



Aceites esenciales de plantas nativas del Perú: Efecto del lugar de cultivo en las características fisicoquímicas y actividad antioxidante

Essential oils of native plants from Peru: Effect of the place of cultivation on the physicochemical characteristics and antioxidant activity

Efraín M. Castro-Alayo^{1,*}, Segundo G. Chávez-Quintana¹; Erick A. Auquiñivín-Silva¹; Armstrong B. Fernández-Jeri¹; Otilia Acha-De la Cruz²; Nadia Rodríguez-Hamamura²; Guadalupe Isela Olivas-Orozco³; David Roberto Sepúlveda-Ahumada³

¹ Instituto de Investigación, Innovación y Desarrollo para el Sector Agrario y Agroindustrial de la región Amazonas (IIDAA-Amazonas), Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas (UNTRM), Calle Higos Urco N° 342–350–356, Chachapoyas, Amazonas, Perú.

² Laboratorio Labicer, Facultad de Ciencias, Universidad Nacional de Ingeniería, Perú. Av. Túpac Amaru 210. Rímac. Lima, Perú.

³ Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo. Av. Río Conchos S/N Parque Industrial. C.P. 31570. Ciudad Cuauhtémoc, Chihuahua, México.

Received April 17, 2019. Accepted October 29, 2019.

Resumen

Los aceites esenciales (AE) son usados como conservantes en la industria de alimentos, debido a sus características fisicoquímicas y actividad antioxidante. El objetivo de esta investigación fue determinar rendimiento (R), gravedad específica (GE), índice de refracción (IR), actividad antioxidante (AA) y composición química de AE de huacatay (*Tagetes minuta*), poleo (*Minthostachys mollis*), romero (*Rosmarinus officinalis* L.) y sachaculantro (*Eryngium foetidum* L.), plantas recolectadas de 52 distritos de la región Amazonas, Perú. Para cada AE se usó análisis de varianza de efectos fijos con tres repeticiones y análisis de clúster. La actividad antioxidante se determinó con el método del radical libre 2,2-difenil-1-picrilhidracilo (DPPH) y sus componentes más abundantes fueron identificados con cromatografía de gases acoplada a espectrometría de masas. Las diferencias en R, GE e IR fueron significativas entre distritos. La AA no mostró diferencia significativa entre los distritos, pero entre las plantas sí. Entre los componentes volátiles más abundantes se identificó 1-adamantanol (44,42%) en huacatay, β-felandreno (20,85%) en poleo, β-mirceno (34,59%) en romero y α-pineno (23,41%) en sachaculantro. Se concluye que el lugar geográfico afecta significativamente las propiedades fisicoquímicas de los AE.

Palabras clave: aceite esencial; huacatay; poleo; romero; sachaculantro.

Abstract

Essential oils (AE) are used as preservatives in the food industry, due to their physicochemical characteristics and antioxidant activity. The aim of this research was to determine yield (R), specific gravity (GE), refractive index (IR), antioxidant activity (AA) and chemical composition of AE of huacatay (*Tagetes minuta*), poleo (*Minthostachys mollis*), rosemary (*Rosmarinus officinalis* L.) and sachaculantro (*Eryngium foetidum* L.), plants collected from 52 districts of the Amazon region, Peru. For each AE, fixed-effect variance analysis was used with three replications and cluster analysis. The antioxidant activity was determined with the free radical method 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH) and its most abundant components were identified with headspace gas chromatography coupled to mass spectrometry. The differences in R, GE and IR were significant between districts. The AA showed no significant difference between the districts, but between the plants itself. Among the most abundant volatile components, 1-adamantanol (44.42%) was identified in huacatay, β-phellandrene (20.85%) in poleo, β-myrcene (34.59%) in rosemary and α-pinene (23.41%) in sachaculantro. It is concluded that the geographic location significantly affects the physicochemical properties of AE.

Keywords: essential oil; huacatay; poleo; rosemary; sachaculantro.

How to cite this article:

Castro-Alayo, E.M.; Chávez-Quintana, S.G.; Auquiñivín-Silva, E.A.; Fernández-Jeri, A.B.; Acha-De la Cruz, O; Rodríguez-Hamamura, N.; Olivas-Orozco, G.I.; Sepúlveda-Ahumada, D.R. 2019. 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.

* Corresponding author

E-mail: efrain.castro@untrm.edu.pe (E.M. Castro-Alayo).

© 2019 All rights reserved

DOI: 10.17268/sci.agropecu.2019.04.04

1. Introducción

Perú es uno de los 12 países con diversidad biológica mayor, con aproximadamente 10% de la flora mundial, estimada en 25000 especies; 30% de ellas son endémicas (Vásquez-Ocmín et al., 2018). El interés por componentes activos de plantas, como alternativa al uso de compuestos químicos, ha incrementado las investigaciones (Fejér et al., 2018). Los aceites esenciales (AE), son líquidos hidrofóbicos concentrados, aromáticos y volátiles obtenidos de las plantas (Preedy, 2016), están constituidos por terpenoides, sesquiterpenos, alcoholes, ácidos, ésteres acíclicos, aldehídos y lactonas (Ertas et al., 2015). Los AE reciben atención por su actividad antimicrobiana contra diferentes tipos de bacterias y hongos (Mamadaliyeva et al., 2019), citostática e insecticida, también se usan como flavoros alimenticios (Burt, 2004), como aditivos naturales en alimentos (Božovic y Ragno, 2017). Los compuestos fenólicos presentes en los AE les otorgan sus propiedades antioxidantes (Preedy, 2016). El origen geográfico, nivel de precipitación y condiciones climáticas son los aspectos más importantes que influyen en la composición de los AE (Teles et al., 2013; Boukhatem et al., 2014; Ríos, 2016; Pandey et al., 2017).

El huacatay (*Tagetes minuta*) es una planta aromática con amplio espectro de actividad biológica, con propiedades medicinales, antioxidantes y antimicrobianas (Kyrimpa et al., 2014); el poleo (*Minthostachys mollis*) o muña, es usada por poblaciones rurales en el tratamiento de dolencias de vías respiratorias y digestivas, la preservación de alimentos y en cocina; el romero (*Rosmarinus officinalis* L.) es una planta utilizada en alimentos, medicina y como ornamento; posee actividad antioxidante, propiedades antimicrobianas y antitumorales (Gurbuz et al., 2016); el sachaculantro (*Eryngium foetidum* L.) es una planta amazónica, usada como anticonvulsivo, hipotensivo, fungicida, antiséptico, germicida y viricida (Cardozo et al., 2004). El nombre sachaculantro es típico de Perú y deriva del lenguaje quechua, indicando un culantro del bosque o salvaje (Banout et al., 2010). La investigación en sachaculantro es muy reciente y su composición no ha sido aún detallada (Cardozo et al., 2004; Banout et al., 2010; Paul et al., 2011).

La creciente demanda por alternativas naturales a los aditivos sintéticos ha impulsado la búsqueda de nuevas fuentes, principalmente vegetales (Van Haute et al., 2016); en alimentación, es muy importante su capacidad conservante (Ju et al., 2018) y para controlar la calidad de los AE se

evalúa generalmente la gravedad específica (GE) a 15 °C e índice de refracción (IR), como indicadores (Başer y Buchbauer, 2010; d'Acampora et al., 2010; Ríos, 2016). La evaluación de la seguridad de un AE involucra la especificación de su origen biológico, propiedades físicas y químicas y cualquier otra característica de relevancia (Adams y Taylor, 2010). El lugar geográfico podría afectar significativamente las propiedades físicas, químicas y actividad antioxidante (AA) de los AE; en tal sentido, el objetivo de la presente investigación fue caracterizar fisicoquímicamente y determinar la AA de los AE de cuatro plantas nativas de la región Amazonas, Perú.

2. Materiales y métodos

2.1. Material vegetal

Las plantas huacatay, poleo, romero y sachaculantro; fueron recolectados de 30, 28, cuatro y seis distritos respectivamente. El material se recolectó por triplicado. Se anotaron las coordenadas con GPS (Garmin, Oregon 650, EUA) para elaborar un mapa de distribución (Figura 1). Huacatay y romero se recolectaron entre enero y agosto de 2017, poleo y sachaculantro entre agosto a diciembre de 2017.

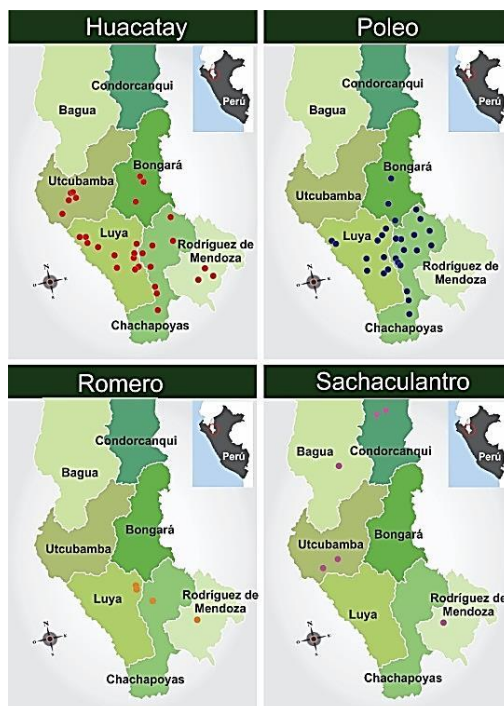


Figura 1. Mapa de distribución de huacatay, poleo, romero y sachaculantro en la Región Amazonas, Perú.

Las plantas fueron identificadas de acuerdo con trabajos realizados previamente en Perú (Ranilla et al., 2012; Murga-Gutiérrez et al., 2012; Banout et al., 2010; Monigatti et

al., 2013). Las plantas se seleccionaron de manera cuidadosa, se empacaron en bolsas oscuras de plástico y rotuladas, luego se secaron a temperatura ambiente (18 °C) hasta 11,6% de humedad promedio.

2.2. Extracción de AE

Los AE se extrajeron durante dos horas en un equipo de destilación por arrastre de vapor. Para eliminar la humedad remanente se agregó sulfato de sodio anhidro en proporción de 30 g/L; posteriormente se congeló por un día, luego se centrifugó; el sobrenadante se almacenó en refrigeración y oscuridad hasta su análisis.

2.3. Rendimiento

El R se calculó con la Ecuación 1 (Rao et al., 2005) adaptada, los resultados se expresaron como ratio v/p.

$$R = \frac{\text{Volumen de aceite esencial extraído (mL)}}{\text{Peso de muestra (g)}} \quad (1)$$

2.4. Índice de refracción

De acuerdo con Boukhatem et al. (2014), el IR se utilizó para determinar la pureza del AE. Se usó un refractómetro (PCE instruments, Abbe-2WAJ, Alemania).

2.5. Gravedad específica

De acuerdo con Harkat-Madouri et al. (2015), la GE se calculó usando la Ecuación 2.

$$GE = \frac{W_2 - W_0}{W_1 - W_0} \quad (2)$$

donde: W_0 : peso de jeringa vacía, W_1 : peso de jeringa + agua y W_2 : peso de jeringa + AE.

2.6. Actividad antioxidante

La AA se calculó usando un espectrofotómetro (Unico, S-2100, EUA), el método fue basado en la reducción de una solución metanólica de DPPH de acuerdo con el procedimiento descrito por Oke et al. (2009), usando la Ecuación 3.

$$I\% = \left(\frac{A_1 - A_2}{A_1} \right) * 100 \quad (3)$$

donde A_1 = absorbancia del blanco, A_2 = absorbancia de la muestra.

Luego de obtener los valores $I\%$, se calculó la concentración necesaria de AE para obtener el 50% de inhibición (IC_{50}) a partir de la ecuación de la recta construida por regresión lineal.

2.7. Composición química

La composición química de los AE fue determinada utilizando un Cromatógrafo de Gases acoplado a Espectrómetro de Masas (GC-MS) (Shimadzu, QP2010 Ultra, Japón), equipado con una columna de 30 m x 0,25 mm x 0,25 μm (Restek, RTX-5MS, Estados

Unidos), y automuestreador (Shimadzu, AOC-6000, Japón). Las muestras se desecaron con sulfato de sodio anhidro y se filtraron usando filtros de jeringa de 0,45 μm , se usó inyección por headspace (HS-GCMS). Se tomó 200 μL de la muestra filtrada y se colocó en viales de 10 mL. Los viales se colocaron inmediatamente en el automuestreador del GC-MS para su lectura. La temperatura fue 60 °C por 20 min incrementándose hasta 220 °C a un rango de 3 °C/min, finalmente mantenida a 250 °C por 20 min. El gas de transporte fue helio de alta pureza a 0,8 mL/min. El modo de inyección split fue a 220 °C (0,5 min), selector de masas selectivo de cuadrupolo, con un sistema de ionización de 70 eV y 250 °C. Se comparó los espectros de masa de los componentes del AE con la librería NIST, tiempo de retención y porcentaje de área bajo la curva.

2.8. Análisis estadístico

Los datos se analizaron con ANOVA de una vía de efectos fijos usando Minitab 17, en donde el factor de análisis fue el distrito de procedencia. Para analizar la actividad antioxidante, el factor utilizado fue el clima del distrito, agrupando las unidades de análisis en función a este factor. Los análisis se realizaron por triplicado. También, se realizó el análisis clúster jerárquico por el método de Ward y se midió la distancia euclidiana al cuadrado, empleando el paquete estadístico SPSS V. 23. Posteriormente, los dendogramas (con una similitud de 5) se usaron como herramienta para, a partir de dicha información, construir una tabla de clústeres indicando los rangos para el rendimiento y la actividad antioxidante de aceite esencial para cada grupo.

3. Resultados y discusión

3.1. Caracterización física de los AEs

De acuerdo con la Tabla 1, huacatay, poleo y romero se encontraron en climas propios de la serranía de Amazonas, cuya altitud va desde 1076 hasta 2950 msnm, mientras que sachaculantro se encontró en climas propios de la selva (208 msnm) y ceja de selva (1613 msnm). Con respecto al AE de huacatay, la Tabla 2 muestra que el mayor valor de R ($1,5 \pm 0,217$ v/p) se obtuvo de la planta proveniente de Suyubamba, mientras que en Limabamba se obtuvo el menor ($0,833 \pm 0,144$ v/p), ambos distritos tienen diferentes climas. Estos resultados concuerdan con un estudio realizado en Argentina, en el que Gil et al. (2000) concluyeron que el clima influyó en el R.

Los AE de huacatay y romero, presentaron R superiores a 1,5 v/p, a diferencia de sachaculantro que tuvo el menor R. Estos resultados están sustentados en la bibliografía, en donde se señala que el rendimiento del AE depende de la planta y el distrito donde se cultiva (Preedy, 2016). Los resultados para GE de AE de huacatay, muestran que Nueva Esperanza posee un AE de mayor calidad ($0,992 \pm 0,003$) y el de Taquia un AE de calidad inferior ($0,833 \pm$

$0,058$); estos distritos también presentan climas diferentes. Los valores obtenidos se encuentran dentro de los valores reportados por Chalchat et al. (1995), excepto para la GE del AE de Nueva Esperanza tuvo valores superiores.

En cuanto al IR del AE de huacatay, Yambrasbamba presentó mayor valor ($1,489 \pm 0,0001$), mientras que Suyubamba presentó un valor inferior ($1,481 \pm 0,0001$).

Tabla 1
Plantas nativas encontradas en la Región Amazonas

Provincia/Distrito	Altitud (msnm)	Clima†	Planta
Luya			
Campo Redondo	1756	Semi Húmedo y Semi Cálido	Huacatay
Chuquimal	1909	Húmedo y Templado Cálido	Huacatay
Cococho	1864	Semi Húmedo y Semi Cálido	Huacatay, poleo
Colcamar	2304	Húmedo y Templado Cálido	Huacatay, poleo
Congón	1987	Húmedo y Templado Cálido	Poleo
Guadalupe	1633	Semi Húmedo y Semi Cálido	Huacatay, poleo
Lámud	2366	Ligeramente húmedo y templado cálido	Romero
Longuita	2826	Húmedo y Templado Cálido	Huacatay, poleo
Lonya Chico	2329	Ligeramente Húmedo y Templado Cálido	Huacatay
Luya	2360	Ligeramente húmedo y templado cálido	Romero
Luya Viejo	2901	Ligeramente Húmedo y Templado Cálido	Huacatay, poleo
Nuevo Tingo	2015	Húmedo y Templado Cálido	Huacatay
Ocalli	1687	Húmedo y Templado Cálido	Huacatay, poleo
Otto	2620	Ligeramente Húmedo y Templado Cálido	Poleo
Pisuquia	2159	Húmedo y Templado Cálido	Huacatay, poleo
Tingo	2445	Húmedo y Templado Cálido	Poleo
Utcubamba			
Alto Perú	2373	Húmedo y Templado Cálido	Huacatay
Nuevo Oriente	1978	Húmedo y Templado Cálido	Huacatay
Palto	1076	Semi Húmedo y Semi Cálido	Huacatay
Palto Yamón	1195	Semi Húmedo y Semi Cálido	Sachaculantro
Tomocho	1433	Semi Húmedo y Semi Cálido	Huacatay
Vista Hermosa	1687	Semi Húmedo y Semi Cálido	Huacatay
Yamón	1050	Semi Húmedo y Semi Cálido	Sachaculantro
Bongará			
Balsapata	1725	Ligeramente Húmedo y Templado Cálido	Huacatay
Cocachimba	1813	Ligeramente Húmedo y Templado Cálido	Poleo
Jumbilla	1813	Ligeramente Húmedo y Templado Cálido	Poleo
Suyubamba	1409	Ligeramente Húmedo y Templado Cálido	Huacatay
Yambrasbamba	2060	Ligeramente Húmedo y Templado Cálido	Huacatay, poleo
Chachapoyas			
Asunción de Goncha	1980	Ligeramente Húmedo y Templado Cálido	Huacatay, poleo
Cuelcho	2704	Húmedo y Templado Frio	Poleo
Cuispes	1890	Ligeramente Húmedo y Templado Cálido	Poleo
Dos de Mayo	2303	Húmedo y Templado Cálido	Huacatay
Granada	2950	Ligeramente Húmedo y Templado Cálido	Poleo
Huancas	2576	Ligeramente Húmedo y Templado Cálido	Poleo
Jalca Grande	2473	Húmedo y Templado Cálido	Huacatay, poleo
Levanto	2555	Ligeramente Húmedo y Templado Cálido	Huacatay, poleo
Leymebamba	2467	Húmedo y Templado Cálido	Poleo
Magdalena	1946	Ligeramente Húmedo y Templado Cálido	Huacatay, poleo
Mayno	2263	Ligeramente Húmedo y Templado Cálido	Poleo
Molino	2575	Ligeramente Húmedo y Templado Cálido	Poleo
Molinopampa	2475	Muy Húmedo y Templado Cálido	Huacatay, poleo
Montevideo	2348	Húmedo y Templado Cálido	Huacatay, poleo
Soloco	2312	Ligeramente Húmedo y Templado Cálido	Poleo
Taquia	2597	Ligeramente Húmedo y Templado Cálido	Huacatay, poleo, romero
Rodríguez de Mendoza			
Limabamba	1657	Muy Húmedo y Semi Cálido	Huacatay
Michina	1613	Muy Húmedo y Semi Cálido	Sachaculantro
Nueva Esperanza	1964	Muy Húmedo y Semi Cálido	Huacatay
Omía	1383	Muy Húmedo y Semi Cálido	Huacatay
San Nicolás	1549	Muy húmedo y semi cálido	Romero
Condorcanqui			
Nieva	208	Extremadamente Húmedo y Cálido	Sachaculantro
Urakusa	208	Extremadamente Húmedo y Cálido	Sachaculantro
Bagua			
Nazareth	256	Extremadamente Húmedo y Cálido	Sachaculantro

†Valores obtenidos con sistema de coordenadas proyectadas: UTM. Datum horizontal: WGS 1984. Zona o huso horario: 18 sur.

Tabla 2
Caracterización física de los AE de plantas nativas de Amazonas

Planta/Distrito	Propiedad [¶]		
	R [§] , v/±DE	GE [§] ± DE	IR [§] ± DE
Huacatay			
Suyubamba	1,5 ± 0,217 ^c		1,481 ± 0,0001 ^a
Limabamba	0,833 ± 0,144 ^a		
Nueva Esperanza		0,992 ± 0,003 ^c	
Taquia		0,833 ± 0,058 ^a	
Yambrasbamba			1,489 ± 0,0001 ^l
Poleo			
Cuelcho	0,754 ± 0,050 ^a		ND
Colcamar	0,282 ± 0,024 ^g		ND
Cocachimba		0,987 ± 0,0008 ^{ab}	ND
Molinopampa		0,8 ± 0,0003 ^{abcde}	ND
Romero			
Taquia	1,65 ± 0,451 ^a	0,924 ± 0,008 ^c	1,475 ± 0,0013 ^e
San Nicolás	0,647 ± 0,096 ^b		1,476 ± 0,0006 ^e
Lámud		0,829 ± 0,023 ^d	
Sachaculantro			
Michina	0,009 ± 0,002 ^a	0,896 ± 0,006 ^e	
Nieva	0,034 ± 0,005 ^b		1,465 ± 0,0002 ^f
Urakusa		0,834 ± 0,0003 ^c	
Yamón			1,474 ± 0,002 ^g

Medias con letras diferentes en una columna son estadísticamente diferentes ($p \leq 0,05$). [¶] Se muestra valor mayor y menor de cada propiedad. [§] Valores promedio ± desviación estándar. Tres observaciones para cada muestra. ND: No determinado.

Tabla 3
Clústeres de distritos de producción de AE de huacatay, poleo, sachaculantro y romero en la región Amazonas

Huacatay	Rango	Poleo	Rango	Sachaculantro	Rango	Romero	Rango
1:Pisuquia	R	1:Taquia	R	1:Nieva	R	1:Luya	R
1:La Jalca	(1,00-1,17)	1:Granada	(0,28-		(0,034)		(1,50)
1:Asunción	AA	1:Jalca Grande	0,62)				AA
Goncha	(2,89-3,44)	1:Colcamar	AA				(5,37)
1:Palto		1:Cuispes	(2,48-				
1:Vista Hermosa		1:Huanacas	2,62)				
		1:Molinopampa					
		1:Soloco					
		1:Magdalena					
		1:Tingo					
		1:Congon					
2:Nuevo Tingo	R	2:Molino	R	2:Urakusa	R	2:Lamud	R
2:Longuita	(0,83-1,42)	2:Levanto	(0,33-	2:Nazaret	(0,014-	2:San	(0,65-
2:Dos de Mayo	AA	2:Longuita	0,75)	2:Yamón	0,019)	Nicolás	0,75)
2:Montevideo	(2,15-2,80)	2:Leymebamba	AA	2:Palto Yamón			AA
2:Colcamar		2:Montevideo	(2,07-				(5,11-
2:Alto Perú		2:Cuelcho	2,37)				5,33)
2:Nuevo Oriente		2:Yambrasbamba					
2:Chuquimal		2:Jumbilla					
2:Luya Viejo		2:Guadalupe					
2:Taquia		2:Ocalli					
2:Levanto		2:Cococho					
2:Balsapata		2:Cocachimba					
2:Lonya Chico							
2:Omía							
2:Nueva							
Esperanza							
2:Limabamba							
2:Tomocho							
2:Ocalli							
2:Cococho							
2:Guadalupe							
3:Suyubamba	R	3:Goncha	R	3:Michina	R	3:Taquia	R
3:Yambrasbamba	(1,46-1,50)	3:Luya Viejo	(0,32-		(0,009)		(1,65)
3:Molinopampa	AA	3:Pisuquia	0,40)				AA
	(1,95-2,25)	3:Mayno	AA				(4,88)
			(2,72-				
			3,00)				
4:Magdalena	R	4:Olto	R				
4:Campo	(1,00-1,42)		(0,37)				
Redondo	AA		AA				
	(0,67-1,40)		(1,31)				

Valores elevados, sugieren la presencia de compuestos de alto peso molecular tales como sesquiterpenos, diterpenos y even-

tualmente oleorresinas en concentraciones bastante altas (Simard et al., 1988) y también el AE es de mayor calidad y pureza.

Los valores coincidieron con los documentados por Başer y Buchbauer (2010) y Adams y Taylor (2010) que estuvieron entre 1,450–1,590.

Del análisis de clúster (Tabla 3), los distritos de producción de poleo y huacatay conforman cuatro clústeres en función a la calidad de AE (R y AA). Para huacatay, en los grupos 1 y 3 las plantas producen aceites esenciales con la mayor AA y R entre 1 y 1,5 v/p. Los distritos de producción de poleo, cuyo AE tiene mayor AA, también están en los grupos 1 y 3, pero con rendimientos menores (0,28 – 0,62 v/p). Por otro lado, en cuanto a los distritos de producción de sachaculantro y romero; encontramos tres grupos; aunque para la primera de ellas, sólo se midió el R, obteniendo valores uniformes y muy bajos en comparación a las otras tres plantas. Finalmente, de las cuatro plantas, el AE de romero cultivado en Amazonas, tuvo la mayor AA (hasta 5,53%) y R similares a poleo.

3.2. Actividad antioxidante

La AA de los AE de huacatay, poleo y romero, fueron diferentes (los valores más bajos fueron de romero); sin embargo, el clima de los distritos estudiados no influyó en esta propiedad ($p \leq 0,05$) (Tabla 4).

Tabla 4
Actividad antioxidante de los AE

Clima	IC ₅₀ , mg/mL ± DE		
	Huacatay	Poleo	Romero
Húmedo y Templado Cálido	2,667 ± 0,248 ^a	2,420 ± 0,271 ^b	
Húmedo y Templado Frío		2,168 ^b	
Ligeramente Húmedo y Templado Cálido	2,407 ± 0,451 ^a	2,401 ± 0,378 ^b	5,192 ± 0,238 ^c
Muy Húmedo y Semi Cálido	2,459 ± 0,230 ^a		5,112 ^c
Muy Húmedo y Templado Cálido	2,025 ^a	2,612 ^b	
Semi Húmedo y Semi Cálido	2,448 ± 0,813 ^a	2,236 ± 0,076 ^b	

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes. DE. Desviación estándar.

Los valores de AA encontrados para AE de romero fueron inferiores a los reportados por Bajalan et al. (2017); y para las demás plantas, se encontró que la AA pueden ser hasta 35 veces superiores al de la vitamina C (5,172 frente a 0,15 mg/mL expresado en IC₅₀); de forma similar, se encontró que, a concentraciones de 0,1% la vitamina C es hasta 100 veces superior al AE de romero (Horvathova et al., 2014). Granados et al. (2012) relacionaron la presencia de pulegona a la AA del AE de poleo, ellos

encontraron que a concentraciones de 50 mg/mL se logra una captación del 64,21% del radical DPPH.

3.3. Composición química

Las muestras con mayor rendimiento, fueron analizadas por GC-MS (Tabla 5). El AE de huacatay proveniente de Suyubamba estuvo compuesto principalmente por 1-adamantanol (44,42%), alil valerato (24,74%), trans-β-ocimeno (9,47%), 2-metilbutil acetato (3,01%) y 2-etil-furano (1,29%), juntos representan el 86,73% de los componentes. El huacatay contiene varios metabolitos secundarios, tales como: monoterpenos acíclicos, monocíclicos y bicíclicos, flavonoides, tiofenos (Soule, 1993) y compuestos aromáticos (Ibrahim et al., 2015; Tankeu et al., 2013). Trans-β-ocimeno es un monoterpeno (Jirovetz et al., 1998; Imelouane et al., 2009) con aroma a hierba y dulce (Janzanti et al., 2012), también se le conoce como (E)-β-ocimeno, ocimeno o β-ocimeno (PubChem, 2017a), se encontró 9,47% de este componente en AE de huacatay. Andreotti et al. (2013) también encontraron β-ocimeno (5,11%) en AE de huacatay de Brasil. El contenido de terpenos podría variar en función al tipo de suelo en donde se cultiva la planta (Akbarian et al., 2019). Por otro lado, el AE de huacatay podría diferenciarse por su contenido en sesquiterpenos, por ello es utilizado en tratamientos medicinales. 1-adamantanol, encontrado en huacatay puede ser utilizado como droga anticancerígena y antimicrobiana (PubChem, 2017b). También se encontró alil valerato (24,74%), éste es un aditivo alimentario seguro (PubChem, 2017c).

En el AE de poleo, se encontró pulegona (6,37%); valor inferior al reportado por Riahi et al. (2013) para *Mentha rotundifolia* L (32,09%), atribuyendo a la pulegona su elevada actividad antioxidante. En AE de romero, el principal componente fue β-mirceno (34,59%), los estudios realizados por Bonamin et al. (2014) demostraron la importancia de este componente como un inhibidor de las úlceras gástricas y duodenales; β-mirceno no siempre es mayoritario en romero; también, puede ser alcanfor, cineol o α-pineno (Satyal et al., 2017; Hannour et al., 2017). En cuanto al sachaculantro, se encontró α-pineno (23,41%) como componente mayoritario, utilizado como agente aromatizante en la preparación de alimentos. También se encontró (Z)-13-octadecenal (9,82%), considerado un buen agente agroquímico.

Tabla 5
Identificación de los componentes volátiles de los AE†

Componente	TR ^a	% del total			
		Huacatay ^s	Poleo ^b	Romero ^a	Sachaculantro ^{††}
2-etil-furano	3,280	1,29		2,39	
2-metilbutil acetato	8,643	3,01			
Nonano	9,894				1,66
α-tujeno	11,951			2,39	
α-pineno	12,209		7,70	16,00	23,41
Camfeno	13,881			12,87	2,39
Exo-2-bromonorbornano	13,976	2,08			
β-felandreno	16,764		20,85	1,46	
β-pineno	16,950				1,50
(-)-β-pineno	16,994			4,37	
β-mirceno	19,853		5,32	34,59	
3-octanol	20,426		1,35		
α-terpineno	23,249			1,03	
M-cimeno	24,755				17,26
O-cimeno	24,777				15,08
D-limoneno	25,443		13,41		5,90
Eucaliptol	25,910		1,85	12,38	
Trans-β-ocimeno	28,601	9,47		1,70	
Cis-β-ocimeno	30,677		4,60		
Alil valerato	31,928	24,74			
γ-terpineno	32,149			1,27	6,39
2,3-epoxipinano	35,881	3,01			
Linalol	38,368		7,34		
Tridecano	38,395				6,97
(+)-2-bornanona	41,893			6,50	
2,3,3-trimetil-1,4-pentadieno	42,553	5,18			
L-mentona	42,812		8,79		
1-adamantanol	43,274	44,42			
DI-mentol	43,752		3,45		
Decanal	46,975				1,88
Pulegona	48,808		6,37		
Ascaridol	49,803		2,24		
Linalil acetato	50,051		6,22		
2,4,5-trimetilbenzaldehido	55,028				1,62
Tetradecanal	57,668				1,61
(Z)-13-octadecenal	60,186				9,82

†Solo se presentan los componentes cuya cantidad es superior a 1%. †Tiempo de retención en minutos. §Proveniente de Suyubamba. ††Proveniente de Cuelcho. †Proveniente de Taquia. ††Proveniente de Nieva.

En otros estudios se encontró (E)-2-dodecenal (eryngial), triterpenoides (estigmasterol), terpenos (limoneno) y saponinas (Rojas-Silva *et al.*, 2014). En tal sentido, la alta variabilidad química entre los AEs de las plantas estudiadas en función a su distribución geográfica y bioclimática sugiere que las estrategias de conservación de estas especies se realicen de manera adecuada, teniendo en cuenta estos factores (ElHadj Ali *et al.*, 2010).

4. Conclusiones

Las características físicas de los aceites esenciales de huacatay, poleo, romero y sachaculantro de Amazonas son diferentes entre los distritos y varían en función de la altitud y clima. La actividad antioxidante de cada aceite esencial es la misma en los distritos considerados en el estudio y no depende del clima; su diferencia se presenta entre los aceites esenciales de una y otra planta. Sería de mucha utilidad realizar estudios que consideren el tipo de suelo como factor de variabilidad para la composición fisicoquímica y propiedades biológicas de los aceites esenciales

estudiados, y de esta manera generar estrategias de conservación y uso racional de dichas especies.

Agradecimientos

Agradecemos al Ministerio de Educación del Perú, al Concejo Nacional de Ciencia y Tecnología – Concytec y la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas por el financiamiento y las facilidades brindadas en el desarrollo del proyecto “Uso de aceites esenciales de especias nativas para prolongar la vida útil de carne de cuy empacada al vacío”, al cual pertenece el presente trabajo. Se extiende un agradecimiento también al Ing. Ángel Esparza Chávez por su apoyo en la edición del manuscrito.

ORCID

E. Castro-Alayo  <https://orcid.org/0000-0003-4322-8980>

G. Olivas-Orozco  <https://orcid.org/0000-0001-8242-8614>

Referencias bibliográficas

Adams, T.; Taylor, S. 2010. Safety evaluation of essential oils: a constituent-based approach. En: *Handbook of Essential oils: Science, Technology and Applications*. Can Baser, K., ed. Boca Raton. CRC Press/Taylor & Francis. Pp 185-208.

- Akbarian, A.; Rahimmalek, M.; Sabzalain, M.R.; Sarfaraz, D. 2019. Variation in essential oil composition, phenolic, flavonoid and antioxidant activity of *Kelussia odoratissima Mozaff* based on three model systems. *Journal of Applied Research on Medicinal and Aromatic Plants* 13: 100208.
- Andreotti, R.; Garcia, M.V.; Cunha, R.C.; Barros, J.C. 2013. Protective action of *Tagetes minuta* (Asteraceae) essential oil in the control of *Rhipicephalus microplus* (Canestrini, 1887) (Acari: Ixodidae) in a cattle pen trial. *Vet. Parasitol.* 197(1-2): 341–345.
- Bajalan, I.; Rouzbahani, R.; Pirbalouti, A.G.; Maggi, F. 2017. Antioxidant and antibacterial activities of the essential oils obtained from seven Iranian populations of *Rosmarinus officinalis*. *Ind. Crops Prod.* 107: 305–311.
- Banout, J.; Havlik, J.; Kulik, M.; Kloucek, P.; Lojka, B.; Valterova, I. 2010. Effect of solar drying on the composition of essential oil of Sachaculantro (*Eryngium foetidum* L.) grown in the Peruvian Amazon. *J. Food Process Eng.* 33: 83–103.
- Başer, K.H.C.; Buchbauer, G. (Eds.). 2010. *Handbook of Essential Oils: Science, Technology and Applications*. Boca Raton. CRC Press/Taylor & Francis. 994 pp.
- Bonamin, F.; Moraes, T.M.; dos Santos, R.C.; Kushima, H.; Faria, F.M.; Silva, M.A.; Junior, I.V.; Nogueira, L.; Bauab, T.M.; Souza Brito, A.R.M.; da Rocha, L.R.M.; Hiruma-Lima, C.A. 2014. The Effect of a minor constituent of essential oil from *Citrus aurantium*: The role of β -myrcene in preventing peptic ulcer disease. *Chem. Biol. Interact.* 212: 11–19.
- Boukhatem, M.N.; Amine, F.M.; Kameli, A.; Saidi, F.; Walid, K.; Mohamed, S.B. 2014. Quality assessment of the essential oil from *Eucalyptus globulus* Labill of Blida (Algeria) origin. *Int. Lett. Chem. Phys. Astron.* 36: 303–315.
- Božovic, M.; Ragno, R. 2017. *Calamintha nepeta* (L.) Savi and its main essential oil constituent pulegone: Biological activities and chemistry. *Molecules* 22(2): 1–50.
- Burt, S. 2004. Essential oils: Their antibacterial properties and potential applications in foods - a review. *Int. J. Food Microbiol.* 94(3): 223–253.
- Cardozo, E.; Rubio, M.; Rojas, L.B.; Usbillaga, A. 2004. Composition of the essential oil from the leaves of *Eryngium foetidum* L. from the Venezuelan Andes. *J. Essent. Oil Res.* 16: 33–34.
- Chalchat, J.C.; Garry, R.P.; Muhayimana, A. 1995. 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.
- d'Acampora, Z.B.; Dugo, P.; Dugo, G.; Mondelo, L. 2010. Analysis of essential oils. En: *Handbook of Essential oils: Science, Technology and Applications*. Can Baser, K., ed. Boca Raton. CRC Press/Taylor & Francis. Pp 151–184.
- EIHadj Ali, I.B.; Zaouali, Y.; Bejaoui, A.; Boussaid, M. 2010. Variation of the Chemical Composition of Essential Oils in Tunisian Populations of *Thymus algeriensis* Boiss. et Reut. (Lamiaceae) and Implication for Conservation. *Chemistry & Biodiversity* 7(5): 1276–1289.
- Ertas, A.; Boga, M.; Yilmaz, M.A.; Yesil, Y.; Tel, G.; Temel, H.; Hasimi, N.; Gazioglu, I.; Ozturk, M.; Ugurlu, P. 2015. A detailed study on the chemical and biological profiles of essential oil and methanol extract of *Thymus nummularius* (Anzer tea): Rosmarinic acid. *Ind. Crops Prod.* 67: 336–345.
- Fejér, J.; Gruľová, D.; De Feo, V.; Üргеová, E.; Obert, B.; Preťová, A. 2018. *Mentha x piperita* L. nodal segments cultures and their essential oil production. *Ind. Crops Prod.* 112: 550–555.
- Gil, A.; Ghersa, C.M.; Leicach, S. 2000. Essential oil yield and composition of *Tagetes minuta* accessions from Argentina. *Biochem. Syst. Ecol.* 28(3): 261–274.
- Granados, C.; Yáñez, X.; Santafé, G. 2012. Evaluación de la actividad antioxidante del aceite esencial foliar de *Calycolpus moritzianus* y *Minthostachys mollis* del Norte de Santander. *Bistua Rev. Fac. Cienc. Básicas* 10: 12–23.
- Gurbuz, B.; Bagdat, R.B.; Uyanik, M.; Rezaeieh, K.A.P. 2016. Rosemary (*Rosmarinus officinalis* L.) cultivation studies under Ankara ecological conditions. *Ind. Crops Prod.* 88: 12–16.
- Hannour, K.; Boughdad, A.; Maataoui, A.; Bouchelta, A. 2017. Chemical composition and toxicity of Moroccan *Rosmarinus officinalis* (Lamiaceae) essential oils against the potato tuber moth, *Phthorimaea operculella* (Zeller, 1873) Zeller (Lepidoptera, Gelechiidae). *Journal of materials and environmental sciences* 8(2): 758–769.
- Harkat-Madouri, L.; Asma, B.; Madani, K.; Bey-Ould Si Said, Z.; Rigou, P.; Grenier, D.; Allalou, H.; Remini, H.; Adjaoud, A.; Boulekbache-Makhlouf, L. 2015. Chemical composition, antibacterial and antioxidant activities of essential oil of *Eucalyptus globulus* from Algeria. *Ind. Crops Prod.* 78: 148–153.
- Horvathova, E.; Navarova, J.; Galova, E.; Sevcovicova, A.; Chodakova, L.; Snahnicanova, Z.; Melusova, M.; Kozics, K.; Slamenova, D. 2014. Assessment of antioxidative, chelating, and DNA-protective effects of selected essential oil components (eugenol, carvacrol, thymol, borneol, eucalyptol) of plants and intact *Rosmarinus officinalis* oil. *J. Agric. Food Chem.* 62(28): 6632–6639.
- Ibrahim, S.R.M.; Mohamed, G.A.; Abdel-Latif, M.M.M.; El-Messery, S.M.; Al Musayeib, N.M.; Shehata, I. A. 2015. Minutaside A, new α -amylase inhibitor flavonol glucoside from *Tagetes minuta*: antidiabetic, antioxidant, and molecular modeling studies. *Starch – Stärke* 67(11): 976–984.
- Imelouane, B.; Amhamdi, H.; Wathélet, J.P.; Ankit, M.; Khedid, K.; El Bachiri, A.; Otros. 2009. Chemical composition and antimicrobial activity of essential oil of thyme (*Thymus vulgaris*) from Eastern Morocco. *Int J Agric Biol* 11: 205–208.
- Janzantti, N.S.; Macoris, M.S.; Garruti, D.S.; Monteiro, M. 2012. Influence of the cultivation

- system in the aroma of the volatile compounds and total antioxidant activity of passion fruit. *LWT - Food Sci. Technol.* 46(2): 511-518.
- Jirovetz, L.; Buchbauer, G.; Shafi, M.P.; Saidutty, A. 1998. Analysis of the aroma compounds of the essential oil of seeds of the spice plant *Zanthoxylum rhetsa* from southern India. *Z. Für Leb. Forsch. A* 206(3): 228-229.
- Ju, J.; Xu, X.; Xie, Y.; Guo, Y.; Cheng, Y.; Qian, H.; Yao, W. 2018. Inhibitory effects of cinnamon and clove essential oils on mold growth on baked foods. *Food Chem.* 240: 850-855.
- Kyarimpa, C.M.; Böhmendorfer, S.; Wasswa, J.; Kiremire, B.T.; Ndiege, I.O.; Kabasa, J.D. 2014. Essential oil and composition of *Tagetes minuta* from Uganda. Larvicidal activity on *Anopheles gambiae*. *Ind. Crops Prod.* 62: 400-404.
- Mamadaliyeva, N.Z.; Youssef, F.S.; Ashour, M.L.; Sasmakov, S.A.; Tiezzi, A.; Azimova, S.S. 2019. Chemical composition, antimicrobial and antioxidant activities of the essential oils of three Uzbek Lamiaceae species. *Natural Product Research* 33(16): 2394-2397.
- Monigatti, M.; Busmann, R.W.; Weckerle, C.S. 2013. Medicinal plant use in two Andean communities located at different altitudes in the Bolívar Province, Peru. *J. Ethnopharmacol.* 145: 450-464.
- Murga-Gutiérrez, S.N.; Alvarado-Ibáñez, J.C.; Vera-Obando, N.Y. 2012. Efecto del follaje de *Tagetes minuta* sobre la nodulación radicular de *Meloidogyne incognita* en *Capsicum annum*, en invernadero. *Rev. Peru. Biol.* 19: 257-260.
- Oke, F.; Aslim, B.; Ozturk, S.; Altundag, S. 2009. Essential oil composition, antimicrobial and antioxidant activities of *Satureja cuneifolia* Ten. *Food Chem.* 112: 874-879.
- Pandey, B.P.; Thapa, R.; Upreti, A. 2017. Chemical composition, antioxidant and antibacterial activities of essential oil and methanol extract of *Artemisia vulgaris* and *Gaultheria fragrantissima* collected from Nepal. *Asian Pac. J. Trop. Med.* 10: 952-959.
- Paul, J.H.A.; Seaforth, C.E.; Tikasingh, T. 2011. *Eryngium foetidum* L.: A review. *Fitoterapia* 82: 302-308.
- Preedy, V. 2016. Essential oils in food preservation, flavor and safety. Academic Press is an imprint of Elsevier, Amsterdam. 932 pp.
- PubChem. 2017a. (E)-beta-ocimene | C10H16 - PubChem. Disponible en: www.pubchem.ncbi.nlm.nih.gov.
- PubChem. 2017b. 1-hydroxyadamantane (1-adamantanol). Disponible en: www.chemicaland21.com
- PubChem. 2017c. Allyl valerate | C8H14O2 - PubChem. Disponible en: www.pubchem.ncbi.nlm.nih.gov.
- Ranilla, L.G.; Apostolidis, E.; Shetty, K. 2012. Ultraviolet protective properties of latin american herbs on *Saccharomyces cerevisiae* and likely mode of action through the proline-linked pentose phosphate pathway: Focus on the yerba mate tea (*Ilex paraguariensis*). *J. Food Biochem.* 36: 322-333.
- Rao, B.R.R.; Kaul, P.N.; Syamasundar, K.V.; Ramesh, S. 2005. Chemical profiles of primary and secondary essential oils of palmarosa (*Cymbopogon martinii* (Roxb.) Wats var. *Motia* Burk.). *Ind. Crops Prod.* 21: 121-127.
- Riahi, L.; Elferchichi, M.; Ghazghazi, H.; Jebali, J.; Ziadi, S.; Aouadhi, C.; Chograni, H.; Zaouali, Y.; Zoghalmi, N.; Mliki, A. 2013. Phytochemistry, antioxidant and antimicrobial activities of the essential oils of *Mentha rotundifolia* L. in Tunisia. *Ind. Crops Prod.* 49: 883-889.
- Rojas-Silva, P.; Graziose, R.; Vesely, B.; Poulev, A.; Mbeunkui, F.; Grace, M.H.; Kyle, D.E.; Lila, M.A.; Raskin, I. 2014. Leishmanicidal activity of a daucane sesquiterpene isolated from *Eryngium foetidum*. *Pharm. Biol.* 52: 398-401.
- Satyral, P.; Jones, T.; Lopez, E.; McFeeters, R.; Ali, N.; Mansi, I.; Al-kaf, A.; Setzer, W. 2017. Chemotypic characterization and biological activity of *Rosmarinus officinalis*. *Foods* 6: 2-15.
- Simard, S.; Hachey, J.M.; Collin, G.J. 1988. 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.
- Soule, J.A. 1993. *Tagetes minuta*: A potential new herb from South America. En: J. Janick and J.E. Simon (eds.). *New York. New crops.* Wiley. Pp 649-654.
- Tankeu, S.Y.; Vermaak, I.; Viljoen, A.M.; Sandasi, M.; Kamatou, G.P.P. 2013. Essential oil variation of *Tagetes minuta* in South Africa – A chemometric approach. *Biochem. Syst. Ecol.* 51: 320-327.
- Teles, S.; Pereira, J.A.; Santos, C.H.B.; Menezes, R.V.; Malheiro, R.; Lucchese, A.M.; Silva, F. 2013. Effect of geographical origin on the essential oil content and composition of fresh and dried *Mentha×villosa* Hudson leaves. *Ind. Crops Prod.* 46: 1-7.
- Van Haute, S.; Raes, K.; Van der Meer, P.; Sampers, I. 2016. The effect of cinnamon, oregano and thyme essential oils in marinade on the microbial shelf life of fish and meat products. *Food Control* 68: 30-39.
- Vásquez-Ocmín, P.; Cojean, S.; Rengifo, E.; Suyayagh-Albouz, S.; Amasifuen Guerra, C.A.; Pomel, S.; Cabanillas, B.; Mejía, K.; Loiseau, P.M.; Figadère, B.; Maciuk, A. 2018. Antiprotozoal activity of medicinal plants used by Iquitos-Nauta road communities in Loreto (Peru). *J. Ethnopharmacol.* 210: 372-385.