

Metabolitos bioactivos y actividad antioxidante *in vitro* del aceite esencial extraído de dos especies del género *Tagetes*

Rosa Huaraca Aparco^{1*}, María del Carmen Delgado Laime², Fidelia Tapia Tadeo³

Universidad Nacional José María Arguedas, Andahuaylas, Perú.

Correos electrónicos:

^{1*} Autora de correspondencia: rhuaraca@unajma.edu.pe

² mcdelgado@unajma.edu.pe

³ ftapia@unajma.edu.pe

Recibido: 11 de febrero de 2021

Revisado: 25 de marzo de 2021

Aceptado: 30 de marzo de 2021

RESUMEN

Objetivo: este estudio investigó los metabolitos bioactivos y actividad antioxidante de aceites esenciales de dos especies del género *Tagetes*. **Método:** el aceite esencial se obtuvo por arrastre a vapor de agua, posteriormente se determinó su rendimiento de extracción, densidad relativa, índice de refracción y su solubilidad en etanol (70 % v/v). La composición química fue evaluada mediante cromatografía de gases acoplada a espectrometría de masas (GC-MS). La actividad antioxidante fue determinada mediante el método del radical libre 2,2-difenil-1-picrilhidracilo (DPPH) y la capacidad de atrapamiento del catión radical ABTS^{•+}. **Resultados:** en los aceites esenciales de las especies *Tagetes* se logró identificar 26 componentes químicos para la especie *Tagetes elliptica* Sm. y 16 para *Tagetes minuta* L., ambas especies presentaron como componentes principales a los monoterpenos (61 %) y sesquiterpenos (44 %). Los metabolitos bioactivos de aceites esenciales entre ambas especies de *Tagetes* fueron, β -trans-ocimeno (25,03 %), trans-tagetona (51,37 %), β -mirceno (2,78) y β -cariofileno (1,17 %). Los rendimientos de extracción oscilaron entre 0,05 y 0,048 %, la densidad entre 0,90 y 0,88 (g/ml) con un índice de refracción de 1,493 y 1,482 y una solubilidad (v/v) positiva entre ambas especies. La actividad antioxidante del aceite esencial en ambas especies mostró una variación entre 1,77 y 2,56 mg/mL para el DPPH y 21,02 a 41,06 mg/mL para ABTS^{•+}. **Conclusión:** los aceites esenciales de las especies *Tagetes elliptica* Sm.

y *Tagetes minuta* L. son una fuente de metabolitos bioactivos fomentan potencialidades antimicrobianas y antioxidantes con fines de su uso como conservantes alimentarios.

Palabras clave: Cromatografía, densidad, monoterpenos, sesquiterpenos, solubilidad.

SUMMARY

Bioactive metabolites and *in vitro* antioxidant activity of essential oil extracted from two species of the genus *Tagetes*

Aim: This study investigated the bioactive metabolites and antioxidant activity of essential oils of two species of the genus *Tagetes*. **Method:** The essential oil was obtained by steam stripping, its extraction performance, relative density, refractive index and its solubility in ethanol (70 % v/v) were subsequently determined. The chemical composition was tested using gas chromatography coupled to mass spectrometry (GC-MS). The antioxidant activity was determined using the 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazil (DPPH) free radical method and the ABTS^{•+} radical cation trapping capacity. **Results:** In the essential oils of the *Tagetes* species, it was found to identify 26 chemical components for the species *Tagetes elliptica* Sm. And 16 for *Tagetes minuta* L., both species presented monoterpenes (61 %) and sesquiterpenes (44 %) as main components. The bioactive metabolites of essential oils between both species of *Tagetes* were, β -trans-ocimeno (25.03 %), trans-tagetone (51.37 %), β -myrcene (2.78) and β -caryophyllene (1.17 %). The extraction yields ranged between 0.05 and 0.048 %, the density between 0.90 and 0.88 (g/ml) with a refractive index of 1.493 and 1.482 and a positive solubility (v/v) between both species. The antioxidant activity of the essential oil in both species showed a variation between 1.77 and 2.56 mg/mL for DPPH and 21.02 to 41.06 mg/mL for ABTS^{•+}. **Conclusion:** The essential oils of the species *Tagetes elliptica* Sm. and *Tagetes minuta* L. are a source of bioactive metabolites that promote antimicrobial and antioxidant potentialities for use as food preservatives.

Keywords: Chromatography, density, monoterpenes, sesquiterpenes, solubility.

RESUMO

Metabólitos bioativos e atividade antioxidante *in vitro* do óleo essencial extraído de duas espécies do gênero *Tagetes*

Objetivo: este estudo investigou os metabólitos bioativos e a atividade antioxidante de óleos essenciais de duas espécies do gênero *Tagetes*. **Método:** o óleo essencial foi obtido por decapagem a vapor, posteriormente foram determinados seu desempenho de extração, densidade relativa, índice de refração e sua solubilidade em etanol (70% v/v). A composição química foi trabalhada por cromatografia gasosa acoplada a espectrometria de massas (GC-MS). A atividade antioxidante foi determinada pelo método do radical livre 2,2-difenil-1-picrilidracila (DPPH) e pela capacidade de captura do cátion radical $ABTS^+$. **Resultados:** nos óleos essenciais das espécies *Tagetes*, identificou-se 26 componentes químicos para a espécie *Tagetes elliptica* Sm. E 16 para *Tagetes minuta* L., ambas as espécies apresentaram monoterpenos (61%) e sesquiterpenos (44%) como principais componentes. Os metabólitos bioativos dos óleos essenciais entre as duas espécies de *Tagetes* foram, β -trans-ocimeno (25,03%), trans-tagetona (51,37%), β -mirceno (2,78) e β -cariofileno (1,17%). Os rendimentos de extração variaram entre 0,05 e 0,048%, a densidade entre 0,90 e 0,88 (g/ml) com índice de refração de 1,493 e 1,482 e solubilidade positiva (v/v) entre as duas espécies. A atividade antioxidante do óleo essencial em ambas as espécies apresentou variação entre 1,77 e 2,56 mg/mL para DPPH e 21,02 a 41,06 mg/mL para BTS^+ . **Conclusão:** os óleos essenciais das espécies *Tagetes elliptica* Sm. e *Tagetes minuta* L. são uma fonte de metabólitos bioativos, atualmente com potencial antimicrobiano e antioxidante com a finalidade de serem conservantes de alimentos.

Palavras-chave: Cromatografia, densidade, monoterpenos, sesquiterpenos, solubilidade.

INTRODUCCIÓN

Perú es uno de los 12 países con la mayor diversidad biológica, con aproximadamente 10 % de flora mundial, estimada en 25 000 especies, 30 de ellas son endémicas [1]. Existe un interés creciente en compuestos bioactivos y las propiedades antioxidantes de sustancias de fuentes naturales que potencialmente pueden ser utilizadas en las industrias alimentarias. Se sabe que los aceites esenciales de plantas aromáticas y medicinales poseen actividad biológica [2, 3]. Los aceites esenciales son productos vegetales naturales que contienen una mezcla compleja por tanto tienen múltiples propiedades antimicrobianas [4]. Siendo los constituyentes de los grupos de materias primas más importantes para la industria alimentaria, farmacéutica, de perfumería y afines [5]. La

mayoría de estos compuestos se derivan de terpenoides oxigenados, particularmente terpenos fenólicos, fenilpropanoides y alcoholes [6, 7]. Las especies de *Tagetes* se utilizaron originalmente como fuente de aceites esenciales que eran extraídas de hojas, tallos y flores, aplicándose como aromatizantes en la industria alimentaria, además sus pigmentos tienen potencial como colorante alimentario natural.

Tagetes es un género importante perteneciente a la familia Asteraceae [8], aromático, originario de Centro y Sudamérica con una distribución cosmopolita debido a actividades antrópicas [9]. *Tagetes minuta* L. es una planta aromática con amplio espectro de actividad biológica que posee propiedades medicinales, antioxidantes y antimicrobianas [10]. La gran importancia de *Tagetes* se debe a la presencia de aceite esencial en casi todas las partes de sus plantas, excepto en el tallo [11]. Además, presenta actividades biológicas como actividades antibacterianas, antifúngicas, antivirales, antioxidantes, anticancerosas, acaricidas, nematocidas, insecticidas y alelopáticas [12]. El creciente interés en las industrias de la alimentación, el sabor, la perfumería contribuye a la investigación de las condiciones ambientales afectan su composición cualitativa y rendimiento [13].

Tagetes minuta L. es conocido con el nombre común de *huacatay* en Perú, en México se le conoce como caléndula mexicana. Es una especie que acumula una larga historia mundial de usos tales como alimentos, terapéuticos y aromaterapia que son inherentes a los químicos tagetonas y ocimenonas (E y Z) único de la planta su composición y bioactividades. De acuerdo con la revisión de antecedentes investigativos, acerca de metabolitos bioactivos y actividad antioxidantes de las especies aromáticas *Tagetes minuta* L. y *Tagetes elliptica* Sm., no se reportan publicaciones en nuestro país, sin embargo, existen informes sobre aceites esenciales de estas especies en otros países.

A pesar de su importancia como especies alimentarias, las investigaciones en especies *Tagetes minuta* L. y *Tagetes elliptica* Sm. relacionadas con su composición química, diversidad genética y propiedades biológicas son limitadas. Por lo tanto, el objetivo fue determinar las propiedades físicas e identificar los metabolitos bioactivos y actividad antioxidante de los aceites esenciales de ambas especies del género *Tagetes* que crecen en forma silvestre y están adaptadas a ecosistemas de moderada altitud de la región andina del Perú.

MATERIALES Y MÉTODOS

Materia vegetal e identificación botánica

Se utilizaron las hojas de *Tagetes minuta* L. y *Tagetes elliptica* Sm. recolectadas de la zona alto andina del distrito de José María Arguedas (13°42 S.73°24 O a una altitud de 2935 m s.n.m.) perteneciente a la provincia de Andahuaylas, región Apurímac. Con

clima Cwd de acuerdo con Koppens, con precipitaciones media anual alrededor de 1000 mm/año, humedad relativa media de 50 % y temperatura de -5 °C a 21 °C, con moderada incidencia de heladas. Las hojas de *Tagetes minuta* L. y *Tagetes elliptica* Sm. fueron recolectadas durante los meses de febrero a marzo del 2019. Las plantas fueron identificadas, autenticadas y depositadas en el laboratorio de botánica del pabellón de Ciencias Básicas de la Universidad Nacional José María Arguedas.

Extracción de aceites esenciales

Para la extracción de los aceites esenciales se seleccionaron las hojas frescas de *Tagetes minuta* L. y *Tagetes elliptica* Sm.; se utilizaron 2,5 kilogramos de hojas frescas de cada especie y se sometieron a extracción mediante destilación por arrastre a vapor de agua a una presión de 10 PSI. Una vez destilado los aceites esenciales se separaron por diferencia de densidades utilizando un decantador florentino graduado. Luego se secaron sobre sulfato de sodio anhidro y se almacenaron a 4 °C hasta el momento de realizar análisis, los rendimientos de extracción se evaluaron según la ecuación 1.

$$\%P = \frac{\text{Masa final de aceite esencial (g)}}{\text{Masa inicial de muestra o follaje (g)}} * 100 \quad (1)$$

Determinación de propiedades físicas del aceite esencial

En los aceites esenciales obtenidos de cada especie se determinaron: la densidad relativa a 20 °C de acuerdo con la norma técnica peruana: NTP 3129.081:1974; índice de refracción en refractómetro ABBE; rotación óptica en polarímetro y solubilidad en etanol. Para este último se empleó una solución al 70 % tomando 100 µL de aceite esencial.

Determinación de compuestos químicos mediante cromatografía de gases acoplada a espectrometría de masas (GC-MS)

El análisis de la composición química de los aceites esenciales fue identificado mediante Cromatografía de gases acoplada a espectrometría de masas (GC-MS) en el centro de investigación de productos naturales de la Universidad Peruano Cayetano Heredia.

Para el análisis de cada muestra se utilizó 20 µL de aceite esencial en 980 µL de diclorometano, que se inyectó al cromatógrafo de gases acoplado a un detector selectivo de masas. Se separaron los compuestos en una mezcla mediante una columna capilar apolar DB-5MS (60 m x 250 µm x 0,25 µm) (J y W Scientific de 5 % fenil-polimetilsiloxano).

La temperatura del inyector se mantuvo a 250 °C con una inyección en modo Split (50:1), la programación de temperatura del horno fue: temperatura inicial 50 °C, mantenida por 5 min; posteriormente incrementándose a 10 °C/min hasta alcanzar 100 °C

y finalmente a 10 °C/min hasta 270 °C, manteniéndose temperatura final por 1 min. El tiempo de corrida fue de 77,8 min, se utilizó helio como gas de arrastre a un flujo constante de 1mL/min. Los compuestos de los aceites de *Tagetes minuta* L. y *Tagetes elliptica* Sm. fueron identificados utilizando el *software* proporcionado por Agilent; MSD chemstation (version EO2.00.493), Por comparación de los espectros de masas de cada pico con los de la librería de espectros de masas de las bases de datos de flavor y del Instituto Nacional de Estándares y Tecnología (NIST, 08).

Evaluación de la actividad antioxidante de los aceites esenciales

Para la determinación de la actividad antioxidante de los aceites esenciales de las especies del género *Tagetes* se emplearon dos metodologías:

Método del radical DPPH

Se prepararon diluciones en etanol acuoso de extractos hidroalcohólicos hasta obtener concentraciones de 0,0 a 150, 0 µg/mL. Se combinaron 1,0 mL de cada dilución con 0,5 mL de una solución de 0,3 mM de DPPH en etanol dejándose reaccionar a temperatura ambiente por 30 min, posteriormente se llevó a medir la absorbancia de las mezclas a 517 nm en el equipo de espectrofotometría. El porcentaje de actividad antioxidante de cada muestra se calculó de acuerdo con la siguiente ecuación 2:

$$\text{Actividad antioxidante}(\%) = \frac{AC - AM - AB}{AC} \times 100 \quad (2)$$

AM: es la absorbancia de la muestra +DPPH, AB: es la absorbancia del blanco (muestra +etanol) y AC: es la absorbancia del blanco del reactivo (DPPH+etanol)

La concentración del extracto hidroalcohólico se neutralizó al 50 por ciento de los radicales de DPPH (EC₅₀, concentración efectiva media) y se obtuvo directamente al graficar la recta entre el porcentaje de actividad antioxidante, frente a la concentración de la muestra de los aceites esenciales mg/mL.

*Método del radical BTS***

La actividad captadora de radical libre ABTS⁺ se determinó a través del método desarrollado por Re *et al.*, con algunas modificaciones.

3,5 mM de ABTS reaccionaron con 1,25 mM de persulfato de potasio. Las muestras se incubaron a temperaturas de 2-8 °C durante 16-24 h. en oscuridad. El radical BTS^{**} formado se diluyó con etanol hasta obtener una absorbancia de 0,7+menos 0,05 a 734 nm. A un volumen de 190 µL de dilución del radical BTS^{**} se agregó 10 µL de la

muestra de AE y se incubó a temperatura ambiente durante 5 min. Pasado el tiempo se determinó mediante el equipo espectrofotómetro a 734 nm en el lector de microplacas Themoscintific. Para el control positivo de captación de los radicales BTS⁺⁺ se utilizó ácido ascórbico (4 µg/mL).

Análisis estadístico

Los análisis fueron realizados por triplicado, para la evaluación estadística se utilizó el diseño completamente al azar (DCA); el análisis de varianza se trabajó con 0,05 de significancia; al encontrar diferencia significativa se procedió a realizar la prueba de comparaciones de medias de Fisher (LSD) a un nivel de $\alpha=0,05$. Los datos fueron procesados con la ayuda de los programas estadísticos Centurión XVII y la hoja de cálculo Microsoft Excel 2016.

RESULTADOS

Rendimiento y propiedades físicas de los aceites esenciales

La determinación de las propiedades fisicoquímicas nos permite conocer la calidad y el control de pureza en los aceites esenciales.

De acuerdo con la tabla 1 se muestra el porcentaje de rendimiento de extracción y las propiedades físicas de aceites esenciales de ambas especies del género *Tagetes*.

Tabla 1. Rendimiento y propiedades físicas de los aceites esenciales de *Tagetes minuta* L. y *Tagetes elliptica* Sm.

Análisis	<i>Tagetes minuta</i> L.	<i>Tagetes elliptica</i> Sm.
Rendimiento	0,05± 0,002 ^a	0,048± 0,001 ^a
Densidad(g/ml) a 24 °C	0,900 ±0,0004 ^a	0,882± 0,0043 ^b
Índice de refracción a 24 °C	1,493± 0,05 ^a	1,482± 0,04 ^a
Solubilidad EtOH 70 % (v/v)	Positiva	Positiva
Gravedad específica a 20 °C	0,872 ^a ± 0,01	0,945± 0,034 ^b

Valores con diferentes letras (a, b) dentro de cada columna denotan significancia en la prueba de Tukey, con $\alpha=5\%$

Composición química de los aceites esenciales de dos especies del género *Tagetes*

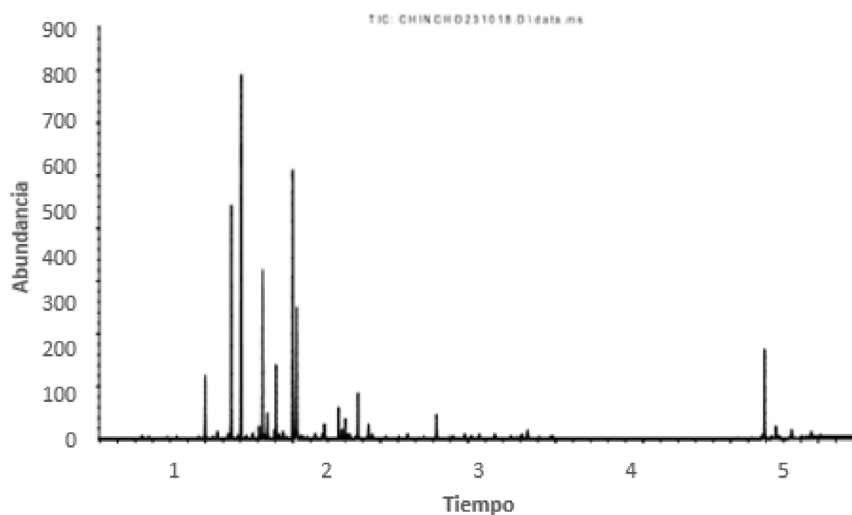
Los componentes mayoritarios de los aceites esenciales de ambas especies del género *Tagetes* se muestra en la tabla 2.

Tabla 2. Componentes mayoritarios detectados en los aceites esenciales de *Tagetes minuta* L y *Tagetes elliptica* Sm.

Compuesto	Porcentaje de abundancia relativa (TR %)	
	<i>Tagetes minuta</i> L.	<i>Tagetes elliptica</i> Sm.
β -trans-Ocimeno	21,07 (25,03)	16,5 (11,45)
β -Mirceno	NP	15,01 (2,78)
β -Linalol	NP	18,56 (1,18)
Cis-Tagetona	25,6 (3,5)	20 (16, 27)
m-tert-butil-fenol	NP	22,6 (1,44)
Trans-Tagetona	25,94 (51,37)	20,22 (10,25)
β -Cariofileno	36,39 (0,48)	28,21 (1,17)
Guaiol	41,96 (1,25)	NP
Apiol	42,45 (3,28)	33,41 (0,43)
α -Bisabolol	44,29 (1,1)	NP

Tiempo de retención (TR) y abundancia relativa (%) de los aceites esenciales, no presente (NP).

En el análisis de la composición química se detectaron y cuantificaron un total 26 compuestos químicos en el aceite esencial de *Tagetes elliptica* Sm con fracción principal en monoterpenos en (61,00 %) y 16 compuestos químicos para el aceite esencial de *Tagetes minuta* L. encontrándose como fracción principal a los monoterpenos (50,0 %), entre ambas especies se obtuvo una desviación estándar por debajo del 5 % entre los porcentajes de cada analito en ambas columnas utilizadas. Se identificaron como metabolitos bioactivos en los aceites esenciales en las especies del género *Tagetes* al β -trans-Ocimeno, Trans-Tagetona, Cis-Tagetona, β -Mirceno y β -Cariofileno.

**Figura 1.** Cromatograma del aceite esencial de *Tagetes elliptica* Sm.

Actividad antioxidante de AE de *Tagetes minuta* L. y *Tagetes elliptica* Sm

En la tabla 3. Se muestra los resultados de actividad antioxidante en los aceites esenciales de ambas especies del género *Tagetes*, mediante los métodos de DPPH y ABTS.

Tabla 3. Actividad antioxidante mediante métodos DPPH y ABTS.

Aceite esencial	Métodos	
	DPPH IC ₅₀ (mg/mL)	ABTS IC ₅₀ (mg/mL)
<i>Tagetes minuta</i> L.	1,77±0,02	21,02±0,14
<i>Tagetes elliptica</i> Sm.	2,56±0,12	41,06±0,23

Se encontró diferencias significativas en la actividad antioxidante de ambas muestras de *Tagetes* como se muestra en la tabla 3. De acuerdo con la metodología de DPPH el IC₅₀ vario de 1,77 mg/mL a 2,56 mg/mL, sin embargo, el IC₅₀ de BTS** varió de 21,02 a 41,06 mg/mL, se encontró una actividad antioxidante más alta: IC₅₀ 41,06 mg/mL. El aceite esencial de *Tagetes minuta* presento una IC₅₀ más bajo 1,77 mg/mL, respectivamente exhibió una considerable actividad de eliminación de radicales DPPH en comparación con el método de BTS**.

DISCUSIÓN

Los aceites esenciales de *Tagetes minuta* L. y *Tagetes elliptica* Sm. no presentaron diferencias significativas en el porcentaje de rendimiento. El rendimiento del aceite esencial depende de la planta y el distrito donde se cultiva [14]. De acuerdo con los resultados de propiedades físicas del aceite esencial, la densidad presento una variación para ambas especies del género *Tagetes*, sin embargo, el índice de refracción no presentó una variación entre ambas especies. La presencia de un valor menor del índice de refracción y densidad está relacionada con la cantidad de fenoles [15].

El índice de refracción de ambas especies presentó valores elevados, que indican presencia de compuestos de alto peso molecular tales como sesquiterpenos y diterpenos y eventualmente oleorresinas en concentraciones altas [16], así mismo, el aceite esencial es de mayor calidad y pureza [17].

De acuerdo con los resultados de gravedad específica de los aceites esenciales de ambas especies se encontró diferencias significativas con presencia a mayor calidad (0,945±0,034) en el aceite esencial de *Tagetes elliptica* Sm. se encontraron valores similares a los reportados en otros estudios [18].

El análisis de los componentes químicos en los aceites esenciales de las especies *Tagetes minuta* L. y *Tagetes elliptica* Sm. mostraron mayormente la presencia de los siguientes compuestos: Trans-Tagetona, β -trans-Ocimeno, Cis-Tagetona, β -Cariofileno y Apiol.

Los aceites esenciales de la especie *Tagetes spp.* son ricos en hidrocarburos monoterpenicos (Ocimenos, limoneno, terpineno, mirceno y cetonas monoterpenicas aciclicas (tagetona, dihidrotagetona, y tagetenona) que son los odorates primarios además de cantidades menores de hidrocarburos sesquiterpenicos compuestos oxigenados [19].

De acuerdo con los resultados del estudio en especies de *Tagetes patula* se encontró una fuerte bioactividad en sus aceites esenciales contra los organismos patógenos de ensayo, lo cual se atribuye a la presencia de terpinoleno, E-cariofeno, Z-tagetona, E- tagetona, óxido de cariofeno, germacreno D.

En cuanto a sus bioactividades de la familia de especies del género *Tagetes* se encontró una actividad antibacteriana de fuerte a leve contra cepas de bacterias gran-positivas y gran-negativas probadas en el estudio [4].

En cuanto a las aplicaciones del aceite esencial, se encontró que los metabolitos sintetizados por las plantas del género *Tagetes* muestran efectos significativos como antioxidantes, inhibidores de enzimas, precursores de sustancias toxicas y pigmentos. Se cree que la actividad de los metabolitos secundarios en las especies del género *Tagetes* está relacionado con su composición, concentración y condiciones ambientales que afectan su contenido.

Los aceites esenciales obtenidos de las diferentes partes de la planta pueden mostrar diferentes capacidades biológicas y por lo tanto pueden usarse en una variedad de industrias incluida la cosmética, farmacéutica o la producción de alimentos [20].

De acuerdo con Gakuubi [21] se reportó actividad antimicrobiana de los aceites esenciales de *Tagetes minuta* L. contra bacterias fitopatógenas, *Pseudomonas savastanoi* pv, *Phaseoli axonopodis* pv que son responsables de las diferentes enfermedades de las plantas como antracnosis, tizón y *Ralstonia solanacearum*.

Los resultados indicaron que *Tagetes spp.* desempeña un papel importante en la preparación y conservación de alimentos, así como para su uso como una excelente especie para alimentos. Incluso desde un punto de vista tradicional, la naturaleza de *Tagetes spp.* y su composición afecta la cantidad y calidad de los extractos [22]. A pesar de los prometedores resultados obtenidos *in vitro*, estudios más detallados de los mecanismos de acción de los extractos y aceites esenciales de *Tagetes spp.* serían beneficiosos para alcanzar su potencial en biotecnología. Se documentó que los componentes de aceites esenciales, especialmente los terpenoides como los dihidrotagetonos, tagetonas y ocimenonas,

son suficientes para explicar la actividad antimicrobiana observada [23]. La diferencia en la actividad antioxidante entre ambas muestras podría atribuirse a la presencia de los monoterpenos en sus compuestos polifenólicos, los monoterpenos oxigenados conducen a actividades antioxidantes, antibacterianas y antifúngicas más altas [24-26].

CONCLUSIONES

En el estudio se logró determinar los metabolitos bioactivos de los aceites esenciales de las especies de *Tagetes minuta* L. y *Tagetes elliptica* Sm., se encontraron los metabolitos bioactivos: β -trans-Ocimeno, Trans-Tagetona, Cis-Tagetona, β -Mirceno y β -Cariofileno. Los monoterpenos acíclicos son, con efectos significativos como antioxidantes, inhibidores de enzimas, precursores de sustancias tóxicas y pigmentos beneficiosos para alcanzar su potencial en biotecnología. La abundancia en monoterpenos conducen a actividades antioxidantes, en el estudio se encontró mayor presencia de antioxidantes en la especie de *Tagetes elliptica* L. Las propiedades físicas de ambas especies del género *Tagetes* estaban en los rangos de calidad para aceites esenciales.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecemos al laboratorio de Investigación de productos naturales de la Universidad Peruana Cayetano Heredia y a la Universidad Nacional José María Arguedas.

CONFLICTO DE INTERESES

Las autoras declaran no tener conflictos de intereses.

REFERENCIAS

1. P. Vásquez-Ocmín, S. Cojean, E. Rengifo, S. Suyyagh-Albouz, C.A. Amasifuen-Guerra, S. Pomel, B. Cabanillas, K. Mejía, P.M. Loiseau, B. Figadère, A. Maciuk, Antiprotozoal activity of medicinal plants used by Iquitos-Nauta road communities in Loreto (Peru), *J. Ethnopharmacol.*, **210**, 372-385 (2018).
2. A. Chrysargyris, M. Mikallou, S. Petropoulos, N. Tzortzakakis, Profiling of essential oils components and polyphenols for their antioxidant activity of medicinal and aromatic plants grown in different environmental conditions, *Agronomy*, **10**(5), 727 (2020).

3. M. Tajkarimi, S. Ibrahim, D. Cliver, Antimicrobial herb and spice compounds in food, *Food Control*, **21**, 1199-1218 (2010).
4. A.A. Safar, A.O. Ghafoor, D. Dastan, Chemical composition, antibacterial and antioxidant activities of *Tagetes patula* L. essential oil raised in Erbil, Iraq, *J. Reports Pharm. Sci.*, **9**(1), 59-67 (2020).
5. G. Oliveira-Everton, R.J. Pereira-Araújo, A.B. da Silva dos Santos, P.V. Serra-Rosa, R.G. de Oliveira-Carvalho Junior, A.M. Teles, P.R. Barros-Gomes, V.E. Mouchrek Filho, Caracterização química, atividade antimicrobiana e toxicidade dos óleos essenciais da Pimenta dioica L. (pimenta da Jamaica) e Citrus sinensis L. Osbeck (laranja doce), *Rev. Colomb. Cienc. Quím. Farm.*, **49**(3), 641-655 (2020).
6. I.H. Bassolé, H.R. Juliani, Essential oils in combination and their antimicrobial properties, *Molecules*, **17**(4), 3989-4006 (2012).
7. S. Burt, Essential oils: their antibacterial properties and potential applications in foods—a review, *Int. J. Food Microbiol.*, **94**(3), 223-253 (2004).
8. M. Marotti, R. Piccaglia, B. Biavati, I. Marotti, Characterization and yield evaluation of essential oils from different *Tagetes* species, *J. Essent. Oil Res.*, **16**, 440-444 (2004).
9. M.S. Ojeda, U.O. Torkel-Karlin, G.J. Martinez, Y. Massuh, S.F. Ocaño, L.E. Torres, A.G. Chavez, O. Arizio, A. Curioni, *Planta aromáticas y medicinales modelos para su domesticación, producción y usos sustentables*, Editorial Universidad Nacional de Córdoba, Argentina, 2015.
10. C.M. Kyarimpa, S. Böhmendorfer, J. Wasswa, B.T. Kiremire, I.O. Ndiege, J.D. Kabasa, Essential oil and composition of *Tagetes minuta* from Uganda. Larvicidal activity on *Anopheles gambiae*, *Ind. Crops Prod.*, **62**, 400-404 (2014).
11. V. Singh, B. Singh, V.K. Kaul, Domestication of wild marigold (*Tagetes minuta* L.) as a potential economic crop in western Himalaya and North Indian plains, *Economic Botany*, **57**, 535-544 (2003).
12. M.M. Gakuubi, W. Wanzala, J.M. Wagacha, S.F. Dossaji, Bioactive properties of *Tagetes minuta* L. (Asteraceae) essential oils: a review, *Amer. J. Essent. Oil Nat. Prod.*, **4**, 27-36 (2016).
13. S. Walia, S. Mukhia, V. Bhatt, R. Kumar, R. Kumar, Variability in chemical composition and antimicrobial activity of *Tagetes minuta* L. essential oil collected from different locations of Himalaya, *Ind. Crops Prod.*, **150**, 112449 (2020).

14. V. Preedy, *Essential oils in food preservation, flavor and safety*, Academic Press-Elsevier, Amsterdam, 2016, 932 p.
15. K. Hüsni, C. Başer, F. Demirci, Chemistry of essential oils, en: Ralf Günter Berger (editor), *Flavours and Fragrances, Chemistry, Bioprocessing and Sustainability*, Springer-Verlag, Berlin, 2007, p. 43-86.
16. S. Simard, J.M. Hachey, G.J. Collin, The variations of essential oil composition during the extraction process. The case of *Thuja occidentalis* L. and *Abies balsamea* (L.) Mill., *J. Wood Chem. Technol.*, **8**, 561-573 (1988).
17. J.C. Chalchat, R.P. Garry, A. Muhayimana, Essential oil of *Tagetes minuta* from Rwanda and France: Chemical composition according to harvesting location, growth stage and part of plant extracted, *J. Essent. Oil Res.*, **7**(4), 375-386 (1995).
18. E.M. Castro-Alayo, S.G. Chávez-Quintana, E.A. Auquiñivín-Silva, A.B. Fernández-Jeri, O. Acha-De la Cruz, N. Rodríguez-Hamamura, G.I. Olivas-Orozco, D.R. Sepúlveda-Ahumada, Aceites esenciales de plantas nativas del Perú: Efecto del lugar de cultivo en las características fisicoquímicas y actividad antioxidante, *Scientia Agropecuaria*, **10**(4), 479-487 (2019).
19. B. Salehi, M. Valussi, M.F. Bezerra Morais-Braga, J.N. Pereira-Carneiro, A.L.A. Borges-Leal, H.D. Melo-Coutinho, S. Vitalini, D. Kregiel, H. Antolak, M. Sharifi-Rad, N.C. Cirone-Silva, Z. Yousaf, M. Martorell, M. Iriti, S. Carradori, J. Sharifi-Rad, *Tagetes* spp. essential oils and other extracts: chemical characterization and biological activity, *Molecules*, **23**(11), 2847, (2018).
20. D. Coelho dos Santos, L. Rodrigues-Schneider, A. Silva-Barboza, A. Diniz-Campos, R. Guerra-Lund, Systematic review and technological overview of the antimicrobial activity of *Tagetes minuta* and future perspectives, *J. Ethnopharmacol.*, **208**, 8-15 (2017).
21. M.M. Gakuubi, J.M. Wagacha, S.F. Dossaji, W. Wanzala, Chemical composition and antibacterial activity of essential oils of *Tagetes minuta* (Asteraceae) against selected plant pathogenic bacteria, *Int. J. Microbiol.*, **2016**, 7352509 (2016).
22. W.W. Cornelius, W. Wycliffe, *Tagetes* (*Tagetes minuta*) oils, en: V.R. Preedy (editor), *Essential Oils in Food Preservation, Flavor and Safety*, Academic Press, 2016, p. 791-802.
23. F. Senatore, F. Napolitano, M.A.H. Mohamed, P.J.C. Harris, P.N.S. Minkeni, J. Henderson, Antibacterial activity of *Tagetes minuta* L. (Asteraceae) essential oil with different chemical composition, *Flavour and Fragrance Journal*, **19**, 574-578 (2004).

24. M. Rostaei, S. Fallah, Z. Lorigooini, A. Abbasi Surki, Crop productivity and chemical compositions of black cumin essential oil in sole crop and intercropped with soybean under contrasting fertilization, *Ind. Crop Prod.*, **125**, 622-629 (2018).
25. F. Deba, T.D. Xuan, M. Yasuda, S. Tawata, Chemical composition and antioxidant, antibacterial and antifungal activities of the essential oils from *Bidens pilosa* Linn. var. *Radiata*, *Food Control*, **19**, 346-352 (2008).
26. B. Tohidi, M. Rahimmalek, A. Arzani, Essential oil composition, total phenolic, flavonoid contents, and antioxidant activity of *Thymus* species collected from different regions of Iran, *Food Chem.*, **220**, 153-161 (2017).

COMO CITAR ESTE ARTÍCULO

R. Huaraca-Aparco, M.d.C. Delgado-Laime, F. Tapia-Tadeo, Metabolitos bioactivos y actividad antioxidante *in vitro* del aceite esencial extraído de dos especies del género *Tagetes*, *Rev. Colomb. Cienc. Quim. Farm.*, **50**(3), 726-739 (2021).