cultivo	Rendimiento (kg/ha)											
	Carvona*, en <i>L. alba</i>			Carvacrol*, en <i>L. origanoides</i>			Citronelol*, en <i>P. graveolens</i>			Geraniol*, en <i>C. martinii</i>		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
<i>L. alba</i>	10,3	14	16	---	---	---	---	---	---	---	---	---
<i>L. origanoides</i>	---	---	---	35	47	71	---	---	---	---	---	---
<i>P. graveolens</i>	---	---	---	---	---	---	0,859	1,225	1,049	---	---	---
<i>C. martinii</i>	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	30,3	58,7
<i>L. alba-L. origanoides</i>	4,7	9	7,6	20	34	53,9	---	---	---	---	---	---
<i>L. alba-P. graveolens</i>	4,3	7,2	6,9	---	---	---	0,098	0,45	0,21	---	---	---
<i>L. alba-C. martinii</i>	---	7,5	3	---	---	---	---	---	---	---	17	33,2
<i>L. origanoides-P. graveolens</i>	---	---	---	37	51	29	0,17	0,43	0,14	---	---	---
<i>L. organoides-C. martinii</i>	---	---	---	---	16,5	8,72	---	---	---	---	16	46,1
<i>P. graveolens-C. martinii</i>	---	---	---	---	---	---	---	0,67	0	---	0,021	43,7

* El componente mayoritario de cada una de las especies estudiadas es: carvona en *L. alba*; carvacrol en *L. origanoides*; citronelol en *P. graveolens* y geraniol en *C. martinii*. Los números 1, 2 y 3, corresponden al número de cosecha recogida.