

Estudio comparativo de la composición de los aceites esenciales de cuatro especies del género *Cymbopogon* (Poaceae) cultivadas en Colombia

[Comparative study of the essential oil compositions of four *Cymbopogon* (Poaceae) species grown in Colombia]

Raúl RODRÍGUEZ QUINTANILLA, Carlos RUIZ NOVA, Ginna ARIAS MOYANO, Hans CASTRO SALAZAR, Jairo MARTÍNEZ & Elena STASHENKO*

Centro de Investigación de Excelencia CENIVAM, Centro de Cromatografía y Espectrometría de Masas, CIBIMOL, Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga, Colombia
Contactos / Contacts: Elena Stashenko - E-mail address: elena@tucan.uis.edu.co

Abstract

Essential oils of *C. citratus*, *C. nardus*, *C. flexuosus* y *C. martinii*, cultivated in experimental plots in Bucaramanga, Colombia, were subjected to a comparative study of their compositions. The essential oils were obtained by means of microwave radiation-assisted hydrodistillation from freshly cut leaves. Component identification was performed by GC-MS analysis and their quantification employed GC-FID, with *n*-tetradecane as internal standard. A calibration curve was employed for each main constituent. The most abundant components were geranial (46,3%), neral (32,88%) and β -myrcene (10,5%) in *C. citratus*; citronellal (45,7%), geraniol (20,4%) and citronelol (9,9%) in *C. nardus*; geranial (50,2%) and neral (28,7%) in *C. flexuosus* and geraniol (69,6%) and geranyl acetate (15,6%) in *C. martinii*. Extraction yields were 0,46, 1,06, 0,46 and 1,2% for *C. citratus*, *C. nardus*, *C. flexuosus* and *C. martinii*, respectively. The observed relative amounts of the most abundant constituent in *C. martinii*, *C. flexuosus* and *C. citratus* oils were similar to those found in oils of the same species in India.

Keywords: *Cymbopogon citratus*; *Cymbopogon flexuosus*; *Cymbopogon martinii*; *Cymbopogon nardus*

Resumen

En este trabajo se realizó el estudio comparativo de la composición de los aceites esenciales de *C. citratus*, *C. nardus*, *C. flexuosus* y *C. martinii*, cultivadas en parcelas experimentales en Bucaramanga¹, Colombia. Los aceites esenciales se obtuvieron mediante hidrodestilación asistida por radiación de microondas de hojas frescas de cada especie. La identificación de los componentes presentes en los aceites se realizó por medio de análisis por GC-MS, y la cuantificación de estos componentes se realizó por GC-FID, utilizando *n*-tetradecano como estándar interno y una curva de calibración para los componentes mayoritarios. Los componentes presentes en mayor proporción en los aceites fueron: geranial (46,3%), neral (32,88%) y β -mirreno (10,5%) en *C. citratus*; citronellal (45,7%), geraniol (20,4%) y citronelol (9,9%) en *C. nardus*; geranial (50,2%) y neral (28,7%) en *C. flexuosus* y geraniol (69,6%) y acetato de geraniol (15,6%) en *C. martinii*. El rendimiento de extracción fue 0,46% en *C. citratus*; 1,06% en *C. nardus*, 0,46% en *C. flexuosus* y 1,2% en *C. martinii*. La proporción del componente mayoritario presente en el aceite esencial de *C. martinii*, *C. flexuosus* y *C. citratus* fue similar a la obtenida en los aceites, de estas mismas especies, producidos en India.

Palabras Clave: *Cymbopogon citratus*; *Cymbopogon flexuosus*; *Cymbopogon martinii*; *Cymbopogon nardus*.

Recibido | Received: 2 de Septiembre de 2011.

Aceptado en versión corregida | Accepted in revised form: 20 de Diciembre de 2011.

Publicado en línea | Published online: 30 de Enero de 2012.

Declaración de intereses | Declaration of interests: Los autores agradecen la financiación de Colciencias, contrato RC-432-2004.

Este artículo puede ser citado como / This article must be cited as: Raúl Rodríguez Quintanilla, Carlos Ruiz Nova, Ginna Arias Moyano, Hans Castro Salazar, Jairo Martínez, Elena Stashenko. 2012. Estudio comparativo de la composición de los aceites esenciales de cuatro especies del género *Cymbopogon* (Poaceae) cultivadas en Colombia. *Bol Latinoam Caribe Plant Med Aromat* 11 (1): 77 - 85.

¹ En el Centro Nacional de Investigaciones para la Agroindustrialización de Especies Vegetales Aromáticas Medicinales Tropicales.

Lista de abreviaciones: GC-MS – gas chromatography-mass spectrometry; GC-FID – Gas chromatography-flame ionization detector; CENIVAM – Centro Nacional de Investigaciones para la Agroindustrialización de Especies Vegetales Aromáticas Medicinales Tropicales; CIBIMOL – Centro de Investigación en Biomoléculas; ISTD – internal standard; MWHD – microwave-assisted hydrodistillation; ND – no detectado; NI – no identificado.

INTRODUCCIÓN

El género *Cymbopogon* (Poaceae) incluye cerca de 140 especies, la mayoría de ellas originarias de Asia y África (Khanuja et al., 2005). Muchas de estas especies, así como sus esencias, son utilizadas como condimentos de alimentos, en la perfumería, en la fabricación de jabones y en la obtención de productos farmacéuticos (Günter, 1948). La composición química de los aceites esenciales obtenidos de las especies del género *Cymbopogon* es muy variada. No obstante, los componentes mayoritarios suelen ser citral, geraniol, isointermediol o citronelal.

La especie *C. flexuosus* es originaria de la India y el componente mayoritario de su aceite esencial, obtenido de tallos y hojas, es generalmente citral (> 60%) (Luthra et al., 2007; Khanuja et al., 2005; Taskinen et al., 1983); aunque también se ha reportado la presencia de intermedeol (Kumar et al., 2008) y geraniol (Oussalah et al., 2006). En las inflorescencias de diversas taxas quimiomorfológicas de *C. flexuosus*, se ha encontrado que el componente mayoritario puede variar entre los siguientes compuestos: citral (60%), citronelol (32%), elemicina (71%) y metil eugenol éter (34%) (Nath et al., 2002). El rendimiento del aceite esencial extraído del material vegetal de *C. flexuosus* varía entre 0.5-1.6% (Luthra et al., 2007; Khanuja et al., 2005; Singh et al., 2000).

El *C. citratus* es usado ampliamente en todo el mundo. En Brasil, la infusión a base de sus hojas se utiliza popularmente como antiespasmódico, analgésico, antiinflamatorio, antipirético, diurético y sedativo (Rauber et al., 2005). Por otra parte, en Asia, esta misma especie se usa como ingrediente de cocina, debido a la semejanza de su sabor y olor con el del limón. Su aceite esencial es un repelente de insectos comparable con los usados comercialmente (Oyedele et al., 2002); tiene actividad antifúngica (Nguefack et al., 2004); antibacteriana (Cimanga et al., 2002); citotóxica (Bakkali et al., 2008); fototóxica (Bakkali et al., 2008); fungicida contra patógenos del maíz y del sorgo (Fandohan et al., 2008; Tzortzakis and Economakis, 2007; Somda et al., 2007). Además se ha reportado actividad *in vitro* contra la bacteria

Escherichia coli (Maizura et al., 2007) y actividad insecticida contra la mosca doméstica (Samarasekera and Kalhari, 2006). Entre los componentes mayoritarios del aceite esencial de *C. citratus* se encuentran geraniol, neral y β -mirceno.

La especie *C. nardus* es originaria de Sri Lanka y en China sus hojas son utilizadas para el tratamiento del reumatismo, de problemas menstruales e intestinales (Kanko et al., 2004). El aceite esencial de *C. nardus* presenta actividad antimicrobiana contra *Pseudomonas putida* (Oussalah et al., 2006), actividad inhibitoria del crecimiento de *Aspergillus niger* (Billerbeck et al., 2001) y actividad analgésica (Katewa et al., 2001). Usualmente, el componente mayoritario del aceite esencial de esta especie es el citronelal (34-41%), seguido del geraniol (16-24%) y del citronelol (7-9%) (Baranauskiene et al., 2006; Billerbeck et al., 2001). No obstante, en India (Khanuja et al., 2005) y en Costa de Marfil (Kanko et al., 2004) se reportan aceites esenciales de esta especie en los cuales geraniol (36-46%) o isopulegol (71%) es, respectivamente, el componente mayoritario. El rendimiento en aceite esencial de esta especie se encuentra comprendido entre 0.6 y 1.2% (Kanko et al., 2004; Billerbeck et al., 2001).

Cymbopogon martinii es originario del sur de Asia y ha sido utilizado como diurético (Katewa et al., 2001), antiséptico (Teixeira et al., 2005), en el tratamiento del reumatismo (Jain et al., 2005), para calmar dolores estomacales (Jain et al., 2005), repelente de mosquitos y roedores (Katewa et al., 2001) y para el crecimiento del cabello (Jagtap et al., 2006; Singh et al., 1997). Su aceite esencial presenta actividad contra diversos microorganismos (*Saccharomyces cerevisiae* (Prashar et al., 2003), *Seudomonas putida* (Oussalah et al., 2006), *E. coli*, *Salmonella typhimurium*, *Staphylococcus aureus*, *Listeria monocytogenes* (Oussalah et al., 2007), *Candida albican* (Teixeira et al., 2005), *Aspergillus flavus* (Kumar et al., 2007)). Además se ha reportado actividad contra ácaros (Kim et al., 2004) y como repelente contra mosquitos *Anopheles* (Nerio et al., 2010). La composición de este aceite esencial está caracterizada por altos contenidos de geraniol (63-80%), acetato de geraniol (8-28%) y β -cariofileno (ca. 2%) (Khanuja et al., 2005; Oussalah et al., 2006; Teixeira et al., 2005; Prashar et al., 2003). El rendimiento en aceite esencial de esta especie varía entre 0.1 y 1.2% (Teixeira et al., 2005; Singh et al., 1997; Prashar et al., 2003), y es influido por la

cantidad de N de fertilización, el uso de abonos orgánicos y por la irrigación (Singh *et al.*, 1997; Rajeswara, 2001; Singh and Sharma, 2001).

En este trabajo se realizó un estudio comparativo de la composición química de los aceites esenciales de cuatro especies del género *Cymbopogon*: *C. flexuosus*, *C. citratus*, *C. nardus* y *C. martinii*. Todas ellas cultivadas bajo las mismas condiciones de riego y fertilización en huertas experimentales contiguas en el Centro de Investigación de Excelencia CENIVAM, Bucaramanga, Colombia.

MATERIALES Y MÉTODOS

Material vegetal

Las plantas de las especies *C. flexuosus*, *C. nardus*, *C. citratus* y *C. martinii* fueron cultivadas en parcelas experimentales ubicadas en el Complejo Agroindustrial del CENIVAM (N 07°08,442; WO 73°06,960; 977 msnm), Universidad Industrial de Santander, Santander, Colombia, en un suelo franco-arcilloso-arenoso (limo 16%, arcilla 20% y arena 64%) con las siguientes propiedades: pH, 6.9; C, 2,11 g/100 g; Ca, 246 mg/100 g suelo; Mg, 12,64 mg/100g suelo; Na, 2,53 mg/100g suelo; K, 8,99 mg/100g suelo; P, 5,26 mg/100 g suelo; B, 0,048 mg/100 g suelo; Fe, 2,04 mg/100 g suelo; Mn, 0,392 mg/100 g suelo; Cu, 1,392 mg/100 g suelo y Zn, 0,60 mg/100 g suelo. La cosecha de *C. flexuosus*, *C. nardus* y *C. citratus* se realizó tres meses después de un corte que niveló su crecimiento, y la especie *C. martinii* se cosechó en estado de floración. Los pliegos testigos de las cuatro especies, empleados para la identificación botánica, se encuentran en el herbario del CENIVAM (Bucaramanga, Colombia), bajo los siguientes códigos de inclusión: 00462, *C. flexuosus*; 00454, *C. nardus*; 00446, *C. citratus*, y 00461, *C. martinii*.

Obtención de aceites esenciales

Los aceites esenciales de cada especie se obtuvieron mediante hidrodestilación asistida por radiación de microondas (MWH, por sus siglas en inglés) de hojas frescas (300 g), suspendidas en agua destilada (300 mL) y colocadas en un balón de 2 L. El balón se conectó a un equipo de vidrio, tipo *Clevenger*, con un reservorio de destilación *Dean-Stark*. La muestra vegetal se calentó por irradiación de microondas, utilizando un horno doméstico *LG Intelowave*, modelo MS-1242ZK (Seúl, Corea), con potencia de salida 1200 W y frecuencia de radiación de 2.5 GHz. El tiempo total de extracción fue de 40 min (4x10 min, consecutivos). El aceite esencial se secó con sulfato de sodio anhidro y se pesó. La extracción del aceite

esencial de cada especie se llevó a cabo por triplicado y el rendimiento de extracción se determinó de la siguiente manera:

$$\text{Rendimiento} = \frac{\text{g de aceite esencial}}{\text{g de material destilado}} * 100$$

Análisis de muestras por GC-MS

Los aceites esenciales de cada especie se analizaron en un cromatógrafo *Agilent Technologies 6890 Plus* (Palo Alto, CA, EE.UU.), acoplado a un detector selectivo de masas *Agilent Technologies MSD 5973* y equipado con un puerto de inyección *split/splitless* (250°C, relación *split* 1:30) y un inyector automático *Agilent 7863*. La separación de los componentes del aceite esencial se realizó en una columna capilar de sílice fundida DB-5MS (*J & W Scientific*, Folsom, CA, EE.UU.), de 60 m x 0.25 mm, d.i. x 0.25 µm, d_f, con fase estacionaria de 5%-fenil-poli(metilsiloxano), y otra de sílice fundida 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, d_f. El gas de arrastre utilizado fue helio (He, 99.9995%, AGA Fano, S.A.), con flujo constante de 1 mL min⁻¹. La programación de temperatura del horno fue 45° C (5 min) a 4° C min⁻¹ hasta 150° C (2 min) a 5° C min⁻¹ hasta 250° C (5 min) y, finalmente, a 10° C min⁻¹ hasta 275° C (15 min). Los componentes de los aceites esenciales se identificaron por comparación de sus espectros de masas, obtenidos por GC-MS, e índices de retención (polar y apolar, calculados con base en la serie homóloga de *n*-alcanos C₉-C₂₅, Sigma-Aldrich), con los de bases de datos (Adams 2007, Wiley 138K, NIST 2002) y de patrones certificados, obtenidos bajo idénticas condiciones.

Análisis de muestras por GC-FID

El análisis cuantitativo se efectuó utilizando un cromatógrafo *Agilent Technologies 7890A* (HP, Palo Alto, California, EE.UU.), equipado con un detector de ionización en llama (FID), con puerto de inyección *split/splitless* (250°C, relación *split* 1:30), y sistema de inyección automático *Agilent 7683 B*. La separación de los componentes del aceite esencial se realizó en una columna con fase estacionaria apolar DB-5MS (*J & W Scientific*, Folsom, CA, EE.UU.) de 60 m x 0.25 mm, D.I. x 0.25 µm, d_f, con fase estacionaria de 5%-fenil-poli(metilsiloxano). El gas de arrastre utilizado fue helio (He, 99.9995%, AGA Fano, S.A.), con flujo constante de 1 mL min⁻¹. La programación de

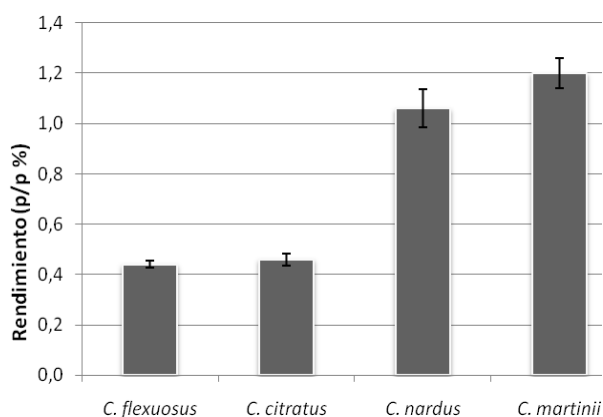
temperatura del horno fue 45° C (5 min) a 4° C min⁻¹ hasta 150° C (2 min) a 5° C min⁻¹ hasta 250° C (5 min) y, finalmente, a 10° C min⁻¹ hasta 275° C (15 min).

Obtenido y secado el aceite esencial, se vertieron 50 µL en un balón aforado de 1,00 mL clase A junto con 2 µL de *n*-tetradecano (ISTD, Sigma-Aldrich, St. Louis, MO, EE.UU.) y se aforaron a 1,00 mL con diclorometano (Sigma-Aldrich). De esta solución se inyectó 1 µL al cromatógrafo para su respectivo análisis. Para la cuantificación de estos componentes se utilizaron *n*-tetradecano como estándar interno y curva de calibración para los componentes mayoritarios (estandarización externa).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

De las cuatro especies estudiadas, *C. martinii* fue la que presentó el mayor rendimiento en aceite esencial (1,2%) (Figura 1), el cual fue semejante al alcanzado en India, 1,2% (Khanuja et al., 2005), y muy superior al obtenido en Brasil, 0,1% (Teixeira et al., 2005). En la hidrodestilación de *C. nardus* se obtuvo un rendimiento de 1,06%, inferior al reportado en Costa de Marfil (1,2%) (Kanko et al., 2004), pero superior al alcanzado en India, 0,4-0,8% (Khanuja et al., 2005). El rendimiento en *C. citratus* (0,46%), fue superior al reportado en la República del Congo (0,3%) (Cimanga et al., 2002) e inferior a los reportados en Costa de Marfil (0,7%) (Kanko et al., 2004), Camerún (0,57%) (Nguefack et al., 2004) e India (0,6-1,0%) (Khanuja et al., 2005). En *C. flexuosus* se logró un rendimiento de 0,44%, el cual estuvo dentro de los intervalos encontrados en India (0,3-0,8%) (Khanuja et al., 2005).

Figura 1



Rendimientos de extracción del aceite esencial de las cuatro especies del género *Cymbopogon* (promedio de tres extracciones ± s).

Cuarenta y tres compuestos fueron identificados en los aceites esenciales de las cuatro especies estudiadas (Tabla 1). Veintiséis de ellos fueron identificados en el aceite esencial de *C. nardus* (98,1% de su composición); veinticinco compuestos en el aceite esencial de *C. flexuosus* (88,2% del aceite); dieciséis compuestos en el aceite de *C. martinii* (98,6% de su composición) y trece en el aceite esencial de *C. citratus* (94,5% del aceite).

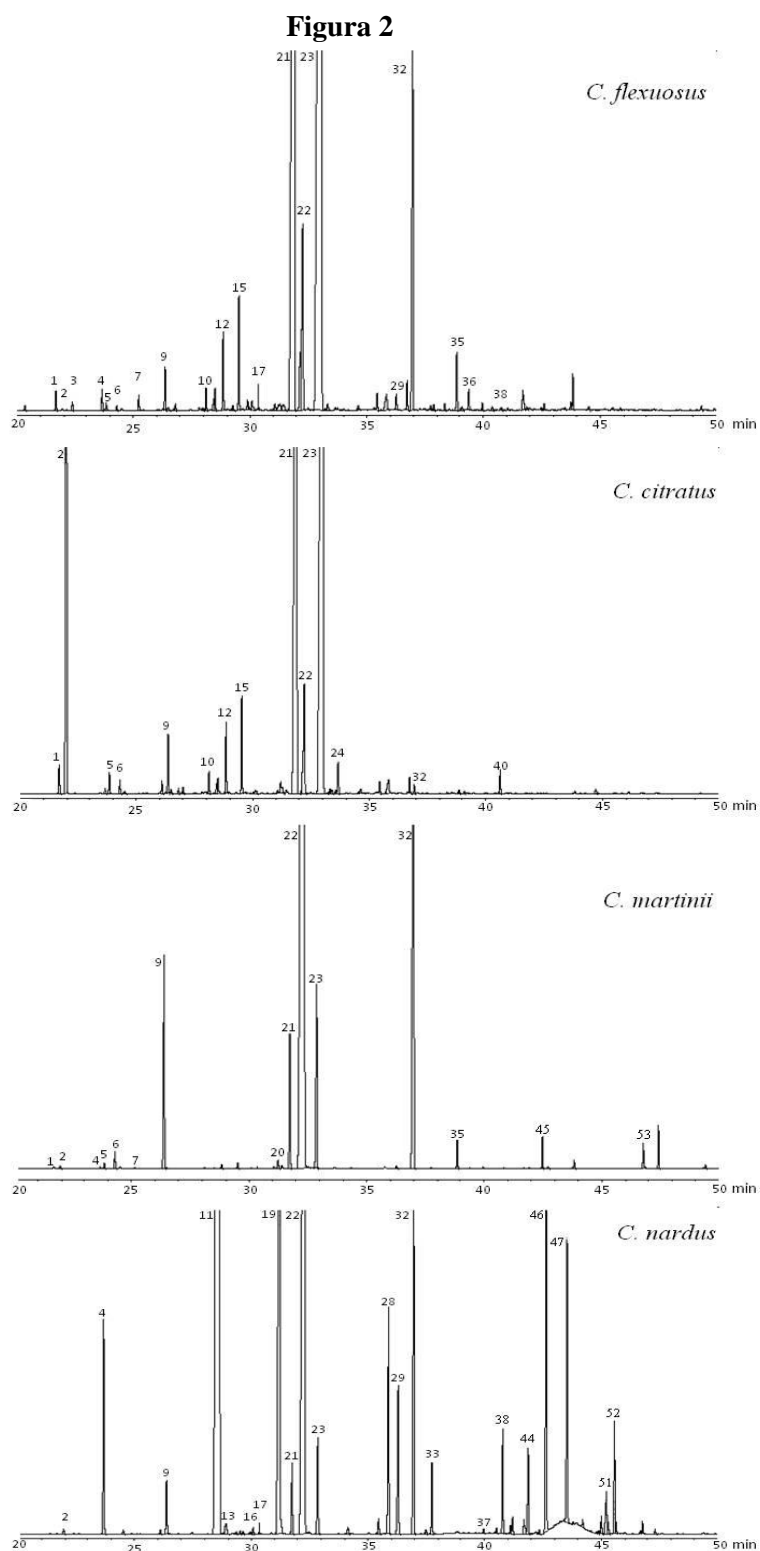
Algunos compuestos se encontraron sólo en el aceite esencial de una de las especies, a saber (Tabla 2): Tres compuestos fueron exclusivos del aceite de *C. citratus*; once del aceite esencial de *C. nardus*; cinco compuestos se encontraron sólo en el aceite esencial de *C. flexuosus* y tres en el aceite esencial de *C. martinii*. De acuerdo con lo anterior, el aceite esencial de *C. nardus* es el de mayor diferencia cualitativa en composición química, y se puede esperar que sus propiedades organolépticas y biológicas se diferencien considerablemente de las de los aceites de *C. flexuosus*, *C. citratus* y *C. martinii*.

Los compuestos β -mirceno, linalol, neral, geraniol, geranial y acetato de geranilo fueron comunes en los cuatro aceites esenciales, aunque en diferentes proporciones (Tablas 1 y 2).

En relación con los componentes mayoritarios de los aceites esenciales (Figura 2), se encontró que citral (mezcla de geranial y neral) coincide como mayoritario en *C. citratus* (geranial, 46,3% y neral 32,88%) y en *C. flexuosus* (geranial 50,2% y neral 28,7%). En *C. nardus* abundan citronelal (45,7%) y geraniol (20,4%) y en *C. martinii* geraniol (69,6%) y acetato de geranilo (15,6%) (Tabla 1).

Por otra parte, los cuatro aceites mostraron contenidos de monoterpenos oxigenados mayores de 82%, destacándose el aceite de *C. martinii*, con un 96,9% de monoterpenos oxigenados (Tabla 1).

Al comparar la proporción del componente mayoritario de los aceites esenciales evaluados en este trabajo, con los reportados en otros estudios, se encontró lo siguiente: a) en *C. flexuosus*, la proporción de citral (78,9%) fue semejante a la reportada en India (citral, 81-83%) (Khanuja et al., 2005; Luthra et al., 2007); b) en *C. martinii*, la proporción de geraniol (69,6%) fue menor que las reportadas en aceites esenciales obtenidos de plantas cultivadas en India (73-76%) (Khanuja et al., 2005; Rajeswara, 2001), aunque mayor que la encontrada en Brasil (63,5%) (Teixeira et al., 2005); c) en *C. nardus*, la proporción de citronelal (45,7%) fue mayor que la hallada en estudios realizados en la República de Benin (41%) y en el Congo (38%) (Abena et al., 2007) y d) en el



Perfiles cromatográficos de los aceites esenciales obtenidos por MWHD, de cuatro especies del género *Cymbopogon*. Columna DB-5 (60 m).

Detector de ionización en llama. Para la identificación de cada pico ver Tabla 1

Tabla 1
Identificación y cuantificación de los componentes presentes en los aceites esenciales de *C. citratus*, *C. nardus*, *C. flexuosus* y *C. martinii*.

Pico No ^a	Compuesto	IR ^b		Concentración relativa ^c , % ± s ^e			
		DB-5	DBWAX	<i>C. citratus</i>	<i>C. nardus</i>	<i>C. flexuosus</i>	<i>C. martinii</i>
1	6-Metil-5-hepten-2-ona	986		0,374 ± 0,004	ND	0,197 ± 0,009	0,06 ± 0,01
2	β-Mirceno	993		10,5 ± 0,2 ^d	0,048 ± 0,004	0,018 ± 0,009	0,05 ± 0,01
3	Octanal	1002		ND	ND	0,10 ± 0,01	ND
4	Limoneno	1036	1179	ND	1,9 ± 0,1	0,3 ± 0,1	0,03 ± 0,01
5	(Z)-β-Ocimeno	1040		0,071 ± 0,002	ND	0,09 ± 0,02	0,08 ± 0,01
6	(E)-β-Ocimeno	1051		0,168 ± 0,003	ND	0,03 ± 0,01	0,235 ± 0,003
7	Octanol	1071		ND	ND	ND	0,03 ± 0,01
8	NI M ⁺ , 159(1,8%)	1094		0,12 ± 0,08	0,03 ± 0,02	ND	ND
9	Linalol	1100	1505	0,766 ± 0,004	0,513 ± 0,008	0,32 ± 0,08	3,71 ± 0,05
10	exo-Iso-citral	1148		0,289 ± 0,004	ND	0,16 ± 0,04	ND
11	Citronelal	1162	1456	ND	45,7 ± 0,8 ^d	ND	ND
12	C ₁₀ H ₁₆ O (NI) M ⁺ , 152(5,8%), 94(100%)	1167		0,89 ± 0,02	ND	0,4 ± 0,3	0,09 ± 0,02
13	Isopulegol	1169	1539	ND	0,20 ± 0,02	ND	ND
14	Epóxido de rosefurano	1171		ND	ND	0,009 ± 0,005	ND
15	C ₁₀ H ₁₆ O (NI) M ⁺ , 152(0,4%) 98(100%)	1184		1,24 ± 0,01	ND	0,6 ± 0,4	0,13 ± 0,03
16	α-Terpineol	1198	1658	ND	0,057 ± 0,001	ND	ND
17	Decanal	1206		ND	0,099 ± 0,006	0,27 ± 0,01	0,03 ± 0,01
18	NI M ⁺ , 198(0,5%)	1230		0,22 ± 0,01	ND	ND	ND
19	Citronelol	1230	1723	ND	9,9 ± 0,4 ^d	ND	ND
20	Nerol	1231		ND	ND	ND	0,165 ± 0,003
21	Neral	1248	1650	32,88 ± 0,06 ^d	0,60 ± 0,02	28,7 ± 2,1 ^d	3,0 ± 0,8 ^d
22	Geraniol	1259	1801	2,0 ± 0,3 ^d	20,4 ± 0,2 ^d	1,9 ± 0,8 ^d	69,6 ± 1,6 ^d
23	Geranial	1273	1700	46,3 ± 0,2 ^d	0,89 ± 0,04	50,2 ± 2,0 ^d	4,6 ± 1,3 ^d
24	2-Undecanona	1294		0,46 ± 0,03	ND	ND	ND
25	Geraniato de metilo	1321		0,09 ± 0,01	ND	ND	ND
26	NI M ⁺ , (-), 166(3,1%), 69(100%)	1344		0,176 ± 0,004	0,17 ± 0,02	1,5 ± 1,1	ND
27	NI M ⁺ , (-), 198(2,7%), 115(100%)	1354		0,39 ± 0,01	ND	ND	0,06 ± 0,01
28	Acetato de citronelilo	1355	1629	ND	1,9 ± 0,2	ND	ND
29	Eugenol	1365	2109	ND	1,7 ± 0,1	0,34 ± 0,01	ND
30	NI M ⁺ (-)	1366		ND	ND	0,20 ± 0,02	0,08 ± 0,02
31	NI M ⁺ (-)	1378		0,249 ± 0,004	ND	2,7 ± 2,0	ND
32	Acetato de geranilo	1384	1723	0,117 ± 0,001	2,6 ± 0,6 ^d	4,6 ± 0,3 ^d	15,6 ± 0,3 ^d
33	β-Elemeno	1406	1574	ND	0,67 ± 0,05	ND	ND
34	(E)-Cariofileno	1433	1591	ND	ND	0,03 ± 0,01	0,46 ± 0,03
35	(E)-α-Bergamoteno	1443		ND	ND	0,3 ± 0,3	ND
36	(E)-Isoeugenol	1459	2289	ND	ND	0,15 ± 0,05	ND
37	α-Humuleno	1477		ND	0,041 ± 0,002	0,027 ± 0,003	ND
38	Germacreno-D	1489	1698	ND	0,92 ± 0,05	0,3 ± 0,3	ND
39	γ-Muuruleno	1494		ND	0,048 ± 0,007	ND	ND
40	2-Tridecanona	1497		0,298 ± 0,002	ND	ND	ND
41	α-Muuruleno	1514	1710	ND	0,078 ± 0,003	ND	ND
42	γ-Cadineno	1522	1748	ND	0,18 ± 0,01	0,026 ± 0,003	ND
43	C ₁₅ H ₂₄ (NI) M ⁺ (-)	1535		ND	ND	0,23 ± 0,07	ND
44	α-Cadineno	1541		ND	0,80 ± 0,01	ND	ND
45	Butanoato de geranilo	1558		ND	ND	0,011 ± 0,004	0,45 ± 0,03
46	Elemol	1562	2044	ND	4,4 ± 0,1	0,019 ± 0,003	ND
47	Germacreno-D-4-ol	1588	2022	ND	3,0 ± 0,6	0,007 ± 0,005	ND

48	Óxido de cariofileno	1597		ND	ND	0,029 ± 0,002	ND
49	NI M ⁺ (-) C ₁₅ H ₂₄ O	1610		ND	ND	0,5 ± 0,3	ND
50	γ-Eudesmol	1652	2137	ND	0,022 ± 0,001	ND	ND
51	epi-α-Muurolol	1665	2153	ND	0,546 ± 0,009	ND	ND
52	α-Eudesmol	1678	2190	ND	0,925 ± 0,006	ND	ND
53	(Z,Z)-Farnesol	1730		ND	ND	ND	0,475 ± 0,002
54	NI M ⁺ (-) C ₁₅ H ₂₄ O	1757		ND	ND	ND	0,65 ± 0,02
Componentes identificados				94,5	98,1	88,2	98,6
Monoterpenos				10,7	2,0	0,5	0,4
Monoterpenos oxigenados				84,5	82,7	87,1	96,9
Sesquiterpenos				0,0	2,6	0,7	0,5
Sesquiterpenos oxigenados				0,0	8,4	0,1	0,5

^a Número de pico en la Figura 2.

^b Índices de retención determinados experimentalmente en las columnas DB-5 y DB-WAX.

^c Cuantificación con *n*-tetradecano como estándar interno.

^d Cuantificación con curva de calibración, usando patrones certificados (estandarización externa)

^e Desviación estándar muestral con base en 3 extracciones

N.D. No detectado.

N.I. No identificado

Tabla 2

Número de compuestos identificados por especie, compuestos específicos de cada especie y compuestos comunes en las especies estudiadas.

Especie	Compuestos identificados en el aceite esencial		Compuestos identificados sólo en la especie	Compuestos comunes
	Total	Porcentaje, %		
<i>C. citratus</i>	13	94.5	2-Undecanona (0.46%), 2-tridecanona (0.298 %) y geraniato de metilo (0.09 %).	
<i>C. flexuosus</i>	25	88.2	(E)-α-Bergamoteno (0.3 %), (E)-isoeugenol (0.15 %), octanal (0.1 %), óxido de cariofileno (0.029 %) y epóxido de rosafurano (0.009 %).	
<i>C. nardus</i>	26	98.1	Citronelol (9.9%), acetato de citronelilo (1.9 %), α-eudesmol (0.925 %), α-cadineno (0.80 %), β-elemeno (0.67 %), epi-α-Muurolol (0.546 %), isopulegol (0.20 %), α-muuroleno (0.078 %), α-terpineol (0.57 %), γ-muuroleno (0.048 %) y γ-eudesmol (0.022 %).	β-mirceno, linalol, neral, geraniol, geranial y acetato de geraniol
<i>C. martinii</i>	16	98.6	(Z,Z)-farnesol (0.475 %), nerol (0.165%) y octanol (0.3 %).	

aceite esencial de *C. citratus*, la proporción de citral (79,1%) fue menor que la obtenida en India (85%) (Khanuja et al., 2005), pero mayor que la proporción de citral (66%) presente en el aceite esencial obtenido de plantas cultivadas en la República de Benin (Fandohan et al., 2008).

Es de resaltar que el β-mirceno, (pico 2, Figura 2), presente en el aceite esencial de *C. citratus* en cantidades considerables (10.5%) (Tabla 1), reduce la solubilidad de esta esencia en soluciones etanólicas; hecho no deseable en la preparación de perfumes. No obstante, el alto contenido de citral le otorga a este aceite un valor importante (Güenther, 1948; Husain, 1994).

Es de destacar que el presente trabajo reveló que la composición de los aceites esenciales de las cuatro especies cultivadas (en el Centro de Investigación de Excelencia CENIVAM, Bucaramanga, Colombia) está representada eminentemente por monoterpenos oxigenados (> 82%) (Tabla 1). El aceite de *C. citratus* es el que posee mayor contenido de hidrocarburos monoterpénicos (10,7%); y el aceite de *C. nardus* es el de mayor proporción de sesquiterpenos (2,6%) y de sesquiterpenos oxigenados (8,4%). La cantidad relativa de los componentes mayoritarios en las cuatro especies estudiadas es semejante a las obtenidas en otras regiones del mundo (Khanuja et al., 2005; Nath

et al., 2002; Abena et al., 2007). En general, el rendimiento obtenido, y la presencia en grandes proporciones de citral, geraniol y citronelal, de interés comercial, en los aceites estudiados, permite vislumbrar su producción como alternativa económica para comunidades vulnerables en Colombia.

CONCLUSIONES

La proporción del componente mayoritario de los aceites esenciales de *C. flexuosus* (citral 78,9%), *C. martinii* (geraniol 69,6%) y *C. citratus* (citral 79,1%) obtenidos, se asemejan más a la de aquellos producidos en India (citral, 81-83%; geraniol 73-76% y citral 85%, respectivamente), que a los de Brasil o África. La proporción de citronelal (45,7%), en el aceite de *C. nardus*, fue mayor que las reportadas en la República de Benin (41%) o el Congo (38%).

Los rendimientos de extracción en aceite esencial de *C. martinii* (1,2%) y de *C. flexuosus* (0,44%) fueron similares a los de India; mientras que el obtenido en *C. nardus* (1,06%) fue ligeramente inferior al alcanzado en Costa de Marfil (1,2%). En *C. citratus*, el rendimiento (0,46%) fue superior al reportado en el Congo (0,3%) e inferior al reportado en Camerún (0,57%), Costa de Marfil (0,7%) e India (0,6-1,0%).

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen la financiación de Colciencias, contrato RC-432-2004.

REFERENCIAS

- Abena AA, Gbenou JD, Yayi E, Moudachirou M, Ongoka RP, Ouamba JM, Silou T. 2007. Comparative chemical and analgesic properties of essential oils of *Cymbopogon nardus* (L.) Rendle of Benin and Congo. **Afr J Tradit Complement Altern Med** 4: 267 - 272.
- Bakkali F, Averbeck S, Averbeck D, Idaomar M. 2008. Biological effects of essential oils- A review. **Food Chem Toxicol** 46: 446 - 475.
- Baranauskiene R, Venskutonis PR, Dewettinck K, Verhé R. 2006. Properties of oregano (*Origanum vulgare* L.), citronella (*Cymbopogon nardus* G.) and marjoram (*Majorana hortensis* L.) flavors encapsulated into milk protein-based matrices. **Food Res Int** 39: 413 - 425.
- Billerbeck VG, Roques CG, Bessiére JM, Fonvielle JL, Dargent R. 2001. Effects of *Cymbopogon nardus* (L.) W. Watson essential oil on the growth and morphogenesis of *Aspergillus niger*. **Can J Microbiol** 47: 9 - 17.
- Cimanga K, Kambu K, Tona L, Apers S, De Bruyne T, Hermnas N, Totté J, Pieters L, Vlietinck AJ. 2002. Correlation between chemical composition and antibacterial activity of essential oils of some aromatic medicinal plants growing in the Democratic Republic of Congo. **J Ethnopharmacol** 79: 213 - 220.
- Fandohan P, Gnonlonfin B, Laleye A, Gbenou JD, Darboux R, Moudachirou M. 2008. Toxicity and gastric tolerance of essential oils from *Cymbopogon citratus*, *Ocimum gratissimum* and *Ocimum basilicum* in wistar rats. **Food Chem Toxicol** 46: 2493 - 2497.
- Guenther E. 1948. **The essential oils**. Ed. Van Nostrand, New York, NY, Vol I and Vol 4.
- Husain A. **Essential oils plants and their cultivation**. Lucknow: CIMAP. 1994.
- Jagtap SD, Deokule SS, Bhosle SV. 2006. Some unique ethnomedicinal uses of plants used by the Korku tribe of Amravati district of Maharashtra, India. **J Ethnopharmacol** 107: 463 - 469.
- Jain A, Katewa SS, Galav PK, Sharma P. 2005. Medicinal plant diversity of Sitamata wildlife sanctuary, Rajasthan, India. **J Ethnopharmacol** 102: 143 - 157.
- Kanko C, Sawaliho BE, Kone S, Koukoua G, N'Guessan YT. 2004. Étude des propriétés physico-chimiques des huiles essentielles de *Lippia multiflora*, *Cymbopogon citratus*, *Cymbopogon nardus*, *Cymbopogon giganteus*. **C R Chimie** 7: 1039 - 1042.
- Katewa SS, Guria BD, Jain A. 2001. Ethnomedicinal and obnoxious grasses of Rajasthan, India (Short communication). **J Ethnopharmacol** 76: 293 - 297.
- Khanuja SP, Shasany AK, Pawar A, Lal RK, Darokar MP, Naqvi AA, Rajkumar S, Sundaresan V, Lal N, Kumar S. 2005. Essential oil constituents and RAPD markers to establish species relationship in *Cymbopogon* Spreng. (poaceae). **Biochem Syst Ecol** 33: 171 - 186.
- Kim S, Yi J, Tak J, Ahn Y. 2004. Acaricidal activity of plant essential oils against *Dermanyssus gallinae* (Acari: Dermanyssidae). **Vet Parasitol** 120: 297 - 304.
- Kumar A, Malik F, Bhushan S, Sethi VK, Shahi AK, Kaur J, Taneja SC, Qazi GN, Singh J. 2008. An essential oil and major constituent isointermedeol induce apoptosis by increased

- expression of mitochondrial cytochrome *c* and apical death receptors in human leukaemia HL-60 cells. **Chem Biol Interact** 171: 332 - 347.
- Kumar R, Mishra AK, Dubey NK, Tripathi YB. 2007. Evaluation of *Chenopodium ambrosioides* oil as a potential source of antifungal, antiaflatoxicogenic and antioxidant activity. **Int J Food Microbiol** 115: 159 - 164.
- Luthra R, Srivastava AK, Ganjewala D. 2007. Histochemical localization of citral accumulating cite in lemongrass (*Cymbopogon flexuosus* Ness Ex. Steud) wats cultivar OD-19. **Asian J Plant Sci** 6: 419 - 422.
- Maizura M, Fazilah A, Norziah MH, Karim AA. 2007. Antibacterial activity and mechanical properties of partially hydrolyzed sago starch-alginate edible film containing lemongrass oil. **Food Chem Toxicol** 72: 324 - 330.
- Nath SC, Sarmaa KK, Vajezikovab I, Leclercqb PA. 2002. Comparison of volatile inflorescence oils and taxonomy of certain *Cymbopogon* taxa described as *Cymbopogon flexuosus* (Nees ex Steud.) Wats. **Biochem Syst Ecol** 30: 151 - 162.
- Nerio LS, Olivero J, Stashenko E. 2010. Repellent activity of essential oils: A review. **Biores Technol** 101: 372 - 378.
- Nguefack J, Leth V, Amvam PH, Mathur SB. 2004. Evaluation of five essential oils from aromatic plants of Cameroon for controlling food spoilage and mycotoxin producing fungi. **Int J Food Microbiol** 94: 329 - 334.
- Oussalah M, Caillet S, Saucier L, Lacroix M. 2006. Antimicrobial effects of selected plant essential oils on the growth of a *Pseudomonas putida* strain isolated from meat. **Meat Sci** 73: 236 - 244.
- Oussalah M, Caillet S, Saucier L, Lacroix M. 2007. Inhibitory eVects 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** 18: 414 - 420.
- Oyedele AO, Gbolade AA, Sosan MB, Adewoyin FB, Soyelu OL, Orafidiya OO. 2002. Formulation of an effective mosquito-repellent tropical product from lemongrass oil. **Phytomedicine** 9: 259 - 262.
- Prashar A, Hili P, Veness RG, Evans CS. 2003. Antimicrobial action of palmarosa oil (*Cymbopogon martinii*) on *Saccharomyces cerevisiae*. **Phytochemistry** 63: 569 - 575.
- Rajeswara BR. 2001. Biomass and essential oil yields of rainfed palmarosa (*Cymbopogon martinii* (Roxb.) Wats. var. *motia* Burk.) supplied with different levels of organic manure and fertilizer nitrogen in semi-arid tropical climate. **Ind Crops Prod** 14: 171 - 178.
- Rauber C, Guterres SS, Schapoval EE. 2005. LC determination of citral in *Cymbopogon citratus* volatile oil. **J Pharm Biomed Anal** 37: 597 - 601.
- Samarasekera R, Kalhari KS. 2006. Insecticidal activity of essential oils of Ceylon *Cinnamomun* and *Cymbopogon* species against *Musca domestica*. **J Essent Oil Res** 18: 352 - 354.
- Singh M, Sharma S. 2001. Influence of irrigation and nitrogen on herbage and oil yield tropical conditions (Short communication). **Eur J Agron** 14: 157 - 159.
- Singh S, Ram M, Ram D, Sharma S, Singh DV. 1997. Water requirement and productivity of palmarosa on sandy loam soil under a sub-tropical climate. **Agric Water Manag** 35: 1 - 10.
- Singh S, Ram M, Ram D, Singh VP, Sharma S. 2000. Response of lemongrass (*Cymbopogon flexuosus*) under different levels of irrigation on deep sandy soils. **Irrig Sci** 20: 15 - 21.
- Somda I, Leth V, Sérémé P. 2007. Antifungal effect of *Cymbopogon citratus*, *Eucalyptus camaldulensis* and *Azadirachta indica* oil extracts on sorghum seed-borne fungi. **Asian J Plant Sci** 6: 1182 - 1189.
- Taskinen J, Mathela DK, Mathela CS. 1983. Composition of the essential oil of *Cymbopogon flexuosus*. **J Chromatogr** 262: 364 - 366.
- Teixeira Duarte MC, Figueira GM, Sartoratto A, Garcia VL, Delarmelina C. 2005. Anti-*Candida* activity of Brazilian medicinal plants. **J Ethnopharmacol** 97: 305 - 311.
- Tzortzakakis NG, Economakis CD. 2007. Antifungal activity of lemongrass (*Cymbopogon citratus* L.) essential oil against key postharvest pathogens. **Innovat Food Sci Emerg Tech** 8: 253 - 258.