



ACEITE ESENCIAL DE ALGUNAS POBLACIONES DE *Tagetes lucida* CAV. DE LAS REGIONES NORTE Y SUR DEL ESTADO DE MÉXICO

ESSENTIAL OIL OF SOME POPULATIONS OF *Tagetes lucida* Cav. FROM THE NORTHERN AND SOUTHERN REGIONS OF THE STATE OF MEXICO

Johana Zarate-Escobedo¹, Elba L. Castañeda-González², Jesús A. Cuevas-Sánchez¹, Calixto L. Carrillo-Fonseca¹, César Ortiz-Torres¹, Emmanuel Ibarra-Estrada¹ y Miguel A. Serrato-Cruz^{1*}

¹Universidad Autónoma Chapingo. km 38.5 Carretera México-Texcoco. 56230, Chapingo, Estado de México. Tel. 595 9521500 exts. 6186, 6390.

²Fundación Salvador Sánchez Colín CICTAMEX S.C. Ignacio Zaragoza No. 6. 51700, Coatepec Harinas, Estado de México.

*Autor para correspondencia (serratocruz@gmail.com)

RESUMEN

La enorme riqueza natural de *Tagetes lucida* Cav. en el Estado de México no ha sido considerada como objeto de estudios fitoquímicos, una información básica para el desarrollo de bioplaguicidas. En este estudio se determinó la composición química del aceite esencial de poblaciones de *T. lucida* del norte y sur del Estado de México, donde se detectaron seis tipos de suelo y seis condiciones climáticas. El aceite de tallos florales de 14 poblaciones se obtuvo por hidrodestilación y se analizó por cromatografía de gases y espectrometría de masas (CG/EM) y se identificaron 44 compuestos químicos, 32 % de ellos en poblaciones del norte (9 a 13 compuestos) y 68 % en poblaciones del sur (16 a 23 compuestos). Los rendimientos de aceite esencial fueron de 0.005 a 0.02 % (mL 100 g⁻¹ de tejido seco), en poblaciones del norte, y de 0.0001 a 0.0005 % en las del sur. Los compuestos mayoritarios en poblaciones del norte, de clima templado frío, fueron fenilpropenos: anetol, estragol (35 y 46 %, respectivamente en la población Jilotepec) y metil eugenol (56 y 64 % en poblaciones Acambay y Atlacomulco, respectivamente). En poblaciones del sur, de clima cálido, los compuestos mayoritarios fueron monoterpenos: acetato de geranilo (25 a 33 % en Coatepec Harinas; 12 a 27 % en Villa Guerrero; 23 a 40 % en Ixtapan de la Sal; 31 % en Tonatico y 19 % en Pilcaya) y β -ocimeno (14 a 16 % en Coatepec Harinas; 15 a 23 % en Ixtapan de la Sal y Villa Guerrero; 24 % en Tonatico y Pilcaya). Los compuestos β -mirreno, β -ocimeno y linalool fueron comunes en todas las poblaciones y la presencia acetato de geranilo se reporta por vez primera para el género *Tagetes*.

Palabras claves: *Tagetes lucida*, acetato de geranilo, fenilpropenos, monoterpenos.

SUMMARY

The enormous natural richness of *T. lucida* in the State of Mexico has not been considered as an object in phytochemical studies, which is a basic information for the development of biopesticides. In this study, the chemical composition of the essential oil of populations of *T. lucida* from North and South of the State of Mexico was determined, where six types of soils and six climatic conditions were detected. The oil of floral stems from 14 populations of *T. lucida* was obtained by hydrodistillation and analyzed by gas chromatography and mass spectrometry (GC / MS), identifying 44 chemical compounds, 32 % of them in populations from the North (9 to 13 compounds) and 68 % in populations from the South (16 to 23 compounds). The yields of essential oil were from 0.005 to 0.03 % (mL 100 g⁻¹ of dry tissue), in Northern populations and from 0.001 to 0.005 % in Southern ones. Major compounds in Northern populations of cold temperate climates were phenylpropenes: anethole, estragole (35 and

46 % respectively in the Jilotepec population) and methyl eugenol (56 and 64 % in the Acambay and Atlacomulco populations, respectively). In Southern populations with a warm climate the major compounds were monoterpenes: geranyl acetate (25 to 33 % in Coatepec Harinas; 12 to 27 % in Villa Guerrero; 23 to 40 % in Ixtapan de la Sal; 31 % in Tonatico and 19 % in Pilcaya) and β -ocimene (14 to 16 % in Coatepec Harinas; 15 to 23 % in Ixtapan de la Sal and Villa Guerrero; 24 % in Tonatico and Pilcaya). The compounds β -myrcene, β -ocimene and linalool were common in all populations and the presence of geranyl acetate is reported here by first time for genus *Tagetes*.

Index words: *Tagetes lucida*, geranyl acetate, phenylpropenes, monoterpenes.

INTRODUCCIÓN

Los productos de las plantas aromáticas y medicinales se han utilizado ampliamente desde hace tiempo; las familias Asteraceae, Apiaceae y Lamiaceae son importantes desde el punto de vista de la producción de aceite esencial y por su actividad biológica (Bernáth, 2009). En Asteraceae, representada por 1911 géneros y 32,913 especies (The Plant List, 2013), destaca la presencia de compuestos químicos como alcaloides, monoterpenos, sesquiterpenos, lactonas, triterpenos, limonoides, aminas insaturadas, benzopiranos y terpenoides, con importante actividad biológica (Simmonds *et al.*, 1992). No obstante que las plantas en general representan una enorme reserva de compuestos biológicamente activos contra enfermedades y plagas (Stoll, 2000), las investigaciones en México sobre plantas aromáticas con importante actividad biológica han sido escasas.

Dentro de Asteraceae, el género *Tagetes* (tribu Tageteae) se compone de alrededor de 55 especies distribuidas principalmente en el continente americano, cerca de la mitad se localiza en México (Serrato, 2014) y la mayoría es aromática debido a la presencia de aceites esenciales en toda la planta (Poli *et al.*, 1995). La composición química del género *Tagetes* varía entre especies y está determinada

genéticamente y modulada ambientalmente; además, cada tipo de compuesto se acumula predominantemente en órganos específicos de la planta (Marotti *et al.*, 2004). En el caso de factores ambientales como el clima y la composición del suelo, en general estos influyen en la presencia de compuestos en la planta, incluso entre individuos de la misma especie (Karousou *et al.*, 2005).

Las especies de *Tagetes* de América presentan variabilidad química que no se ha estudiado ampliamente, y en el caso de México, este género se distribuye en los lugares más diversos de la geografía del país, por lo que se estima que ocurre un importante fenómeno de variabilidad en el perfil de aceites esenciales (Serrato, 2014); por ejemplo, en *T. minuta* se reporta variación en la composición de aceite esencial asociada con la diversidad de hábitats de las muestras (Zygadlo *et al.*, 1990) y se ha confirmado la existencia de quimiotipos (Gil *et al.*, 2000). En *T. filifolia* de la región centro-sur de México también se ha registrado el mismo fenómeno (Serrato-Cruz *et al.*, 2008).

Muchas especies y quimiotipos del género *Tagetes* se han revalorado como fuente de diferentes clases de metabolitos secundarios biológicamente activos (Green *et al.*, 1991; Hernández *et al.*, 2006) y en México recientemente varias especies de *Tagetes* han sido objeto de investigaciones sobre conservación, caracterización y aprovechamiento, especialmente para el desarrollo de bioplaguicidas, pero hace falta mucho por hacer (Serrato, 2014).

Tagetes lucida Cav. se distribuye como arvense-ruderal en América Central y del Sur (Turner, 1996). En México, la especie se localiza en elevaciones de 800 a 2700 msnm (Turner, 1996); en el Estado de México, *T. lucida* se distribuye en 22 municipios (Discover Life, 2014). Esta especie es reconocida por su aprovechamiento como planta ceremonial y en medicina tradicional (García-Sánchez *et al.*, 2012), donde destaca su uso para atenuar la fiebre, resolver problemas menstruales, combatir la diarrea, contra los 'aires', protección de cultivos (Lozoya, 1999), combatir disentería por amibas, giardiasis y ascariasis (Márquez *et al.*, 1999), para estimular el sistema inmune y regular ansiedad y depresión (Linares *et al.*, 1995); también tiene posibilidades de uso en agricultura ecológica en el biocontrol de insectos, nematodos (Omer *et al.*, 2015) y hongos fitopatógenos (Barajas *et al.*, 2011). Por lo general, *T. lucida* crece en lugares de clima templado (Turner, 1996), posiblemente en una amplia gama de variantes edáficas, altitudinales y de relieve, las cuales no se tienen descritas en un contexto ecogeográfico de la especie.

Algunos estudios sobre la composición química del

aceite esencial de *T. lucida* sugieren que el origen geográfico de las poblaciones parece estar relacionado con la variabilidad del contenido del aceite. En una población de plantas de Guatemala se reportó la presencia de 53 compuestos químicos con alto porcentaje de estragol (33.9 %), metil eugenol (24.3 %) y anetol (23.8 %) (Bicchi *et al.*, 1997); en otra población, en este caso de Cuba, se registraron 40 compuestos con abundancia de estragol (96.8 %) (Regalado *et al.*, 2011); y en muestras de Costa Rica y de México, los compuestos de mayor abundancia fueron, en el primer caso, estragol (97.3 %) (Ciccio, 2004), y en el segundo, metil eugenol (80 %) y estragol (12 %) (Serrato-Cruz *et al.*, 2007). Considerando la amplia distribución de *T. lucida* en México (Serrato, 2014), se esperaría encontrar relación entre la variabilidad química de la especie y los ambientes donde crece; sin embargo, este fenómeno no se encuentra documentado.

En el Estado de México, donde se distribuye *T. lucida*, es notable la variabilidad ambiental, además de una intensa actividad agrícola, particularmente en la región sur, en la que se producen especies hortícolas, cultivos estrechamente ligados a un alto consumo de agroquímicos. En la perspectiva de aprovechar el recurso natural de *T. lucida* del Estado de México como fuente potencial de bioplaguicidas, es necesario generar información básica sobre la variabilidad química del aceite esencial de poblaciones naturales. El objetivo del estudio fue identificar los compuestos químicos en el aceite esencial de poblaciones de *T. lucida* distribuidas en las regiones norte y sur del Estado de México y relacionarlos con las características ambientales de esos lugares, con la finalidad de contribuir al conocimiento de la fitoquímica de este recurso natural de México para su aprovechamiento.

MATERIALES Y MÉTODOS

Procedencia de las poblaciones

Tallos florales de *Tagetes lucida* Cav. se recolectaron en 14 sitios en el norte y sur del Estado de México (Cuadro 1). La recolecta se realizó durante septiembre a octubre de 2014 y en septiembre de 2015. Los sitios muestreados fueron georreferenciados con un geoposicionador (Garmin® modelo Etrex Summit Hc, Taipei, Taiwán) expresando las coordenadas en UTM y convertidas a unidades del sistema geodésico mediante el software conversión de coordenadas entre las proyecciones TM y Geodésicas (TMCalc) (INEGI, 2015). El material vegetal se ingresó al Herbario-Hortorio "Jorge Espinosa Salas" del Departamento de Preparatoria Agrícola de la Universidad Autónoma Chapingo.

Cuadro 1. Sitios de recolección de 14 poblaciones de *T. lucida* en las regiones norte y sur del Estado de México.

Municipio (Población)	Localidad	Coordenadas Geodésicas		Elevación (msnm)
		Latitud	Longitud	
Acambay (p1)	La Venta	19° 56' 4"	99° 47' 46"	2660
Jilotepec (p2)	San Lorenzo Oteyuco	19° 57' 23"	99° 34' 34"	2605
Atlacomulco (p3)	Autopista Toluca-Atlacomulco (Rancho Cotecito)	19° 45' 40"	99° 51' 16"	2520
Coatepec Harinas (p4)	Acuitlapilco	18° 54' 27"	99° 47' 45"	2208
Coatepec Harinas (p5)	Col. Guadalupe	18° 53' 35"	99° 46' 31"	2081
Villa Guerrero (p6)	San Felipe	18° 55' 31"	99° 39' 48"	2045
Villa Guerrero (p7)	San Felipe	18° 55' 33"	99° 38' 32"	1960
Villa Guerrero (p8)	San Felipe	18° 54' 39"	99° 38' 37"	1955
Ixtapan de la Sal (p9)	El Refugio	18° 49' 20"	99° 42' 23"	1907
Ixtapan de la Sal (p10)	Col. La Joya 3 de Mayo Linda Vista	18° 49' 32"	99° 41' 19"	1853
Coatepec Harinas (p11)	San Luis	18° 52' 16"	99° 45' 0"	1849
Ixtapan de la Sal (p12)	San Alejo	18° 50' 11"	99° 43' 31"	1841
Tonatico (p13)	La Puerta de Santiago	18° 45' 35"	99° 37' 19"	1592
Pilcaya (p14)	El Moyote	18° 41' 39"	99° 34' 51"	1493

Caracterización del medio ecológico de los sitios de recolecta de las poblaciones

Para la descripción del medio ecológico se elaboraron mapas de los puntos donde se colectaron las 14 poblaciones de *T. lucida*. El mapa edafológico se elaboró a partir del conjunto de datos vectorial edafológico escala 1:250,000 (INEGI, 2001a); el mapa vegetación y uso de suelo se elaboró a partir del conjunto de datos vectoriales sobre Ecorregiones Terrestres de México escala 1:1,000,000 (INEGI *et al.*, 2008). También se utilizó información de los datos vectoriales de provincias y subprovincias fisiográficas en escala 1:1,000,000 (INEGI, 2001b). Además, se elaboraron climogramas con datos de las temperaturas medias anuales y las precipitaciones medias anuales de las estaciones meteorológicas cercanas a los puntos de colecta de las poblaciones de *T. lucida* proporcionados por CONAGUA (2012) a través de la Red de Estaciones Climatológicas.

Extracción del aceite esencial

La extracción del aceite esencial se realizó a partir de 4 kg de tallos en floración. El material vegetal recolectado se fraccionó en partes de 2 cm mediante una picadora mecánica de aspas de rotación de fabricación nacional marca Igmar con motor Honda GX; el tejido vegetal picado se separó en cuatro muestras de 1 kg para destilación.

La extracción del aceite se hizo mediante el método de

hidrodestilación, como lo describen Díaz-Cedillo y Serrato-Cruz (2011), en el Laboratorio de la Fundación Salvador Sánchez Colín, CICTAMEX, S.C. Coatepec Harinas, Estado de México. El proceso de destilación requirió de 1 h y se realizaron cuatro destilaciones (repeticiones) para cada población. El rendimiento del aceite esencial de cada población se registró en mL por 100 g de peso de tejido seco (Yáñez *et al.*, 2011).

Análisis cromatográfico de los aceites esenciales

La identificación de los componentes de las 14 poblaciones de *T. lucida* se hizo por cromatografía de gases con detector de masas (Adams, 2001), mediante un cromatógrafo de gases CG 7890A (Agilent Technologies, Santa Clara, California, USA) acoplado a un detector selectivo de masas 5975C Inert MSD con un detector triple eje (Agilent Technologies, Santa Clara, California, USA) con ionización por impacto eléctrico (IE) de 70 eV y una columna HP-5ms® de 30 m × 0.25 mm de diámetro × 0.25 µm (California, USA) que se empacó con 5 % difenil-95 % dimetilpolisiloxano. Las temperaturas del inyector y del detector se mantuvieron a 250 y 280 °C, respectivamente, y se alcanzaron a una velocidad de 10 °C min⁻¹. La temperatura del horno se inició en 70 °C, se mantuvo así por 1 min y se programó para alcanzar las temperaturas y la velocidad antes señaladas. La velocidad de flujo del gas acarreador (helio) se mantuvo a 1 mL min⁻¹. Muestras diluidas (1/100) se inyectaron en acetona (v/v) de 1 µL, manualmente en modo "split" automático (para diluir) mediante un inyector

7683D (Agilent Technologies, Santa Clara, California, USA).

Los datos de abundancia relativa se obtuvieron a partir del porcentaje de área de los picos cromatográficos. Como compuestos mayoritarios se consideraron aquellos con más de 5 % de abundancia relativa y como compuestos minoritarios aquellos con menos de 5 % de abundancia relativa. Cuarenta y siete muestras se procesaron, y la identificación de los componentes se realizó por comparación de los índices de retención relativa, más los espectros de masas comparados en la base de datos NIST 05 del sistema GC-MS (National Institute of Standard and Technology) y con los datos espectrales publicados en Adams (2001).

RESULTADOS

Medio ecológico de *T. lucida*

Las poblaciones *T. lucida* se ubicaron desde 1493 hasta 2660 msnm en diferentes condiciones fisiográficas. Las características ambientales donde estuvieron distribuidas las 14 poblaciones fueron variables (Cuadro 2): suelos feozem, cambisol, planosol, luvisol, vertisol y regosol; y subtipos climáticos $Cw_2(w)i'g$, $Cw_1(w)ig$, $Cw_1(w)i'g$, $Cw_2(w)ig$, $(A)Cw_1(w)i'g$ y $(A)Cw_2(w)i'g$, los cuales se diferenciaron

por gradiente térmico, de menor a mayor temperatura. Las poblaciones del norte (Atlacomulco, Jilotepec y Acambay), ubicadas a mayor elevación (2520 a 2660 msnm) y de clima templado ($Cw_2(w)i'$ y $Cw_1(w)i$), se distinguieron por desarrollarse en temperaturas bajas; por ejemplo, las mínimas registradas en enero fueron entre 10 y 12 °C. En los sitios de la región sur, de climas templado ($Cw_2(w)i'g$) y semicálido ($(A)Cw_1(w)i'$) situados en un intervalo de elevación de 1493 a 2208 msnm, las temperaturas mínimas de enero fueron entre 14.7 y 17.2 °C. La temperatura media anual en la zona norte fue de 13.1 a 15.4 °C y en la zona sur de 16.9 a 20 °C.

Rendimiento de aceite esencial

Con referencia al peso de tejido seco, las poblaciones del norte, de clima templado, tuvieron mayor rendimiento de aceite (0.005 a 0.03 %) que las del sur (0.0001 a 0.0005 %), de clima semicálido (Cuadro 3); tendencia que también se reflejó considerando el peso de tejido fresco (0.01 a 0.07 % en las del norte y 0.005 a 0.02 % en las del sur).

Composición química del aceite esencial

Un total de 44 compuestos químicos se identificaron

Cuadro 2. Relación entre medio ecológico y moléculas mayoritarias presentes en el aceite esencial de 14 poblaciones (p) de *T. lucida* recolectadas en la Zona Norte y sur del Estado de México.

Moléculas mayoritarias y condiciones ecológicas	Poblaciones				
	Acambay (p1)	Jilotepec (p2)	Atlacomulco (P3)	Coatepec Harinas (p4)	Coatepec Harinas (p5)
Moléculas mayoritarias (%)	Metil eugenol (56.89 %) Anetol (9.93 %) Estragol (9.38 %) Isoeugenol metil éter (8.93 %) β -Ocimeno (6.27 %)	Estragol (46.92 %) Anetol (35.75 %)	Metil eugenol (64.59 %) Estragol (7.46 %) β -Ocimeno (6.32 %)	Acetato de geranilo (33.11 %) β -Ocimeno (14.29 %) Nerolidol (7.68 %) β -Cubebeno (6.99 %) Cariofileno (6.11 %) β -Mirceno (5.59 %)	Acetato de geranilo (25.92 %) β -Ocimeno (16.89 %) Germacreno D (8.16 %) β -Mirceno (7.99 %) Nerolidol (7.93 %) Cariofileno (5.95 %) Elixeno (5.32 %)
Elevación (msnm)	2660	2605	2520	2208	2081
Temperatura promedio anual (° C)	13.8	15.4	13.1	16.9	16.9
Precipitación promedio anual (mm)	68.8	66	58.5	86.8	86.8
Clima	$Cw_2(w)i'g$	$Cw_1(w)ig$	$Cw_1(w)i'g$	$Cw_2(w)ig$	$Cw_2(w)ig$
Suelo	Feozem	Cambisol	Planosol	Luvisol	Luvisol
Provincia fisiográfica	A	A	A	A	A

Cuadro 2. C o n t i n ú a.

Moléculas mayoritarias y condiciones ecológicas	Poblaciones				
	Villa Guerrero (p6)	Villa Guerrero (p7)	Villa Guerrero (p8)	Ixtapan de la Sal (p9)	Ixtapan de la Sal (p10)
Moléculas mayoritarias (%)	Acetato de geranilo (27.53 %) β-Ocimeno (21.38 %) Nerolidol (7.87 %) β-Cubebeno (7.40 %) Cariofileno (6.14 %)	Acetato de geranilo (20.52 %) β-Ocimeno (15.83 %) Nerolidol (11.63 %) Cariofileno (8.33 %) Germacreno D (7.62 %) Elixeno (5.14 %)	β-Ocimeno (22.52 %) Acetato de geranilo (12.87 %) Cariofileno (10.95 %) Nerolidol (10.20 %) Germacreno D (7.78 %)	Acetato de geranilo (29.20 %) β-Ocimeno (23.13 %) β-Mirceno (7.11 %) Nerolidol (6.03 %) β-Cubebeno (5.71 %)	Acetato de geranilo (40.83 %) β-Ocimeno (15.14 %) Nerolidol (8.19 %) Cariofileno (5.29 %) β-Cubebeno (5.17 %)
Elevación (msnm)	2045	1970	1955	1907	1853
Temperatura promedio anual (°C)	17.1	17.1	17.1	17.9	17.9
Precipitación promedio anual (mm)	94.2	94.2	94.2	74	74
Clima	Cw ₂ (w)ig	Cw ₂ (w)ig	Cw ₂ (w)ig	Cw ₁ (w)i'g	Cw ₁ (w)i'g
Suelo	Vertisol	Vertisol	Vertisol	Regosol	Vertisol
Provincia fisiográfica	B	A	B	B	B

Cuadro 2. C o n t i n ú a.

Moléculas mayoritarias y condiciones ecológicas	Poblaciones			
	Coatepec Harinas (p11)	Ixtapan de la Sal (p12)	Tonatico (p13)	Pilcaya (p14)
Moléculas mayoritarias (%)	Acetato de geranilo (25.46 %) β-Ocimeno (16.47 %) Nerolidol (10.64 %) Cariofileno (6.74 %) β-Cubebeno (6.13 %)	Acetato de geranilo (23.84 %) β-Ocimeno (19.57 %) Nerolidol (9.81 %) Cariofileno (7.88 %) β-Cubebeno (5.68 %) β-Mirceno (4.99 %)	Acetato de geranilo (31.72 %) β-Ocimeno (24.91 %) Nerolidol (8.65 %) Metil eugenol (6.27 %)	β-Ocimeno (24.03 %) Acetato de geranilo (19.26 %) Nerolidol (12.52 %) β-Cubebeno (7.32 %) Cariofileno (6.73 %)
Elevación (msnm)	1849	1841	1592	1493
Temperatura promedio anual (°C)	16.9	17.9	20	20
Precipitación promedio anual (mm)	86.8	74	79.4	91.6
Clima	Cw ₂ (w)ig	Cw ₁ (w)i'g	(A)Cw ₁ (w)i'g	(A)Cw ₂ (w)i'g
Suelo	Vertisol	Vertisol	Vertisol	Vertisol
Provincia fisiográfica	A	B	B	B

A: Eje Neovolcánico, B: Sierra Madre del Sur; Cw₂(w)ig Clima templado subhúmedo, el más húmedo de los subhúmedos, con régimen de lluvias en verano, poco oscilante y con marcha anual de la temperatura tipo Ganges; Cw₁(w)ig Clima templado subhúmedo, el normal de los subhúmedos, con régimen de lluvias en verano, isotermal y con marcha anual de la temperatura tipo Ganges; Cw₁(w)i'g Clima templado subhúmedo, el normal de los subhúmedos, con régimen de lluvias en verano, poco oscilante y con marcha anual de la temperatura tipo Ganges; Cw₂(w)ig Clima templado subhúmedo, el más húmedo de los subhúmedos con régimen de lluvias en verano, isotermal y con marcha anual de la temperatura tipo Ganges; (A) Cw₁(w)i'g Clima templado con tendencia a ser tropical, el normal de los subhúmedos, con régimen de lluvias en verano, poco oscilante y con marcha anual de la temperatura tipo Ganges; (A)Cw₂(w)i'g Clima templado con tendencia a ser tropical, el más húmedo de los subhúmedos, con régimen de lluvias en verano, poco oscilante y con marcha anual de la temperatura tipo Ganges.

en el aceite esencial de las poblaciones, separados en tiempos de retención desde 3 hasta 12 min (Cuadro 4). La cantidad de compuestos en las poblaciones según la zona fue así: en el norte, 9 en Acambay y Atlacomulco y 13 en Jilotepec; en el sur, 16 en Ixtapan de la Sal, 17 en Tonicato, 19 en Coatepec Harinas, Ixtapan de la Sal y Pilcaya y 23 en Villa Guerrero.

Los compuestos β -mirceno, β -ocimeno y linalool se encontraron en todas las poblaciones. El compuesto β -mirceno fue mayoritario en Coatepec Harinas y en Ixtapan de la Sal (4.9 a 7.9 %), pero fue compuesto minoritario en el resto de las poblaciones; β -ocimeno fue mayoritario en gran parte de las poblaciones (6.27 a 24.91 %), pero minoritario en Jilotepec; linalool también estuvo presente como compuesto minoritario (0.84 a 3.69 %). El acetato de geranilo se presentó en 13 de las poblaciones, pero no en la de Acambay (de la zona norte); de las 13 poblaciones, en 11 de la zona sur este metabolito secundario fue mayoritario (12 a 40.8 %), pero en Jilotepec y Atlacomulco, poblaciones de la zona norte, se comportó como un compuesto minoritario (0.26 y 1.74 %, respectivamente) (Cuadro 4).

Por otra parte, los compuestos β -pineno (0.09 y 0.83 %) y δ -cadineno, poco abundantes (0.79 y 2.27 %, respectivamente), solamente se presentaron en las 11 poblaciones del sur. Cariofileno y nerolidol se presentaron

como compuestos minoritarios en las poblaciones de Jilotepec y Tonicato, pero en el resto de las poblaciones resultaron con mayor porcentaje (4.6 a 10.9 % y 6 a 12.5 %, respectivamente).

Los compuestos estragol, anetol y metil eugenol, que fueron mayoritarios, se encontraron únicamente en las poblaciones de la zona norte (Acambay, Jilotepec y Atlacomulco). El estragol fue menos abundante en Atlacomulco (7.46 %) y Acambay (9.38 %) que en Jilotepec (46.92 %); la cantidad de anetol fue menor en Acambay (9.93 %) que en Jilotepec (35.75 %) y no fue mayoritario en Atlacomulco; el metil eugenol se registró en Acambay y Atlacomulco en proporción parecida (56.89 %, 64.59 %) y como minoritario en Jilotepec. En general, otros compuestos minoritarios en el aceite esencial de las 14 poblaciones de *T. lucida* variaron en presencia y abundancia (Cuadro 4).

DISCUSIÓN

Las características ambientales de las poblaciones de *T. lucida* del norte y sur del Estado de México constituyen la primera referencia de la distribución ecogeográfica de esa especie en la entidad. La variabilidad de clima y de suelo encontrada principalmente se asocia con la conformación territorial, en este caso, la formación del Eje Neovolcánico y la Sierra Madre del Sur constituyen un factor ampliamente vinculado con la diversidad vegetal (Rammamoorthy *et al.*, 1998). En el Eje Neovolcánico es donde se ha encontrado la mayor cantidad de especies de *Tagetes* (Serrato, 2014).

El género *Tagetes* es reconocido como una fuente de aceites esenciales y componentes químicos biológicamente activos (Vasudevan *et al.*, 1997). Los compuestos mayoritarios identificados en el aceite esencial de *T. lucida* de las 14 poblaciones del Estado de México corresponden a los grupos químicos de monoterpenos, sesquiterpenos y fenilpropanos (Lange y Ahkami, 2013). Algunos metabolitos secundarios encontrados ya se habían identificado como compuestos mayoritarios en otras muestras originarias de puntos geográficos diferentes a México; por ejemplo, de Guatemala, en las que estragol, anetol y metil eugenol son mayoritarios (Bicchi *et al.*, 1997), mientras que en poblaciones de Costa Rica o de Cuba el estragol es abundante (Ciccio, 2004; Regalado *et al.*, 2011); sin embargo, los compuestos β -ocimeno, β -cubebeno, β -mirceno, germacreno D, cariofileno y nerolidol, que tuvieron un porcentaje alto en algunas poblaciones analizadas en el presente trabajo, no se habían reportado como compuestos mayoritarios en estudios previos, pero sí como compuestos menores (0.2 a 2.3 %) (Bicchi *et al.*, 1997; Céspedes *et al.*, 2006; Ciccio, 2004; Regalado *et al.*, 2011).

Cuadro 3. Rendimiento del aceite esencial de 14 poblaciones (p) de *T. lucida*.

Procedencia (Población)	En tejido fresco (mL 100 g ⁻¹)	En tejido seco (mL 100 g ⁻¹)
Norte		
Acambay (p1)	0.01	0.005
Jilotepec (p2)	0.05	0.02
Atlacomulco (p3)	0.07	0.03
Sur		
Coatepec Harinas (p4)	0.005	0.0001
Coatepec Harinas (p5)	0.01	0.0003
Villa Guerrero (p6)	0.01	0.0002
Villa Guerrero (p7)	0.01	0.0002
Villa Guerrero (p8)	0.005	0.0001
Ixtapan de la Sal (p9)	0.012	0.0003
Ixtapan de la Sal (p10)	0.02	0.0005
Coatepec Harinas (p11)	0.008	0.0002
Ixtapan de la Sal (p12)	0.005	0.0001
Tonicato (p13)	0.007	0.0001
Pilcaya (p14)	0.01	0.0002

Cuadro 4. Porcentaje de abundancia relativa de compuestos (nombre técnico) en el aceite esencial de 14 poblaciones (p) de *T. lucida* del norte y sur del Estado de México.

Compuesto	p1	p2	p3	p4	p5	p6	p7	p8	p9	p10	p11	p12	p13	p14
Biciclo[3.1.1]hept-2-eno, 3,6,6-trimetil-											0.18			
(1S,5S)-2,6,6-Trimetil biciclo[3.1.1]hept-2-ene((-)- α -Pino)									0.09		0.83			
6,6-Dimetil-2-metilenebiciclo[3.1.1]heptano				0.82	0.59	1.42	0.65	2.88	2.05	0.55	1.39	0.65	0.85	1.10
7-Metil-3-metileno-1,6-octadieno (Mirceno) [†]	3.27	2.14	4.84	5.59	7.99	3.08	2.16	1.07	7.11	4.79	2.25	4.99	2.31	1.29
3-Hexeno-1-ol, acetato, (E)-							0.88		0.90				0.38	
3-Hexeno-1-ol, acetato, (Z)-				1.04	1.01	0.66		0.51		0.29	1.36	1.03		0.36
E)-3,7-Dimetilocta-1,3,6-trieno				0.79	0.88	1.39	0.84	1.27	0.99			0.86	0.98	1.48
3,7-dimetil-1,3,6-octatrieno (β -Ocimeno) [†]	6.27	3.21	6.32	14.29	16.89	21.38	15.83	22.52	23.13	15.14	16.47	19.57	24.91	24.03
2,6-dimetil-2,7-octadien-6-ol	0.99	3.69	3.09	1.16	1.19	1.47	1.33	1.07	1.84	1.23	1.59	1.47	0.84	0.95
3,7-Dimetil-2,6-octadieno acetato (Acetato de geranilo) [†]		0.26	1.74	33.11	25.92	27.53	20.52	12.87	29.20	40.83	25.46	23.84	31.72	19.26
2-Metil-4-(2,6,6-trimetilciclohex-1-enil)but-2-en-1-ol									0.11					
Biciclo[3.1.1]hept-3-eno, 2-formilmetil-4,6,6-trimetil-														3.59
Biciclo[3.1.1]hept-2-eno, 3,6,6-trimetil-											0.88			
Biciclo[4.3.0]nonan-2-ona, 8-isopropilideno-											0.55			
Ácido acético, hexil éster							0.22				0.25			
1-alil-4-metoxibenceno (Estragol) [†]	9.38	46.92	7.46										1.80	
(3Z)-4,11,11-trimetil-8-metilidenbiciclo[7.2.0]undecen-3-eno				2.14	2.37	2.04	2.55	3.19	1.45	1.57	2.16	2.47		
3-Metil-2-pent-2-enil-ciclopent-2-enona									0.62					
1,2-Dimetoxi-4-prop-2-en-1-ylbenceno (Metil eugenol) [†]	56.89	1.67	64.59	0.68	0.57	0.88	0.88		1.42		0.68	0.80	6.27	1.35
trans-1-metoxi-4-(prop-1-enil)benceno (Anetol) [†]	9.93	35.75	4.48										1.53	
E)-1,2-Dimetoxi-4-(prop-1-en-1-yl)benceno (Isoeugenol metil éter) [†]	8.93	0.15	4.36											
Benzaldehído, 4-metoxi-		1.27												
4,11,11-trimetil-8-metileno-biciclo[7.2.0]undec-4-eno (Cariofileno) [†]		0.35		6.11	5.95	6.14	8.33	10.9	4.67	5.29	6.74	7.88	2.55	6.73

Cuadro 4. C o n t i n ú a.

Compuesto	p1	p2	p3	p4	p5	p6	p7	p8	p9	p10	p11	p12	p13	p14
2,6,6,9-Tetrametil-1,4,8-cicoundecatrieno (E,E,E)-(1 <i>R</i> ,4 <i>R</i> ,6 <i>R</i> ,10 <i>S</i>)-4,12,12-Trimetil-9-metileno-5-oxatriciclo[8.2.0.0 ^{4,6}]dodecano (1 <i>R</i> ,2 <i>S</i> ,6 <i>S</i> ,7 <i>S</i> ,8 <i>S</i>)-8-isopropil-1,3-dimetiltriciclo[4.4.0.0 ^{2,7}]dec-3-eno					0.64	0.58	1.08	1.10		0.45	0.71	0.82	0.41	0.52
Tricyclo[4.4.0.0(2,7)]dec-3-ene, 1,3-dimethyl-8-(1-methylethyl)-				0.27	0.38	0.29		0.24		0.21	0.29		0.40	0.48
2-Isopropenil-1-metil-4-(1-metiletilideno)-1-vinilciclohexano						4.20		4.25		3.97	4.93		2.40	
1-Isopropil-4,7-dimetil-1,3,4,5,6,8a-hexahidro-4a(2H)-naptaleno				1.39			0.55	0.53						
1,6,10-Dodecatrieno, 7,11-dimetil-3-metileno-, (E)-				1.94	1.99	2.09			1.55	1.27		2.61		1.70
1,6,10-Dodecatrieno, 7,11-dimetil-3-metileno-, (Z)-							2.49	2.66			2.54		0.88	
3,7,11-Trimetil-1,6,10-dodecatrieno-3-ol (Nerolidol) [†]		0.79		7.68	7.93	7.87	11.63	10.20	6.03	8.19	10.64	9.81	8.65	12.52
1,6-Ciclododecadieno, 1-metil-5-metileno-8-(1-metiletil)-, [s-(E,E)]-(Germacreno D) [†]		0.56			8.16		7.62	7.78					4.80	
1,4,7-Cicoundecatrieno, 1,5,9,9-tetrametil-, Z,Z,Z-(3 <i>a</i> s,3 <i>b</i> r,4 <i>s</i> ,7 <i>r</i> ,7 <i>a</i> r)-7-metil-3-metilideno-4-(propan-2-yl)octahidro-1h-ciclopenta[1,3]cyclopropano[1,2]benzeno (β-Cubebeno) [†]	0.91		0.66	6.99		7.40	0.36	0.37	5.71	5.17	6.13	5.68		7.32
1,3,6,10-Dodecatetraeno, 3,7,11-trimetil-, (E,E)-1-Metil-4-(1-metiletilideno)-2-(1-metilvinil)-1-vinilciclohexano (Elixeno) [†]	0.33	0.3		4.56	5.32		5.14		3.88			4.82		
Ciclohexano, 2-etenil-1,1-dimetil-3-metileno-						0.17								
Ciclohexeno, 1-metil-4-(5-metil-1-metileno-4-hexenil)-, (S)-1 <i>S</i> ,8 <i>a</i> R)-1-isopropil-4,7-di-metil-1,2,3,5,6,8a-hexahidronaftaleno				1.35	1.25	1.07	2.27	2.09	0.79	0.86	1.58	1.45	1.14	0.97
8-Acetil-5,5-dimetil-nona-2,3,8-ácido trienoico, metil éster						0.19								

Cuadro 4. C o n t i n ú a.

Compuesto	p1	p2	p3	p4	p5	p6	p7	p8	p9	p10	p11	p12	p13	p14
1,6,10-Dodecatrieno-3-ol, 3,7,11-trimetil-, 3-acetato, (3S,6Z)-						0.64	0.91							
1-Naftalenol,1,2,3,4,4a,7,8,8a- octahidro-1,6-dimetil-4-(1- metiletil)-,(1S,4S,4aR,8aR)-					1.37	1.30	2.01	1.83		1.19	1.58	1.44		1.71
1,1,7-trimethyl-4-methylidene- 1a,2,3,4a,5,6,7a,7b- octahydrocyclopropa[h] azulen-7-ol				1.41	1.39						2.33			

[†]Corresponde a nombre trivial

El acetato de geranilo como compuesto mayoritario (12.8 a 40.8 %) en casi todas las poblaciones de *T. lucida* no se había registrado para esta especie (Bicchi *et al.*, 1997; Céspedes *et al.*, 2006; Ciccio, 2004; Regalado *et al.*, 2011); incluso, no se había consignado la presencia de esta molécula en el género *Tagetes* (López *et al.*, 2011; Marotti *et al.*, 2004). Como compuesto mayoritario, el acetato de geranilo se encuentra en especies como *Dracocephalum moldavica* L. (24.93 %) (Abd El-Baky y El-Baroty, 2008), *Thapsia minor* (82.3 %) (Gonçalves *et al.*, 2012), *Thymus villosus* subsp. *lusitanicus* (25 %) (Pinto *et al.*, 2013) y *Daucus carota* subsp. *gummifer* (37 %) (Valente *et al.*, 2015).

El rendimiento de aceite esencial en peso fresco (0.008 a 0.01 %) difiere de los resultados de Ismail *et al.* (2013) quienes reportan un rendimiento mayor (0.4 a 0.6 %) para *T. lucida*; también fue un rendimiento bajo comparado con el de otras especies de *Tagetes* como *T. minuta* (0.7 %), *T. rupestris* (0.8 %), *T. terniflora* (0.7 %) y *T. filifolia* (0.2 a 1.6 %) (Gil *et al.*, 2000; López *et al.*, 2011). Aunque el mayor rendimiento de aceite con presencia de fenilpropanoides se registró en poblaciones del norte del Estado de México, existen otras fuentes vegetales de fenilpropanoides como el hinojo (*Foeniculum vulgare*), del cual se extrae mayor cantidad de aceite esencial (2 a 6 %) (Moradi *et al.*, 2011). El manejo agronómico podría contribuir a la mejora de la productividad de las poblaciones de *T. lucida*, como ya se ha consignado en otros trabajos sobre esta especie (Ismail *et al.*, 2013).

Los grandes contrastes que hubo entre los compuestos identificados, principalmente entre las moléculas estragol, anetol, cariofileno, acetato de geranilo y nerolidol, se encuentran asociados con factores ambientales como la elevación y el clima, ya que resulta evidente que las moléculas estragol y anetol se presentaron como compuestos mayoritarios en las poblaciones del norte, a elevaciones de 2520 a 2660 msnm y a temperaturas y precipitaciones

medias anuales de 10 a 17 °C y de 7 a 175 mm, respectivamente; mientras que las moléculas acetato de geranilo, nerolidol y cariofileno fueron compuestos mayoritarios de poblaciones del sur que se encuentran en elevaciones menores (1493 a 2208 mnm) con temperatura alta (14 a 23 °C) y precipitación media anual de alrededor de 250 mm. Además, el 68 % de los compuestos identificados no estuvieron presentes en poblaciones del norte del Estado de México, lo que sugiere que estas variaciones podrían atribuirse a la influencia del clima (Cuadro 2) (Bajalan y Pirbalouti, 2015; Formisano *et al.*, 2015). La procedencia geográfica y las condiciones de crecimiento de las especies aromáticas influyen significativamente en la composición de los aceites esenciales y, en consecuencia, en la actividad biológica, antioxidante y otras propiedades que pueden tener los aceites esenciales (Djerrad *et al.*, 2015).

El efecto biológico de algunos de los compuestos mayoritarios del aceite esencial de las 14 poblaciones de *T. lucida* se encuentra documentado en función de su presencia en otras especies; por ejemplo, el β -ocimeno tiene propiedades antiinflamatorias, antibióticas, antioxidantes, induce resistencia a patógenos y es importante en la protección de plantas aromáticas contra insectos plaga (Adorjan y Buchbauer, 2010). El acetato de geranilo tiene propiedades antibacterianas, antifúngicas y citotóxicas contra levaduras, dermatofitos y cepas de *Aspergillus*, también contra *Penicillium notatum*, *Mucora heimalis*, *Fusarium oxysporum*, *Cryptococcus neoformans* y *Candida albicans* (Abd El-Baky y El-Baroty, 2008; Gonçalves *et al.*, 2012; Pinto *et al.*, 2013; Valente *et al.*, 2015). El acetato de geranilo y el nerolidol tienen actividad tóxica contra larvas de *Aedes aegypti* (Muñoz *et al.*, 2014). A los compuestos cariofileno y β -mirreno se les atribuye efecto insecticida contra larvas de mosquitos y efecto fungicida (Jaenson *et al.*, 2006). El compuesto estragol presenta actividad biológica antifúngica contra *Trichophyton* sp. (Shin, 2004) y *Candida* (Shin y Pyun, 2004), el metil eugenol y anetol tienen actividad

antimicrobiana y antifúngica (Senatore *et al.*, 2013). El gremacreno D es un compuesto que tiene efectos antimicrobiano e insecticida (Røstelién *et al.*, 2000).

Los extractos acuosos y el aceite esencial de *T. lucida* tienen propiedades antioxidantes, antimicrobianas, insecticidas y nematocidas (Omer *et al.*, 2015; Vasudevan *et al.*, 1997) y pueden ser una alternativa al uso de productos químicos utilizados en la agricultura para el control de plagas y enfermedades. En el Estado de México este recurso natural todavía es abundante y los resultados del presente estudio son una referencia importante para realizar trabajos sobre toxicología contra enfermedades y plagas.

CONCLUSIONES

En las zonas norte y sur del Estado de México, donde se distribuyen poblaciones de *T. lucida*, se presenta amplia variabilidad climática y edáfica; el rendimiento y composición del aceite esencial de las poblaciones también fue variable en esas zonas. En las poblaciones se identificaron de 9 a 23 metabolitos secundarios, de los cuales tres compuestos mayoritarios de naturaleza fenilpropanoide fueron distintivos en poblaciones del norte en clima templado y ocho compuestos mayoritarios de origen monoterpénico en poblaciones del sur en clima más cálido. Tres monoterpenos fueron comunes en las poblaciones y se detectó un nuevo monoterpeno en las poblaciones del sur.

BIBLIOGRAFÍA

- Abd El-Baky H. H. A. and G. S. El-Baroty (2008) Chemical and biological evaluation of the essential oil of Egyptian moldavian balm (*Dracocephalum moldavica* L.). *International Journal of Integrative Biology* 3:202-208.
- Adams R. P. (2001) Identification of Essential Oils Components by Gas Chromatography/Quadrupole Mass Spectroscopy. Allured Publishing Corp. Carol Stream, Illinois, USA. 456 p.
- Adorjan B. and G. Buchbauer (2010) Biological properties of essential oils: an updated review. *Flavour and Fragrance Journal* 25:407-426, <http://doi.org/10.1002/ffj.2024>.
- Bajalan I. and A. G. Pirbalouti (2015) Variation in chemical composition of essential oil of populations of *Lavandula x intermedia* collected from Western Iran. *Industrial Crops and Products* 69:344-347, <http://doi.org/10.1016/j.indcrop.2015.02.049>.
- Barajas P. J. S., R. Montes-Belmont, F. Castrejón A., H. E. Flores-Moctezuma y M. A. Serrato C. (2011) Propiedades antifúngicas en especies del género *Tagetes*. *Revista Mexicana de Micología* 34:85-91.
- Bernáth J. (2009) Aromatic plants: In: Cultivated Plants, Primarily as Food Sources. Vol. 1. Encyclopedia of Life Support Systems. G. Füleky (ed.). EOLSS Publishers Company Limited. Paris, France. pp:329-352.
- Bicchi C., M. Fresia, P. Rubiolo, D. Monti, C. Franz and I. Goehler (1997) Constituents of *Tagetes lucida* Cav. ssp. *lucida* essential oil. *Flavour and Fragrance Journal* 12:47-52, [http://doi.org/10.1002/\(SICI\)1099-1026\(199701\)12:1<47::AID-FFJ610>3.0.CO;2-7](http://doi.org/10.1002/(SICI)1099-1026(199701)12:1<47::AID-FFJ610>3.0.CO;2-7).
- Céspedes C. L., J. G. Avila, A. Martínez, B. Serrato, J. C. Calderón-Mugica and R. Salgado-Garciglia (2006) Antifungal and antibacterial activities of Mexican tarragon (*Tagetes lucida*). *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 54:3521-3527. <http://doi.org/10.1021/jf053071w>.
- Ciccio J. F. (2004) A source of almost pure methyl chavicol: volatile oil from the aerial parts of *Tagetes lucida* (Asteraceae) cultivated in Costa Rica. *Revista de Biología Tropical* 52:853-857.
- CONAGUA, Comisión Nacional del Agua (2012) Atlas Digital del Agua México 2012. Sistema Nacional de Información del Agua. CONAGUA. México. <http://www.conagua.gob.mx/atlas/> (Febrero 2016).
- Díaz-Cedillo F. y M. A. Serrato-Cruz (2011) Composición del aceite esencial de *Tagetes parryi* A. Gray. *Revista Fitotecnia Mexicana* 34:145-148.
- Discover Life (2014) Discover life. Polistes Foundation. Belmont, Maryland, USA. http://www.discoverlife.org/mp/20m?act=make_map (Septiembre 2014).
- Djerrad Z., L. Kadik and A. Djouahri (2015) Chemical variability and antioxidant activities among *Pinus halepensis* Mill. essential oils provenances, depending on geographic variation and environmental conditions. *Industrial Crops and Products* 74:440-449, <http://doi.org/10.1016/j.indcrop.2015.05.049>.
- Formisano C., S. Delfino, F. Oliviero, G. C. Tenore, D. Rigano and F. Senatore (2015) Correlation among environmental factors, chemical composition and antioxidative properties of essential oil and extracts of chamomile (*Matricaria chamomilla* L.) collected in Molise (South-central Italy). *Industrial Crops and Products* 63:256-263, <http://doi.org/10.1016/j.indcrop.2014.09.042>.
- García-Sánchez F., M. E. López-Villafraanco, S. Aguilar-Rodríguez y A. Aguilar-Contreras (2012) Etnobotánica y morfo-anatomía comparada de tres especies de *Tagetes* que se utilizan en Nicolás Romero, Estado de México. *Botanical Sciences* 90:221-232.
- Gil A., C. M. Ghersa and S. Leicach (2000) Essential oil yield and composition of *Tagetes minuta* accessions from Argentina. *Biochemical Systematics and Ecology* 28:261-274, [http://doi.org/10.1016/S0305-1978\(99\)00062-9](http://doi.org/10.1016/S0305-1978(99)00062-9).
- Gonçalves M. J., M. T. Cruz, A. C. Tavares, C. Cavaleiro, M. C. Lopes, J. Canhoto and L. Salgueiro (2012) Composition and biological activity of the essential oil from *Thapsia minor*, a new source of geranyl acetate. *Industrial Crops and Products* 35:166-171, <http://doi.org/10.1016/j.indcrop.2011.06.030>.
- Green M. M., J. M. Singer, D. J. Sutherland and C. R. Hibben (1991) Larvicidal activity of *Tagetes minuta* (marigold) toward *Aedes aegypti*. *Journal of the American Mosquito Control Association* 7:282-286.
- Hernández T., M. Canales, C. Flores, A. M. García, A. Durán and J. G. Avila (2006) Antimicrobial activity of *Tagetes lucida*. *Pharmaceutical Biology* 44:19-22, <http://doi.org/10.1080/13880200500509157>.
- INEGI, Instituto Nacional de Estadística y Geografía (2001a) Conjunto de Datos Vectorial Edafológicos. Escala 1: 250,000. INEGI. Aguascalientes, México. http://www.inegi.org.mx/geo/contenidos/recreat/edafologia/vectorial_seriei.aspx (Enero 2016).
- INEGI, Instituto Nacional de Geografía y Estadística (2001b) Datos Vectoriales. Escala 1:1,000,000. <http://www.inegi.org.mx/geo/contenidos/recreat/fisiografia/infoescala.aspx> (Enero 2016).
- INEGI, Instituto Nacional de Estadística y Geografía Estadística; CONABIO, Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad; INE, Instituto Nacional de Ecología (2008) Ecorregiones Terrestres de México. Escala 1:1,000,000. INEGI; CONABIO; INE. México. http://www.conabio.gob.mx/informacion/metadatos/gis/ecort-08gw.xml?_xsl=/db/metadatos/xsl/fgdc_html.xsl&_indent=no (Enero 2016).
- INEGI, Instituto Nacional de Estadística y Geografía (2015) Conversión de Coordenadas entre Proyecciones TM y Geodésicas (TMCalc). Versión 1.0. http://www.inegi.org.mx/geo/contenidos/catastro/tm_presentacion.aspx (Diciembre 2015).
- Ismail R. F., A. M. Kandeel, A. K. Ibrahim and E. A. Omer (2013) Effect of planting date and plant spacing on growth, yield and essential oil of Mexican marigold (*Tagetes lucida* L.) cultivated in Egypt. *Journal of Applied Sciences Research* 9:330-340.
- Jaenson T. G. T., K. Pålsson and A. K. Borg-Karlson (2006) Evaluation of extracts and oils of mosquito (Diptera: Culicidae) repellent plants from Sweden and Guinea-Bissau. *Journal of Medical Entomology* 43:113-119, [http://doi.org/10.1603/0022-2585\(2006\)043\[0113:EOEAOO\]2.0.CO;2](http://doi.org/10.1603/0022-2585(2006)043[0113:EOEAOO]2.0.CO;2).
- Karousou R., D. N. Koureas and S. Kokkini (2005) Essential oil composition is related to the natural habitats: *Coridothymus capitatus* and *Satureja thymbra* in NATURA 2000 sites of Crete. *Phytochemistry* 66:2668-2673, <http://doi.org/10.1016/j.phytochem.2005.09.020>

- Lange B. M. and A. Ahkami (2013) Metabolic engineering of plant monoterpenes, sesquiterpenes and diterpenes current status and future opportunities. *Plant Biotechnology Journal* 11:169-196, <http://doi.org/10.1111/pbi.12022>
- Linares M. E., B. Flores P. y R. Bye (1995) Selección de Plantas Medicinales de México. Limusa-Noriega Ed. Mexico, D. F. 125 p.
- López S. B., M. L. López, L. M. Aragón, M. L. Tereschuk, A. C. Slanis, G. E. Feresin, J. A. Zygadlo and A. A. Tapia (2011) Composition and anti-insect activity of essential oils from *Tagetes* L. species (Asteraceae, Helenieae) on *Ceratitis capitata* Wiedemann and *Triatoma infestans* Klug. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 59:5286-5292, <http://doi.org/10.1021/jf104966b>.
- Lozoya X. (1999) Un paraíso de plantas medicinales. *Arqueología Mexicana* 39:14-21.
- Marotti M., R. Piccaglia, B. Biavati and I. Marotti (2004) Characterization and yield evaluation of essential oils from different *Tagetes* species. *Journal of Essential Oil Research* 16:440-444, <http://doi.org/10.1080/10412905.2004.9698767>
- Márquez A. C., F. Lara O., R. B. Esquivel y E. R. Mata (1999) Plantas Medicinales de México II. Composición, Usos y Actividad Biológica. Universidad Nacional Autónoma de México. México, D. F. 178 p.
- Moradi R., P. R. Moghaddam, M. N. Mahallati and A. Nezhadali (2011) Effects of organic and biological fertilizers on fruit yield and essential oil of sweet fennel (*Foeniculum vulgare* var. dulce). *Spanish Journal of Agricultural Research* 9:546-553, <http://revistas.inia.es/index.php/sjar/article/view/1757/1446>.
- Muñoz V. J. A., E. Staschenko y C. B. Ocampo D. (2014) Actividad insecticida de aceites esenciales de plantas nativas contra *Aedes aegypti* (Diptera: Culicidae). *Revista Colombiana de Entomología* 40:198-202.
- Omer E. A., S. F. Hendawy, A. M. N. El-Deen, F. N. Zaki, M. M. Abd-Elgawad, A. M. Kandeel, A. K. Ibrahim and R. F. Ismail (2015) Some biological activities of *Tagetes lucida* plant cultivated in Egypt. *Advances in Environmental Biology* 9:82-88.
- Pinto E., M. J. Gonçalves, K. Hrimpeng, J. Pinto, S. Vaz, L. A. Vale-Silva, C. Cavaleiro and L. Salgueiro (2013) Antifungal activity of the essential oil of *Thymus villosus* subsp. *Iusitanicus* against *Candida*, *Cryptococcus*, *Aspergillus* and dermatophyte species. *Industrial Crops and Products* 51:93-99, <http://doi.org/10.1016/j.indcrop.2013.08.033>.
- Poli F., G. Sacchetti and A. Bruni (1995) Distribution of internal secretory structures in *Tagetes patda* (Asteraceae). *Nordic Journal of Botany* 15:197-205, <http://doi.org/10.1111/j.1756-1051.1995.tb00143.x>
- Rammamoorthy T. P., R. Bye, A. H. Lot y J. Fa (1998) Diversidad biológica de México: orígenes y distribución. *Ciencias* 51:62-63.
- Regalado E. L., M. D. Fernández, J. A. Pino, J. Mendiola and O. A. Echemendia (2011) Chemical composition and biological properties of the leaf essential oil of *Tagetes lucida* Cav. from Cuba. *Journal of Essential Oil Research* 23:63-67, <http://dx.doi.org/10.1080/10412905.2011.9700485>.
- Røstelién T., A. K. Borg-Karlson, J. Fäldt, U. Jacobsson and H. Mustaparta (2000) The plant sesquiterpene germacrene D specifically activates a major type of antennal receptor neuron of the tobacco budworm moth *Heliothis virescens*. *Chemical Senses* 25:141-148, <http://doi.org/10.1093/chemse/25.2.141>.
- Senatore F., F. Oliviero, E. Scandolera, O. Tagliatela-Scafati, G. Roscigno, M. Zaccardelli and E. De Falco (2013) Chemical composition, antimicrobial and antioxidant activities of anethole-rich oil from leaves of selected varieties of fennel [*Foeniculum vulgare* Mill. ssp. *vulgare* var. *azoricum* (Mill.) Thell.]. *Fitoterapia* 90:214-219, <http://doi.org/10.1016/j.fitote.2013.07.021>.
- Serrato C. M. A. (2014) El Recurso Genético Cempoalxóchitl (*Tagetes* spp.) de México (Diagnóstico). Universidad Autónoma Chapingo-SINAREFI-SNICS-SAGARPA. Chapingo, Edo. de México. 182 p.
- Serrato-Cruz M. A., J. S. Barajas-Pérez y F. Díaz-Cedillo (2007) Aceites esenciales del recurso genético *Tagetes* para el control de insectos, nematodos, ácaros y hongos: In: Agricultura Sostenible. Vol. 3. Sustancias Naturales Contra Plagas. J. López-Olguín, F. A. Aragón-García, C. Rodríguez-Hernández y M. Vázquez-García (eds.). Colegio de Postgraduados. Montecillo, Texcoco, Estado de México. pp:142-200.
- Serrato-Cruz M. A., F. Díaz-Cedillo y J. S. Barajas-Pérez (2008) Composición del aceite esencial en germoplasma de *Tagetes filifolia* Lag. de la región centro-sur de México. *Agrociencia* 42:277-285.
- Shin S. (2004) Essential oil compounds from *Agastache rugosa* as antifungal agents against *Trichophyton* species. *Archives of Pharmacal Research* 27:295-299, <http://doi.org/10.1007/BF02980063>.
- Shin S. and M. S. Pyun (2004) Anti-*Candida* effects of estragole in combination with ketoconazole or amphotericin B. *Phytotherapy Research* 18:827-830, <http://doi.org/10.1002/ptr.1573>.
- Simmonds M. S. J., H. C. Evans and W. M. Blaney (1992) Pesticides for the year 2000: mycochemicals and botanicals. In: Pest Management and the Environment in 2000. A. Azis, S. A. Kadir and H. S. Barlow (eds.). CAB International. Wallingford, UK. pp:127-164.
- Stoll G. (2000) Natural Crop Protection in the Tropics. Letting Information Come to Life. Margraf Verlag. Weikersheim, Germany. 376 p.
- The Plant List (2013) A working list of all plant species. Version 1.1. Royal Botanic Gardens, Kew and Missouri Botanical Garden. <http://www.theplantlist.org/> (October 2015).
- Turner B. L. (1996) The Comps of Mexico: a Systematic Account of the Family Asteraceae. Michael J. Warnock. Huntsville, Texas. 93 p.
- Valente J., M. Zuzarte, R. Resende, M. J. Gonçalves, C. Cavaleiro, C. F. Pereira, M. T. Cruz and L. Salgueiro (2015) *Daucus carota* subsp. *gummifer* essential oil as a natural source of antifungal and anti-inflammatory drugs. *Industrial Crops and Products* 65:361-366, <http://doi.org/10.1016/j.indcrop.2014.11.014>.
- Vasudevan P., S. Kashyap and S. Sharma (1997) *Tagetes*: a multipurpose plant. *Bioresource Technology* 62:29-35, [https://doi.org/10.1016/S0960-8524\(97\)00101-6](https://doi.org/10.1016/S0960-8524(97)00101-6)
- Yáñez R. X., D. Y. Parada P. y L. L. Lugo M. (2011) Variabilidad del rendimiento del aceite esencial de *Calycolpus moritzianus* nativo de Norte de Santander (Colombia) de acuerdo con el tratamiento de la hoja. *Bistua: Revista de La Facultad de Ciencias Básicas* 9:48-54.
- Zygadlo J. A., N. R. Grosso, R. E. Abburra and C. A. Guzman (1990) Essential oil variation in *Tagetes minuta* populations. *Biochemical Systematics and Ecology* 18:405-407, [http://dx.doi.org/10.1016/0305-1978\(90\)90084-S](http://dx.doi.org/10.1016/0305-1978(90)90084-S)

