

Análisis de compuestos volátiles en cilantro (*Coriandrum sativum* L.)

Salvador González-Palomares*, Luis Humberto Rivera-Cambero* y Tábata Rosales-Reyes*

RESUMEN

En el presente estudio se recuperaron los compuestos volátiles de las hojas y los tallos frescos de cilantro (*Coriandrum sativum* L.) mediante dos métodos: Extracción Sólido Líquido (LSE) y Extracción-Destilación Simultánea (SDE). La identificación y cuantificación fue por Cromatografía de Gases-Espectrometría de Masas (GC-MS). Se caracterizaron catorce compuestos por LSE y GC-MS; mientras que por SDE y GC-MS, fueron veintitrés compuestos. El análisis estadístico reveló significativas diferencias cuantitativas ($p \leq 0,05$) entre las técnicas analizadas (LSE y SDE). En este trabajo, la Extracción-Destilación Simultánea arrojó la mayor identificación y concentración total de compuestos volátiles. Los aldehídos, monoterpenos y alcoholes comprendieron el 78% de los volátiles encontrados por los dos métodos, el resto fueron hidrocarburos. En ambas técnicas de extracción el (E)-2-decenal fue el compuesto más abundante en el cilantro.

ABSTRACT

In the present study, volatile compounds were recovered from the fresh leaves and stems of cilantro (*Coriandrum sativum* L.) by two methods: Liquid-Solid Extraction (LSE) and Simultaneous Distillation-Extraction (SDE). The identification and quantification was done by Gas Chromatography-Mass Spectrometry (GC-MS). Fourteen compounds were characterized by LSE and GC-MS; whereas by SDE and GC-MS, they were twenty three compounds. The statistical analysis revealed significant quantitative differences ($p \leq 0,05$) between the analyzed techniques (LSE and SDE). In this work, the Simultaneous Distillation-Extraction showed the greater identification and total concentration of volatile compounds. Aldehydes, monoterpenes, and alcohols comprised 78% of the volatile found for two methods, the rest were hydrocarbons. (E)-2-decenal was the most abundant compound in cilantro in both extraction techniques.

Recibido: 20 de Marzo de 2009
Aceptado: 8 de Diciembre de 2009

INTRODUCCIÓN

El cilantro, *Coriandrum sativum* L. (familia *Apiaceae*) es una planta de uso antiguo, nativa de la región Mediterránea (Argueta y Cano, 1994). Su nombre genérico *Coriandrum* [del griego *koriannon*, una combinación de *koris* (un insecto maloliente) y *annon* (un fragante anís)] alude al olor desagradable que producen sus frutos aún verdes, el cual se vuelve agradable al madurarse (Uchibayashi, 2001); y su nombre específico *sativum*, indica que es una planta cultivada.

En la medicina tradicional, el cilantro se emplea en el tratamiento de afecciones gastrointestinales y se le indica como antibiótico, antiespasmódico, antipirético, analgésico, eupéptico y carminativo (Lozoya *et al.*, 1992; Argueta y Cano, 1994; Sosa, 2002). Diversos reportes señalan que esta planta presenta actividad hipotensora, diurética, hipolipidémica, antibacteriana, antioxidante, hipoglucémica y antimutagénica (Argueta y Cano, 1994; Chithra y Leelamma, 1997; Kubo *et al.*, 2004; Bajpai *et al.*, 2005; Parthasarathy y Zachariah, 2008).

Palabras clave:

Aislamiento; Volátiles; *Coriandrum sativum* L.; Cilantro; Aroma; (E)-2-decenal.

Keywords:

Isolation of compounds; Volatiles; Aroma; *Coriandrum sativum* L.; Cilantro; (E)-2-decenal.

En la actualidad, *C. sativum* se cultiva en todo el mundo y se usa en alimentos como agente saborizante en la elaboración de bebidas y perfumes, en cosméticos y en la industria del tabaco (Mookherjee *et al.*, 1989; Parthasarathy y Zachariah, 2008). Particularmente, las hojas frescas del ci-

* Laboratorio de Cromatografía. Unidad de Ciencias de los Alimentos. Instituto Tecnológico Superior de La Huerta (ITSH). Av. Rafael Palomera No. 161, Col. El Maguey, C.P. 48850. La Huerta, Jalisco, México. Tel/fax: 3573840440, ext. 123. Correo electrónico: chava1142@yahoo.com.mx.

lantro son muy apreciadas para propósitos culinarios en China, México, América del Sur, India y Sureste de Asia (Potter y Fagerson, 1990; Fan y Sokorai, 2002; Parthasarathy y Zachariah, 2008).

Uno de los mayores atributos del cilantro es el aroma (Fan y Sokorai, 2002), característica sensorial generada por el contenido de compuestos volátiles (González *et al.*, 2009). Debido a ello, esta planta tiene numerosas aplicaciones prácticas, hecho que ha motivado la realización de varios estudios fitoquímicos orientados a la búsqueda de sus compuestos volátiles. A este respecto, Taskiness y Nykanen (1975) obtuvieron terpenoides, aldehídos y ésteres. MacLeod e Islam (1976) reportaron como compuestos volátiles a los aldehídos y terpenoides. Potter y Fagerson (1990) identificaron aldehídos, alcoholes y un alcanos en la composición del aroma y sabor del cilantro. Coleman y Lawrence (1992), Pino *et al.*, (1993) y Msaada *et al.*, (2007a) señalaron que los compuestos volátiles más abundantes son los terpenoides. Kerrola y Kallio (1993) consideraron a los terpenoides como los principales compuestos responsables del aroma y sabor, aunque también encontraron alcoholes, aldehídos, alcanos, ésteres y ácidos carboxílicos. Smallfield *et al.*, (1994) determinaron que los aldehídos son los componentes mayoritarios del cilantro. Fan y Sokorai (2002) identificaron aldehídos, un alcohol y un hidrocarburo.

En la mayoría de los alimentos, el aroma es el resultado de una mezcla compleja de sustancias químicas. Desde hace tiempo se han desarrollado algunas técnicas para separar los componentes volátiles, sin embargo, todas ellas son selectivas (Reineccius, 2007). Esta selectividad hace imposible extraer todas las sustancias aromáticas de un alimento y por tal, en ocasiones se emplea más de un método en la investigación (Pino, 2002). Dos técnicas tradicionalmente empleadas en el aislamiento de componentes aromáticos en los alimentos son la Extracción Sólido Líquido con solvente (LSE) y la Extracción-Destilación Simultánea (SDE), (Gerhardt, 1990; Pino, 2002; Reineccius, 2007). El procedimiento de extracción ayuda a obtener una muestra analítica concentrada y libre de otras sustancias que hagan interferencia durante el proceso (Maga, 1990; Chen *et al.*, 1998). En la determinación de compuestos volátiles es útil usar Cromatografía de Gases-Espectrometría de Masas (GC-MS), ya que permite separar los constituyentes de una mezcla compleja y obtener la concentración y estructura de cada uno de ellos (Musinan, 1993; Pino, 2002; Ortiz *et al.*, 2003).

Con la finalidad de contribuir en la identificación de componentes responsables del aroma del cilantro procedente de México, el objetivo del trabajo fue iden-

tificar compuestos volátiles de *Coriandrum sativum* L., mediante dos métodos de extracción y Cromatografía de Gases-Espectrometría de Masas.

MATERIALES Y MÉTODOS

Los reactivos químicos se compraron en Merck, Inc. Co. (U.S.A.), excepto el metil-éster del ácido decanoico que se adquirió de Sigma Chemical Co. (St. Louis, MO).

Muestras de cilantro: Se adquirieron hojas y tallos frescos de cilantro (*Coriandrum sativum* L.) en un mercado local de La Huerta, Jalisco, México. El cilantro adquirido estaba recién cosechado y en la etapa fenológica de madurez fisiológica; 60 días del cultivo. El material vegetal contenía 80% de humedad.

Extracción Sólido-Líquido con solvente (LSE):

Las hojas y tallos frescos (100 g) se homogenizaron y se transfirieron a un embudo de separación de 500 mL de capacidad, que contenía 300 mL de una mezcla de pentano-éter (1:1 v/v). Se agitó manualmente el embudo durante 5 min, se abrió la llave de paso del embudo en dirección superior para liberar la presión de los gases. El embudo se selló y se dejaron las muestras en reposo durante 2 h. La fase orgánica del contenido de compuestos volátiles del cilantro se aisló y recolectó en un frasco de vidrio color ámbar. El extracto se conservó en refrigeración a 4 °C hasta la concentración de compuestos volátiles y su análisis por GC-MS. La extracción se realizó con cinco repeticiones.

Extracción-Destilación Simultánea (SDE):

La extracción se realizó en un aparato Likens-Nickerson modificado (Schultz *et al.*, 1977). Se homogenizaron 100 g de tallos y hojas frescas con 100 mL de agua destilada. La muestra acuosa se depositó en un matraz redondo de 500 mL de capacidad, que se sujetó en el primer tubo lateral del extractor-destilador simultáneo. En el segundo tubo lateral del equipo, se colocó un matraz redondo de 500 mL de capacidad que contenía 300 mL de pentano-éter (1:1 v/v). Ambos matraces se sometieron a calentamiento a 50 °C. En tanto, en el tubo en forma de "U" del equipo, se agregaron 10 mL de agua destilada y 10 mL del solvente utilizado (pentano-éter) para lograr la interfase. Los vapores de la muestra y del solvente se juntaron en el espacio de cabeza del equipo en donde se condensaron por efecto del refrigerante (-5 °C); el líquido se acumuló en el tubo en forma de "U" en donde se realizó la extracción de compuestos durante 1 h por muestra. La fase orgánica del contenido de compuestos volátiles del cilantro se colectó en un frasco de vidrio color ámbar. El extracto se conservó en refrigeración a 4 °C.

La extracción se realizó con cinco repeticiones. Así, las muestras se prepararon para la concentración de componentes volátiles y sus análisis por GC-MS.

Concentración de compuestos volátiles: La concentración de los extractos obtenidos mediante los dos métodos anteriores, se realizó en el sistema Kuderna-Danish. Cada muestra concentrada se depositó en un vial HP de 2 mL, provisto de un inserto de 100 µL, el cual se selló con tapa de aluminio de septa interior. Los viales se conservaron a -20 °C hasta su análisis en GC-MS.

Análisis por Cromatografía de Gases-Espectrometría de Masas (GC-MS): Una vez concentrados los extractos aislados por ambos métodos, se analizaron muestras en un cromatógrafo de gases HP-6890 acoplado a un detector selectivo de Masas HP-5973 y equipado con una columna capilar no polar HP5-MS de 30 m x 0,2 mm x 0,25 µm con una fase estacionaria de 5% de metil-fenil-silicona (Hewlett Packard Inc., Palo Alto, CA). La ionización se efectuó por impacto electrónico a 70 eV. Las condiciones en que se analizaron las muestras en el equipo fueron: una temperatura inicial del horno de 40 °C durante 5 min hasta llegar a una temperatura final de 240 °C, una velocidad de incremento de temperatura de 5 °C/min, el gas acarreador fue helio grado cromatográfico con un flujo de 0.8 mL/min (INFRA S.A.), una temperatura del inyector de 220 °C y una temperatura del detector de 260 °C.

Identificación y cuantificación de compuestos volátiles: La identificación se realizó mediante comparación espectral de los picos del cromatograma de iones totales con los compuestos de referencia de una biblioteca Wiley 275L instalada en el Cromatógrafo de Gases-Espectrómetro de Masas. La cuantificación se llevó a cabo mediante la correlación del área de cada compuesto con el área del estándar interno. Es decir, se analizó la solución del estándar en el cromatógrafo en las mismas condiciones que se analizaron las muestras del cilantro. Se determinó el equivalente del porcentaje de área del estándar en relación a su contenido analizado en el GC-MS y con este criterio se determinaron las concentraciones con base en el porcentaje de área de cada compuesto identificado en el cromatograma. Se usó como estándar interno al metil éster del ácido decanoico. Se evaluó una alícuota de 200 µL de una solución stock preparada con un 1 µL de metil éster del ácido decanoico disuelto en 2000 µL de metanol.

Análisis estadístico: Las concentraciones totales de compuestos volátiles del cilantro se obtuvieron del promedio de las cinco repeticiones en cada método de

extracción (n=5). A las concentraciones de compuestos obtenidos en ambos métodos se les aplicó una prueba de “*t de Student*” ($p \leq 0.05$).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En el presente estudio se identificaron y cuantificaron compuestos volátiles en hojas y tallos frescos de cilantro (*Coriandrum sativum* L.) procedente de La Huerta, Jalisco, México. Se compararon dos métodos para aislar constituyentes volátiles: Extracción Sólido Líquido con solvente (LSE) y Extracción-Destilación Simultánea (SDE). En ambos métodos el análisis de los compuestos volátiles obtenidos se efectuó mediante Cromatografía de Gases-Espectrometría de Masas (GC-MS). Los componentes y su concentración (mg/g) se enlistan en la Tabla 1.

Con base en la concentración total de compuestos volátiles, las técnicas de aislamiento de LSE y SDE,

Tabla 1.

Compuestos volátiles identificados en cilantro mediante dos métodos de aislamiento y GC-MS. Los valores representan el promedio de cinco repeticiones para cada método (n=5). LSE: Extracción Sólido Líquido; SDE: Extracción-Destilación Simultánea.

No.	Compuesto:	Concentración (mg/g):	
		LSE	SDE
Alcoholes			
1.	3-ciclohexen-1-ol	0,80	1,50
2.	Alcohol bencílico	0,10	0,35
3.	(E)-2-tridecen-1-ol	0,22	0,20
4.	(E)-2-nonen-1-ol	0,30	0,33
5.	Undecanol	0,10	0,30
6.	Nonanol	0,95	0,98
Monoterpenos			
7.	α -terpineol	--	0,50
8.	Linalool	2,13	4,12
9.	p-cimeno	--	0,90
10.	Limoneno	--	0,54
Hidrocarburos			
11.	(Z)-ciclodeceno	2,11	3,91
12.	7-(Z)-hexadeceno	0,40	1,32
13.	N-Hexadecano	0,33	1,32
14.	1-octadeceno	--	0,90
15.	Nonano	--	0,20
Aldehídos			
16.	(E)-2-undecenal	1,12	1,00
17.	(E)-2-dodecenal	0,23	1,34
18.	(E)-2-decenal	4,23	9,15
19.	Octadecenal	--	0,10
20.	(E)-13-tetradecenal	0,12	0,53
21.	Benzaldehído	--	0,43
22.	Tridecanal	--	0,83
23.	Decanal	--	0,32
Número de compuestos:		14	23

fueron significativamente diferentes. Para LSE la concentración total fue de 13,14 mg/g y para SDE fue de 31,07 mg/g. La mayoría de los compuestos encontrados por LSE tuvieron una concentración menor a los determinados por SDE. También hubo variación en cuanto al número de constituyentes encontrados en un método y otro. Mediante LSE se identificaron y cuantificaron catorce compuestos volátiles en el cilantro, mientras que con SDE fueron veintitrés. Todos los componentes detectados por LSE, coincidieron con los determinados por SDE. Las variaciones encontradas entre las técnicas LSE y SDE se deben a que los compuestos volátiles se aíslan por afinidad a los materiales y condiciones de cada proceso, por lo que la obtención de ciertos componentes resulta favorecida con respecto a otros.

En el presente estudio, tanto para LSE como para SDE, los compuestos volátiles encontrados en el cilantro fueron aldehídos, monoterpenos, alcoholes e hidrocarburos. Los tres primeros grupos químicos comprendieron el 78% de los compuestos volátiles encontrados en los dos extractos. En las hojas se han reportado aldehídos (MacLeod e Islam, 1976; Fan y Sokorai, 2002) y a ellos junto con los alcoholes (Potter y Fageron, 1990; Smallfield *et al.*, 1994) como compuestos más abundantes. En cambio, en los frutos han figurado como principales componentes los monoterpenos (Taskiness y Nykanen, 1975; Coleman y Lawrence, 1992; Kerrola y Kallio, 1993; Pino *et al.*, 1993; Msaada *et al.*, 2007a). En *C. sativum*, la presencia de aldehídos y alcoholes puede deberse a la degradación de los ácidos grasos insaturados (Tamura *et al.*, 2001; Dudareva *et al.*, 2004). Los ácidos grasos son precursores de compuestos volátiles responsables de las notas frescas, verdes y frutales de las frutas y vegetales (Christensen *et al.*, 2007). Por otra parte, hay dos tipos principales de terpenoides que pueden contribuir significativamente al aroma de frutas y vegetales y son: monoterpenos y sesquiterpenos, que están presentes en el tejido intacto de las plantas; y los terpenos irregulares, que son producidos por rutas catabólicas y autooxidación (Dudareva *et al.*, 2004; Christensen *et al.*, 2007).

En el origen de aldehídos y alcoholes frecuentemente predominan los 2-alquenes (Potter y Fageron, 1990). Eyres *et al.*, (2005) reportaron que los (E)-2-alquenes se combinan con los (E)-2-alquen-1-oles y forman grupos de olores donde se localizan los principales compuestos responsables del olor del cilantro. En este estudio se obtuvieron (E)-2-alquenes en el rango de C₁₀-C₁₂, entre los que se encuentra el (E)-2-decenal, compuesto más abundante en el cilantro en

ambos métodos evaluados. Junto con éste, el (E)-2-undecenal y el (E)-2-dodecenal, integran más del 80% de la concentración de los aldehídos detectados para LSE y para SDE. El (E)-2-decenal aporta un olor moderadamente aceitoso y fresco (Tamura *et al.*, 2001) y ha sido reportado como el componente más abundante del cilantro en la planta entera (Smallfield *et al.*, 1994) y en las hojas frescas (Mookherjee *et al.*, 1989; Potter y Fageron, 1990); como componente minoritario en los frutos (Kerrola y Kallio, 1993); y como uno de los principales compuestos responsables del olor en las hojas del cilantro (Eyres *et al.*, 2005).

En el presente trabajo, el (E)-2-undecenal se encontró dentro de los cinco volátiles más abundantes en el método LSE, lo cual coincide con Mookherjee *et al.*, (1989), Potter y Fageron (1990) y Smallfield *et al.*, (1994). En el método SDE, figuró dentro de los ocho de mayor concentración, lo que coincide con Fan y Sokorai (2002). Por su parte el (E)-2-dodecenal formó parte, en el presente estudio, de los cinco y de los diez más abundantes para SDE y LSE, respectivamente. Varios autores han reportado al (E)-2-dodecenal dentro de los tres compuestos más abundantes (Mookherjee *et al.*, 1989; Potter y Fageron, 1990; Smallfield *et al.*, 1994; Fan y Sokorai, 2002; Msaada *et al.*, 2007b) e incluso figura entre los principales compuestos responsables del olor del cilantro (Eyres *et al.*, 2005).

Potter y Fageron (1990) mencionan que la presencia de los aldehídos insaturados en los volátiles de las hojas del cilantro también sugiere algunas interacciones planta-insecto y planta-microbio potencialmente interesantes. En este sentido, Kubo *et al.*, (2004) encontraron que el (E)-2-dodecenal y el (E)-2-undecenal caracterizados de las hojas frescas del cilantro poseen actividad bactericida contra *Salmonella choleraesuis* ssp. *choleraesuis*.

En el presente estudio también se identificaron (E)-2-alquen-1-oles y alcanos en el rango C₉-C₁₃, los que corresponden a más del 11% de la concentración total en cada técnica de extracción. Ninguno de ellos lo han reportado en el cilantro otros autores, sin embargo, los aldehídos de los que provienen sí son comunes. Probablemente esto se debió a la presencia de oxidoreductasas, enzimas implicadas en la interconversión de los alcoholes volátiles y los aldehídos (Dudareva *et al.*, 2004).

El linalool fue otro de los componentes abundantes obtenidos en el presente trabajo, tanto para LSE como para SDE. Este compuesto aporta al aroma una nota floral refrescante, arbolada y a limón (Tamura *et al.*,

2001). El linalool es considerado como uno de los contribuidores más importantes del aroma de los frutos del cilantro (Mookherjee *et al.*, 1989; Kerrola y Kallio, 1993) y es el componente predominante en cualquier etapa de su desarrollo (Msaada *et al.*, 2007a). Dicho compuesto también se ha encontrado en las hojas del cilantro, pero en menor concentración (Smallfield *et al.*, 1994; Fan y Sokorai, 2002).

Es importante mencionar que también puede haber importantes compuestos contribuidores del aroma en el valor más bajo de concentración (Christensen *et al.*, 2007), por ejemplo, en las frutas tropicales se han hallado compuestos en bajas concentraciones que dan altas notas sensoriales (Buttery, 1993). El p-cimeno, el limoneno, el α -terpineol, el benzaldehído, el decanal y el alcohol bencílico proporcionan notas verdes, frescas, florales, frutales, aceitosas y almendradas a las frutas y los vegetales (Christensen *et al.*, 2007). Todos estos compuestos fueron encontrados a baja concentración en este trabajo. No obstante, es posible que la presencia de algunos de ellos sea debida a la formación de artefactos durante la destilación (Reineccius, 2007), ya que casi todos los compuestos se encontraron únicamente por SDE.

Las frutas y verduras contienen una gran cantidad de compuestos volátiles y no volátiles, los cuales pueden transformarse química o enzimáticamente y generar sustancias, tales como alcoholes, aldehídos, terpenos y otros, que se encuentran como parte del sabor y del aroma de muchos productos. Muchos factores pueden afectar la síntesis de estos compuestos y, consecuentemente, la producción de los aromas. Entre ellos se encuentran: la variedad genética, los aspectos agronómicos, el manejo postcosecha y la metodología para aislar estos componentes (Christensen *et al.*, 2007). Esto podría explicar las dificultades de comparar los resultados de determinaciones cuantitativas y cualitativas de los compuestos aromáticos del cilantro, en los extractos obtenidos por diferentes técnicas de aislamiento reportadas en la literatura contra lo encontrado en este estudio.

En este trabajo, los aldehídos fueron el grupo químico de mayor concentración en el cilantro obtenidos por los métodos de extracción evaluados: LSE y SDE. No obstante, la Extracción-Destilación Simultánea ofreció las mejores perspectivas en comparación con el método extractivo, lo cual concuerda con lo reportado por Engel y Tressl (1983). El método SDE se ha aplicado principalmente en cilantro (Potter y Fagerson, 1990), jamaica (Chen *et al.*, 1998) y mango (Tamura *et al.*, 2001). Aunque actualmente dicha técnica se em-

plea menos que en el pasado, debido al surgimiento de métodos más sofisticados, todavía tiene gran valor (Reineccius, 2007).

Es importante mencionar que por las características aromáticas que están reportadas para los compuestos de otros grupos químicos (alcoholes y monoterpenos), es probable que los componentes que están presentes en baja concentración también tengan una trascendente contribución al aroma del cilantro y que hagan un efecto sinérgico con los aldehídos.

CONCLUSIONES

En el cilantro además de los volátiles biosintetizados, hay una mezcla de precursores no volátiles que pueden ser transformados en importantes compuestos aromáticos. Los aldehídos fueron los compuestos de mayor concentración. Particularmente, el 2-(E)-decanal fue su mejor representante por ser el compuesto más abundante. La Extracción-Destilación Simultánea presentó una visión cuantitativa y cualitativa más amplia de los compuestos volátiles del cilantro.

AGRADECIMIENTO

Se agradece al Instituto Tecnológico Superior de La Huerta por brindar el apoyo de los recursos necesarios en la realización del presente proyecto.

REFERENCIAS

- Argueta, V.A., y Cano, A.L. (1994). *Atlas de las Plantas de la Medicina Tradicional Mexicana*. Instituto Nacional Indigenista. México. pp. 443-444.
- Bajpai, M., Mishra, A., and Prakash, D. (2005). Antioxidant and free radical scavenging activities of some leafy vegetables. *Int. J. Food Sci. Nutr.* 56(7):473-481.
- Buttery, R.G. (1993). Quantitative and sensory aspects of flavor of tomato and other vegetables and fruits. *Flavour science. American Chemical Society*. Washington, DC. pp. 259-278.
- Chen, S.H., Huang, T.C., Ho, C.T., and Tsai, P.J. (1998). Extraction, analysis, and study on the volatiles in roselle tea. *J. Agric. Food Chem.* 46:1101-1105.
- Chithra, V., and Leelamma, S. (1997). Hypolipidemic effect of coriander seeds (*Coriandrum sativum*): mechanism of action. *J. Plant Foods Hum. Nutr.* 51(2):167-172.
- Christensen, L.P., Edelenbos, M., and Kreuzmann, S. (2007). Fruits and vegetables of moderate climate. *Flavours and Fragrances. Chemistry, Bioprocessing and Sustainability*. Berger, R.G. (ed.). Springer. Germany. pp. 135-181.
- Coleman, W.M., and Lawrence, B.M. (1992). Comparative automated static and dynamic quantitative headspace analyses of coriander oil. *J. Chromatogr. Sci.* (30):396-398.

- Dudareva, N., Pichersky, E., and Gershenzon, J. (2004). Biochemistry of plant volatiles. *Plant Physiol.* 135:1893-1902.
- Engel, K. H., and Tressl, R. (1983). Formation of aroma components from nonvolatile precursors in passion fruit. *J. Agric. Food Chem.* 31:998-1002.
- Eyres, G., Dufour, J.P., Hallifax, G., Sotheeswaran, S., and Marriott, P.J. (2005). Identification of character-impact odorants in coriander and wild coriander leaves using gas chromatography-olfactometry (GCO) and comprehensive two-dimensional gas chromatography-time-of-flight mass spectrometry (GC x GC-TOFMS). *J. Sep. Sci.* 28(9-10):1061-1074.
- Fan, X., and Sokorai, K.J.B. (2002). Changes in volatile compounds of γ -irradiated fresh cilantro leaves during cold storage. *J. Agric. Food Chem.* (50):7622-7626.
- Gerhardt, K.O. (1990). Gas chromatography-mass spectrometry. *Principles and applications of gas chromatography in food analysis*. Ellis Howard, New York. pp. 11-58.
- González, P.S., Estarrón, E.M., Gómez, L.J.F., and Andrade, G.I. (2009). Effect of the Temperature on the Spray Drying of Roselle Extracts (*Hibiscus sabdariffa* L.). *J. Plant Foods Hum. Nutr.* 64(1):62-67.
- Kerrola, K., and Kallio, H. (1993). Volatile compounds and odor characteristics of carbon dioxide extracts of coriander (*Coriandrum sativum* L.) fruits. *J. Agric. Food Chem.* (41):785-790.
- Kubo, I., Fujita, K., Kubo, A., Nihei, K., and Ogura, T. (2004). Antibacterial activity of coriander volatile compounds against *Salmonella choleraesuis*. *J. Agric. Food Chem.* 52(11):3329-3332.
- Lozoya, X., Velázquez, D.G., y Flores, A.A. (1992). La medicina tradicional en México. En: *Plantas Medicinales de México: Introducción a su estudio*. Ed. Universidad Autónoma de Chapingo. Unidad de Estudios Etnobotánicos. (2): 169-198.
- MacLeod, A.J., and Islam, R. (1976). Volatile flavour components of coriander leaf. *J. Sci. Food Agric.* (27):721-725.
- Maga, J.A. (1990). Analysis of aroma volatiles. En: *Principles and applications of gas chromatography in food analysis*. Ellis Howard, New York. Pp. 86-110.
- Mookherjee, B.D., Wilson, R.A., Trenkle, R.W., Zampino, M.J., and Sands, K.P. (1989). New dimensions in flavor research: Herbs and Spices. En: *Flavour Chemistry: Trends and Developments*. American Chemical Society. Washington, DC. pp. 176-187.
- Msaada, K., Hosni, K., Taarit, M.B., Chahed, T., Kchouk, M.E., and Marzouk, B. (2007a). Changes on essential oil composition of coriander (*Coriandrum sativum* L.) fruits during three stages of maturity. *Food Chem.* 102(4):1131-1134.
- Msaada, K., Hosni, K., Taarit, M.B., Chahed, T., and Marzouk, B. (2007b). Variations in the essential oil composition from different parts of *Coriandrum sativum* L. cultivated in Tunisia. *Ital. J. Biochem.* 56(1):47-52.
- Mussinan, C.J. (1993). Instrumental analysis in the flavor industry. En: *Flavor sciences. Sensible principles and techniques*. American Chemical Society. Washington, DC. pp. 169-224.
- Ortiz M.A., Dorantes, L., Galíndez, J., and Guzmán, R.I. (2003). Effect of different extraction methods on fatty acids, volatile compounds, and physical and chemical properties of avocado (*Persea americana* Mill.) oil. *J. Agric. Food Chem.* 51:2216-2221.
- Parthasarathy, V.A., and Zachariah, T.J. (2008). Coriander. En: *Chemistry of Spices*. Indian Institute of Spices Research. Kerala India. pp. 190-210.
- Pino, A. J. (2002). *Principios y métodos para el análisis del aroma en los alimentos*. Centro de Documentación e Información Científico - Técnica del Instituto de Investigaciones para la Industria Alimenticia. La Habana, Cuba. pp. 1-63.
- Pino, J., Borges, P., and Rocal, E. (1993). Compositional differences of coriander fruit oils from various origins. *Die Nahrung.* (37):119-122.
- Potter, T.L., and Fagerson, I.S. (1990). Composition of coriander leaf volatiles. *J. Agric. Food Chem.* (38):2054-2056.
- Reineccius, G.A. (2007). Flavour-Isolation Techniques. En: *Flavours and Fragrances. Chemistry, Bioprocessing and Sustainability*. Berger, R.G. (ed.). Springer. Germany. pp. 409-426.
- Schultz, T.M., Flath, R.A., Mon, T.R., Egging, S.B., and Teranishi, R. (1977). Isolation of volatiles components from model systems. *J. Agric. Food Chem.* 25:446-449.
- Smallfield, B.M., Perry, N.B., Beauregard, D.A., Foster, L.M., and Dodds, K.G. (1994). Effects of postharvest treatments on yield and composition of coriander herb oil. *J. Agric. Food Chem.* (42):354-359.
- Sosa, R. (2002). *El poder medicinal de las plantas*. Ed. Asociación Publicadora Interamericana. México. pp. 210-211.
- Tamura, H., Boonbumrung, S., Yoshizawa, T., and Varayanond, W. (2001). The volatile constituents in the peel and pulp of a green thai mango, Khieo Sawoei cultivar (*Mangifera indica* L.). *Food Sci. Technol. Res.* 7(1):72-77.
- Taskiness, J., and Nykanen, L. (1975). Volatile constituents obtained by the extraction with alcohol-water mixture and by steam distillation of coriander fruit. *Acta Chem. Scand.* (B29):425-429.
- Uchibayashi, M. (2001). The coriander story. *Yakushigaku Zasshi.* 36(1):56-70.