

CAPACIDAD ANTIOXIDANTE DE ACEITE ESENCIAL DE HOJAS DE EUCALIPTO (*Eucalyptus globulus*) EXTRAÍDO POR ENERGÍA ULTRASÓNICA

ANTIOXIDANT CAPACITY OF ESSENTIAL OIL FROM EUCALYPTUS LEAVES (*Eucalyptus globulus*) EXTRACTED BY ULTRASONIC ENERGY

Miguel Angel Quispe Solano^{a*}, Denis Dante Corilla Flores^b, Roberto Asto Hinojosa^c, Alex Huaman De la Cruz^d,
Galia Mavel Manyari Cervantes^d

^a Facultad de Ingeniería en Industrias Alimentarias, Universidad Nacional del Centro del Perú

^b Departamento Académico de Ciencias Agrarias Universidad Nacional de Huancavelica

^c Universidad Nacional del Centro del Perú

^d Universidad Nacional Intercultural de la Selva Central Juan Santos Atahualpa

^e Universidad Nacional Autónoma Altoandina de Tarma

* Autor corresponsal: mquispe@uncp.edu.pe

RESUMEN

El presente trabajo de investigación tuvo por objetivo determinar la capacidad antioxidante del aceite esencial a partir de hojas de eucalipto (*Eucalyptus Globulus*) extraídas con energía ultrasónica. Para ello se recolectaron hoja de eucalipto del distrito de Auquimarca Provincia de Huancayo, se almacenaron en un cooler y fueron trasladados al laboratorio de la Universidad Nacional del Centro del Perú, para su caracterización de humedad, acidez y pH. Luego fueron secados a (40 y 60) °C por 12h; posteriormente las hojas deshidratadas fueron trituradas y almacenadas a 5 °C. Para realizar la extracción del aceite esencial de las hojas secas se sumergieron en agua en proporciones de (1:7.5; 1:10 y 1:12,5) por espacio de 1h, luego se sometieron las muestras al ultrasonido utilizando frecuencia de (60 y 80) % por un tiempo de (10 y 12) min. Finalmente se realizó la caracterización del aceite esencial en función del rendimiento de extracción, índice de refracción, acidez, densidad óptica y capacidad antioxidante. Analizado los datos se pudo determinar el valor de humedad, acidez y pH en hojas frescas de eucalipto los cuales fueron 4,84, 1,82 y 4,12, respectivamente. En hojas secadas a 40 °C reportaron los valores de 1,36, 1,78 y 4,67, y a 60°C los siguientes valores 1,12, 1,58 y 4,49, respectivamente. En función del rendimiento se obtuvo valores comprendidos entre (0,58-0,98) % índice de refracción (1,29-1,50); acidez (1,35-1,86) %; densidad óptica (0,73-0,89) g/mL y capacidad antioxidante (11,47-14,47) mg AGE/g muestra. Demostrando de esta manera la importancia de la capacidad antioxidante y caracterización del aceite esencial de eucalipto (*Eucalyptus Globulus*).

Palabras claves: Capacidad antioxidante, amplitud, sonicación, refracción y densidad óptica.

ABSTRACT

The objective of this research was to determine the antioxidant capacity of the essential oil from eucalyptus leaves (*Eucalyptus Globulus*) extracted with ultrasonic energy. Eucalyptus leaves were collected from the district of Auquimarca in the province of Huancayo, stored in a cooler and transferred to the laboratory of the Universidad Nacional del Centro del Perú for moisture, acidity and pH characterization. Then they were dried at (40 and 60) °C for 12h; subsequently, the dehydrated leaves were crushed and stored at 5 °C. To extract the essential oil from the dried leaves, they were immersed in water in proportions of (1:7.5; 1:10 and 1:12.5) for 1h, then the samples were subjected to ultrasound using a frequency of (60 and 80) % for a time of (10 and 12) min. Finally, the essential oil was characterized in terms of extraction yield, refractive index, acidity, optical density and antioxidant capacity. After analyzing the data, it was possible to determine the moisture, acidity and pH values in fresh eucalyptus leaves, which were 4.84, 1.82 and 4.12, respectively. In leaves dried at 40 °C the values of 1.36, 1.78 and 4.67 were reported, and at 60°C the following values were 1.12, 1.58 and 4.49, respectively. In terms of yield, values were obtained between (0.58-0.98) % refractive index (1.29-1.50); acidity (1.35-1.86) %; optical density (0.73-0.89) g/mL and antioxidant capacity (11.47-14.47) mg AGE/g sample. Thus demonstrating the importance of the antioxidant capacity and characterization of the essential oil of eucalyptus (*Eucalyptus Globulus*).

Key words: Antioxidant capacity, amplitude, sonication, refraction and optical density.

1. INTRODUCCIÓN

El eucalipto es un árbol de la familia Myrtaceae, que incluye 140 géneros y unas 3800 especies y subespecies, distribuidas en las regiones tropicales y subtropicales. El eucalipto es uno de los géneros más importantes y ampliamente plantados en el mundo. Se trata de un gran árbol de hoja perenne, nativo de Australia y Tasmania e introducido, con éxito, en todo el mundo (Ortiz, D., 2018).

En Perú, el ritmo de las plantaciones de eucalipto ha ido creciendo en los últimos años, siendo una especie forestal con un enorme potencial en la actualidad (Moreno, et al., 2010). El eucalipto tiene glándulas que segregan aceites esenciales en sus hojas, los cuales producen su característico olor y poseen componentes que pueden ser diferenciados en productos químicos de valor industrial (Goodger, et al., 2020). Estos aceites esenciales pueden extraerse mediante varios métodos: expresión, destilación con vapor de agua, extracción con solventes volátiles, enflorado y con fluidos supercríticos (Stratakos, A., 2016).

Sin embargo, la extracción de aceite esencial se puede realizar con las hojas eucalipto frescas o secas siendo esta una forma de preservar la materia prima y tiene por objetivo identificar las propiedades termo físicas, de equilibrio y transporte que es de vital importancia para modelar el proceso y diseñar máquinas secadoras para esta materia prima, para poder remover el agua del sólido hasta un nivel en donde el crecimiento microbiológico y la deterioración por reacciones químicas sean minimizadas (Daga y García, 2017).

Una forma de extraer los aceites esenciales es mediante la destilación por arrastre de vapor de agua, la muestra vegetal fresca o seca son trozados y es encerrada en una cámara inerte y sometida a una corriente de vapor de agua sobrecalentado (Stratakos, A., 2016). La esencia así arrastrada es posteriormente condensada, recolectada y separada de la fracción acuosa (Nekoei y Mohammadhosseini, 2016). Esta técnica es muy utilizada especialmente para esencias fluidas porque consigues altos rendimientos, alta pureza con baja tecnología (Stratakos, A., 2016).

Existen métodos diversos para la extracción de aceite a partir de fuentes vegetales entre ellos la extracción convencional, con disolventes no polares, con CO₂ supercrítico, prensado en frío y caliente (Khaw, et al., 2017). Sin embargo, el uso de estos métodos da lugar a diferentes rendimientos y diferentes perfiles lipídicos (Emami, et al., 2017). Hay que recordar que por cuestiones de seguridad, calidad y medio ambiente las extracciones acuosas se aplican para extraer grasas

animales y aceites vegetales trayendo consigo bajas eficiencias en el rendimiento de extracción. El tratamiento ultrasónico podría utilizarse para mejorar el rendimiento de la extracción y a su vez disminuir el tiempo mediante la transferencia de masa, calentamiento y efecto de la cavitación (Vinatoru, 2017). Así mismo, se reconoce a la técnica del ultrasonido como una técnica ecológica e innovadora porque ya no hace uso de muchos solventes acuosos, por lo tanto, contribuye a la protección del ambiente al reducir los disolventes, aguas residuales y generación de sustancias peligrosas y a su vez aumenta la eficiencia de producción (Chemat, et al., 2017). La extracción asistida por ultrasonidos se ha utilizado ampliamente para extraer compuestos bioactivos y aceites de fuentes vegetales (Wen, C., et al., 2018).

El aceite esencial tiene componentes heterogéneos de terpenos, sesquiterpenos, ácidos, ésteres, fenoles, lactosas; todos ellos fácilmente separables por el método químico o físico, como la destilación, refrigeración, centrifugación, etc. (Porras, M., 2015).

La capacidad antioxidante que tiene una matriz biológica está representada por el contenido de metabolitos secundarios (Yang, et al., 2018). Estudios han demostrado el potencial anticancerígeno de los extractos de eucalipto contra algunas células cancerosas de colon, páncreas, pulmón, próstata, ovario, cuello uterino, hígado y neuroblastoma (Vuong, et al., 2015). (Boom, et al., 2018), determinó la capacidad antioxidante del aceite esencial de eucalipto oleosa con las técnicas de DPPH y ABTS, encontrando valores de IC 50 de 13,00 mg/L y 43,5 mg/L, respectivamente.

Según, (Velásquez, R., 2019), analizaron el secado de las hojas de eucalipto a tres humedades relativas distintas con el fin de evaluar el crecimiento de hongos y evitar que sobrepase la norma técnica establecida por el país, encontrando que se mantiene con una humedad relativa del 70% por un periodo de 15 días, así mismo, realizaron la caracterización fisicoquímica, humedad, rendimiento, densidad y materia seca. Por otro lado, (Zrira, et al., 2004). Obtuvieron el aceite esencial de nueve variedades de eucalipto que crecieron en Marruecos, llegando a identificar 83 componentes y el más preponderante fue el 1,8-cineol, resaltando la importancia de la caracterización del aceite esencial de eucalipto. Así mismo, (Mizrahi, 2011). Determinaron la composición del aceite esencial de eucalipto cultivado en argentina, encontrando presencia de 1,8 cineol, alfa pineno, alfa terpineol y globulol en mayor cantidad además de otros 25 compuestos en menores cantidades, Por último, (Herculano, et al., 2014). Encapsularon aceite esencial de *Eucalyptus staigeriana* utilizando

goma de anacardo como material de pared. Las nanopartículas tuvieron su actividad antimicrobiana contra *Listeria Monocytogenes* y *Salmonella*, en forma de bactericida, comprobando su efectividad. Sin embargo, se desconoce la capacidad antioxidante del aceite esencial de hojas de eucalipto (*Eucalyptus Globulus*). Es ase sentido, el presente trabajo de investigación tuvo por objetivo, evaluar la capacidad antioxidante del aceite esencial de hojas de eucalipto (*Eucalyptus Globulus*) extraído por energía ultrasónica.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Las muestras de hojas de eucalipto (*Eucalyptus Globulus*) fueron recolectados de fincas ubicados en el distrito de Auquimarca - Huancayo que se encuentra a 3250 m.s.n.m. Siendo éstas trasladadas en cooler hasta el laboratorio de Ingeniería de la Facultad de Ingeniería Agroindustrial de la Universidad Nacional del Centro del Perú Filial - Tarma. El tipo de investigación utilizada fue la experimental con nivel aplicado (Hernandez Sampieri et al., 2014). Debido a que utiliza conocimientos científicos para la capacidad antioxidante de hojas de eucalipto (*Eucalyptus Globulus*) extraído por energía ultrasónica que enfoca la atención sobre la solución de problemas más que sobre la formulación de teorías, (Vargas y León, 2016).

2.1 Métodos de análisis

El diagrama de flujo de las hojas de eucalipto (*Eucalyptus Globulus*) se muestran en la figura 1.

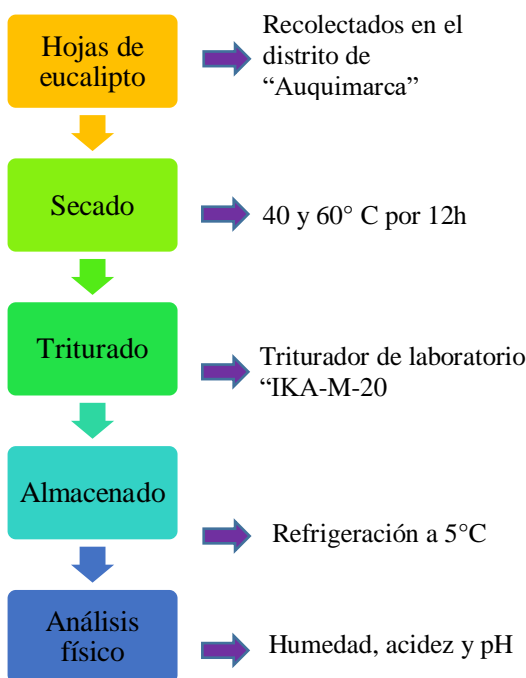


Figura 1. Diagrama de flujo del secado a 40 y 60 °C.

2.1.1. Acondicionamiento del material vegetal para la extracción

Las hojas se cortaron en un procesador de alimento, luego se sumergieron en agua destilada a diferentes proporciones de hoja: agua (1:7.5; 1:10; 1:12,5) por 1 hora para alcanzar humedades de 70, 80 y 90%; (Nolazco, D., 2020), y finalmente se escurrieron y empacaron en bolsas de polietileno para su almacenamiento a -18°C hasta su extracción.

2.1.2. Extracción asistida por ultrasonido (EMAU)

Para el estudio del efecto de la asistencia del ultrasonido nos basamos en la metodología planteada por (Barrazueta, S., Mendoza, G., Fornari, T., 2015). Con algunas modificaciones, llegando a utilizar frecuencias de (60 y 80) % así como tiempo (10 y 12) min.

2.2 Caracterización del aceite esencial

Obtenido el aceite esencial se almacenaron en frascos ámbar para ser caracterizados en cuanto a su rendimiento, índice de refracción, acidez, densidad óptica y capacidad antioxidante (Quispe y Taco, 2018).

2.2.1. Rendimiento

El análisis del rendimiento se realizó acorde a los mencionado por (Nolazco, D., 2020). Para realizar los cálculos se utilizó la siguiente fórmula:

$$\% \text{Rendimiento} = (\text{Peso de aceite esencial}) / (\text{Peso de hojas}) \times 100$$

2.2.2. Índice de refracción

La determinación del índice de refracción se determinó utilizando la NTP 319.075 correspondiente a aceites esenciales, determinación del índice de refracción. Se empleó refractómetro Carl Zeiss 74078 (Ponce et al., 2015).

2.2.3. Acidez

La determinación de la acidez se determinó utilizando la NTP 319.088 correspondiente a aceites esenciales, determinación del índice de acidez (mg de hidróxido de potasio necesarios para neutralizar los ácidos libres contenidos en 1g de aceite esencial) (Ponce et al., 2015).

2.3.4. Densidad óptica

La densidad óptica se medirá adicionando una gota de aceite esencial en un refractómetro ABBE MARK II a 25°C acorde a lo reportado por (Sarria-Villa, 2021).

2.3 Diseño experimental

El análisis estadístico se realizó utilizando los datos experimentales a quienes se aplicaron un DCA con arreglo factorial. Con un nivel de confiabilidad del 95% utilizando el software SPSS v. 24. Así mismo, se evidencio que no existe diferencia significativa entre los tratamientos por lo que se eligió el tratamiento que reporto mejores características de rendimiento, índice de refracción, acidez, densidad óptica y capacidad antioxidante.

3. RESULTADOS

En el presente capítulo se detalla los resultados de la investigación presentados en tablas en las que se detallan la desviación estándar de cada uno de los datos.

3.1 Cinética de secado de las hojas de eucalipto

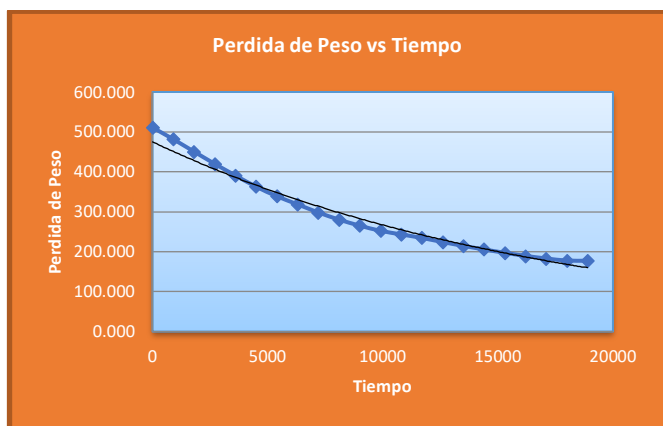
La materia prima se secó a dos temperaturas (40 y 60) °C y éstas se estabilizaron cuando el peso se mantuvo constante. Así mismo, se debe indicar que la velocidad de secado es de 1.0 m/s, durante 300 minutos. Los resultados se muestran en la tabla 1.

Así mismo, la tabla 1 se muestra en figuras, donde se puede apreciar de forma más clara la pérdida de peso versus el tiempo de las hojas de eucalipto (*Eucalyptus Globulus*), donde se evidencia que la curva disminuye más rápido a la temperatura de 60 °C que a 40 °C.

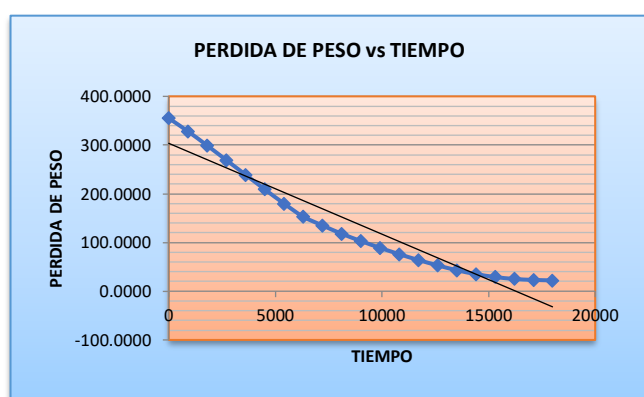
El peso final que las muestras alcanzan a cada temperatura es prácticamente constante, pues después de haber eliminado gran parte de la humedad, las humedades están próximas a la humedad de equilibrio.

Tabla 1.
 Pérdida de peso en relación con el tiempo

TIEMPO (min)	TEMPERATURAS	
	40 °C	60 °C
0	522.000	510.900
15	495.000	481.700
30	466.000	450.700
45	436.000	420.100
60	406.000	390.900
75	376.000	362.800
90	347.000	338.800
105	320.000	318.600
120	302.000	298.300
135	285.000	280.400
150	270.000	265.300
165	256.000	252.400
180	243.000	243.300
195	231.000	234.500
210	220.000	224.100
225	210.000	214.700
240	202.000	205.600
255	196.000	197.300
270	192.000	189.500
285	190.000	183.100
300	189.000	177.800



(a)



(b)

Figura 2. (a) Pérdida de peso versus tiempo a 40 °C y
 (b) Pérdida de peso versus tiempo a 60 °C

3.2 Caracterización de las hojas de eucalipto (*Eucalyptus Globulus*).

Obtenida la materia prima estas se caracterización para establecer su calidad acorde a lo mostrado en la tabla 2.

Tabla 2.
 Caracterización de las hojas de eucalypto (*Eucalyptus Globulus*).

Hojas de Eucalipto (<i>Eucalyptus Globulus</i>)			
	Frescas ± D.E.	Secado a 40°C ± D.E.	Secado a 60°C ± D.E.
Humedad (%)	4.84 ± 0.236	1.36 ± 0.157	1.12 ± 0.246
Acidez (%)	1.82 ± 0.596	1.78 ± 0.395	1.58 ± 0.170
pH	4.12 ± 0.376	4.67 ± 0.467	4.49 ± 0.275

3.3 Caracterización fisicoquímica y capacidad antioxidante

Para la obtención del aceite esencial de eucalipto (*Eucalyptus Globulus*), se utilizó diferentes tratamientos interaccionando la temperatura de secado, la relación (hoja: agua), la frecuencia del ultrasonido y el tiempo de extracción. Las variables dependientes fueron el rendimiento de aceite esencial extraído, índice de refracción, acidez, densidad óptica, y capacidad antioxidante tal y como lo muestra la tabla 3.

Tabla 3.
 Tratamientos usados en el experimento

Temperatura de secado	Relación (Hoja:agua)	Frecuencia	Tiempo	Rendimiento en hojas secas (%) ± D.E.	Índice de refracción en hojas secas ± D.E.	Acidez en hojas secas (%) ± D.E.	Densidad óptica en hojas secas (g/ml) ± D.E.	Capacidad antioxidante (mg Trolox/g muestra) ± D.E.	
40°C	1:7.5	60	10	0.66 ± 0.28	1.46 ± 0.056	1.68 ± 0.57	0.79 ± 0.07	13.68 ± 0.576	
			12	0.66 ± 0.19	1.29 ± 0.035	1.71 ± 0.06	0.82 ± 0.07	14.71 ± 0.068	
		80	10	0.68 ± 0.19	1.33 ± 0.024	1.63 ± 0.09	0.79 ± 0.12	13.63 ± 0.099	
			12	0.64 ± 0.09	1.40 ± 0.074	1.35 ± 0.47	0.87 ± 0.08	13.35 ± 0.476	
		1:10	60	10	0.72 ± 0.25	1.49 ± 0.07	1.68 ± 0.08	0.83 ± 0.06	13.68 ± 0.085
				12	0.71 ± 0.30	1.49 ± 0.04	1.58 ± 0.04	0.88 ± 0.07	13.58 ± 0.047
	80		10	0.58 ± 0.05	1.36 ± 0.08	1.75 ± 0.06	0.75 ± 0.06	13.75 ± 0.068	
			12	0.71 ± 0.32	1.39 ± 0.05	1.46 ± 0.07	0.74 ± 0.07	14.46 ± 0.037	

	1:12,5	60	10	0.65 ± 0.24	1.39 ± 0.03	1.56 ± 0.07	0.73 ± 0.10	13.56 ± 0.079
			12	0.62 ± 0.17	1.40 ± 0.07	1.47 ± 0.06	0.80 ± 0.09	14.47 ± 0.068
		80	10	0.68 ± 0.14	1.39 ± 0.08	1.86 ± 0.07	0.89 ± 0.09	13.86 ± 0.078
			12	0.65 ± 0.06	1.40 ± 0.03	1.56 ± 0.06	0.87 ± 0.08	12.56 ± 0.067

60 °C	1:7.5	60	10	0.90 ± 0.14	1.47 ± 0.08	1.75 ± 0.06	0.82 ± 0.10	14.63 ± 0.367
			12	0.91 ± 0.96	1.46 ± 0.02	1.37 ± 0.07	0.79 ± 0.10	14.72 ± 0.062
		80	10	0.93 ± 0.12	1.40 ± 0.02	1.57 ± 0.05	0.78 ± 0.07	14.52 ± 0.103
			12	0.92 ± 0.14	1.47 ± 0.06	1.57 ± 0.06	0.79 ± 0.04	13.49 ± 0.057
	1:10	60	10	0.98 ± 0.94	1.47 ± 0.07	1.54 ± 0.05	0.89 ± 0.09	12.47 ± 0.098
			12	0.97 ± 0.46	1.50 ± 0.07	1.57 ± 0.03	0.89 ± 0.06	13.52 ± 0.108
		80	10	0.92 ± 0.14	1.40 ± 0.02	1.68 ± 0.05	0.84 ± 0.10	13.57 ± 0.098
			12	0.94 ± 0.15	1.40 ± 0.07	1.78 ± 0.05	0.78 ± 0.10	14.61 ± 0.099
	1:12,5	60	10	0.92 ± 0.15	1.43 ± 0.05	1.68 ± 0.02	0.84 ± 0.06	13.72 ± 0.108
			12	0.97 ± 0.19	1.48 ± 0.06	1.65 ± 0.05	0.75 ± 0.07	13.69 ± 0.106
		80	10	0.94 ± 0.15	1.486 ± 0.06	1.57 ± 0.06	0.85 ± 0.09	11.47 ± 0.099
			12	0.92 ± 0.14	1.49 ± 0.046	1.85 ± 0.07	0.83 ± 0.12	13.38 ± 0.084

4. DISCUSIONES

4.1 Cinética de secado de las hojas de eucalypto (*Eucalyptus Globulus*).

Según (Figuroa y Porras, 2019). Nos dice que luego del tiempo utilizado para el secado, se observa que los pesos no disminuyen notablemente. Esto se puede atribuir a que la humedad contenida en las hojas de eucalypto (*Eucalyptus Globulus*), no se transporta a la superficie de esta a la rapidez con la que se remueve de

4.2 Caracterización de las hojas de eucalypto (*Eucalyptus Globulus*).

En la tabla 2 se reporta los principales datos para la Humedad (%), Acidez (%) y pH en este trabajo de investigación. Siendo estos datos muy cercanos a los reportados por (Ticona, J., 2019), quien reporta una humedad en hojas secas a 60°C de eucalypto (*Eucalyptus Globulus*), en un rango de 6.34 – 7.02%, así mismo, un valor de acidez en un rango de 1.52 – 1.90 % y pH de 6.1 – 6.4. Comparando con nuestro trabajo de investigación en función a la humedad podemos decir que nuestra humedad y pH, reportada se encuentra por debajo de lo mencionado por el autor, sin embargo, la acidez reportada si se encuentra dentro del rango

la superficie de la hoja. Pues como se ve, cuando la velocidad del aire es constante, la rapidez con que se remueve la humedad de la superficie es constante.

Así mismo, (Cerrón y Junchaya, 2019). Nos dice que los datos experimentales obtenidos al secar algunas hojas se establecen con el perfil de humedad en base seca para las temperaturas experimentales. Por lo tanto, las curvas que presentan son típicas de sólidos húmedos sometidos a secado. Situación que se puede comprobar con la figura 2.

mencionado por dicho autor, esto debido a las distintas condiciones que se ha venido trabajando en las materias primas por ejemplo el tipo de secador utilizado que influye en la pérdida de agua presente en las hojas. Así mismo, (Labrada-Hechavarria, Y., 2018). En su trabajo titulado caracterización física y química de hojas y aceite esencial de eucalypto (*Eucalyptus Globulus*), expuesto a radiación gamma. Obtuvo un rango de pH en hojas secas a 60°C un rango de 4.12 – 4.24. El resultado en nuestro trabajo de investigación se encuentra dentro del rango establecido por el autor. Esto debido a las condiciones casi similares de trabajo en el secado. También, (Juárez, J., 2018). Reporto un valor de humedad de las hojas secas a 60°C el valor de 4.84%. Siendo este valor muy cercano a lo reportado por el presente trabajo de investigación. Por último, (Velásquez, R., 2019), reportaron un valor de rendimiento de extracción del

aceite esencial de eucalipto de 0,4315%, siendo este valor más bajo de lo reportado en este trabajo de investigación debido a las distintas condiciones de trabajo.

4.3 Rendimiento de aceite esencial de eucalipto (*Eucalyptus Globulus*)

En la tabla 3 se muestra el rendimiento del aceite esencial de eucalipto (*Eucalyptus Globulus*), en donde se evidencia un rendimiento máximo de $0,98 \pm 0.10$ %. Con el tratamiento de 60°C y una relación de hoja:agua (1:10), frecuencia de 80% y un tiempo de sonicación de 10 min. Valor que se aproxima a lo mencionado por (Ramírez, Trejo, Bustamante, & Vargas, 2015). Quienes utilizaron la misma metodología y reportaron un rendimiento aproximado de: 0,9083 %. Así mismo, (Torrenegra-Alarcón, et al., 2016) y (Ochoa, Paredes, Liz, & Justino, 2012), en su trabajo de investigación en referencia al rendimiento encontrado utilizando un ultrasonido presento un valor de: 0,9342 y 0,9456%, respectivamente. Siendo este valor mucho cercano a lo reportado por el presente trabajo de investigación.

Por último, según (Ochoa, Paredes, Liz, & Justino, 2012). Menciono que el rendimiento depende de las condiciones geobotánicas como: el clima, altitud, tipo de suelo, luminosidad, pluviosidad, temperatura, época de recolección y edad de las plantas, por ello la materia prima para este trabajo se recolectó en el primer año de crecimiento por tanto se obtuvo un rendimiento muy cercano a lo reportado por otros autores.

4.4 Análisis fisicoquímico de aceite esencial de eucalipto (*Eucalyptus Globulus*)

Así mismo en la tabla 3 se muestra el índice de refracción, Índice de acidez y la densidad Óptica, los cuales fueron: 1.50 ± 0.07 ; 1.86 ± 0.07 y 0.89 ± 0.09 , respectivamente. Estos resultados encontrados fueron comparados con lo mencionado por (Alejandro, E. y Sánchez, G., 2014). Quien reporta en su trabajo de investigación utilizando la misma metodología propuesta en la presente, un índice de refracción en un rango de: 1.485 a 1.55, encontrándose nuestros resultados dentro del rango establecido por dicho autor, esto se debe posiblemente a la especie utilizada que es la misma que la presente. En función al índice de acidez, se comparó con lo reportado por (Huisa, 2016) y (Díaz, J. y Martínez, J., 2013). Quienes también utilizaron la

misma metodología propuesta en la presente, reportando un rango promedio de índice de acidez entre: 1.52 a 1.90. Afirmando que los datos obtenidos se encuentran dentro del rango establecido por el autor. Por último, en función de la densidad óptica, la NTP: 319087 establecida para aceites esenciales nos dice que la densidad varía normalmente de: 0.85 a 0.98, es preciso mencionar que en la tabla 3 se aprecia la densidad, estando dentro a lo mencionado por dicha NTP, el valor encontrado puede variar acorde a la variedad de eucalipto (*Eucalyptus Globulus*) utilizada, que existe en determinados lugares (Pino, N., Melendez, E. y Stashenko, E., 2009).

4.5 Capacidad antioxidante de aceite esencial de eucalipto (*Eucalyptus Globulus*)

En la tabla 3 se muestra la capacidad antioxidante con el método de DPPH del aceite esencial de eucalipto (*Eucalyptus Globulus*) siendo este el valor de 14.72 ± 0.062 mg AGE/g muestra. Este valor encontrado se acerca mucho a lo reportado por (Hajer, et al., 2020). Quien en su trabajo de investigación reporto el valor de 32.80 mg/mL muestra. Esto debido a que en nuestro caso trabajamos por cada gramo de muestra, mientras que el autor trabajo por cada mL de muestra, Así mismo, (Granados, C., 2015). Reporta como capacidad antioxidante del eucalipto (*Eucalyptus Globulus*), por el método de DPPH el valor de 9.02 mg/g muestra. Siendo este valor más cercano a nuestro trabajo de investigación comprobando de esa manera su capacidad antioxidante. También, (Cui, et al., 2018). Determino la capacidad antioxidante de eucalipto (*Eucalyptus Globulus*), reportando un valor promedio de 12.58 mg/g muestra. Siendo ese valor muy cercano a lo reportado en el presente trabajo de investigación. Esta coincidencia se debe a las condiciones de trabajo similares que se han reportado.

5. CONCLUSIONES

Analizado los datos se pudo determinar el valor de humedad, acidez y pH en hojas frescas de eucalipto siendo esta 4,84, 1,82 y 4,12, respectivamente. En hojas secadas a 40°C reportaron los valores de 1,36, 1,78 y 4,67, y a 60°C valores de 1,12, 1,58 y 4,49, respectivamente. En función del rendimiento se obtuvo un valor máximo de $0,99 \pm 0.10$ %, logrando dicho valor aplicando una temperatura de secado de 60°C , relación de hoja:agua de (1:10), frecuencia 60 % y un tiempo de sonicación de 10 min. En función del índice de refracción y capacidad antioxidante se obtuvo un valor máximo de $1,50 \pm 0.07$ % y $14,72 \pm 0.062$ %, respectivamente con una temperatura de secado de 60°C , relación hoja:agua (1:7,5), frecuencia de 60% y un

tiempo de sonicación 12 min. En función del índice de Acidez y densidad óptica se obtuvo un valor máximo de $0,89 \pm 0,09 \%$ y $1,86 \pm 0,07 \%$, respectivamente con una temperatura de secado de $60 \text{ }^\circ\text{C}$, relación hoja:agua (1:12,5), frecuencia de 80% y un tiempo de sonicación 10 min.

6. BIBLIOGRAFÍA

Alejandro, E. y Sánchez, G., (2014). Estudio de Factibilidad para la industrialización de *Clinopodium Bolivianum* (muña) en el departamento de la paz, Tesis de pre grado, Universidad Mayor de San Andrés, <https://repositorio.umsa.bo/bitstream/handle/123456789/20449/TES-1078.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Barrazueta, S., Mendoza, G., Fornari, T., (2015). Uso de ultrasonidos en la extracción de plantas labiadas combinado etanol y CO₂ supercrítico, *Alimentos, ciencia e investigación*, 23(1):37-46, https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/24023/2/Alimentos_23_1_2015.pdf#page=40

Boom, E., Orozco, J., Alean, J. y Rojano, B., (2018). Evaluación de la Actividad Antioxidante de Aceites Esenciales de Eucaliptos Cultivados en Colombia, *Información tecnológica*, 29(6): 57-66, <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642018000600057>

Cerrón, S. y Junchaya, J., (2019). Influencia de la temperatura del aire en la velocidad de secado de quinua germinada en un secador de bandeja. Tesis de pregrado. Universidad Nacional del Centro del Perú. Huancayo – Perú. http://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/U_NCP/5682/INFORME%20DE%20TESIS.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Chemat, F., Rombaut, N., Sicaire, A., Meullemiestre, A., (2017). Ultrasound assisted extraction of food and natural products. Mechanisms, techniques, combinations, protocols and applications. A review, *Ultrasonics Sonochemistry*, 34(1): 540-560, <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2016.06.035>

Cui, H., Wei, H., Wang, P., Yang, X., Dong, Y. y Zhou, H., (2018). Essential oils from *Carex meyeriana* Kunth: Optimization of hydro distillation extraction by response surface methodology and evaluation of its antioxidant and antimicrobial activities. *Industrial Crops and Products*, 124(15):669-676 <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2018.08.041>

Daga y García, (2017). Proceso de secado de alga *Lessonia Nigrescens* (Aracanto Negro) en un secador rotatorio discontinuo, Tesis de pregrado, Universidad Nacional del Callao, recuperado el 13 de mayo del 2021 de: http://repositorio.unac.edu.pe/bitstream/handle/U_NAC/3572/Daga%20Manrique%20y%20Garcia%20Yahuana__titulo%20quimica_2017.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Díaz, J. y Martínez, J. (2013). Cantidad y Calidad de aceites esenciales en hojas de cuatro especies del género *Eucalyptus* El Mantaro. Universidad Nacional del Centro del Perú. Retrieved from http://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/U_NCP/3397/Diaz_Arcos_-_Martinez_Chuquillanqui.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Emami, et al., (2017). Interactive effects of drought stress and chitosan application on physiological characteristics and essential oil yield of *Thymus daenensis* Celak, *The crop Journal*, 5(5): 407-415, <https://doi.org/10.1016/j.cj.2017.04.003>

Figueroa, S. y Porras, M., (2019). Evaluación del efecto de la temperatura y velocidad del aire en la rapidez de secado de la yuca en un secador de bandejas. Tesis de pregrado. Universidad Nacional del Centro del Perú. Huancayo – Perú. http://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/U_NCP/6330/T010_70178262_T1.pdf?sequence=3&isAllowed=y

Goodger, J., Gamble, D., Humphries, J. y Woodrow, E., (2020). Monoterpene synthases responsible for the terpene profile of anther glands in *Eucalyptus polybractea* R.T. Baker (Myrtaceae), recuperado el 13 de mayo del 2021 de: <https://doi.org/10.1093/treephys/tpaa161>

- Granados, C., Santafe, G., & Acevedo, D. (2015). Composición química y Evaluación de la actividad antioxidante del aceite esencial Folia de eucalyptus camaldulensis. Artículo, 235–240. Retrieved from <http://www.scielo.org.co/pdf/rudca/v18n1/v18n1a27.pdf>
- Hajer, L., Ben, M., Tammar, S., Ksibi, N., Khammassi, S., Jalloulli, S., Del Re, G. Y Msaada, K., (2020). Variation in chemical profile of leaves essential oils from thirteen Tunisian Eucalyptus species and evaluation of their antioxidant and antibacterial properties. *Industrial Crops y Products*, <http://dx.doi.org/10.1016/j.indcrop.2020.112964>
- Herculano, E., Haroldo, P., Figueiredo, E., (2014). Physicochemical and antimicrobial properties of nanoencapsulated Eucalyptus staigeriana essential oil, *LWT*, 50(6):1-8, <http://dx.doi.org/10.1016/j.lwt.2014.12.001>
- Hernández Sampieri, R. F. (2014). Metodología de la investigación. Editorial Mc Graw Interamericana. <https://www.uca.ac.cr/wp-content/uploads/2017/10/Investigacion.pdf>
- Huisa, C. (2016). Caracterización de Aceites esenciales de Eucalipto (*Eucalyptus globulus labill*). Artículo, 1–20. Retrieved from <http://tecnologiadeprocessos.blogspot.com/2010/03/caracterizacion-de-aceites-esenciales.html>
- Juárez, J., (2018). Estudio de las características fisicoquímicas y fitoquímicas de las hojas de Eucalyptus globulus Labill (Eucalipto). Tesis pre grado. Universidad Católica los Ángeles de Chimbote. Trujillo – Perú. http://repositorio.uladec.edu.pe/bitstream/handle/123456789/5099/CARACTERISTICAS_FISICOQUIMICAS_JUAREZ_DIAZ_JOSE_MIGUEL.pdf?sequence=3&isAllowed=y
- Khaw, K., Parat, M., Shaw, P. y Falconer, J., (2017). Solvent Supercritical Fluid Technologies to Extract Bioactive Compounds from Natural Sources: A Review, *molecules*, 22(1):1186-1197, <https://doi.org/10.3390/molecules22071186>
- Labrada-Hechavarria, Y., (2018). Caracterización física y química de aceite esencial de Azaridachta eucalipto expuesto a radiación gamma. 30(3): 470-482. *Revista cubana de química*. <http://scielo.sld.cu/pdf/ind/v30n3/ind06318.pdf>
- Mizrahi, I., Rodríguez, J., Juárez, M., Bandoni, A., Muschietti, L. y Van, C., (2011). Composition of the Essential Oil of Eucalyptus dunnii Maiden Growing in Argentina, *Journal of essential oil research*, 10(28): 37-41, <http://dx.doi.org/10.1080/10412905.1997.9700821>
- Moreno, et al., (2010). Modelación y optimización del proceso de extracción de aceite esencial de eucalipto (*Eucalyptus globulus*), *Scientia Agropecuaria*, 10(5): 147-154, <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/3711272.pdf>
- Nekoei, M., y Mohammadhosseini, M., (2016). Traditional Hydrodistillation, Microwave AssistedHydro- distillation and Solvent-Free MicrowaveExtraction Methods: Comparison with the VolatileCompounds Obtained by Headspace Solid-PhaseMicroextraction, *Journal of Essential Oil-Bearing Plants*, 19(1): 59-75, <https://doi.org/10.1080/0972060X.2014.890077>
- Nolazco, D., Villanueva-Quejia, E., Sakuda, B., Tellez, L., (2020). Extracción y caracterización química del aceite esencial de Eucalipto obtenido por microondas y ultrasonido. *Revista de Investigaciones Altoandinas*, 22(3):2306-8582. <http://www.scielo.org.pe/pdf/ria/v22n3/2313-2957-ria-22-03-274.pdf>
- Ochoa, P., Paredes, R., Liz, D., & Justino, R. (2012). Extracción, caracterización y evaluación de la actividad antibacteriana del aceite esencial de Senecio graveolens Wedd (Wiskataya). <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/4104068.pdf>
- Ortiz, D., (2018). Comparación In vitro de la actividad antifúngica de los aceites esenciales de Citronella (*Cymbopogon nardus*) y eucalipto (*Eucalyptus globulus*) frente al agente causal de la antracnosis

- (Colletotrichum gloeosporoides). Tesis de pregrado, Recuperado el 13 de mayo del 2021 de: <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/16596/1/UPS-CT008049.pdf>
- Pino, N., Melendez, E. y Stashenko, E., (2009). Composición química y actividad antibacteriana del aceite esencial de hojas de *Piper lanceaefolium*, planta usada tradicionalmente en Colombia, Congreso Internacional de Farmacobotánica, 8(4):301-304, <http://oras-conhu.org/Data/2015911124018.pdf>
- Ponce, J., Guadalupe, L. y Arana, C., (2015). Estudio bromatológico de *Rosmarinus Officinalis L.* “romero” y obtención del aceite. Ciencia e Investigación, 18(1): 9-13. <https://pdfs.semanticscholar.org/09d5/154442910ef30335f4631ad64d7711d78a36.pdf>
- Porras, M., (2015). Rendimiento y calidad de aceites esenciales de opérculos de *Eucalyptus globulus Labill*, secado al sol y sombra – Huancayo, Tesis de pregrado, Universidad Nacional del Centro del Perú, recuperado el 13 de mayo del 2021 de: <http://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/UNCP/3480/Porras%20Torrejon.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Quispe, K. y Taco, R., (2018). Evaluación del tiempo de extracción, factor de empaquetamiento, humedad del rizoma, en el rendimiento de la extracción del aceite esencial de jengibre, Tesis de pregrado, Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa, <http://repositorio.unsa.edu.pe/bitstream/handle/UNSA/6561/IQqudikf.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Ramírez, V., Trejo, A., Bustamante, selene, & Vargas, A. (2015). Extracción de aceite esencial de Eucalipto y su aplicación como agente antifúngico en un envase activo para conservación de Frambuesa. Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha, 16(2), 228–233. Retrieved from <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=81343176012>
- Sarria-Villa, (2021). Caracterización de los Aceites Esenciales del *Pinus oocarpa* por Cromatografía de Gases-Espectrometría De Masas (Gc-Ms) Aceites Esenciales by Gc-Ms. Rev.EIA.Esc.Ing.Antioq. 18(35): 2463-0950. <https://doi.org/10.24050/reia.v18i35.1341>
- Stratakos, A., (2016). Methods for Extracting Essential Oils, Queen’s University Belfast, Institute for Global Food Security, Belfast, United Kingdom, recuperado el 13 de mayo del 2021 de: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-416641-7.00004-3>
- Ticona, J., (2019). Evaluación de la actividad antimicrobiana in vitro de los aceites esenciales de eucalipto (*Eucalyptus globulus labill*); muña (*Minthostachys mollis*) frente a *Staphylococcus aureus* y Coliformes fecales. Tesis de pre grado. Universidad Peruana Unión. Juliaca – Puno. https://repositorio.upeu.edu.pe/bitstream/handle/PEU/1711/Jhon_Tesis_Licenciatura_2019.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Torrenegra-Alarcón, M., Granados-Condes, C., Durán-Lengua, M., León-Mendes G., (2016). Composición química y actividad antibacteriana del aceite esencial de *Minthostachys mollis*, Orinoquía, 20(1):69-74, <https://www.redalyc.org/pdf/896/89647074008.pdf>
- Vargas y León, (2016). La gestión del conocimiento respecto a la organización que aprende, enfocado por teorías y tendencias a nivel nacional e internacional, Revista científica de la Escuela de Posgrados de la Fuerza Aérea Colombiana. 11(1): 10-31, <https://doi.org/10.18667/cienciaypoderaereo.528>
- Velásquez, R., (2019). Efecto de la humedad relativa y tiempo de almacenamiento de las hojas de eucalipto deshidratado (*Eucalyptus*), Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Piura, Recuperado el 12 de mayo del 2021 de: <http://repositorio.unp.edu.pe/bitstream/handle/UNP/2006/IND-VEL-GAR-2019.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Vinatoru, M., Mason, T. y Calinescu, I., (2017). Ultrasonically assisted extraction (UAE) and

microwave assisted extraction (MAE) of functional compounds from plant materials, *TrAC Trends in Analytical Chemistry*, 97(1): 159-178, <https://doi.org/10.1016/j.trac.2017.09.002>

Vuong, et al., (2015). Physicochemical, antioxidant and anti-cancer activity of a *Eucalyptus robusta* (Sm.) leaf aqueous extract, *Industrial Crops and Products*, 64(1): 167-174, <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2014.10.061>

Wen, C., Zhang, J, Zhang, H., Sedem, C., Zandile, M., Duan, Y., Ma, H. Luo, X., (2018). Advances in ultrasound assisted extraction of bioactive compounds from cash crops – A review, *Ultrasonics Sonochemistry*, 48(1): 538-549, <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2018.07.018>

Yang, L., Wen, K., Ruan, X., Zhao, Y., Wei, F. y Wang, Q., (2018). Response of Plant Secondary Metabolites to Environmental Factors, *molecules*, 23(1): 762-763, <https://doi.org/10.3390/molecules23040762>

Zrira, S., Bessiere, J., Menut, C., Elamrani, A., Benjilali, B., (2004). Chemical composition of the essential oil of nine *Eucalyptus* species growing in Morocco, *Flavour and Fragrance Journal*, 19(4): DOI; 172-175, [10.1002/ffj.1289](https://doi.org/10.1002/ffj.1289)