

PROPIEDADES FISICOQUÍMICAS, COMPOSICIÓN QUÍMICA Y ACTIVIDAD ANTIOXIDANTE DEL ACEITE ESENCIAL DE *Citrus jambhiri* (Limón rugoso)

Mario Urrunaga-Ormachea^a, Carla del Carpio-Jiménez^{a,b}, R. Giancarlo Gutierrez-Chavez^a,
Ciro Tomaylla-Cruz^c

RESUMEN

Las cáscaras de los cítricos presentan una gran cantidad de aceites esenciales con muchas aplicaciones en las industrias farmacéutica, cosmética y alimentaria. En las últimas décadas en nuestro país la industria de cítricos ha alcanzado un gran despegue debido al aumento de la producción interna y el crecimiento de las exportaciones, esto sumado a que a nivel internacional han ido cambiando los hábitos alimentarios de los consumidores quienes buscan alimentos funcionales, por lo que los cítricos han ganado mucha atención. Uno de los cítricos que ha venido destacando en países como India y Nigeria es el *Citrus jambhiri*, que también se cultiva en nuestro país y presenta en sus cáscaras un aceite esencial muy interesante.

El objetivo de la presente investigación fue realizar la extracción del aceite de la cáscara de *Citrus jambhiri* usando el método de destilación por arrastre de vapor de agua y cuantificar por cromatografía de gases acoplado a espectrometría de masas los principales componentes presentes en el aceite esencial, para luego comparar el porcentaje de rendimiento y los principales componentes presentes en las cáscaras de otras especies de cítricos. Asimismo, se estableció las principales propiedades organolépticas y fisicoquímicas del aceite, así como su actividad antioxidante.

Se estableció que el porcentaje de rendimiento del aceite de *Citrus jambhiri* fue de 0,72%, mientras que en su composición destacan los monoterpenos hidrocarbonados en un 76.5%, siendo los más abundantes el limoneno (37,7%), el β -pineno (25,1%) y el E- β -ocimeno (5,6%), los monoterpenos oxigenados constituyen un 15%, siendo los mayoritarios el citrionelal (4,9%) y el linalool (4,1%) y los sesquiterpenos hidrocarbonados como el β -cariofileno en un 2,8%. Dentro de sus propiedades fisicoquímicas se encontró una densidad (20°C) de 0,844 g/mL \pm 0,02; índice de refracción (20°C) de 1,472 \pm 0,01 y un pH de 4,7 \pm 0,01. El IC50 determinado para el aceite esencial de *Citrus jambhiri* fue de 99,8 \pm 5,6 mg/mL.

Palabras clave: *Citrus jambhiri*, CG-MS, Aceite esencial, limoneno, monoterpenos

^a Escuela Profesional de Farmacia y Bioquímica, Facultad de Ciencias de la Salud, Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco, Av. de la Cultura 733, Cusco 80101, Perú, mario.urrunaga@unsaac.edu.pe

^b Laboratorio de Tecnología Farmacéutica, Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco.

^c Escuela Profesional de Química, Facultad de Ciencias, Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco.

PHYSICOCHEMICAL PROPERTIES, CHEMICAL COMPOSITION AND ANTIOXIDANT ACTIVITY OF THE ESSENTIAL OIL OF *Citrus jambhiri* (Rough lemon) ESSENTIAL OIL

ABSTRACT

Citrus peels contain many essential oils with many applications in the pharmaceutical, cosmetic, and food industries. In recent years the citrus industry in our country has had a great boom due to the increase in domestic production and the growth trend of exports, because of the international level the eating habits of consumers have been changing and they are looking for functional foods, so citrus fruits have gained a lot of attention. One of the citrus fruits that have been attracting a lot of attention in countries such as India and Nigeria are *Citrus jambhiri*, which is also grown in our country and has a very interesting essential oil in its peels.

The aim of this research was to extract the oil from the peel of *C. jambhiri* using the steam distillation method and to quantify by gas chromatography coupled to mass spectrometry the main components present in the essential oil, and then compare the percentage yield and the main components present in the peels of other citrus species. The main organoleptic and physicochemical properties of the oil were also established.

It was possible to establish that the percentage yield of *C. jambhiri* oil was 0,72%. In the composition of the essential oil of the peels of *C. jambhiri*, monoterpene hydrocarbons stand out with 76,5%, the most abundant being limonene (37,7%), β -pinene (25,1%) and E- β -ocimene (5,6%), oxygenated monoterpenes constitute 15%, the majority being citronellal (4,9%) and linalool (4,1%) and sesquiterpene hydrocarbons (β -caryophyllene) at 2,8%. Among its physicochemical properties, a density (20°C) of 0,844 g/mL \pm 0,02, a refractive index (20°C) of 1,472 \pm 0,01 and a pH of 4,7 \pm 0,01 were found. The IC50 determined for the essential oil of *C. jambhiri* was 99,8 \pm 5,6 mg/mL.

Key words: *Citrus jambhiri*, GC-MS, Essential oil, Limonene, monoterpenes.

INTRODUCCIÓN

Los aceites esenciales son sustancias aromáticas sintetizadas y segregadas por estructuras vegetales especializadas, se localizan frecuentemente en células oleíferas, pelos glandulosos, en cavidades secretoras o en ciertas especies en el pericarpio de los frutos, como en el caso de los cítricos. Los cítricos son un género de la familia Rutaceae, son los frutales más populares por ser valiosas fuentes de nutrientes y fitoquímicos¹, existen alrededor de 40 especies diferentes de cítricos ampliamente distribuidas en las regiones tropicales, subtropicales y templadas del mundo. Se han producido muchas variedades e híbridos de cítricos como resultado de cruces naturales o artificiales. Naranjas, pomelos, mandarinas, limones y limas no sólo son populares por su valor nutricional, sino que también son los principales cultivos industrializados².

La cáscara de los cítricos representa casi la mitad del peso del fruto (40-50%), lo que genera miles de toneladas de residuos sólidos durante su procesamiento para la obtención de zumos y enlatados, y sin embargo las cáscaras son una fuente importante de componentes bioactivos como los compuestos fenólicos, aceite esencial, carotenoides y ácido ascórbico^{1,3,4}.

Las cáscaras de los cítricos son la fuente más conocida y rica de aceites esenciales (0,5-3,0 kg/tonelada de los cítricos). La producción mundial anual de aceites esenciales de cítricos es de aproximadamente 16.000 toneladas, con un precio en el mercado mundial de aproximadamente 14.000 dólares/tonelada. Los aceites esenciales de cítricos tienen una gran demanda en todo el mundo y sus perspectivas de mercado son prometedoras en el mercado internacional. Estos aceites esenciales tienen características sensoriales agradables y son una fuente de compuestos bioactivos con muchos beneficios para la salud humana⁴. Los usos más destacados de estos aceites esenciales son como inhibidores de la tos, expectorantes, potenciadores de la secreción de jugos digestivos, potenciadores y promotores de la motilidad gastrointestinal. Además, alivian el dolor y la inflamación y disuelven los cálculos biliares. Asimismo, son fragancias populares que se utilizan habitualmente como agentes edificantes y refrescantes en la preparación de perfumes, jabones de tocador, cosméticos y otros productos para el cuidado del cuerpo³. Se usan también como agentes aromatizantes en helados, bebidas y otros productos alimenticios. En la actualidad, tienen una gran demanda en el sector alimentario, farmacéutico, cosmético, perfumería y confitería debido a su fragancia, sabor y presencia de compuestos bioactivos⁵.

El limón rugoso (*C. jambhiri*) es una especie cítrica que está logrando captar la atención en países como la India donde los frutos y la cáscara están siendo procesados para obtener productos con valor agregado⁶. En 2019 debido a sus aclamados potenciales medicinales, el valor comercial de limón rugoso superó al de la naranja dulce en el suroeste de Nigeria. Estos hechos indican la prominencia gradual de *C. jambhiri*, y vislumbran el potencial para el aumento global de su producción en el futuro cercano⁷.

Algunas de las características que destacan del limón rugoso son el mayor porcentaje de ácido ascórbico que llega a ser del 51%, mientras que otros cultivares de limón sólo alcanzan un 20 a 30%. El sabor de este limón es muy refrescante y agradable, presenta una buena cantidad de compuestos polifenólicos especialmente los flavonoides que destacan como ingredientes funcionales en la prevención de enfermedades degenerativas⁸. El procesamiento de los frutos de *C. jambhiri* genera un 40% de residuos de cáscaras, que actualmente son enterradas o incineradas, contaminando el medio ambiente. Curiosamente, estas cáscaras son una rica fuente de aceite esencial⁹.

El Perú es un país citrícola, en donde por varias generaciones se han cultivado cítricos, y en los últimos años la industria de cítricos ha alcanzado un gran incremento en su producción interna debido al crecimiento de las exportaciones. En la Amazonía y en los valles costeros peruanos hay una gran producción de cítricos como la mandarina cleopatra, limón tahití, lima dulce y, limón rugoso, sin embargo, no se aprovechan como fuente de alimentos y materias primas para la industria farmacéutica y cosmética¹⁰.

Teniendo en cuenta el gran potencial de las cáscaras de los frutos de limón rugoso (*C. jambhiri*) como fuente de aceite esencial en nuestro país, consideramos que es importante conocer su composición química y establecer los potenciales usos que se le puede dar. Por lo tanto, los objetivos de este trabajo de investigación fueron identificar los principales componentes presentes en el aceite esencial extraído de la cáscara del fruto de *C. jambhiri* y destacar sus propiedades fisicoquímicas y su actividad antioxidante.

PARTE EXPERIMENTAL

Material vegetal

La especie vegetal *Citrus jambhiri* (Limón rugoso) fue recolectada en el predio Huertawayq' o del distrito de Yanatile de la provincia de Calca y del departamento de Cusco. La identificación taxonómica se realizó en el Herbario Vargas CUZ de la Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco.

Extracción del aceite esencial

La extracción del aceite esencial se realizó en un equipo de destilación por arrastre de vapor de agua. El material utilizado fueron las cáscaras frescas de *C. jambhiri*, las cuales fueron expuestas al vapor de agua para obtener un destilado que fue recogido en un embudo de decantación de vidrio, para luego obtener el aceite esencial. Posteriormente se procedió a secar el aceite usando sulfato de sodio anhidro. El aceite esencial resultante fue almacenado en frascos de color ámbar a una temperatura de 4 °C al abrigo de la luz, hasta su análisis y caracterización.

Características organolépticas y propiedades fisicoquímicas del aceite esencial

Las características organolépticas evaluadas fueron el aspecto, color, olor y sabor. Las propiedades fisicoquímicas evaluadas fueron el pH, la densidad a 20°C, el índice de refracción, según los métodos oficiales de la AOAC (2006)¹¹.

Determinación de los componentes químicos del aceite esencial

Los componentes químicos del aceite esencial de *C. jambhiri*, fueron determinados usando un cromatógrafo de gases (Agilent 7820 A) acoplado a un espectrómetro de masas (CG-EM), con una columna Agilent HP-5 de 30 m x 0,32 mm x 0,25 µm. Las condiciones del ensayo fueron: Columna 50 °C durante el primer minuto, luego se incrementó a razón de 3 °C/min hasta 200 °C. El volumen de inyección fue de 1 µL (concentración 1% en cloroformo). El flujo de helio fue de 1 mL/min. La relación de Split fue de 50:1. La detección se realizó a 220 °C.

Espectro UV-Vis del aceite esencial

El espectro de absorción ultravioleta-visible (UV-Vis) del aceite se registró en un espectrofotómetro Evolution™ 201/220 UV Vis (Thermo Scientific), utilizando una

disolución en etanol de 95°, de aceite esencial al 0,25%, en un intervalo de longitud de onda comprendido entre 200 a 380 nm.

Actividad antioxidante del aceite esencial

La actividad antioxidante del aceite esencial de *C. jambhiri* se determinó según el método de Shimada, Fujikawa, Yahara y Nakamura (1992)¹². El aceite esencial (2,5 – 40 mg/mL) en metanol (4 mL) se mezcló con 1 mL de solución etanólica de DPPH (0,2 mM). La mezcla se agitó enérgicamente y se dejó reposar durante 60 minutos en la oscuridad, y a continuación se midió la absorbancia a 517 nm en un espectrofotómetro Evolution™ 201/220 UV Vis (Thermo Scientific). El ácido ascórbico se utilizó como control.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Extracción del aceite esencial

En la Tabla 1, se muestra el porcentaje de rendimiento del aceite esencial de las cáscaras de *Citrus jambhiri*.

Tabla 1. Porcentaje de rendimiento del aceite esencial de la cáscara de *Citrus jambhiri* en comparación con los aceites esenciales de las cáscaras de otros cítricos

Cáscaras de cítricos	Rendimiento (g de aceite/g de muestra)	Referencia
<i>Citrus jambhiri</i>	0,72%*	--
<i>Citrus grandis</i>	1,06%	Hosni et al. (2010) ¹³
<i>Citrus sinensis</i> var. Meski	2,31%	Hosni et al. (2010) ¹³
<i>Citrus lumia</i> Risso	1,75%	Smeriglio et al. (2018) ⁵
<i>Citrus aurantium</i> Linn.	1,29%	Jing et al. (2015) ¹⁴
<i>Citrus paradisi</i>	0,79%	Okunowo et al. (2013) ¹⁵
<i>Citrus limon</i> (L.) Burm.	0,21%	Ferhat et al. (2016) ¹⁶

*Porcentaje obtenido en el presente trabajo de investigación

Las cáscaras de los cítricos están compuestas por una capa blanca interior llamada albedo y una colorida piel exterior llamada flavedo. Los aceites esenciales se encuentran principalmente en el flavedo y están ausentes o presentes en cantidades mínimas en el albedo¹⁷.

En las cáscaras de pomelo (*C. grandis*) el contenido de aceite esencial tiene un promedio de 1,06 %¹³, mientras que en *Citrus lumia* Risso fue de 1,75 %⁵, y en el caso de *Citrus limon* (L.) Burn se obtuvo un rendimiento de 0,21 %¹⁶. El porcentaje de rendimiento de los aceites

varía entre las diferentes especies de cítricos, como se aprecia en la Tabla 1 y se ha reportado un rango de 0,5 – 5,0% (p/v)¹⁸.

Las cáscaras de los cítricos son fuentes ricas de aceites esenciales (0,5 a 3,0 kg/tonelada de fruta). Los cítricos de cáscara gruesa, como la naranja agria (*Citrus aurantium*), el pomelo (*Citrus paradisi*) y la bergamota (*Citrus bergamia*) contienen un alto contenido de aceites esenciales en comparación con las especies de cítricos de cáscara fina¹¹. En caso de *C. jambhiri*, el rendimiento de aceite de la cáscara del fruto reportado por Ogunjinmi *et al.*, (2019)¹⁹ fue de 1,40% (p/v), y en el estudio realizado por Jing *et al.*, (2015)¹⁴, se obtuvo un rango entre 0,85% - 1,46%. En nuestro trabajo se obtuvo un porcentaje de 0,72%, porcentaje inferior a los reportados en estudios previos y que puede deberse a la procedencia geográfica del fruto.

Características organolépticas y propiedades fisicoquímicas

En la Tabla 2, se muestran los resultados de la determinación de las características organolépticas y de las propiedades fisicoquímicas del aceite esencial de *C. jambhiri*, todos los resultados se encuentran dentro de los límites establecidos en investigaciones previas.



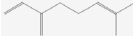


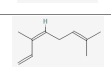
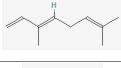

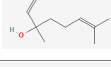
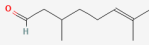

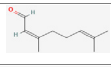
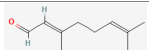
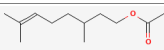


Tabla 2. Características organolépticas y propiedades fisicoquímicas del aceite esencial de la cáscara de *C. jambhiri*

Características organolépticas	Resultados
Color	Ligeramente amarillento
Olor	Cítrico, fresco, intenso
Sabor	No picante
Aspecto	Líquido fluido
Propiedades fisicoquímicas	
pH	4,7 ± 0,01
Densidad (20°C)	0,844 g/mL ± 0,02
Índice de refracción (20°C)	1,472 ± 0,01

Composición química del aceite esencial

En la Tabla 3, se muestran los principales componentes presentes en el aceite esencial extraído de las cáscaras de *C. jambhiri*, destacando el limoneno con 37,7% como el principal componente, seguido del β -pineno con 25,1%, E- β -ocimeno con 5,6%, citronelal con 4,9% y linalool con 4,1%.

Tabla 3. Composición química del aceite esencial de las cáscaras de *C. jambhiri*

Pico	IR Calc	Componente	Estructura Química	Peso Molecular (g/mol)	Tipo	Porcentaje %
1	989	α -pineno		136,24	MH	1,5
2	1009	β-pineno		136,24	MH	25,1
3	1020	Mirceno		136,24	MH	3,2
4	1034	α -terpineno		136,24	MH	0,8
5	1042	Limoneno		136,24	MH	37,7
6	1051	Z- β -ocimeno		136,24	MH	1,2
7	1058	E-β-ocimeno		136,24	MH	5,6
8	1064	γ -terpineno		136,24	MH	1,4
9	1101	Linalool		154,25	MO	4,1
10	1148	Citronelal		154,25	MO	4,9
11	1166	Terpinen-4-ol		154,25	MO	1,9
12	1234	Neral		152,23	MO	1,0
13	1266	Geranial		152,23	MO	1,2
14	1356	Acetato citronelila		198,30	MO	0,7
15	1368	Eugenol		164,20	MO	1,2
16	1407	β -cariofileno		204,35	SH	2,8
Otros						5,7

MH: Monoterpenos hidrocarbonados (76,5%); MO: Monoterpenos oxigenados (15,0%); SH: Sesquiterpenos hidrocarbonados (2,8%).

En la Figura 1, se muestra el cromatograma en el que destacan los picos correspondientes a cada uno de los componentes identificados por cromatografía de gases – espectrometría de masas.

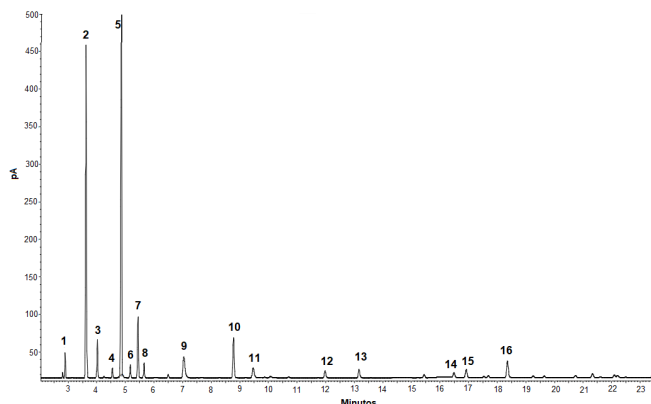


Figura 1. Cromatograma de los componentes del aceite de las cáscaras de *C. jambhiri*. (1) α -pineno; (2) β -pineno; (3) mirceneno; (4) α -terpineno; (5) limoneno; (6) Z- β -ocimeno; (7) E- β -ocimeno; (8) γ -terpineno; (9) linalool; (10) citronelal; (11) terpinen-4-ol; (12) neral; (13) geranial; (14) acetato de citronelila; (15) eugenol; (16) β -cariofileno.

Entre los principales componentes químicos en los aceites de las cáscaras de los cítricos destacan los monoterpenos hidrogenados, los monoterpenos oxigenados y los sesquiterpenos hidrocarbonados y los sesquiterpenos oxigenados²⁰. Como se muestra en la Tabla 3, en la composición del aceite esencial de las cáscaras de *C. jambhiri* destacan los monoterpenos hidrocarbonados en un 76,5%, siendo los más abundantes el limoneno (37,7%), el β -pineno (25,1%) y el E- β -ocimeno (5,6%), los monoterpenos oxigenados constituyen un 15%, siendo los mayoritarios el citronelal (4,9%) y el linalool (4,1%) y los sesquiterpenos hidrocarbonados (β -cariofileno) en un 2,8%.

En un estudio previo, Smeriglio et al. (2018)⁵ en el aceite de cáscara de *Citrus lumia* Risso hallaron que los monoterpenos hidrocarbonados se encontraban en un 58,1%, los monoterpenos oxigenados en un 26,73% y los sesquiterpenos en un 0,93%. En otro estudio realizado por Espina et al. (2011)²¹ se encontró que el aceite de las cáscaras de naranja tenía un 87,5% de monoterpenos hidrocarbonados, mientras que el porcentaje de los monoterpenos oxigenados fue de 13,6% en el aceite de cáscaras de mandarina. En tanto que, el aceite de cáscaras de limón contenía 2-3 veces mayor contenido de sesquiterpenos hidrocarbonados y sesquiterpenos oxigenados que los aceites de cáscara de naranja y mandarina²¹. Asimismo, se pudo apreciar que la composición de los aceites esenciales varía con la maduración de los cítricos, así, los monoterpenos y sesquiterpenos hidrocarbonados se encontraron en mayor cantidad en las cáscaras maduras, en tanto que los monoterpenos y sesquiterpenos oxigenados fueron más abundantes en las cáscaras inmaduras de la naranja agria del suroeste de Irán²².

En general en la Tabla 3, se puede apreciar que el contenido en monoterpenos en las cáscaras de *C. jambhiri* es de 91,5%, porcentaje muy cercano a lo reportado en otros estudios, en

los cuales se destaca que, en la composición de los aceites de los cítricos principalmente destacan los monoterpenos (90%), junto con compuestos no volátiles como pigmentos y ceras en proporciones menores (<1%).

Finalmente, podemos citar que, en otros estudios realizados previamente, los principales componentes hallados en el aceite de *C. jambhiri* fueron el limoneno (33,7%) y otros componentes incluyendo sabineno (7,8 %), γ -terpineno (7,4 %) β -ocimeno (7,3 %), linalol (5,3 %), cironellal (7,3 %) y (E)- β -ocimeno (5 %) ²³.

El limoneno (84,5 %) se identificó en la cáscara del fruto de *C. Jambhiri* como componente principal en el estudio realizado por Abdelhafeez et al. (2013) ²⁴, mientras que en el estudio de Ogunjinmi et al., (2019) ¹⁹, el limoneno (4,64 %) se observó como un componente moderado en la cáscara del fruto de *C. jambhiri* de Nigeria.

Es ampliamente aceptado que la cantidad y clase de componentes de los aceites esenciales varía en las cáscaras de especies y cultivares de cítricos dependiendo de la ubicación geográfica. Sin embargo, como se muestra en la Tabla 4, el limoneno es el principal terpeno presente en las cáscaras de los cítricos.

Tabla 4. Contenido de Limoneno en el aceite esencial de diferentes cítricos

Nombre botánico	Nombre común	Limoneno (%)	Referencia
<i>Citrus jambhiri</i>	Limón rugoso	37,7 %*	--
<i>Citrus bergamia</i>	Bergamota	38,1 %	Tundis et al. (2012) ²⁵
<i>Citrus sinensis</i>	Naranja dulce	71,1 %	Guo et al. (2018) ²⁶
<i>Citrus reticulata</i>	Kumquat	54,2 %	Guo et al. (2018) ²⁶
<i>Citrus limon</i>	Limón	61,7 %	Guo et al. (2018) ²⁶
<i>Citrus lumia</i> Risso	Limón pera	48,9 %	Smeriglio et al. (2018) ⁵
<i>Citrus maxima</i>	Pomelo	46,4 %	Guo et al. (2018) ²⁶
<i>Citrus aurantium</i>	Naranja amarga	48,7 %	Ben Hsouna et al. (2019) ²⁷
<i>Citrus limetta</i>	Lima dulce	91,8 %	Maurya et al. (2018) ⁴
<i>Citrus latifolia</i>	Limón persa	53,9 %	Amorim et al. (2016) ²⁸

*Porcentaje obtenido en el presente trabajo de investigación

El limoneno es un hidrocarburo alifático incoloro identificado como el principal componente en el aceite esencial de diferentes especies de cítricos. Es un monoterpeno cíclico no oxigenado que consta de dos unidades de isopreno. Además, es conocido por su agradable fragancia cítrica y se utiliza habitualmente como agente aromatizante en alimentos comunes. El contenido de limoneno, como se muestra en la Tabla 4, varía en las cáscaras de las diferentes especies de cítricos.

Espectro UV-Vis del aceite esencial

El espectro UV de los monoterpenos y sesquiterpenos permite el reconocimiento de grupos funcionales y grupos cromóforos. En el espectro UV-Vis del aceite esencial de las cáscaras de *C. jambhiri* se aprecia un máximo de absorción a 262 nm (Figura 2), que corresponde al limoneno²⁹ que es el principal componente de este aceite.

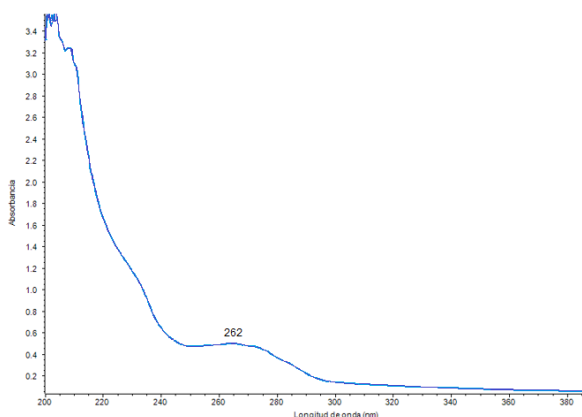


Figura 2. Espectro UV-Vis del aceite de *C. jambhiri*. Se muestra un máximo de absorbancia a 262 nm.

Actividad antioxidante del aceite esencial de *Citrus jambhiri*

La actividad antioxidante del aceite de *C. jambhiri* fue determinado usando el método de inhibición del radical DPPH, siendo la concentración de aceite esencial de *C. jambhiri* que se necesita para disminuir la concentración de DPPH en un 50% (IC₅₀) de $99,8 \pm 5,6$ mg/mL. Este valor es diferente al reportado por Hamdan et al. (2009)³⁰, quienes reportaron un IC₅₀ de $37,69 \pm 0,21$ mg/mL para el aceite esencial de *C. jambhiri* proveniente de Egipto.

CONCLUSIONES

El porcentaje de extracción del aceite de las cáscaras de *Citrus jambhiri* fue de 0,72%. El aceite esencial de las cáscaras de *C. jambhiri* cultivado en el distrito de Yanatile de la provincia de Calca y del departamento del Cusco presenta monoterpenos hidrocarbonados en un 76,5%, siendo los más abundantes el limoneno (37,7%), el β -pineno (25,1%) y el E- β -ocimeno (5,6%), en tanto que, los monoterpenos oxigenados constituyen un 15%, siendo los mayoritarios el citronelal (4,9%) y el linalool (4,1%) y dentro de los sesquiterpenos hidrocarbonados destaca el β -cariofileno en un 2,8%. Dentro de sus propiedades fisicoquímicas se encontró una densidad (20°C) de $0,844 \text{ g/mL} \pm 0,02$; índice de refracción (20°C) de $1,472 \pm 0,01$ y un pH de $4,7 \pm 0,01$. Se determinó un IC₅₀ de $99,8 \pm 5,6$ mg/mL, lo que demuestra su potencial actividad antioxidante.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Singh B, Singh JP, Kaur A, Singh N. Phenolic composition, antioxidant potential and health benefits of citrus peel. *Food Res Int.* 2020; 132:109114. doi: 10.1016/j.foodres.2020.109114
2. Satari B, Karimi K. Citrus processing wastes: Environmental impacts, recent advances, and future perspectives in total valorization. *Resour Conserv Recycl.* 2018; 129: 153–167.
3. Bustamante J, van Stempvoort S, García-Gallarreta M, Houghton JA, Briers HK, Budarin VL, et al. Microwave-assisted hydro-distillation of essential oils from wet citrus peel waste. *J Clean Prod.* 2016; 137: 598–605.
4. Maurya AK, Mohanty S, Pal A, Chanotiya CS, Bawankule DU. The essential oil from Citrus limetta Risso peels alleviates skin inflammation: In-vitro and in-vivo study. *J Ethnopharmacol.* 2018; 212:86-94.
5. Smeriglio A, Alloisio S, Raimondo FM, Denaro M, Xiao J, Cornara L, Trombetta D. Essential oil of Citrus lumia Risso: Phytochemical profile, antioxidant properties and activity on the central nervous system. *Food Chem Toxicol.* 2018; 119:407-416.
6. Aparna K, Sowmy M, Manas RS, Premi DM, Dasgupta M, Sreedhar M. Value addition and sensory evaluation of products made from underutilized Kachai Lemon (Citrus jambhiri) Lush. Fruits. *J Pharmacog Pharm.* 2018; 7(5): 3032–3036.
7. Babarinde SA, Kemabonta KA, Olatunde OZ, Ojutiku EO, Adeniyi AK. Composition and toxicity of rough lemon (Citrus jambhiri Lush.) rind essential oil against red flour beetle. *Acta Ecologica Sinica.* 2021; 41(4): 325-331.
8. Ngaorai NG. An Economic Analysis of Fruit Based Processing Units in Manipur State. [Doctoral dissertation]. Bangalore: University of Agricultural Sciences; 2014.
9. Priyadarshi S, Kashyap P, Gadhav RK, Jindal N. Effect of ultrasound-assisted hydrodistillation on extraction kinetics, chemical composition, and antimicrobial activity of Citrus jambhiri peel essential oil. *J Food Process Eng.* 2021; 44(12):e13904. doi: 10.1111/jfpe.13904.
10. Domínguez E, Ordoñez E. Evaluación de la actividad antioxidante, vitamina c de zumos cítricos de lima dulce (Citrus limetta), limón tahití (Citrus latifolia), limón rugoso (Citrus jambhiri Lush) y mandarina cleopatra (Citrus resnyi) almacenados en refrigeración. *Investigación Amazonía.* 2013; 3(1): 30-35.
11. AOAC. Official Methods of Analysis. 18th Edition. Gaithersburg, MD.: Association of Official Analytical Chemists; 2006.
12. Shimada K, Fujikawa K, Yahara K, Nakamura T. Antioxidative properties of xanthan on the autoxidation of soybean oil in cyclodextrin emulsion. *J Agric Food Chem.* 1992; 40: 945–948.
13. Hosni K, Zahed N, Chrif R, Abid I, Medfei W, Kallel M, et al. Composition of peel essential oils from four selected Tunisian Citrus species: Evidence for the genotypic influence. *Food Chem.* 2010; 123(4): 1098–1104.
14. Jing L, Lei Z, Zhang G, Pilon AC, Huhman DV, Xie R, et al. Metabolite profiles of essential oils in citrus peels and their taxonomic implications. *Metabolomics.* 2015; 11(4): 952-963.
15. Okunowo WO, Oyedeji O, Afolabi LO, Matanmi E. Essential oil of grapefruit (Citrus paradisi) peels and its antimicrobial activities. *Am J Plant Sci.* 2013; 4(7B): 1-9. doi: 10.4236/ajps.2013.47A2001.

16. Ferhat MA, Boukhatem MN, Hazzit M, Meklati BY, Chemat F. Cold pressing, hydrodistillation and microwave dry distillation of citrus essential oil from Algeria: A comparative study. *Electronic Journal of Biology S.* 2016; S1: 30-41.
17. Ferhat MA, Meklati BY, Chemat F. Comparison of different isolation methods of essential oil from Citrus fruits: cold pressing, hydrodistillation and microwave 'dry' distillation. *Flavour Fragr J.* 2007; 22: 494-504.
18. Palazzolo E, Laudicina VA, Germanà MA. Current and potential use of citrus essential oils. *Curr Org Chem.* 2013; 17: 3042-3049.
19. Ogunjinmi OE, Olawore NO, Maharaj VJ. Chemical Examination of Essential Oil from Stem, Roots and Fruit Peels of Nigerian Citrus jambhiri. *J Essent Oil-Bear Plants* 2019; 22(6): 1614-1621.
20. Singh B, Singh JP, Kaur A, Yadav MP. Insights into the chemical composition and bioactivities of citrus peel essential oils. *Food Res Int.* 2021; 143:110231. doi: 10.1016/j.foodres.2021.110231.
21. Espina L, Somolinos M, Lorán S, Conchello P, García D, Pagán R. Chemical composition of commercial citrus fruit essential oils and evaluation of their antimicrobial activity acting alone or in combined processes. *Food Control.* 2011; 22(6): 896-902.
22. Azhdarzadeh F, Hojjati M. Chemical composition and antimicrobial activity of leaf, ripe and unripe peel of bitter orange (*Citrus aurantium*) essential oils. *Nutr Food Sci Res.* 2016; 3(1): 43-50.
23. Haq NB, Sana S, Zafar I, Muhammad S. Chemical composition, antioxidant and antimicrobial activities of Citrus jambhiri Lush and Citrus reticulata Blanco essential oils. *J Chem Soc Pak.* 2019; 31(5): 838-844.
24. Abdelhafeez MA, Amna M, Ayat AO, Moawia EM, Sumaya EM. Minerals content, essential oils composition and physico chemical properties of Citrus jambhiri Lush (Rough lemon) from the Sudan. *Int Lett Chem Phys Astron.* 2013; 9(1): 25-30.
25. Tundis R, Loizzo MR, Bonesi M, Menichini F, Mastellone V, Colica C, et al. Comparative study on the antioxidant capacity and cholinesterase inhibitory activity of Citrus aurantifolia Swingle, C. aurantium L., and C. bergamia Risso and Poit. peel essential oils. *J Food Sci.* 2012; 77(1):H40-6.
26. Guo JJ, Gao ZP, Xia JL, Ritenour MA, Li GY, Shan Y. Comparative analysis of chemical composition, antimicrobial and antioxidant activity of citrus essential oils from the main cultivated varieties in China. *LWT.* 2018; 97: 825-839.
27. Ben Hsouna A, Gargouri M, Dhifi W, Ben Saad R, Sayahi N, Mnif W, et al. Potential anti-inflammatory and antioxidant effects of Citrus aurantium essential oil against carbon tetrachloride-mediated hepatotoxicity: A biochemical, molecular and histopathological changes in adult rats. *Environ Toxicol.* 2019; 34(4):388-400.
28. Amorim JL, Simas DL, Pinheiro MM, Moreno DS, Alviano CS, da Silva AJ, et al. Anti-inflammatory properties and chemical characterization of the essential oils of four citrus species. *PLoS One.* 2016; 11: e0153643. doi: 10.1371/journal.pone.0153643.
29. Martínez A. Aceites esenciales. Medellín. Colombia: Universidad de Antioquia, Facultad de química farmacéutica; 2003.
30. Hamdan D, El-Readi MZ, Nibret E, Sporer F, Farrag N, El-Shazly A, et al. Chemical composition of the essential oils of two Citrus species and their biological activities. *Pharmazie.* 2010; 65(2): 141-147.