

Caracterización química de aceites esenciales comerciales y evaluación de su capacidad antialimentaria y fumigante contra *Tribolium castaneum*

Juan David Azuero Montejo¹

¹Estudiante de Biología, Facultad de Ciencias, Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá.

azuerojuan@javeriana.edu.co

Resumen

La infestación por insectos es una de las principales causas de la pérdida de granos y productos almacenados. *Tribolium castaneum* es un coleóptero cuyas grandes poblaciones están asociadas a los almacenes de alimentos, y la capacidad de las larvas y adultos para dañar los alimentos hace que sea considerada como una plaga grave de productos almacenados. En este estudio se determinó la composición química de cinco aceites esenciales comerciales, y se evaluó la actividad fumigante y antialimentaria de los aceites para estimar su uso como potenciales plaguicidas. El análisis por CG-EM permitió identificar 99 compuestos en los cinco aceites esenciales. Los componentes mayoritarios de los aceites de eneldo, perejil, tomillo y laurel corresponden a monoterpenos, mientras que el aceite de cilantro está compuesto principalmente por aldehídos de 8 a 12 carbonos. El aceite esencial de eneldo presentó la mayor actividad fumigante contra *T. castaneum* (CL_{50} 5,56 $\mu\text{L}/\text{L}_{\text{aire}}$), mientras que el aceite esencial de laurel fue el menos activo (CL_{50} 166,31 $\mu\text{L}/\text{L}_{\text{aire}}$). Se evaluó la actividad antialimentaria de los aceites esenciales, encontrando que ninguno causó disuasión alimentaria.

Palabras clave: Aceites esenciales, *Tribolium castaneum*, actividad antialimentaria, actividad fumigante, *Anethum graveolens*.

Introducción

La infestación de insectos es una de las principales causas de la pérdida de granos y sus productos durante el almacenamiento. Los granos almacenados y los productos de cereales son frecuentemente atacados por más de 600 especies de coleópteros (Yadav et al., 2014), lo cual causa una pérdida cuantitativa de aproximadamente 20% a 30% en las zonas tropicales y subtropicales (Rajendran, 2002). El escarabajo rojo de la harina, *Tribolium castaneum* (Herbst, 1797), es un coleóptero de la familia Tenebrionidae, cuyas grandes poblaciones están asociadas a los almacenes de alimentos, y se alimenta de una gran variedad de productos vegetales, por ejemplo, semillas oleaginosas, nueces, frutas secas, especias, legumbres, frijoles, cacao y semillas de algodón (Mahroof & Hagstrum, 2012). Tanto las larvas como los adultos se alimentan de embriones de semillas, polvo de grano y granos rotos y tienden a preferir los

materiales harinosos (Mahroof & Hagstrum, 2012). Estos escarabajos son considerados una plaga secundaria, esto debido a que sus mandíbulas no poseen la fuerza para romper el rígido pericarpio de los granos, por lo que se pueden encontrar asociados a otras plagas primarias que si tienen la fuerza para romper los granos, como los coleópteros del género *Sitophilus*, y se les puede hallar principalmente en molinos de harina, elevadores de granos, graneros, plantas de procesamiento, tiendas minoristas y panaderías (Cogburn, 1973); la capacidad de las larvas y de los adultos para dañar los alimentos, y la calidad inferior adquirida, debido a la secreción de benzoquinonas, por los productos infestados (Mahroof & Hagstrum, 2012), hacen que *T. castaneum* sea considerada como una plaga grave de productos almacenados.

Debido a este problema se han planteado diversas soluciones para controlar las poblaciones de *T. castaneum*, entre las cuales se encuentran el uso de insecticidas comerciales sintéticos, los cuales se dividen en organofosforados, organoclorados y carbamatos. El uso extensivo de estos productos ha llevado a que el género de *Tribolium* desarrollara resistencia a varios de sus componentes, de igual manera, los residuos de estos pueden afectar a otros artrópodos presentes en el ambiente, creando disturbios en los ecosistemas, e incluso se han presentado de reportes de toxicidad en humanos (Carod, 2002; Cid et al., 2007). Siendo así, se debe llevar a cabo el desarrollo de pesticidas que sean ecológicamente seguros y efectivos con la plaga en cuestión. Desde los tiempos de las antiguas civilizaciones, los aceites esenciales han sido reconocidos y utilizados como agentes antibacteriales, antifúngicos, antivirales, antioxidantes y como insecticidas. Estas sustancias están compuestas por una mezcla de sustancias lipofílicas y volátiles activas, que en la mayoría de los casos derivan de compuestos terpenoides. Proviene del metabolismo secundario de las plantas, el cual está relacionado con funciones necesarias para estas, como lo es la defensa contra depredadores o microorganismos (Peters, 2016). Los compuestos de algunas plantas han demostrado ser alternativas muy eficientes, pues al ser de origen orgánico son biodegradables, presentan selectividad ante la plaga de interés, dejando a otras especies libres de peligro, y tienen un grado de toxicidad mínimo en mamíferos (Isman, 2006; Costa et al., 2011). Ya se han llevado a cabo múltiples pruebas con aceites esenciales de plantas, tales como: *E. buniifolium*, *E. inulaefolium*, *E. arnottii* y *E. viscidum*, del género *Eupatorium* (Asteraceae), mostrando grados de toxicidad y de repelencia ante *T. castaneum* (Lancelle et al., 2009); *Artemisia brachyloba* (Asteraceae), cuyo estudio demostró una actividad repelente y tóxica tanto al contacto como fumigante (Hu et al., 2019); *Atractylodes lancea* (Asteraceae), que entre siete hierbas de origen chino, fue la que presentó una actividad repelente y tóxica mayor, llevando a identificar al sesquiterpeno valenceno como el

componente activo del aceite esencial con las mejores propiedades repelentes y tóxicas (Guo et al., 2019); *Wedelia trilobata* (Asteraceae) y *Melissa officinalis* (Lamiaceae), cuyos aceites esenciales mostraron ser eficaces herramientas para controlar molecularmente el crecimiento de las larvas de *T. castaneum* (Khater & El-Shafiey, 2015).

En Colombia también se han realizado estudios con aceites esenciales de plantas como: *Cymbopogon martinii* (Poaceae), *Cymbopogon flexuosus* y *Lippia organoides* (Verbenaceae), las cuales a pesar de no poseer una gran actividad insecticida, si presentaron una repelencia mayor que la de los productos sintéticos (Caballero-Gallardo et al., 2012); *Cymbopogon citratus* y *Eucalyptus citriodora* (Myrtaceae), los cuales demostraron ser potenciales candidatos para la repelencia de *T. castaneum*; en *C. citratus* se identificaron como componentes activos del aceite los terpenoides geranial, neral y geraniol, los cuales ya habían sido previamente identificados como repelentes de mosquitos (Olivero-Verbel et al., 2010); *Lippia organoides*, *Citrus sinensis* (Rutaceae) y *Cymbopogon nardus*, los cuales también presentaron una gran actividad repelente, pero no toxica (Olivero-Verbel et al., 2009); *Piper pseudolanceifolium* (Piperaceae) y *Ocimum campechianum* (Lamiaceae) también mostraron potencial como repelentes ante el coleóptero (Caballero-Gallardo et al., 2014).

En este contexto, se plantea el estudio de la actividad fumigante y fagodisuasiva de aceites esenciales de plantas de interés comercial para el país, pertenecientes a familias de amplia distribución en la región como Lauraceae, Apiaceae y Lamiaceae, de esta manera se puede considerar su implementación en el marco de la agricultura sostenible, logrando insecticidas económicamente favorables tanto para agricultores y dueños de almacenes, como para quienes llevan a cabo el proceso de cultivo y extracción del producto de interés. Actualmente en el país no se han llevado a cabo muchos estudios que aborden el uso de aceites esenciales comerciales como agentes de control de plagas, por lo cual es de gran importancia contar con esta información para desarrollar estrategias que beneficien a la calidad de los productos de consumo, al igual que al estado de los ecosistemas adyacentes y la seguridad alimentaria para el humano.

Materiales y métodos

Cría de *Tribolium castaneum*

En cajas herméticas se dispuso una mezcla de harina de trigo, con harina de maíz y levadura, en la cual se depositaron escarabajos adultos sin sexar provenientes de una cría stock del Laboratorio de Bioensayos

del Grupo de Investigación Fitoquímica de la Pontificia Universidad Javeriana. Se mantuvieron en una cámara incubadora bajo condiciones de temperatura y humedad controladas ($27^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$ y $65 \pm 5\%$ HR). Los insectos adultos fueron utilizados para los ensayos de actividad fumigante y actividad antialimentaria.

Aceites esenciales

Por medio del proveedor Suagá Organic Herbs se obtuvieron los aceites esenciales en stock de una planta leñosa: laurel (*Laurus nobilis*); y cuatro plantas herbáceas: eneldo (*Anethum graveolens*), tomillo (*Thymus vulgaris*), cilantro (*Coriandrum sativum*) y perejil (*Petroselinum sp.*). Los aceites fueron extraídos mediante destilación por arrastre con vapor, a partir de las partes aéreas de las plantas.

Ensayo de actividad fumigante

Para llevar a cabo la prueba de fumigancia con cada uno de los cinco aceites se emplearon viales de vidrio de 22 mL, en los cuales se introdujeron 10 insectos sin sexar, junto con un vial más pequeño de 1,5 mL con un disco de papel filtro Wathman de 2 cm de diámetro impregnado del respectivo aceite esencial, con una concentración de $500 \mu\text{L}/\text{L}_{\text{aire}}$. El vial grande se tapó con tapa de rosca. Se empleó como control positivo el insecticida Nuvan, que contiene diclorvox como ingrediente activo, en una concentración de $90 \mu\text{L}/\text{L}_{\text{aire}}$, y como control negativo se siguió el mismo ensayo, pero sin aplicar sustancia alguna en el papel filtro. Se realizaron 4 réplicas por cada uno de los ensayos, a condiciones de temperatura y humedad controladas ($27^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$ y $65 \pm 5\%$ HR) y se tomaron datos a las 24 horas.

Paso seguido, se llevaron a cabo pruebas de fumigancia en cuatro concentraciones menores a la inicial con cuatro de los aceites esenciales, entre $50 - 350 \mu\text{L}/\text{L}_{\text{aire}}$. Con el aceite esencial de *C. sativum*, que demostró la actividad fumigante más baja, se llevó a cabo la prueba con 4 concentraciones mayores a la inicial, entre $600 - 900 \mu\text{L}/\text{L}_{\text{aire}}$. Nuevamente, se realizaron 4 repeticiones por cada concentración en cada aceite y se tomaron datos pasadas 24 horas.

En los aceites que presentaron los mejores resultados en menores concentraciones (*A. graveolens*, *T. vulgaris* y *Petroselinum sp.*) se llevaron a cabo pruebas adicionales en 4 concentraciones aun menores, entre $3,125 - 25 \mu\text{L}/\text{L}_{\text{aire}}$. En el caso de *A. graveolens*, al ser el aceite con la actividad más alta, se probaron más concentraciones, entre $1,6 - 5 \mu\text{L}/\text{L}_{\text{aire}}$, para así obtener estadísticamente un mejor resultado al buscar la concentración letal media (CL_{50}). Nuevamente se realizaron 4 repeticiones por cada concentración y se tomaron datos a las 24 horas.

La mortalidad de un insecto se consideró cuando este no presentaba movimiento de patas y/o antenas ante un estímulo externo fuerte. Se empleó un estereoscopio para facilitar la observación de estas

reacciones. Para llevar a cabo el análisis Probit se utilizó el software IBM® SPSS® Statistics, y se determinaron los valores de CL₅₀ de cada aceite esencial.

Ensayo de actividad antialimentaria

Para llevar a cabo la prueba antialimentaria con los aceites esenciales se empleó el método de los discos de harina (Xie et al., 1996). Se preparó una suspensión de agua-harina mezclando 1 g de harina de trigo con 5 mL de agua destilada agitando con ayuda de ultrasonido por 5 minutos. Alícuotas de 200 µL de la suspensión obtenida fueron colocadas en la parte inferior de cajas de Petri plásticas, formando discos. Los discos se dejaron secar a temperatura ambiente por 24 horas y posteriormente se transfirieron a una incubadora para equilibrarlos a 27 °C y 65-70% HR durante 48 horas. Una vez secos, se procedió a aplicarle 50 µL de una mezcla de acetona-aceite esencial, en concentraciones de 500 y 1000 ppm, a 5 discos por cada tratamiento. Se emplearon como control discos con 50 µL de acetona. Cada disco de harina pesaba entre 25 y 49 mg. A su vez, en viales plásticos transparentes se depositaron 10 insectos sin sexar y se dejaron en un periodo de inanición de 24 horas. Una vez pasado este lapso, se procedió a añadir un disco de harina seco a cada vial, y se pesó el conjunto vial-insectos-disco en una balanza analítica. El montaje del ensayo se dejó por 48 horas en la incubadora (27°C ± 1°C y 65 ± 5% HR). Se realizaron cinco (5) replicas por cada ensayo. Los Índices de Disuasión Alimentaria (IDA) se calcularon comparando los resultados obtenidos con el alimento tratado con los observados con el alimento control, empleando la fórmula sugerida por Liu et al. (2007):

$$IDA = 100 \times \left(\frac{C - T}{C} \right)$$

C: masa consumida de disco control; T: masa consumida de disco tratado

Análisis químico de los aceites esenciales por CG-EM

Para el análisis de cada muestra, se tomó 25 µL del aceite esencial y se llevó a un volumen final de 1 mL con n-hexano. De igual manera, se preparó una solución estándar de hidrocarburos (C₁₀-C₂₇). La separación de los componentes de cada aceite se realizó empleando un cromatógrafo de gases marca *Shimadzu* serie GC 2010 *Plus* acoplado a un detector selectivo de masas *Shimadzu* TQ 8040. La separación de los compuestos se llevó a cabo en una columna capilar HP-5MS (5% - fenil-poli(metilxilosano) de 60 m x 0.25 mm, D.I x 0.25 µm, df). El gas de arrastre fue helio con una velocidad lineal de 25.5 cm/s y flujo constante de 1 mLmin⁻¹. La temperatura del horno fue programada de 40 °C (dos min) @ 4 °C/min hasta 125 °C (dos min), después @ 4°C/min hasta 160 °C (cinco min) y por último @ 5°C/min hasta 220 (ocho min). Los espectros de masas fueron obtenidos por impacto de electrones

(EI) con energía de 70 eV. Las temperaturas de la cámara de ionización, de la línea de transferencia y el cuadrupolo se mantuvieron a 250 °C, 270°C y 270°C respectivamente. Los espectros de masas y corrientes iónicas reconstruidas (TIC) fueron obtenidos por medio de barrido automático de frecuencia (*full scan*), en el rango de masas de 30-600 m/z, con una velocidad de barrido de radiofrecuencia 1666 scans⁻¹. Para determinar los componentes químicos de cada aceite, se utilizó el tiempo de retención obtenido por el cromatógrafo, y se calculó el Índice de retención lineal (IR) de acuerdo con lo reportado en literatura (Van Den Dool & Krats, 1963) con la serie homóloga de patrones de hidrocarburos, analizados bajo las mismas condiciones operacionales que los aceites. El índice calculado fue comparado con los reportados en el Libro Web de Química del NIST, SRD 69, y los reportados por Adams, 1995.

Resultados y discusión

Análisis químico de los aceites esenciales

Se realizó el estudio de los compuestos presentes en cinco (5) aceites esenciales obtenidos de cinco especies pertenecientes a las familias Lauraceae, Apiaceae y Lamiaceae. Todos estos se analizaron por CG-EM en columna apolar. La identificación de los compuestos se llevó a cabo con base en criterios cromatográficos como el índice de retención lineal (IR). El análisis por CG-EM determinó la presencia de 99 compuestos, los cuales corresponden al 72 – 97 % de la composición total de los aceites en estudio. En la Tabla 1 se presentan los compuestos determinados en cada uno de los aceites esenciales, ordenados según su índice de retención teórico, con sus cantidades relativas presentes en cada una de las sustancias.

Tabla 1. Composición química de los aceites esenciales.

#	Compuesto	Índice de retención		Área (%)				
		Experimental	Teórico	<i>L. nobilis</i>	<i>A. graveolens</i>	<i>C. sativum</i>	<i>Petroselinum sp.</i>	<i>T. vulgaris</i>
1	α -Tujeno	930	931	0,51	0,78			2,03
2	α -Pino	938	939	4,51	3,24		4,54	2,03
3	Canfeno	954	953					2,46
4	1-Octen-3-ol	982	979					3,66
5	β -Pino	983	980	2,01			4,79	
6	β -Mirceno	994	991	2,54			8,33	2,46
7	Octanal	1004	1001			1,01		
8	2-Careno	1023	1001	1,04				
9	Pseudolimoneno	1043	1003		17,14			
10	α -Felandreno	1009	1005				3,45	0,7
11	α -Terpineno	1024	1018		1,85			3,76
12	o-Cimeno	1034	1022		4,68			

13	β -Cimeno	1036	1030				6,42
14	Limoneno	1038	1031				0,82
15	β -Felandreno	1041	1031			15,19	
16	Eucaliptol	1041	1032				2,01
17	trans- β -Ocimeno	1051	1050	0,75		0,44	
18	γ -Terpineno	1064	1062	1,78		1,36	8,12
19	trans-4-Tujanol	1077	1070				0,82
20	1-Octanol	1071	1073			0,4	
21	1-Nonen-3-ol	1082	1088				0,52
22	Isoterpinoleno	1094	1088	0,89			
23	Terpinoleno	1095	1089		2,41		11,9
24	Linalool	1104	1098				1,71
25	Nonanal	1106	1102		1,16	1,17	0,47
26	1,5,8-p-Menthatriene	1144	1110				2,15
27	Isovalerato de 3-metil-3-butenilo	1114	1116				0,2
28	trans-p-Ment-2-en-1-ol	1133	1140	0,5			
29	Alcanfor	1153	1143				0,32
30	1-Nonanol	1174	1151		0,64	0,39	
31	δ -Terpineol	1176	1167	1,15			
32	Borneol	1175	1169				3,3
33	4-Terpinenol	1185	1177	3,25			2,46
34	Éter de eneldo	1202	1184		20,73		
35	α -Terpineol	1203	1189	4,25			
36	Estragol	1206	1195	0,62			0,79
37	Decanal	1209	1206		3,16		
38	D-Carvona	1253	1223		1,1		
39	Citral	1275	1237				0,3
40	β -Citral	1247	1240		0,36	0,42	0,16
41	Metil carvacrol	1245	1244				7,82
42	Acetato de Crisantenil	1322	1251				3,21
43	trans-2-Decenal	1253	1255		0,89	13,13	
44	Acetato de linalilo	1261	1257	2,3			
45	1-Decanol	1274	1259		1,86	7,98	
46	Timoquinona	1286	1260				0,23
47	2-Octilfurano	1300	1284			0,44	
48	Acetato de bornilo	1294	1289		0,41		
49	Timol	1318	1290				20,73
50	Carvacrol	1307	1298	9,22			
51	Undecanal	1318	1317		1,22	6,4	
52	Acetato de α -Terpinilo	1367	1350	15,01			

53	Acetato de timol	1365	1351					0,88
54	Eugenol	1370	1356	2,98				0,18
55	2-Undecenal	1375	1376		0,73	6,92		
56	1-Undecanol	1378	1379			1,32		
57	Acetato de Geranilo	1388	1381	0,49				
58	Ácido decanoico	1385	1384			0,24		
59	β -Elemeno	1398	1391	2,61			1,75	0,46
60	Metileugenol	1420	1401	11,92				
61	Dodecanal	1411	1409		1,56	5,79		
62	β -Funebreno	1430	1409		0,67			
63	Cariofileno	1437	1418	2,59			2,77	4,1
64	β -Copaeno	1442	1430					0,66
65	trans-2-Dodecenal	1400	1439		2,17	15,34		
66	Acetato de cinamilo	1452	1440	1,76				
67	Humuleno	1469	1455	0,53				
68	γ -Muurolene	1468	1477	1,02				3,25
69	D-Germacreno	1495	1480		0,9		1,04	
70	β -Selineno	1502	1485	0,85			0,43	
71	α -Muuroleno	1494	1499			0,23		
72	Biciclogermacreno	1514	1499	1,62				1,2
73	γ -Cadineno	1500	1513	0,56				3,6
74	Tridecanal	1517	1518			1,34		
75	Miristicina	1535	1520		4,03			
76	β -Bisaboleno	1524	1525	1,63				5,48
77	α -Bisaboleno	1553	1540					0,2
78	α -Copaen-11-ol	1558	1541	0,64				
79	Elimicina	1565	1554	2,61			1,28	
80	Ledol	1624	1569	0,6				
81	D-Germacren-4-ol	1592	1574			0,35		
82	Espatulenol	1597	1576	3,53				
83	Oxido de cariofileno	1573	1581	2,11			3,35	0,22
84	β -Copaene-4 α -ol	1646	1585				0,35	
85	1-Alil-2,3,4,5-tetrametoxibenceno	1606	1591				1,39	
86	Carotol	1616	1597				1,32	
87	Miristil aldehído	1616	1618		0,48			
88	Tetradecanal	1619	1618			2,35		
89	Viridiflorol	1611	1620	1,16				
90	τ -Cadinol	1658	1640				1,44	
91	β -Eudesmol	1672	1651	4,02				
92	α -Cadinol	1657	1653			0,33		0,47

93	Apiol	1692	1685	0,4	4,2			
94	1-Pentadecanal	1719	1714				0,37	
95	trans-Sedanólida	1748	1735		1,04		1,22	
96	Neofitadieno	1842	1837				1,29	
97	Alcohol palmitílico	1882	1882		1,28			
98	Fitol	2119	2122				1,48	
99	Nonadecanol	2084	2181		1,48			
	Monoterpenos	-	-	49,7	52,7	0,42	55,98	70,82
	Sesquiterpenos	-	-	23,47	1,57	2,2	12,45	19,64
	Fenilpropanos	-	-	20,29	8,23	0	2,67	0,97
	Otros	-	-	0,5	17,67	67,29	0	4,85
	TOTAL	-	-	93,96	80,17	69,91	71,1	96,28

Los monoterpenos y los sesquiterpenos constituyen la mayor parte de la composición de los aceites, exceptuando el aceite de *C. sativum*, en cuya composición predominan otro tipo de compuestos, entre los que se destacan aldehídos y alcoholes. Los componentes mayoritarios identificados en el aceite de *L. nobilis* fueron acetato de α -terpinilo (15,01%), metileugenol (11,92%) y carvacrol (9,22%). Su composición coincide con lo reportado por Rozman et al. (2007). En el aceite de *A. graveolens* se encontró éter de eneldo (20,73%), pseudolimoneno (17,14%) y o-cimeno (4,68%). La composición identificada coincide buena parte con lo reportado por Mikhaiel (2011), aunque difiere en la presencia de pseudolimoneno en su estudio, lo cual puede atribuirse a diferencias en la fuente de extracción del aceite esencial, pues el autor no especifica de que parte de la planta es el extracto. En *C. sativum* se presentaron trans-2-decenal (13,13%), 1-decanol (7,98%) y undecanal (6,4%). La composición química determinada en *C. sativum* no coincide con lo reportado por otros autores, cuyos resultados señalan que este aceite esencial suele contener grandes proporciones de linalool (López et al., 2008; Sriti Eljazi et al., 2018), el cual es un monoterpeno que ha demostrado una alta actividad insecticida contra *T. castaneum*, por lo cual se puede considerar que el aceite usado en esta práctica pertenece a otra variedad química de la planta de cilantro. Esta variación puede explicarse a que en los estudios mencionados extrajeron el aceite a partir de los frutos de la planta, mientras que en este ensayo se extrajo de las partes aéreas, de igual manera los factores geográficos y climáticos en cada una de las pruebas reportadas pueden tener un grado de incidencia. Los principales componentes de *Petroselinum sp.* fueron β -felandreno (15,19%), terpinoleno (11,9%) y β -mirceno (8,33%), cuya composición coincide en gran parte con lo reportado por Snoussi et al. (2016) al tener una mayor proporción de los monoterpenos identificados en este análisis; y en *T. vulgaris* se identificó con mayor presencia timol (20,73%), γ -terpineno (8,12%) y metil carvacrol (7,82%), lo cual concuerda con lo reportado por Pavela & Sedlák (2018).

Ensayo de actividad fumigante

La actividad fumigante de los aceites esenciales de *L. nobilis*, *A. graveolens*, *C. sativum*, *Petroselinum sp.* y *T. vulgaris* fue evaluada sobre el coleóptero *T. castaneum*, manejando diferentes concentraciones de cada aceite. En la Figura 1 se muestra que la actividad fumigante de los aceites aumenta proporcionalmente con la concentración aplicada, excepto en el aceite de *C. sativum*, el cual presentó gran inestabilidad en sus resultados experimentales, impidiendo determinar una CL₅₀ con el método fumigante utilizado.

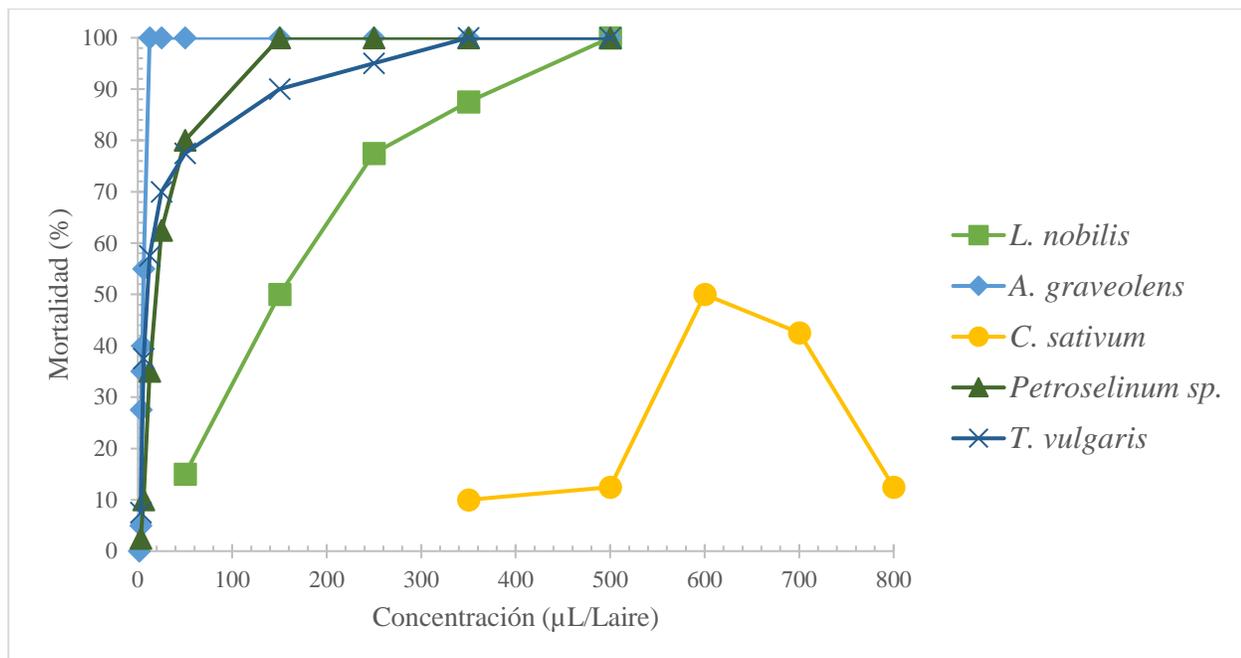


Figura 1. Porcentaje de mortalidad de *T. castaneum* después de 24 horas de exposición a diferentes concentraciones de los aceites esenciales.

En la Tabla 2 se presentan las CL₅₀ calculadas para los aceites esenciales, observándose que el aceite de *L. nobilis* fue el menos activo, con un valor 166,31 µL/L_{aire}, mientras que los demás aceites presentaron actividad muy fuerte ante la plaga, siendo el aceite de *A. graveolens* el más eficaz con un valor de concentración letal media inferior a 6 µL/L_{aire}, exponiéndolo como una alternativa viable respecto al control positivo, Nuvan 50, el cual tiene una concentración letal media de 2,72 µL/L_{aire}.

Tabla 2. Concentraciones letales (CL₅₀) de los aceites esenciales de *L. nobilis*, *A. graveolens*, *C. sativum*, *Petroselinum sp.* y *T. vulgaris* (24 horas) sobre *T. castaneum*.

Aceite Esencial	CL ₅₀ (μL/Laire)	Límites de confianza 95%	
		Inferior	Superior
<i>L. nobilis</i>	166,31	133,67	194,98
<i>A. graveolens</i>	5,56	5,12	6,22
<i>C. sativum</i>	ND	-	-
<i>Petroselinum sp.</i>	26,58	22,48	31,57
<i>T. vulgaris</i>	21,89	20,00	43,13
Nuvan 50	2,72	2,48	3,12

ND = No determinada

En los 4 aceites que presentaron actividad fumigante estable, se resalta la presencia de α -pineno, cuya actividad insecticida ya ha sido comprobada incluso en otros ordenes de artrópodos (Lucia et al., 2008). El aceite de *T. vulgaris* presentó la mayor proporción de monoterpenos en su contenido, esto se refleja en su actividad fumigante, pues obtuvo un resultado favorable (CL₅₀ = 21,89 μL/Laire) y esto se puede deber a la alta presencia de α -terpineno, β -cimeno, γ -terpineno, borneol, metil carvacrol, timol, cariofileno, y β -bisaboleno, de los cuales algunos han tenido reportes positivos en el control de *T. castaneum* (Bossou et al., 2015; Rozman et al., 2007; Sriti Eljazi et al., 2018).

La alta actividad fumigante del aceite de *A. graveolens* se puede atribuir a su alto contenido de compuestos tales como α -terpineno, o-cimeno, terpinoleno, miristicina y apiol, con reportes de actividad insecticida (Liu et al., 2011; Olivero-Verbel et al., 2010; Saad et al., 2019). La alta presencia de éter de eneldo (20,73%) y de pseudolimoneno (17,14%) pueden desempeñar un factor clave en su actividad fumigante, pues estos compuestos pueden generar una sinergia que cause resultados tan altos de mortalidad, sin embargo, aún no hay estudios dedicados a la actividad insecticida de estos dos compuestos. La baja actividad presentada por *C. sativum* puede atribuirse a su alto contenido de aldehídos, pues los que lo componen en su mayoría, trans-2-decenal, 1-decanol, undecanal, 2-undecenal, entre otros, no tienen reportes de actividad fumigante hasta el momento; también se debe considerar la posibilidad de extraer el aceite esencial de otra parte de la planta, por ejemplo sus frutos, los cuales si tienen actividad fumigante reportada (López et al., 2008; Sriti Eljazi et al., 2018).

Ensayo de actividad antialimentaria

Una sustancia antialimentaria es aquella que modifica el comportamiento de la plaga para que esta se abstenga de ingerir el alimento, esto excluye a aquellas sustancias que causan efectos tóxicos letales en el insecto. Esta actividad antialimentaria puede clasificarse como nula, débil, moderada o fuerte siguiendo los valores de los índices de disuasión antialimentaria (IDA) sugeridas por Liu et al. (2007) que se presentan de la siguiente forma:

Tabla 3. Índices de disuasión alimentaria.

IDA (%) = 100 X ((C-T) /C)		
IDA% < 20%	-	Actividad nula
50% > IDA% > 20%	+	Disuasión alimentaria débil
70% > IDA% > 50%	++	Disuasión alimentaria moderada
IDA% > 70%	+++	Disuasión alimentaria fuerte

Para evaluar la actividad antialimentaria de los aceites esenciales se llevó a cabo un ensayo con discos de harina. Los índices de disuasión causados sobre *T. castaneum* después de ser expuestos a la dieta tratada con aceites esenciales de *L. nobilis*, *A. graveolens*, *C. sativum*, *Petroselinum sp.* y *T. vulgaris* se presentan en la Tabla 4. No se obtuvo mortalidad de los insectos durante las 72 horas que duro cada ensayo, lo cual indica que ninguno de los aceites tiene efectos tóxicos en los coleópteros de estudio.

Tabla 4. Resultados del ensayo de actividad antialimentaria de los aceites esenciales sobre *T. castaneum*.

Aceite Esencial	Concentración (ppm)	Índice disuasión alimentaria - IDA (%)
<i>L. nobilis</i>	500	1,58 ± 0,002
	1000	1,51 ± 0,009
<i>A. graveolens</i>	500	0,38 ± 0,003
	1000	2,57 ± 0,013
<i>C. sativum</i>	500	2,58 ± 0,011
	1000	0,40 ± 0,008
<i>Petroselinum sp.</i>	500	0,01 ± 0,004
	1000	0,96 ± 0,007
<i>T. vulgaris</i>	500	1,10 ± 0,007
	1000	1,05 ± 0,010

Se observa que todos los aceites obtuvieron una actividad nula, según el índice, y esto puede deberse a las propiedades físicas de la sustancia, pues se volatiliza a una gran velocidad en el ambiente, liberando así gran parte de sus componentes activos. Debido al resultado obtenido no se determinó la actividad antialimentaria en concentraciones más bajas. Este es el primer reporte que se hace acerca de esta actividad en los aceites esenciales de estas especies de plantas sobre *T. castaneum*.

Conclusión

En conclusión, el aceite esencial de *A. graveolens* puede ser recomendado como control de *T. castaneum* por vía fumigante. De igual manera, los aceites de *L. nobilis*, *Petroselinum sp.* y *T. vulgaris* también demostraron ser potenciales agentes de control, aunque requieran de una mayor concentración. Para el aceite de *C. sativum* se sugiere realizar más ensayos, con extractos de diferentes zonas climáticas del país, al igual que probar su eficacia en otros tipos de actividad, ya sea antifúngica, antibacteriana, etc. A pesar del gran potencial observado en algunos de los aceites esenciales y sus compuestos identificados como plaguicidas alternativos naturales contra *T. castaneum*, se requiere de estudios complementarios para evaluar su viabilidad y su posible efecto tóxico sobre otros animales. También se debe determinar cuáles de sus metabolitos secundarios son los responsables de su actividad insecticida, para así establecer bajo qué circunstancias la planta produce estos compuestos.

Agradecimientos

A Colciencias por la financiación con recursos del Fondo Nacional de Financiamiento para la Ciencia, la Tecnología y la Innovación, Francisco José de Caldas a través del proyecto con contrato 382-2016 y código 120371250800. A la Pontificia Universidad Javeriana de Bogotá, por permitir el desarrollo de este proyecto. A la profesora Juliet Prieto Rodríguez y al profesor Jorge Eliecer Robles Camargo, por su acompañamiento y tutoría en este proyecto. A los integrantes del Laboratorio de Bioensayos del Grupo de Investigación Fitoquímica de la Pontificia Universidad Javeriana por su asesoría y hospitalidad. Y a mi familia por su apoyo incondicional a lo largo de mi trayecto como estudiante.

Bibliografía

Bossou, A. D., Ahoussi, E., Ruysbergh, E., Adams, A., Smagghe, G., De Kimpe, N., ... Mangelinckx, S. (2015). Characterization of volatile compounds from three Cymbopogon species and Eucalyptus citriodora from Benin and their insecticidal activities against Tribolium castaneum. *Industrial Crops and Products*, 76, 306–317. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2015.06.031>

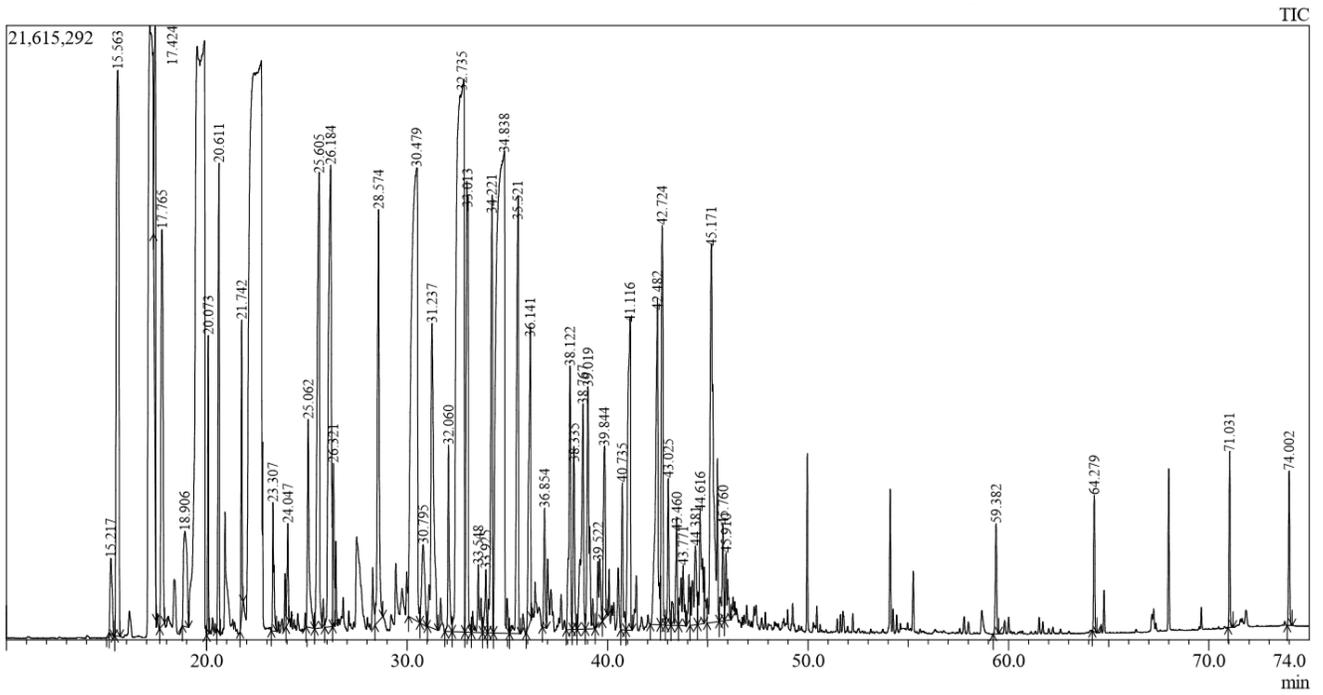
- Caballero-Gallardo, K., Olivero-Verbel, J., & Stashenko, E. E. (2012). Repellency and toxicity of essential oils from *Cymbopogon martinii*, *Cymbopogon flexuosus* and *Lippia organoides* cultivated in Colombia against *Tribolium castaneum*. *Journal of Stored Products Research*, 50:62–65. <https://doi.org/10.1016/j.jspr.2012.05.002>
- Caballero-Gallardo, K., Pino-Benitez, N., Pajaro-Castro, N., Stashenko, E., & Olivero-Verbel, J. (2014). Plants cultivated in Choco, Colombia, as source of repellents against *Tribolium castaneum* (Herbst). *Journal of Asia-Pacific Entomology*, 41:244–250. <https://doi.org/10.1016/j.aspen.2014.06.011>
- Carod, E. Insecticidas organofosforados. “De la guerra química al riesgo laboral y doméstico”. *MEDIFAM*, 2002, 12:333-340.
- Cid, F. D.; Antón, R. I.; Caviedes-Vidal, E. Organochlorine pesticide contamination in three bird species of the Embalse La Florida water reservoir in the semiarid midwest of Argentina. *Sci. Total. Environ.* 2007, 385:86-96
- Cogburn, R. R. (1973). Stored-Product Insect Populations in Boxcars Delivering Flour and Rice to Gulf Coast Ports 1. *Environmental Entomology*, 2(3), 427–432.
- Costa, Ane R. T., Amaral, Mônica F. Z. J., Martins, Paula M., Paula, Joelma A. M., Fiuza, Tatiana S., Tresvenzol, Leonice M. F., Paula, José R. and Bara, Maria Tereza F. 2011. Essential oil action *Syzygium aromaticum*(L.) Merr. and L. M. Perry on the hyphae of some pathogenic fungi. *BrazilianJournal of Medicinal Plants*13:240-45.
- Guo, S. shan, Wang, Y., Pang, X., Geng, Z. feng, Cao, J. qin, & Du, S. shan. (2019). Seven herbs against the stored product insect: Toxicity evidence and the active sesquiterpenes from *Atractylodes lancea*. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 169(November 2018):807–813. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2018.11.095>
- Hu, J., Wang, W., Dai, J., & Zhu, L. (2019). Chemical composition and biological activity against *Tribolium castaneum* (Coleoptera: Tenebrionidae) of *Artemisia brachyloba* essential oil. *Industrial Crops and Products*, 128(June 2018):29–37. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2018.10.076>
- Isman, M. B. (2006). BOTANICAL INSECTICIDES, DETERRENTS, AND REPELLENTS IN MODERN AGRICULTURE AND AN INCREASINGLY REGULATED WORLD. *Annual Reviews*, 51, 45–66.
- Khater, K. S., & El-Shafiey, S. N. (2015). Insecticidal effect of essential oils from two aromatic plants against *Tribolium castaneum* (Herbst), (Coleoptera: Tenebrionidae). *Egyptian Journal of Biological Pest Control*, 25(1), 129–134.
- Lancelle, H. G., Giordano, O. S., Sosa, M. E., & Tonn, C. E. (2009). Chemical composition of four

- essential oils from *Eupatorium* spp. Biological activities toward *Tribolium castaneum* (Coleoptera: Tenebrionidae). En Línea) *Rev. Soc. Entomol. Argent*, 68:1851–74713.
- Liu, Z. L., Chu, S. S., & Jiang, G. H. (2011). Insecticidal activity and composition of essential oil of *Ostericum sieboldii* (Apiaceae) against *Sitophilus zeamais* and *Tribolium castaneum*. *Records of Natural Products*, 5(2), 74–81.
- Liu, Z. L., Goh, S. H., & Ho, S. H. (2007). Screening of Chinese medicinal herbs for bioactivity against *Sitophilus zeamais* Motschulsky and *Tribolium castaneum* (Herbst). *Journal of Stored Products Research*, 43(3), 290–296. <https://doi.org/10.1016/j.jspr.2006.06.010>
- López, M. D.; Jordan, M. J.; Pascual-Villalobos, M. J. (2008). Toxic Compounds in Essential Oils of Coriander, Caraway and Basil Active against Stored Rice Pests. *J. Stored Prod. Res.* 44:273–278. DOI: 10.1016/j.jspr.2008.02.005.
- Lucia, A., Licastro, S., Zerba, E., Masuh, H., 2008. Yield, chemical composition, and bioactivity of essential oils from 12 species of *Eucalyptus* on *Aedes aegypti* larvae. *Entomol. Exp. Appl.* 129, 107–114.
- Mahroof, R., & Hagstrum, D. (2012). Biology, Behavior, and Ecology of Insects in Processed Commodities. *Kansas State University, Stored Pro*, 1–11.
- Mikhael, A. A. (2011). Potential of some volatile oils in protecting packages of irradiated wheat flour against *Ephestia kuehniella* and *Tribolium castaneum*. *Journal of Stored Products Research*, 47(4), 357–364. <https://doi.org/10.1016/j.jspr.2011.06.002>
- Olivero-Verbel, J., Caballero-Gallardo, K., Jaramillo-Colorado, B., & Stashenko, E. E. (2009). Repellent activity of the essential oils from *Lippia organoides*, *Citrus sinensis* and *Cymbopogon nardus* cultivated in Colombia against *Tribolium castaneum*, Herbst. *Salud UIS*, 41(1):281–285.
- Olivero-Verbel, J., Nerio, L. S., & Stashenko, E. E. (2010). Bioactivity against *Tribolium castaneum* Herbst (Coleoptera: Tenebrionidae) of *Cymbopogon citratus* and *Eucalyptus citriodora* essential oils grown in Colombia. *Pest Management Science*, 66(6):664–668. <https://doi.org/10.1002/ps.1927>
- Pavela, R., & Sedlák, P. (2018). Post-application temperature as a factor influencing the insecticidal activity of essential oil from *Thymus vulgaris*. *Industrial Crops and Products*, 113(August 2017), 46–49. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2018.01.021>
- Peters M. (2016). *Essential Oils: Historical Significance, Chemical Composition, and Medicinal Uses and Benefits*. Hauppauge, New York: Nova Science Publishers, Inc.
- Rajendran, S. (2002). Postharvest pest losses. In: Pimentel, D. (Ed.), *Encyclopedia of Pest Management*. Marcel Dekker, Inc., New York, pp. 654–656.

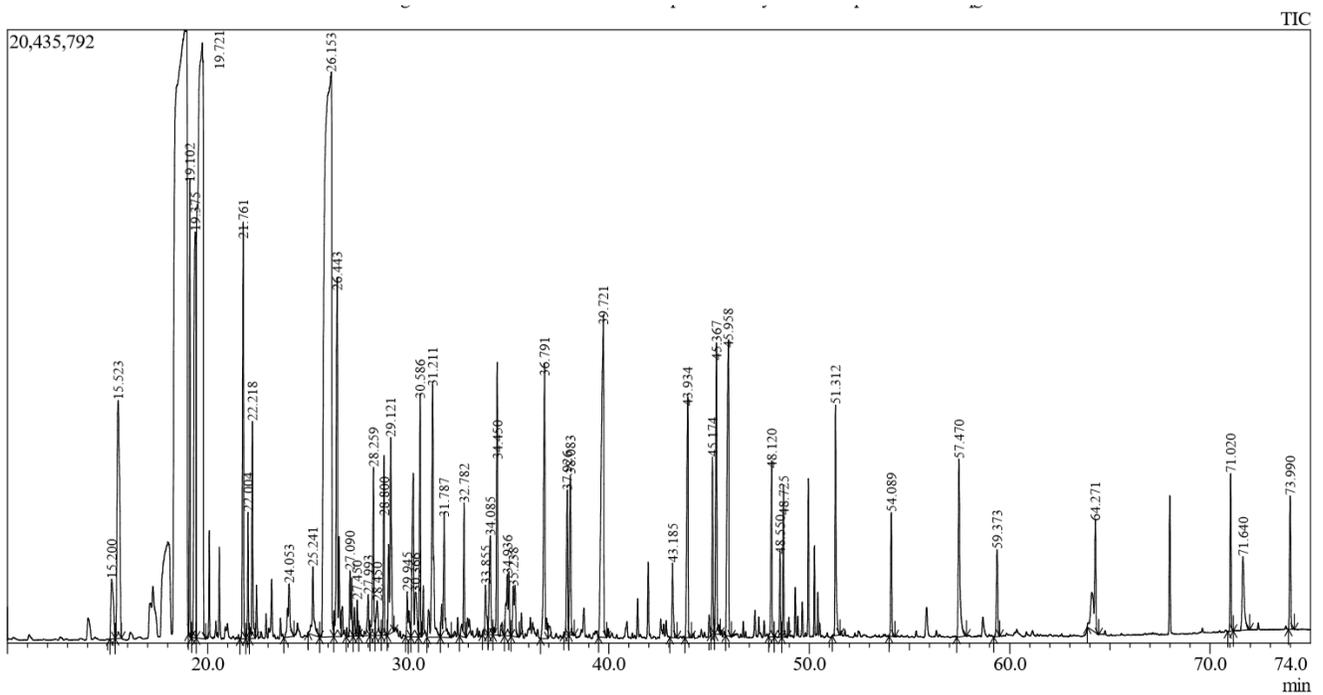
- Rozman, V., Kalinovic, I., & Korunic, Z. (2007). Toxicity of naturally occurring compounds of Lamiaceae and Lauraceae to three stored-product insects. *Journal of Stored Products Research*, 43(4), 349–355. <https://doi.org/10.1016/j.jspr.2006.09.001>
- Saad, M. M. G., El-Deeb, D. A., & Abdelgaleil, S. A. M. (2019). Insecticidal potential and repellent and biochemical effects of phenylpropenes and monoterpenes on the red flour beetle, *Tribolium castaneum* Herbst. *Environmental Science and Pollution Research*, 26(7), 6801–6810. <https://doi.org/10.1007/s11356-019-04151-z>
- Snoussi, M., Dehmani, A., Noumi, E., Flamini, G., & Papetti, A. (2016). Chemical composition and antibiofilm activity of *Petroselinum crispum* and *Ocimum basilicum* essential oils against *Vibrio* spp. strains. *Microbial Pathogenesis*, 90, 13–21. <https://doi.org/10.1016/j.micpath.2015.11.004>
- Sriti Eljazi, J., Bachrouch, O., Salem, N., Msaada, K., Aouini, J., Hammami, M., ... Mediouni Ben Jemaa, J. (2018). Chemical composition and insecticidal activity of essential oil from coriander fruit against *Tribolium castaneum*, *Sitophilus oryzae*, and *Lasioderma serricorne*. *International Journal of Food Properties*, 20(00), S2833–S2845. <https://doi.org/10.1080/10942912.2017.1381112>
- Van Den Dool, H., & Dec. Kratz, P. (1963). A generalization of the retention index system including linear temperature programmed gas-liquid partition chromatography. *Journal of Chromatography A*, 11(C):463–471.
- Yadav, D.N., Anand, T., Sharma, M., Gupta, R.K. (2014). Microwave technology for disinfestation of cereals and pulses: an overview. *J. Food Sci. Technol.* 51:3568–3576.
- Xie, Y. S., Bodnaryk, R. P., & Fields, P. G. (1996). A RAPID AND SIMPLE FLOUR-DISK BIOASSAY FOR TESTING SUBSTANCES ACTIVE AGAINST STORED-PRODUCT INSECTS. *The Canadian Entomologist*, 128(1621), 865–875.

Anexos

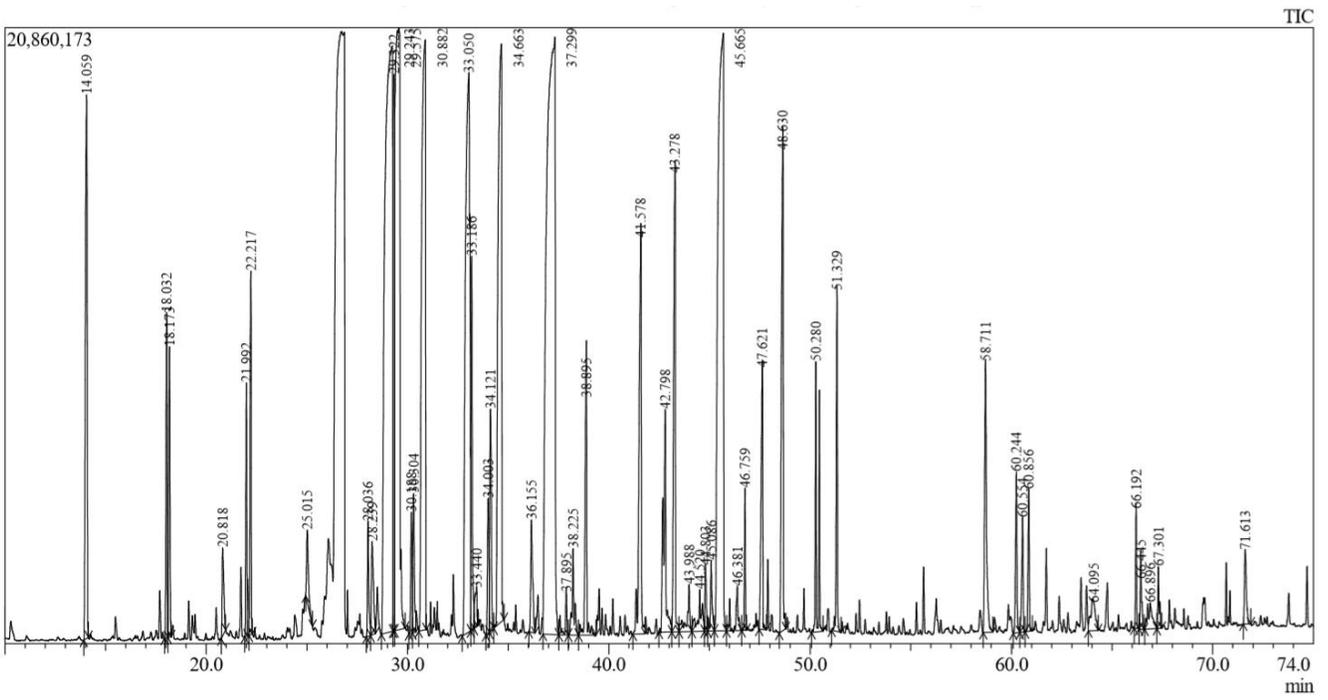
Perfiles cromatográficos



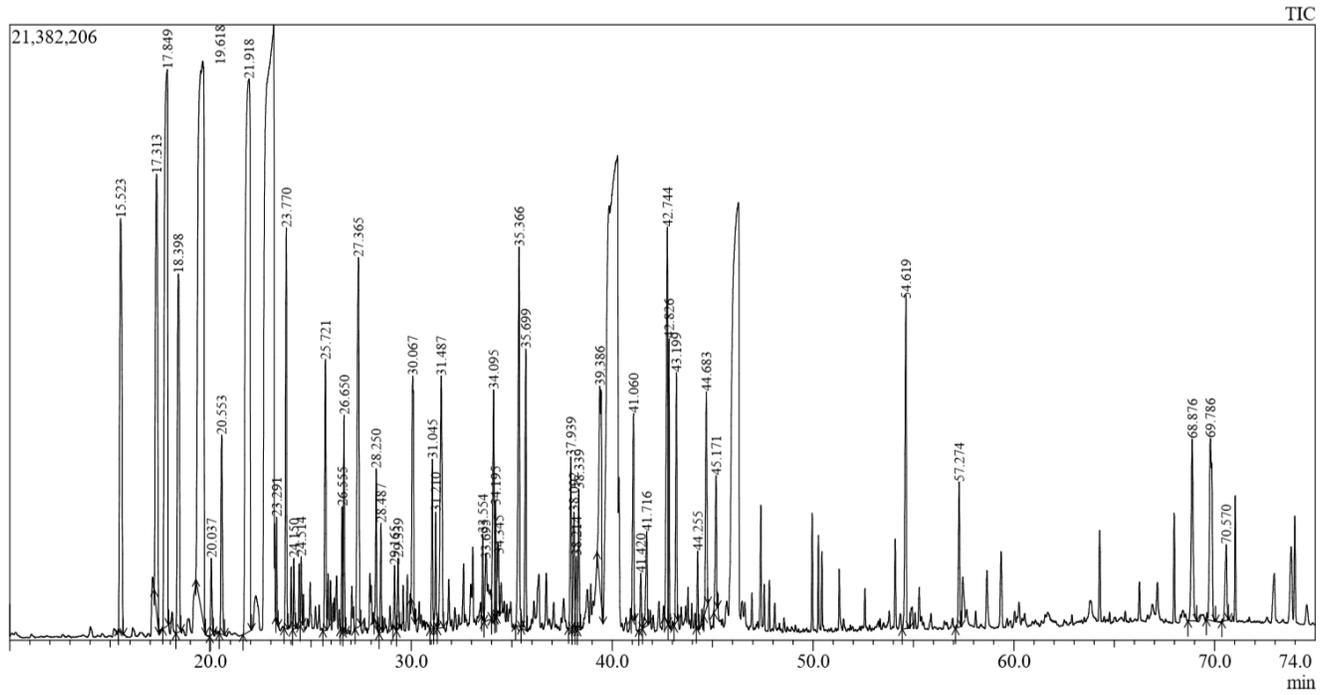
Perfil cromatográfico de *Laurus nobilis*.



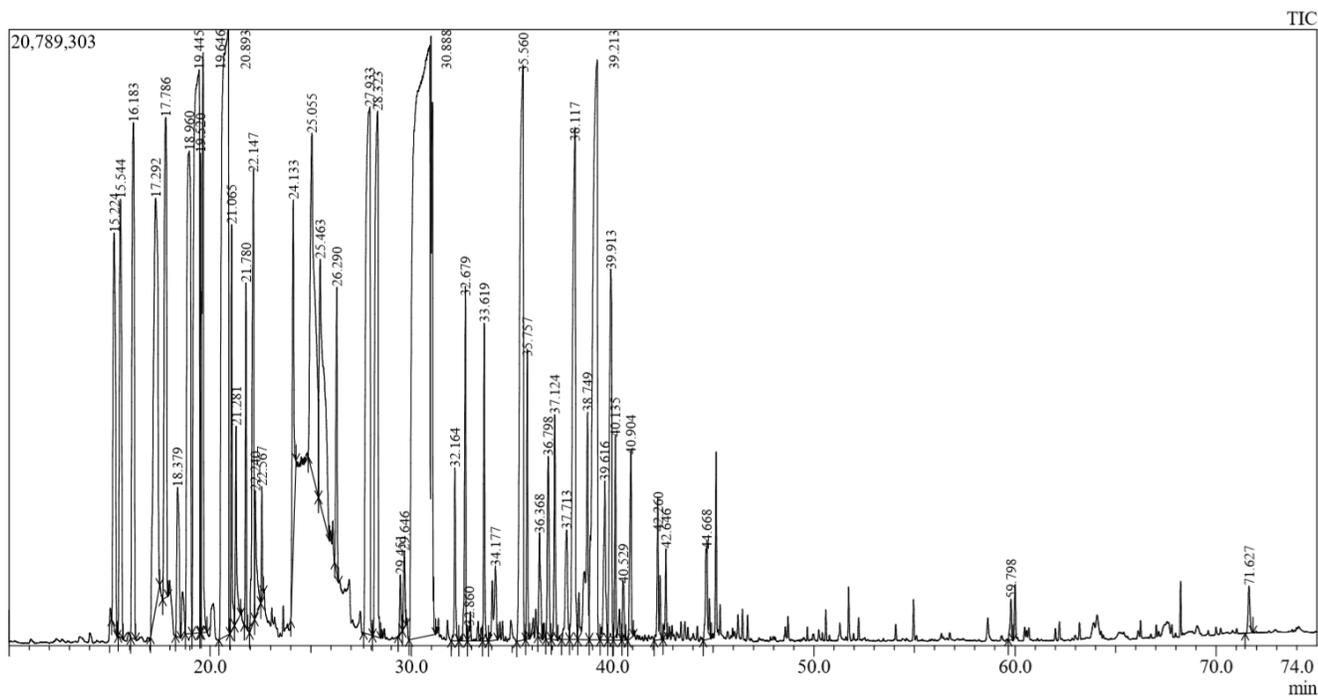
Perfil cromatográfico de *Anethum graveolens*.



Perfil cromatográfico de *Coriandrum sativum*.



Perfil cromatográfico de *Petroselinum sp.*



Perfil cromatográfico de *Thymus vulgaris*.