



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



INSTITUTO DE INGENIERÍA DE
ALIMENTOS PARA EL DESARROLLO

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

Instituto Universitario de Ingeniería de Alimentos para
el Desarrollo

Caracterización del aceite de semilla de Moringa oleifera y
del residuo tras la extracción

Trabajo Fin de Máster

Máster Universitario en Ciencia e Ingeniería de los Alimentos

AUTOR/A: Pageo Díaz, Sergio

Tutor/a: Castelló Gómez, María Luisa

Cotutor/a: Ortolá Ortolá, M^a Dolores

Director/a Experimental: GARCIA MARES, FRANCISCO JOSE

CURSO ACADÉMICO: 2021/2022

Caracterización del aceite de semilla de *Moringa oleifera* y del residuo tras la extracción

Pageo, S., García-Mares, J.F., Ortolá, M.D., Castelló, M.L.

RESUMEN

Los efectos del cambio climático, como la subida de temperaturas y la sequía, son cada vez más latentes en la Comunidad Valenciana. Debido a esto se está buscando la introducción de nuevos cultivos, como podría ser el de la *Moringa oleifera*. La moringa es una planta tropical nativa de la India, extendida en todo el hemisferio sur con una gran adaptabilidad a las temperaturas altas, a la escasez de agua y cuya mayoría de partes (hojas, vainas, semillas, raíces, flores...) pueden tener un potencial uso en la industria alimentaria. En este sentido, sus semillas se emplean para la elaboración de aceite altamente nutritivo, pero desconocido en los países más desarrollados, que podría suponer una alternativa a los aceites vegetales tradicionales sujetos a los problemas económicos derivados de la coyuntura actual. Por ello, el objetivo de este trabajo se centra en la extracción de aceite de semilla de moringa cultivada en Valencia mediante un prensado automático a diferentes temperaturas (70, 100, 130, 160, 190, 220 °C), así como en la caracterización fisicoquímica del mismo y del residuo obtenido. Los resultados obtenidos evidencian que con este método el rendimiento en aceite fue del 19 ± 3 % independientemente de la temperatura aplicada. El aceite fue estable desde el punto de vista oxidativo, con una elevada acidez lo que obligaría a la aplicación de un refinado posterior. Para obtener un aceite traslúcido, luminoso y de tonalidades amarillas claras, la temperatura de extracción debería ser inferior a 190°C. El residuo obtenido de la extracción es rico en proteínas (49 ± 5 %) y en polifenoles (especialmente, flavonoles), con una gran capacidad de absorción de agua. Algunos de los polifenoles (ácido p-cumárico, ácido gálico, ácido p-hidroxibenzoico y rutina) aumentaron cuando se trabajó a la mayor temperatura (220°C). Este residuo podría ser incorporado a matrices alimentarias para aumentar su perfil nutricional.

Palabras clave: *Moringa oleifera*, semilla, aceite, extracción, residuo/torta, proteína, antioxidante, acidez, peróxidos, color, polifenoles

RESUM

Els efectes del canvi climàtic, com la pujada de temperatures i la sequera, són cada vegada més latents a la Comunitat Valenciana. A causa d'açò s'està buscant la introducció de nous cultius, com podria ser el de la *Moringa oleifera*. La moringa és una planta tropical nativa de l'Índia, estesa en tot l'hemisferi sud amb una gran adaptabilitat a les temperatures altes, a la falta d'aigua i, a més, la majoria de les seues parts (fulls, baines, llavors, arrels, flores...) poden

tindre un potencial ús en la indústria alimentària. En este sentit, les seues llavors s'empren per a l'elaboració d'oli altament nutritiu, però desconegut en els països més desenvolupats, que podria suposar una alternativa als olis vegetals tradicionals subjectes als problemes econòmics derivats de la conjuntura actual. Per això, l'objectiu d'este treball se centra en l'extracció d'oli de llavor de moringa cultivada a València per mitjà d'un premsat automàtic a diferents temperatures (70, 100, 130, 160, 190, 220 °C), així com en la seua caracterització fisicoquímica així com del residu obtingut. Els resultats obtinguts evidencien que amb este mètode el rendiment en oli va ser del 19 ± 3 % independentment de la temperatura aplicada. L'oli va ser estable des del punt de vista oxidatiu, amb una elevada acidesa el que obligaria a l'aplicació d'un refinat posterior. Per a obtindre un oli translúcid, lluminós i de tonalitats grogues clares, la temperatura d'extracció hauria de ser inferior a 190°C. El residu obtingut de l'extracció és ric en proteïnes (49 ± 5 %) i en polifenols (especialment, flavonols), amb una gran capacitat d'absorció d'aigua. Alguns dels polifenols (àcid p-cumàric, àcid gàl·lic, àcid p-hidroxibenzoic i rutina) van augmentar quan es va treballar a la major temperatura (220°C). Este residu podria ser incorporat a matrius alimentàries per a augmentar el seu perfil nutricional.

Paraules clau: *Moringa oleifera*, llavor, oli, extracció, residu/torta, proteïna, antioxidant, acidesa, peròxids, color, polifenols

ABSTRACT

The effects of climate change, such as rising temperatures and drought, are becoming increasingly latent in the Valencian Community. Because of this, the introduction of new crops, such as *Moringa oleifera*, is being sought. Moringa is a tropical plant native to India, widespread throughout the southern hemisphere with a great adaptability to high temperatures, water scarcity and whose most parts (leaves, pods, seeds, roots, flowers...) can have a potential use in the food industry. In this sense, its seeds are used for the production of highly nutritious oil, but unknown in the most developed countries, which could be an alternative to traditional vegetable oils subject to the economic problems arising from the current economic situation. Therefore, the aim of this work focuses on the extraction of oil from moringa seed cultivated in Valencia by means of automatic pressing at different temperatures (70, 100, 130, 160, 190, 220 °C), as well as the physicochemical characterisation of the oil and the residue obtained. The results obtained show that with this method, the oil yield was 19 ± 3 % regardless of the temperature applied. The oil was stable from the oxidative point of view, with a high acidity that would require subsequent refining. In order to obtain a translucent, luminous oil with light yellow tones, the extraction temperature should be below 190°C. The extraction residue obtained from the extraction process is very low. The residue obtained from the extraction is rich in proteins (49 ± 5 %) and polyphenols (especially flavonols), with a high water absorption capacity. Some of the polyphenols (p-coumaric acid, gallic acid, p-hydroxybenzoic acid and rutin) increased when

working at the highest temperature (220°C). This residue could be incorporated into food matrices to increase their nutritional profile.

Keywords: *Moringa oleifera*, seed, oil, extraction, residue/cake, protein, antioxidant, acid, acidity, peroxides, colour, polyphenols

1. INTRODUCCIÓN

Existen una serie de cultivos desconocidos en nuestro país cuyo estudio podría ser interesante. Este sería el caso de la *Moringa oleifera* de la familia monogénica Moringaceae, un árbol tropical que es una de las especies más conocidas en países del hemisferio sur y ampliamente cultivadas (Anwar et al., 2007). Se trata de un árbol nativo del sur del Himalaya, el nordeste de la India donde se realiza un 80% de su producción (Singh et al., 2020). También es importante en Bangladesh, Afganistán y Pakistán además de desarrollarse en gran medida en otras zonas del mundo como en Sudamérica, donde se introdujo a principios de siglo XX junto a otros países de Centroamérica como es el caso de Costa Rica y Nicaragua (Holguín et al., 2018). Cabe destacar que en África se encuentran algunas especies endémicas pertenecientes al nordeste del continente y de Madagascar (Pérez et al., 2010; Singh et al., 2009). Por lo tanto, nos encontramos ante un árbol que crece en climas cálidos y poco lluvioso (Holguín et al., 2018)

La moringa se trata de un cultivo perenne pero poco longevo, que a lo sumo puede vivir 20 años, de muy rápido crecimiento (Pérez et al., 2010) y que puede llegar a medir entre 7-12 metros de altura (Tobias, 2010). Se caracteriza por su tipo de hojas compuestas, que pueden llegar a los 60 cm de longitud, con un tamaño de folíolos de 0,5 a 2 cm de largo. Sus frutos se forman en vainas tricarpelares de gran longitud (entre 20 a 45 cm) que contienen de 15 a 20 semillas que durante su crecimiento son de color verde y de cuerpo carnoso, una vez maduran se secan pasando a una tonalidad marrón (Radovich & Page, 2011).

La *Moringa oleifera* presenta alta adaptabilidad a las condiciones climáticas y suelos secos (Okuda et al., 2001) debido al aporte de una elevada cantidad de nutrientes al suelo, protegiéndolos de factores externos como la erosión, la desecación y las altas temperaturas (Pérez et al., 2010), siendo la óptima de crecimiento entre 25-35°C, pero pudiendo soportar incluso los 48°C un tiempo limitado (Devkota & Bhusal, 2020). Respecto a las precipitaciones aguanta bien la sequía siendo su rango óptimo alrededor los 1000 mm anuales, pero cabe indicar que a valores inferiores de 250 mm la producción de hojas se ve gravemente afectada (Olson & Alvarado-Cárdenas, 2016).

Estas características tanto agronómicas como nutricionales de la *Moringa oleifera* podrían ayudar ante los efectos del cambio climático, (Gedefaw, 2015) que se prevé que siga provocando un aumento de las temperaturas y altere los patrones de precipitación, (Pachauri et al., 2014) debido a lo cual se aumentará el consumo de agua en la agricultura y serán necesarias nuevas transformaciones en el sector, como por ejemplo en la cuenca del Mediterráneo, que es un ámbito geográfico con alta exposición a los efectos de este proceso; así lo señalan diferentes estudios recientes (Pausas & Millán,

2019). La convergencia en este espacio geográfico de una peligrosidad climática elevada y una ocupación intensa del territorio, especialmente en la franja litoral, convierten a las regiones del Mediterráneo en un área de grado elevado de riesgo que se ha incrementado en las últimas décadas, (Vila-Traver et al., 2022) por lo que su adaptabilidad climatológica y agronómica lo convierten en un cultivo perfecto para su desarrollo en la Península Ibérica y las Islas Baleares, destacando la costa andaluza, el litoral valenciano y murciano, y otras pequeñas ubicaciones de la costa mediterránea como la cuenca del Delta del Ebro (Godino et al., 2017).

Todas las partes de la Moringa se pueden considerar comestibles y con infinidad de usos (Trigo et al., 2020). En el caso concreto de sus semillas, la extracción del aceite puede ser una buena alternativa a otros aceites vegetales que diversifique el mercado actual. Así, se podría responder a problemáticas como la escasez de aceite de girasol en Europa occidental debido a la falta de fertilizantes, el aumento exponencial del precio de los combustibles y, los problemas con el sistema logístico de abastecimiento de alimentos por el bloqueo a los puertos ucranianos en el Mar Negro (Rojas et al., 2022).

La semilla de esta planta tiene forma redonda, con un color castaño oscuro y con tres alas blanquecinas, así como una fina membrana alrededor. La planta produce un número de semillas por vaina variable, pero se estima que un árbol puede producir entre 15000 y 25000 semillas anualmente (Boukandoul et al., 2018; Tobias, 2010). Destaca su uso como uno de los floculantes naturales más importantes disponibles comercialmente para el tratamiento de agua, entre las cuales se encuentran las residuales (Ang & Mohammad, 2020), mientras que la harina extraída de las semillas habitualmente es destinada a la alimentación animal. Existen pocos trabajos científicos sobre la incorporación de esta harina para alimentación humana tales como galletas y formulaciones infantiles (Saa et al., 2019). Hay algunos estudios que resaltan la elevada actividad antioxidante de las semillas de moringa y han aislado una gran cantidad de compuestos fitoquímicos que pueden ser usados como moléculas bioactivas nutraceuticas, capaces de reducir el daño oxidativo asociado al envejecimiento y al cáncer, pudiendo ser también potenciales promotores antitumorales (Guevara et al., 1999; Maiyo et al., 2015; Singh et al., 2009).

Asimismo, las semillas de moringa contienen un porcentaje de aceite de entre un 19-40%, con un color amarillo intenso poco viscoso, rico en ácidos grasos monoinsaturados y saturados, siendo el ácido oleico el principal ácido graso (aproximadamente 70%) lo que también hace que tenga en una alta resistencia a la oxidación. Además, contiene otros ácidos grasos como el palmítico, esteárico y behénico. También posee una gran cantidad de tocoferoles, como la vitamina E, por lo que puede convertirse en un buen complemento eficaz en la reducción del colesterol (Gómez Mitjans et al., 2016). Por ello, se suele adicionar a otros aceites de cara a la obtención de mezclas de elevadas propiedades nutricionales (Bhutada et al., 2016; García-Fayos et al., 2012). En este sentido, puede utilizarse como un sustituto culinario de otros aceites vegetales. Otros usos industriales interesantes

serían la producción de cosméticos, lubricantes y biodiesel (Cattan et al., 2022; Saa et al., 2019).

La torta que queda tras el proceso de extracción de aceite también puede tener muchos usos. Por un lado, es de interés como alimento forrajero, por su elevado contenido de proteína (casi 60%) y no contiene elementos tóxicos. Además, se puede destinar al abonado de campos por su alta concentración en nitrógeno o como floculante para purificar el agua (Godino, 2016; Paniagua & Chora, 2016). Debido al alto contenido en proteína que presenta este subproducto puede ser de una gran importancia ante la gran demanda de proteínas en todo el mundo y el gran desafío que supone esto para encontrar fuentes alternativas sostenibles que presenten un alto valor biológico (McCarty et al., 2009). Todo esto hace indicar el posible gran valor del residuo de extracción del aceite de las semillas y su gran variedad de usos y posibilidades de introducción en diferentes matrices alimentarias y piensos.

Por todo ello, el objetivo de este trabajo es la extracción por prensado del aceite de *Moringa oleifera* cultivada en la Comunidad Valenciana junto con la caracterización tanto del aceite como del residuo obtenidos.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 Materia prima

Semilla de moringa procedente de los árboles cultivados en una parcela experimental de la UPV ubicada en el Camino de Vera s/n (39°29'02.2"N 0°20'09.6"W). Las vainas que contenían las semillas provenían de árboles plantados en 2016 y fueron recolectadas en marzo/abril de 2021. En ese momento, las vainas ya estaban prácticamente secas y se almacenaron aproximadamente un mes en un lugar seco antes de extraer las semillas. Una vez extraídas las semillas, fueron descascarilladas con una trituradora eléctrica (YT542 230 V) para posteriormente pasarlas por un tamiz de tamaño de malla de 4 mm y así eliminar el máximo de impurezas.

2.2 Extracción del aceite

Se ha utilizado un extractor de prensa automático (Cgoldenwall 350 W 3-6 kg/h) compuesto por un tornillo sinfín que trabaja en un rango de temperaturas de 20-220 °C. En este trabajo se utilizaron las siguientes temperaturas se extracción: 70, 100, 130, 160, 190 y 220 °C.

2.3 Determinaciones analíticas

2.3.1 RENDIMIENTO DE EXTRACCIÓN DE ACEITE

El proceso de extracción se realizó a partir de 30-35 g de semilla para cada una de las 3 repeticiones por temperatura. El rendimiento en aceite se expresó en % con respecto a la masa inicial de semillas por triplicado para cada temperatura.

2.3.2 PROPIEDADES ÓPTICAS

Se determinaron en el aceite y en residuo las coordenadas CIEL*a*b*, utilizando un espectrocolorímetro ("Konica Minolta" Inc. Modelo CM – 3600d, Tokio, Japón) con un iluminante de referencia D65 y un observador 10°.

En el caso del aceite, con el fin de analizar su traslucidez, se midió el color en una cubeta con los laterales negros utilizando fondo blanco y fondo negro para obtener el coeficiente de Kubelka-Munk (Talens, 2016). Se realizaron 6 repeticiones por tratamiento.

2.3.3 ÍNDICES DE ACIDEZ Y DE PERÓXIDOS DEL ACEITE

La determinación de acidez mide la degradación hidrolítica de un aceite expresándose como el porcentaje de ácido oleico presente. Se determina según la norma UNE-EN ISO 660:2010 midiendo la cantidad de hidróxido potásico al 0,1% en disolución alcohol y éter, necesaria para neutralizar los ácidos presentes, utilizando como indicador una disolución al 1% de fenoftaleína en metanol (García Martínez et al., 2014). A continuación, se detallan las ecuaciones utilizadas para expresar el nivel de acidez del aceite (Nazir et al., 2017).

$$\% \text{ Ácidos grasos libres o grado de acidez} = \frac{mL \text{ KOH} \cdot M \text{ del KOH} \cdot 28,2}{\text{Peso del aceite (g)}} \quad (\text{ec.1})$$

También, se procede al cálculo del índice de acidez expresado como mg KOH/g aceite a partir del porcentaje de ácidos grasos libres:

$$\text{Índice de acidez} = \% \text{ Ácidos grasos libres} \cdot 1,99 \quad (\text{ec. 2})$$

El índice de peróxidos se determinó según (AOAC, 1990) mediante una valoración con tiosulfato de sodio en una disolución del aceite con yoduro potásico, una disolución de ácido acético-cloroformo (17:12 v:v) y utilizando almidón al 1% como indicador. Los resultados se expresaron como miliequivalentes de O₂/Kg de aceite.

Ambas determinaciones se realizaron por triplicado para las temperaturas de extracción de 100, 130 y 160 °C.

2.3.4 CAPACIDAD DE ABSORCIÓN DE AGUA, HUMEDAD CONTENIDO DE CENIZAS Y PROTÉICO DEL RESIDUO

La capacidad de absorción de agua (WHC) se define por la cantidad de agua que se une al residuo o torta de extracción sin la aplicación de ninguna fuerza externa (excepto la gravedad y la presión atmosférica) (Fort, 2019). Para obtener este valor en el residuo de la semilla de moringa tras la extracción de su aceite, se pesaron 0,2 g de este y se introdujeron en un tubo de ensayo graduado. A continuación, se añadieron 10 mL de agua, dejando la mezcla durante 18 h en reposo para que se hidratara. Pasado este tiempo se eliminó el sobrenadante y se congeló la muestra durante 24 h a -20 °C

antes de liofilizarla en el equipo Telstar Lyoquest a -40°C y una presión de 0,8 mBar durante otras 24 h.

$$WHC \left(\frac{g \text{ agua}}{g \text{ residuo}} \right) = \frac{\text{peso del residuo hidratado (g)} - \text{peso del residuo liofilizado (g)}}{\text{peso del residuo liofilizado (g)}} \quad (\text{ec. 4})$$

El contenido de agua del residuo extracción se determinó mediante un método gravimétrico (García Martínez & Fernández Segovia, 2012) por triplicado para las seis temperaturas consideradas. Para ello, se secaron las muestras en una estufa (J.P SELECTA, modelo Conterm) a 60 °C durante 48 horas hasta alcanzar un peso constante.

En el caso de las cenizas su determinación también se realizó mediante un método gravimétrico midiendo el residuo inorgánico que queda después la ignición o la oxidación completa de la materia orgánica en un alimento (Harris & Marshall, 2017). Para ello, la muestra se pesó y se calentó previamente en una placa calefactora a 400 °C durante 3 horas. Después se introdujo en la mufla (J.P SELECTA, modelo Select-Forn 1150 °C) a 550 °C durante 6 horas, para registrar por último el peso final y obtener la variación de masa que da lugar al contenido en cenizas.

Por último, se realizó la determinación del contenido de proteínas a través del método Kjeldhal basado en la cantidad de nitrógeno, mediante una digestión, destilación y valoración. El contenido de nitrógeno se multiplica por un factor de conversión para pasar el valor de equivalentes de nitrógeno a porcentaje proteico presente en la muestra (Vendrell, 2021). Para este caso, el factor elegido fue 6,25 que es el valor estándar para alimentos vegetales (García-Martínez & Fernández-Segovia, 2012b). El análisis se realizó por triplicado para todas las temperaturas de extracción.

2.3.5 CAPACIDAD ANTIOXIDANTE DEL RESIDUO

La capacidad antioxidante total se determinó mediante el método del DPPH (2,2-difenil-1-picirilhidracilo) que consiste en la reacción de reducción de este radical debido a los antioxidantes presentes en la muestra (Mishra et al., 2012) analizando los cambios de absorbancia en un espectrofotómetro a longitud de onda de 515 nm. Para realizarla, en primer lugar, se preparó una disolución de DPPH con una concentración de 0,13 g/L. A continuación, se tomó 1 g del residuo de extracción disuelto en 10 mL de una disolución metanol al 80% centrifugándose posteriormente durante 5 minutos a 1300 rpm. Después, se colocaron 2,5 mL de disolución de metanol al 80%, 0,6 mL de disolución de DPPH y 40 mL de sobrenadante de la muestra centrifugada en una cubeta y se procedió a la lectura de su absorbancia a tiempo 0 (A_0) y transcurridos 30 minutos (A_{t30}) para poder obtener el porcentaje de inhibición del DPPH con la siguiente ecuación:

$$\% \text{ Inhibición DPPH} = \frac{A_0 - A_{t30}}{A_0} \quad (\text{ec. 5})$$

Los resultados se expresaron como equivalentes de Trolox por 100 g de residuo comparándolo con una recta de calibrado de una disolución de Trolox realizándose por triplicado para cada una de las temperaturas de extracción de las que se obtuvo el residuo.

2.3.6 PERFIL FENÓLICO DEL RESIDUO

En primer lugar, se procedió a la extracción de los fenoles del residuo de semilla de moringa utilizando una disolución de metanol en agua, (80:20 p/p). Para ello, se mezcló 1 g de residuo con 10 mL de la disolución de metanol en un Ultraturax T 25 digital-IKA. A continuación, se llevó la mezcla en eppendorf a un baño de ultrasonidos durante 10 minutos y más tarde se centrifugó la durante 5 minutos a 1400 rpm. El sobrenadante se filtró con una de jeringuilla PTFE con un tamaño de malla de 0,45 μm .

Los fenoles presentes en la muestra se analizaron mediante un cromatógrafo HPLC (Alliance 2695 con detector de fotodiodo 2996 array detector Waters, USA), separando los componentes mediante una Columna C18 (150 x 4.6 mm) de un tamaño de partícula 5 μm y se determinaron mediante el programa Agilent MassHunter. La fase móvil binaria estaba compuesta por una fase A (agua y ácido fórmico 95:5) y la fase B (acetonitrilo) (Ruiz, 2021).

La curva patrón de referencia contenía los siguientes fenoles: ácido gálico, ácido 4-O-cafeoilquínico, ácido cafeico, rutina, ácido p-cumárico, ácido ferúlico, quercitrina, apigenina 7-glucósido, quercetina, ácido transcinámico, ácido naringénico, vainillina, ácido 4-hidroxibenzoico, epicatequina, quercitina 3-glucósido, ácido sinápico y kamferol.

El contenido de fenoles se realizó por triplicado para cada una de las temperaturas de extracción de las que se obtuvo el residuo.

2.4 Análisis estadístico

Para el análisis estadístico de los resultados se utilizó el programa Statgraphics Centurion. Se realizó un análisis de varianza ANOVA, utilizando la prueba LSD (Least Significant Difference) a un nivel de significación del 95% ($p\text{-value} \leq 0,05$).

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Rendimiento de extracción de aceite

En la Figura 1 se muestran los porcentajes de aceite extraído en una prensa automática a distintas temperaturas de las semillas de *Moringa oleifera*. Según el ANOVA realizado, no se observaron diferencias significativas en el rendimiento de aceite en función de la temperatura aplicada (F-ratio: 1,52, p-valor: 0,2543), siendo valor medio obtenido de 19 ± 3 %. Teniendo en cuenta que las semillas de moringa pueden contener entre un 19 y 47 % de aceite (Bhutada et al., 2016; Nadeem & Imran, 2016), el porcentaje

de recuperación del aceite puede ser como máximo del 70%. En otros trabajos, donde el aceite se extrajo con solvente éter de petróleo, de forma convencional, el porcentaje de recuperación fue del 90%, mientras que, si además se aplican ultrasonidos o microondas, se puede alcanzar hasta el 91-94% (Zhong et al., 2018). Según Bhutada et al., 2016, la extracción de aceite con éter de petróleo fue mayor conforme aumentaba la temperatura en el rango de 70-100 °C como consecuencia del aumento de la solubilidad y la difusividad que favoreció la transferencia de materia. Sin embargo, a temperaturas por encima de este rango, el rendimiento disminuyó, posiblemente a la descomposición de ingredientes activos como los antioxidantes del aceite a altas temperaturas (Hossain et al., 2013). No obstante, en este estudio no se ha registrado un aumento significativo en el % de extracción con la temperatura.

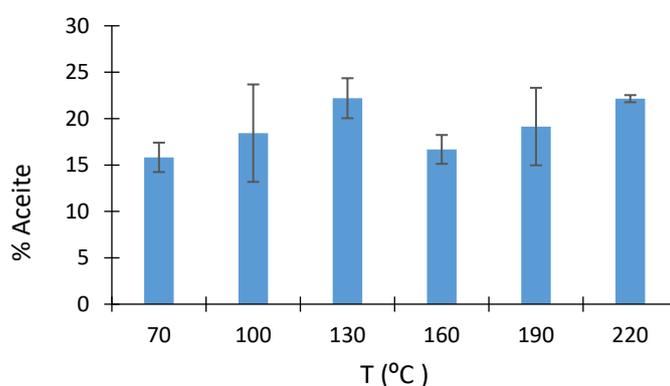


FIGURA 1. Rendimiento de aceite extraído de semillas de *Moringa oleifera* a distintas temperaturas

3.2 Color del aceite

En la Figura 2 se presentan los resultados de las determinaciones del color del aceite de moringa.

Respecto al diagrama cromático de las coordenadas a^* y b^* en función de la temperatura de extracción del aceite (Figura 2A), las muestras se ubicaron en el primer cuadrante con valores más altos de b^* , entre 6 y 12, mientras que los valores medios de la coordenada a^* fueron cercanos al 1, es decir, en tonos amarillos pardos. El análisis estadístico evidenció diferencias significativas tanto para la coordenada a^* (p-valor: 0,03749) y, especialmente para la coordenada b^* (p-valor: 0,000) respecto al factor temperatura de extracción. No obstante, sólo se observó un valor de b^* mucho menor cuando se emplearon altas temperaturas (190 y 220°C) en la extracción de aceite, aunque para 70°C los valores de b^* fueron similares a estos casos. Estos resultados serían coherentes con el perfil de pigmentos de los aceites prensados en frío, en el que predominan los carotenoides y las clorofilas (Cheikhoussef et al., 2020).

Los valores del coeficiente K/S (Figura 2B) fueron más bajos en los aceites extraídos a temperaturas más altas 160, 190 y 220 °C, con la excepción del aceite extraído a 70°C. Por tanto, el aumento en la temperatura de extracción supondría una menor transparencia del aceite (Talens, 2016).

La luminosidad L^* del aceite (Figura 2C) también se vio afectada significativamente por la temperatura de extracción (p-valor: 0,0018), siendo mucho menor a 190 y 220°C. Para el resto de los casos, L^* fue similar (≈ 33), siendo del orden de la reportada por otros autores (44,8) en aceite de moringa (Alberca & Huanca, 2015).

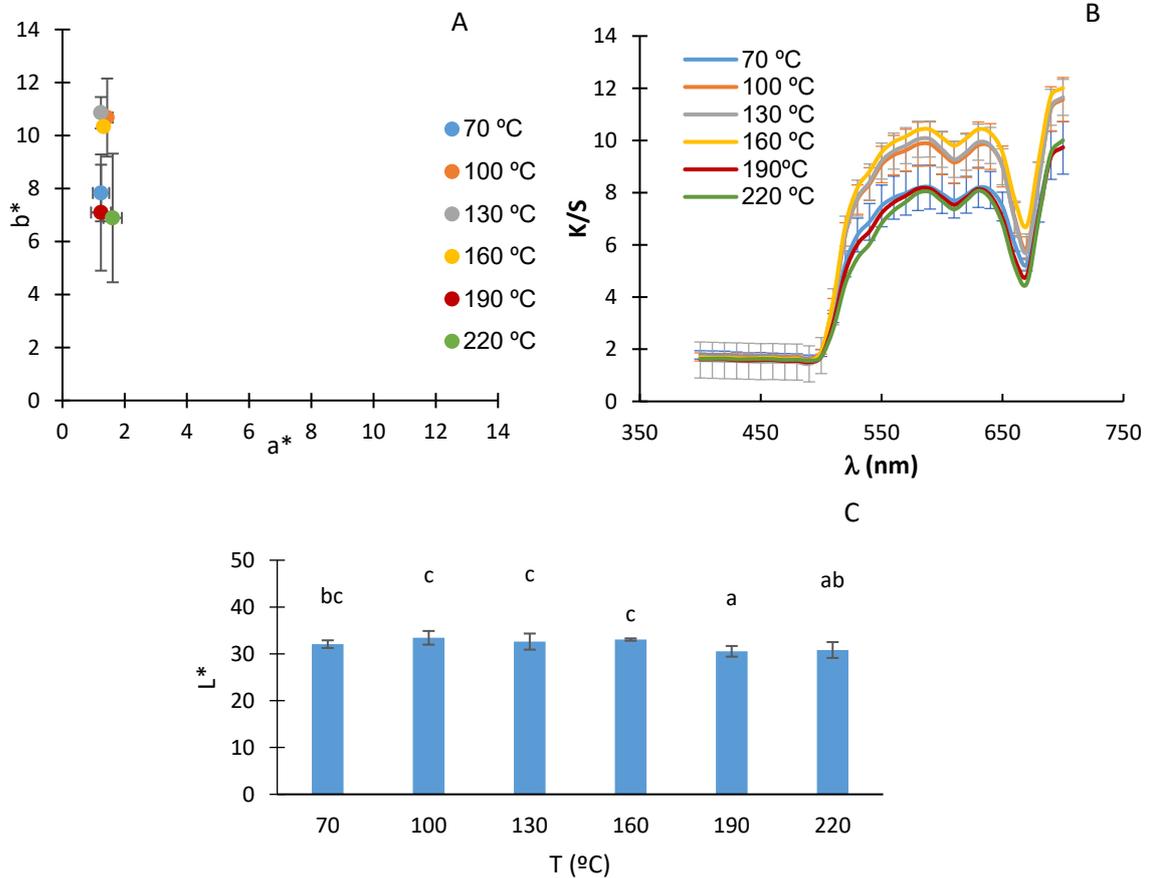


FIGURA 2. Ubicación en el plano cromático de las coordenadas a^* y b^* (A), valores del coeficiente Kubelka-Munk (K/S) (B) y luminosidad L^* (C) del aceite de moringa extraída a diferentes temperaturas. Letras iguales indican grupos homogéneos obtenidos en el ANOVA con un n.s: 95% considerando el factor temperatura.

3.3 Caracterización del aceite: Acidez y peróxidos

La acidez y el índice de peróxidos son unos de los principales parámetros de calidad contemplados en el aceite. En la determinación de peróxidos se utilizaron en primer lugar muestras de aceites que habían sido extraídas cuatro días antes, que fueron almacenadas en condiciones de total oscuridad a temperatura ambiente y no se produjo ningún resultado en la valoración como reportaron dado el escaso tiempo de almacenamiento (Alberca & Huanca, 2015), por lo que mantiene un buen estado oxidativo. Por ello, se analizaron otros aceites extraídos cuatro meses antes que habían sido almacenados en las mismas condiciones. No se detectó un efecto significativo de la temperatura (p-value: 0,829), siendo la media del índice de peróxidos de $0,17 \pm 0,03$ meq de O_2/kg la acidez. Este valor es inferior al reportado por

Anwar & Bhangar, (2003) ($0,56 \pm 0,05$ meq de O_2/kg) en aceite de moringa obtenido por prensado en frío o por Lalas & Tsaknis (2002) ($1,80$ meq de O_2/kg) en aceite de moringa obtenido con una extracción con hexano.

Respecto a la acidez, tampoco se observó un efecto significativo de la temperatura de extracción (p-valor: $0,987$), registrando un valor medio de $1,82 \pm 0,42$ % ácido oleico. Como consecuencia, el índice de acidez siguió el mismo comportamiento con un valor medio de $3,6 \pm 0,8$ mg KOH/g de aceite. Según Lalas & Tsaknis, (2002) el grado de acidez del aceite de moringa extraído con una técnica de prensado en frío es de $1,94$ (% ácido oleico) siendo similar a la acidez de un aceite de esta misma planta extraído con otras técnicas como por ejemplo hexano, por lo que los valores obtenidos son coherentes. No obstante, son valores más altos que los aceptados para aceites de semillas según el Real Decreto BOE/1983 (BOE, 1983) que indica que la acidez libre del aceite de girasol debe ser menor o igual a $0,2$ g por 100 g de aceite, pero sí estaría dentro de los límites establecidos para el aceite de oliva virgen de 2 g por 100 g según Reglamento (CE) n° 1513/2001 (Comisión Europea, 2001). En este sentido, podría ser necesario realizar un tratamiento de refinado que redujera la acidez del aceite de moringa, ya que como se indica en el estudio realizado Pérez-Pérez et al., (2020) con este tratamiento se puede pasar de un valor de acidez $1,87 \pm 0,02$ % de ácido oleico a $0,37 \pm 0,02$ % ácido oleico después del refinado. En el citado trabajo se detalló el proceso separándolo en tres etapas distintas: desgomado, neutralización y blanqueo produciéndose la eliminación de los ácidos grasos libres durante la segunda etapa reaccionando con el hidróxido de sodio añadido, formando así jabón que se separa por centrifugación durante la etapa de lavado, después de la neutralización (Gupta, 2017). El porcentaje de pérdida de aceite durante la etapa de neutralización fue del $11,66\%$ y corresponde al contenido de ácidos grasos libres tal y como se ha indicado lo que también mejora la estabilidad oxidativa.

3.4 Caracterización del residuo

3.4.1 PROTEÍNAS, HUMEDAD Y CENIZAS

En la Tabla 1 se muestran los porcentajes de agua, cenizas y proteínas del residuo de la semilla una vez realizada la extracción de aceite a cada una de las temperaturas. En todos los casos, el factor temperatura no tuvo un efecto significativo en la composición, siendo los valores medios: $4,8 \pm 1,6$ % de agua, 7 ± 2 % de cenizas y 49 ± 5 % de proteínas. Los resultados fueron similares a los reportados por otros autores que obtuvieron un porcentaje de agua de $5,39$ % (Silva et al., 2018) y de cenizas del $6,6 \pm 0,5$ % (Anwar & Bhangar, 2003) en residuo de extracción de aceite de semilla de moringa. Sin embargo, el contenido proteico fue superior al publicado por Anwar & Bhangar, (2003) de $29,4 \pm 1,5\%$, siendo en ese caso el residuo obtenido por una extracción del aceite por el método Soxhlet.

TABLA 1. Porcentaje de agua, cenizas y proteínas del residuo de semilla

T °C	% Agua	% Cenizas	%Proteínas
70	6 ± 2	7,3 ± 0,7	47 ± 7
100	3,4 ± 1,2	9 ± 3	47 ± 3
130	2,4 ± 0,6	6 ± 2	49 ± 2
160	6,5 ± 0,5	5 ± 2	46 ± 2
190	6 ± 3	6 ± 3	52 ± 6
220	5 ± 2	7,8 ± 1,2	53,4 ± 0,7

En cualquier caso, el contenido proteico de la semilla de moringa reportado en bibliografía es muy variable con rangos entre 18,6 % (Kawo et al., 2009) y 37,2 % (Bridgemohan et al., 2014), lo que podría justificar el valor obtenido en este trabajo. En consecuencia, el contenido proteico de la semilla de moringa desgrasada oscila entre un 32% hasta 62,8% (Anwar & Rashid, 2007; Govardhan et al., 2011), que englobaría el resultado obtenido en este estudio. Además, es de resaltar su alto aporte proteico en comparación a otras semillas o pseudocereales oleaginosos de referencia como por ejemplo la chíá que contienen un 23,46 % (Bueno et al., 2008) o la torta de lino con un 10,5-31 % (Oomah & Mazza, 1993).

3.4.2 CAPACIDAD DE ABSORCIÓN DE AGUA DEL RESIDUO

En la Figura 3 se presentan los valores de capacidad absorción de agua (WHC) del residuo de semilla de moringa en función de la temperatura empleada en la extracción del aceite. A pesar de que estadísticamente se observaron diferencias significativas por efecto de la temperatura, estas diferencias son muy pequeñas dado el elevado valor de la capacidad de absorción de agua del residuo que estaría vinculado al elevado contenido en fibra de la semilla de moringa y sus proporciones de los polisacáridos que en este caso son contienen un alto valor en celulosa ($43,98 \pm 1,02$) y en menor medida de lignina y hemicelulosa ($13,66 \pm 0,56$; $11,80 \pm 0,92$) (Bustamante, 2015; Mateos et al., 2012)

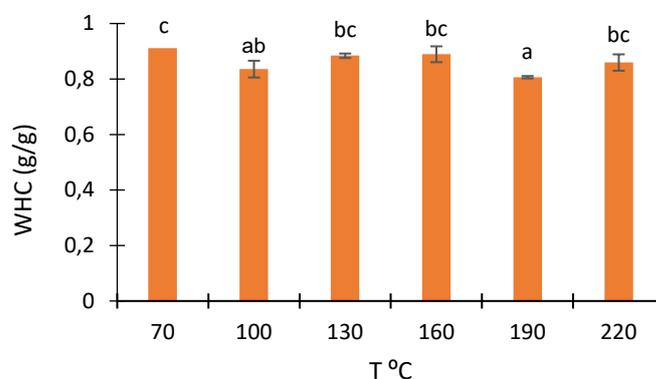


FIGURA 3. Capacidad de absorción del agua (WHC) del residuo a las diferentes temperaturas de extracción expresado en (g agua/ g residuo). Letras iguales indican grupos homogéneos obtenidos en el ANOVA con un n.s: 95% considerando el factor temperatura.

3.4 Color residuo

Los parámetros de color fueron también determinados para el residuo/torta de extracción (Figura 4). Como se observa en la Figura 4A, las muestras se ubicaron en el primer cuadrante con valores de b^* entre 7 y 20, mientras que los valores medios de la coordenada a^* estuvieron entre 2 y 6, es decir, en tonos marrones. El análisis estadístico evidenció diferencias significativas respecto al factor temperatura de extracción para la coordenada b^* (p-valor: 0,0000), reduciendo su valor a 220°C, pero no para la coordenada a^* (p-valor: 0,080). La luminosidad (Figura 4B), también se vio afectada significativamente por la temperatura de extracción (p-valor: 0,0000), siendo menor en 220°C. Por tanto, se pone de manifiesto la posible aparición de reacciones de Maillard con más intensidad a 220°C que en el resto de temperaturas aplicadas como sucede en un estudio realizado con un modelo de composición similar al dulce de leche donde se analizan parámetros de color y se registró una menor luminosidad o mayor tendencia al negro y un croma de color pardo global conforme aumentan las temperaturas de tratamiento (Rodríguez et al., 2012).

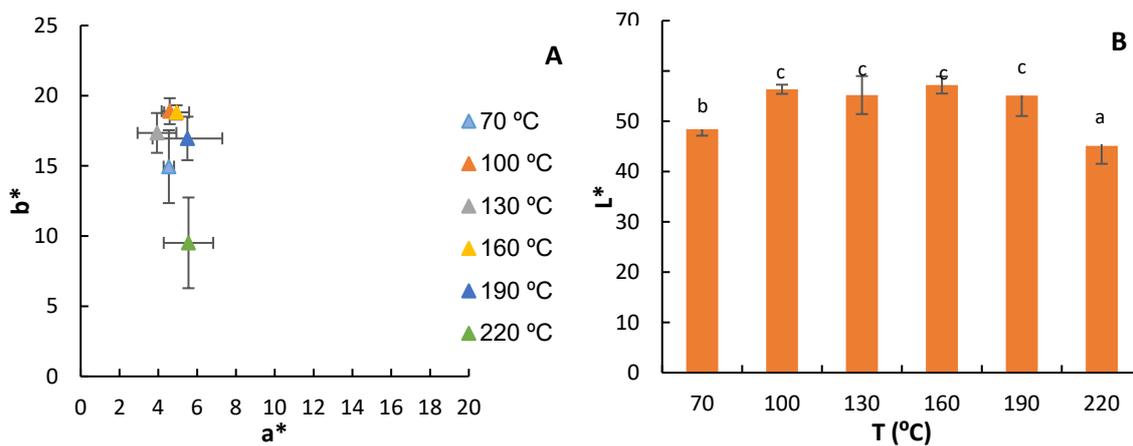


FIGURA 4. Ubicación en el plano cromático de las coordenadas a^* y b^* (A) y luminosidad L^* del residuo del aceite de semilla de moringa extraída a diferentes temperaturas. Letras iguales indican grupos homogéneos obtenidos en el ANOVA con un $n.s.$: 95% considerando el factor temperatura.

3.5 Capacidad antioxidante total

La capacidad antioxidante total (Figura 5) expresada como mg de Trolox/g de muestra del residuo fue similar en todos los casos excepto cuando la extracción del aceite se realizó a 220°C, donde aumentó notablemente. La comparación con otros trabajos publicados en residuo de semilla es complicado dadas las diferencias en las unidades utilizadas para expresarla. Así, (Gu et al., 2020) reportan de 4–16 mg Trolox /mL de muestra. En relación a otras partes de la moringa, el residuo de la semilla desgrasada tiene menor capacidad antioxidante. Concretamente, la vaina puede contener entre 60 y

80 mg Trolox/g (Sesé, 2022) y la hoja fresca alrededor de 36,5 mg de Trolox/g de (Ramarao et al., 2022).

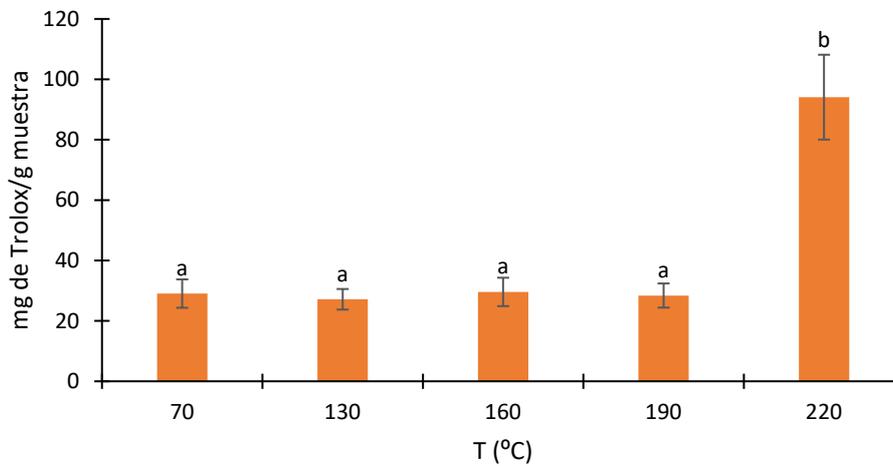


FIGURA 5. Capacidad antioxidante expresada en miliequivalentes de TROLOX por gramo de residuo/torta. Letras iguales indican grupos homogéneos obtenidos en el ANOVA con un *n.s.*: 95% considerando el factor temperatura.

3.6 Perfil fenólico

En la Tabla 2 se presentan el contenido de los diferentes tipos de polifenoles del residuo de las semillas de moringa una vez extraído el aceite a diferentes temperaturas. Asimismo, en la Tabla 3 se muestran los valores del coeficiente F-ratio y el p-valor del ANOVA aplicado en este análisis. Los resultados obtenidos indican que los principales polifenoles presentes en el residuo son rutina y epicatequina, del grupo de los flavonoides, seguidos del ácido gálico y la vanillina del grupo de los ácidos fenólicos. Destaca que el grupo mayoritario de polifenoles de los residuos analizados son los flavonoles. A continuación, se describen sus principales características:

-Rutina: es antiinflamatoria, neuroprotectora y anticancerígena (Imani et al., 2021).

-Epicatequina: posee elevada actividad antioxidante cuyos metabolitos se encuentran en el plasma y se acumulan en el cerebro, hígado, corazón, intestino, riñón y otros órganos (Actis-Goretta et al., 2012; Kosińska & Andlauer, 2012).

-Ácido gálico: tiene aplicaciones en diversas áreas, principalmente en la farmacéutica, ya que es un precursor en la manufactura de antibióticos de amplio espectro como trimetoprima. Además, en el área de alimentos, se ha utilizado como antioxidante de grasas y aceites, así como aditivo en algunas bebidas y alimentos, evitando su oxidación (Hocman, 1988).

-Vanillina: se trata de un compuesto de principal aplicación en la industria alimentaria (aproximadamente el 80%) como potenciador de sabor y agente que enmascara sabores no deseados como el amargo principalmente además de presentar propiedades actividad antioxidante, anticancerígenas (Babío et al., 2019).

En este sentido, la incorporación de este residuo en matrices alimentarias podría mejorar su perfil nutritivo. Por otra parte, se observó un aumento significativo de la concentración de ácido p-cumárico, ácido gálico, ácido p-hidroxibenzoico y rutina cuando se trabajó a la mayor temperatura (220°C).

Otros trabajos publicados (Govardhan et al., 2013) indican que la harina de semilla de moringa desengrasada por el método Soxhlet es rica en polifenoles, coincidiendo casi todos los mayoritarios (ácido gálico, epicatequina, ácido cafeico, vanillina y p-cumárico) con los obtenidos en este trabajo. Sin embargo, debido a las diferencias en el método de extracción y las temperaturas utilizadas, las concentraciones fueron diferentes.

TABLA 2. Valores promedio de las concentraciones (mg/100 g residuo), de los polifenoles identificados en los residuos de las semillas del aceite obtenidos a las diferentes temperaturas de extracción.

Ácidos fenólicos						
Ácidos hidroxicinámicos						
T (°C)	70	100	130	160	190	220
Ácido p-cumárico	1,4±0,7 ^a	0,6±0,1 ^a	0,56±0,02 ^a	0,57±0,04 ^a	0,9±0,1 ^{ab}	2,1±0,7 ^b
Ácido Trans-cinámico	5±5	-	-	-	-	-
Ácido 4-O-Cafeoilquínico	0,13± 0,13 ^a	0,4±0,4 ^a	0,14±0,14 ^a	-	0,5±0,4 ^a	1,6 ±1,5 ^a
TOTAL	3±3	0,5±0,1	0,5±0,2	0,57±0,04	0,7±0,3	1,8±1,1
Ácidos hidroxibenzoicos						
T (°C)	70	100	130	160	190	220
Ácido gálico	-	3 ± 3 ^a	0,65±0,01 ^a	1,2±0,4	0,2 ± 1,7 ^a	43 ± 13 ^b
Ácido p-hidroxibenzoico	0,4 ± 0,2 ^a	0,4±0,1 ^a	0,4±0,1 ^a	0,4±0,1 ^a	0,33 ± 0,06 ^a	0,8 ± 0,2 ^b
Vanillina	6 ± 5 ^a	6± 8 ^a	0,9±0,1 ^a	1 ± 0 ^a	18 ± 13 ^a	5 ± 2 ^a
TOTAL	3,2± 4,6	3±5	0,6±0,2	0,8±0,4	9±10	14,8±20,4
Flavonoides						
Flavonoles						
T (°C)	70	100	130	160	190	220
Rutina	1,5 ± 1,1 ^a	3 ± 4 ^a	0,8± 0,2 ^a	2±2 ^a	14,5±0,03	63±15 ^c
Epicatequina	32 ± 28 ^a	9±4 ^a	5 ± 1 ^a	5 ± 4 ^a	18 ± 4 ^a	6 ± 2 ^a
TOTAL	16,8±24,6	6±5	3±2	3,2±3,2	16±28	29,5±28,4

Letras iguales indican grupos homogéneos obtenidos en el ANOVA con un n.s: 95% considerando el factor temperatura.

TABLA 3. Resumen de los F-ratio para los fenoles analizado en el residuo de extracción de moringa.

Parámetros	F-ratio	P-valor
Ácido p-cumárico	6,04	0,0063
Ácido Trans-cinámico	0,79	0,4678
Ácido 4-O-Cafeoilquínico	0,64	0,6598
Ácido gálico	20,29	0,0012
Ácido p-hidroxibenzoico	3,60	0,0357
Vanillina	2,42	0,0971
Rutina	37,07	0,0000
Epicatequina	2,17	0,1324

4. CONCLUSIONES

Con el método de prensado utilizado en este estudio se obtuvo un rendimiento en aceite del 19 ± 3 % independientemente de la temperatura aplicada. Este aceite mostró una buena estabilidad oxidativa, aunque su acidez fue elevada en comparación a la permitida en otros aceites vegetales. Por ello, sería recomendable someterlo a algún tratamiento posterior de refinado. El color del aceite fue menos traslúcido, menos luminoso y más pardo a partir de extracciones a 190°C . Por tanto, la mejor opción sería extraer a baja temperatura (70°C) para obtener un aceite de semilla de moringa con buenas cualidades organolépticas. Tras la extracción se obtuvo una gran cantidad de residuo rico en proteínas (49 ± 5 %) y en polifenoles (especialmente, flavonoles), con una gran capacidad de absorción de agua. Algunos de los polifenoles (ácido p-cumárico, ácido gálico, ácido p-hidroxibenzoico y rutina) aumentaron cuando se trabajó a la mayor temperatura (220°C). En este sentido, este residuo podría estudiarse con más profundidad como posible aditivo para enriquecer matrices alimentarias teniendo en cuenta sus propiedades ópticas, especialmente si se trabaja a 220°C donde el residuo acentúa su color marrón.

Agradecimientos

Los autores agradecen a la Generalitat Valenciana la financiación aportada para el contrato de Sergio Pageo dentro del programa de Garantía Juvenil para trabajar en la línea de investigación “Análisis nutricional de distintas partes de la *Moringa oleifera* cultivada en la Comunidad Valenciana” (EDGJID/2021/287).

5. BIBLIOGRAFÍA

- Actis-Goretta, L., Lévêques, A., Giuffrida, F., Romanov-Michailidis, F., Viton, F., Barron, D., Duenas-Paton, M., Gonzalez-Manzano, S., Santos-Buelga, C., Williamson, G., & Dionisi, F. (2012). Elucidation of (-)-epicatechin metabolites after ingestion of chocolate by healthy humans. *Free Radical Biology and Medicine*, 53(4), 787–795. <https://doi.org/10.1016/j.freeradbiomed.2012.05.023>
- Alberca, S., & Huanca, M. (2015). *Evaluación del Índice de Estabilidad Oxidativa del Aceite De Moringa (Moringa oleifera) por el Método Rancimat-Rev* (Vol. 2, Issue 2).
- Ang, W. L., & Mohammad, A. W. (2020). State of the art and sustainability of natural coagulants in water and wastewater treatment. In *Journal of Cleaner Production* (Vol. 262). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.121267>
- Anwar, F., & Bhanger, M. I. (2003). Analytical Characterization of Moringa oleifera Seed Oil Grown in Temperate Regions of Pakistan. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 51(22), 6558–6563. <https://doi.org/10.1021/jf0209894>
- Anwar, F., Latif, S., Ashraf, M., & Gilani, A. H. (2007). *Moringa oleifera: A food plant with multiple medicinal uses*. In *Phytotherapy Research* (Vol. 21, Issue 1, pp. 17–25). <https://doi.org/10.1002/ptr.2023>
- Anwar, F., & Rashid, U. (2007). *Physicochemical characteristics of Moringa oleifera seeds and seed oil from a wild provenance of Pakistan*. *Pakistan Journal of Botany*, 39(5), 1443–1453.

- AOAC, I. K. H. (1990). *Official Methods of Analysis* Arlington, VA, USA. Association of Official Analytical Chemists Inc.
- Babío, B., González, M., Emilio, M., & González, J. (2019). *Extracción de vainillina y ácido vanílico empleando disolventes eutécticos profundos*. Tesis Doctoral. UPM.
- Bassolé, I. H. N., Hounhouigan, D. J., & Mouécoucou, J. (2014). *Nutritional Properties of Enriched Local Complementary Flours Lactic acid bacteria and others microorganisms in fermented food : functional properties View project Food microorganisms antibiotics resistance and residues of antibiotics View project*. <https://www.researchgate.net/publication/264839683>
- Bhutada, P. R., Jadhav, A. J., Pinjari, D. v., Nemade, P. R., & Jain, R. D. (2016). Solvent assisted extraction of oil from *Moringa oleifera* Lam. seeds. *Industrial Crops and Products*, 82, 74–80. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2015.12.004>
- BOE-A-1983-5543. (1983). Real Decreto 308/1983, de 25 de enero, por el que se aprueba la Reglamentación Técnico-Sanitaria de Aceites Vegetales Comestibles. Boletín Oficial Del Estado, 4853-4858
- Boukandoul, S., Casal, S., & Zaidi, F. (2018). The potential of some moringa species for seed oil production†. In *Agriculture (Switzerland)* (Vol. 8, Issue 10). MDPI AG. <https://doi.org/10.3390/agriculture8100150>
- Bridgemohan, P., Bridgemohan, R., & Mohamed, M. (2014). African Journal of Food Science and Technology. *African Journal of Food Science and Technology*, 5(5). <https://doi.org/10.14303/ajfst.2014.041>
- Bueno, M., Busilacchi, H., & Severin, I. A. C. (2008). *CHÍA: IMPORTANTE ANTIOXIDANTE VEGETAL*. <http://www.fcagr.unr.edu.ar/Extension/Agromensajes/24/3AM24.htm>
- Bustamante, D., Caro, Y., Savón, L., & Elias, A. (2015). *Moringa oleifera: propiedades físicas y químicas y su impacto en la fisiología digestiva de especies monogástricas*. *Revista Computadorizada de Producción Porcina*, 22(2).
- Cattan, Y., Patil, D., Vaknin, Y., Rytwo, G., Lakemond, C., & Benjamin, O. (2022). Characterization of *Moringa oleifera* leaf and seed protein extract functionality in emulsion model system. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 75, 102903. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2021.102903>
- Cheikhyoussef, N., Kandawa-Schulz, M., Böck, R., & Cheikhyoussef, A. (2020). Cold pressed *Moringa oleifera* seed oil. In *Cold Pressed Oils* (pp. 467–475). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-818188-1.00042-6>
- Comisión Europea. 2001. Reglamento CE 1513/2001 que modifica el Reglamento 136/66/CEE y el Reglamento 1638/98/CE, en lo que respecta a la prolongación del régimen de ayuda y la estrategia de la calidad para el aceite de oliva. Diario Oficial de las Comunidades Europeas. L 201.
- Devkota, S., & Bhusal, K. K. (2020). *Moringa oleifera: A miracle multipurpose tree for agroforestry and climate change mitigation from the Himalayas - A review [Article]*. *Cogent Food & Agriculture*, 6(1), 1805951. <https://doi.org/10.1080/23311932.2020.1805951>
- Fort Ochando, S. (2019). *Potencialidad de la fibra de caqui como ingrediente funcional en masas de galletas*. Universitat Politècnica de València.
- García Martínez, E. M., & Fernández Segovia, I. (2012a). *Determinación de la humedad de un alimento por un método gravimétrico indirecto por desecación*. Universitat Politècnica de València.
- García Martínez, E. M., & Fernández Segovia, I. (2012b). *Determinación de proteínas de un alimento por el método Kjeldahl. Valoración con un ácido fuerte*. Universitat Politècnica de València.
- García Martínez, E. M., Fernández Segovia, I., & Fuentes López, A. (2014). *Determinación del enranciamiento hidrolítico de un aceite de oliva mediante el Grado de Acidez*. Universitat Politècnica de València.
- García-Fayos, B., Miguel, J., Arnal, A., & Alandia, S. (2012). *Estudio de la descontaminación de efluentes líquidos con elevada concentración de metales pesados mediante bioadsorbentes de Moringa oleifera*.
- Gedefaw, M. (2015). *Environmental and Medicinal value analysis of Moringa (Moringa oleifera) tree species in Sanja, North Gondar, Ethiopia*. 2. www.americanij.com

- Ghafar, F., Tengku Nazrin, T. N. N., Mohd Salleh, M. R., Nor Hadi, N., Ahmad, N., Hamzah, A. A., Mohd Yusof, Z. A., & Azman, I. N. (2017). Total phenolic content and total flavonoid content in moringa oleifera seed. *Science Heritage Journal*, 1(1), 23–25. <https://doi.org/10.26480/gws.01.2017.23.25>
- Godino, M. (2016). *Moringa oleifera: árbol multiusos de interés forestal para el sur de la península ibérica*. Fundación Cajamar.
- Godino, M., Arias, C., & Izquierdo, M. I. (2017). Moringa oleifera: Potential areas of cultivation on the Iberian Peninsula. *Acta Horticulturae*, 1158, 405–412. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2017.1158.46>
- Gómez Mitjans, D., Pita Bravo, V., & Zumalacárregui de Cárdenas, B. (2016). Caracterización de aceites de las semillas de Moringa oleifera a partir de la extracción por diferentes métodos. *Revista Colombiana de Biotecnología*, 18(2), 106. <https://doi.org/10.15446/rev.colomb.biote.v18n2.54324>
- Govardhan, R. S., Negi, P. S., & Radha, C. (2013). Phenolic composition, antioxidant and antimicrobial activities of free and bound phenolic extracts of Moringa oleifera seed flour. *Journal of Functional Foods*, 5(4), 1883–1891. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2013.09.009>
- Govardhan, R. S., Ogunsina, B. S., & Radha, C. (2011). *Protein Extractability*.
- Gu, X., Yang, Y., & Wang, Z. (2020). Nutritional, phytochemical, antioxidant, α -glucosidase and α -amylase inhibitory properties of Moringa oleifera seeds. *South African Journal of Botany*, 133, 151–160. <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2020.07.021>
- Guevara, A. P., Vargas, C., Sakurai, H., Fujiwara, Y., Hashimoto, K., Maoka, T., Kozuka, M., Ito, Y., Tokuda, H., & Nishino, H. (1999). An antitumor promoter from Moringa oleifera Lam. In *Mutation Research* (Vol. 440).
- Harris, G. K., & Marshall, M. R. (2017). *Ash Analysis* (pp. 287–297). https://doi.org/10.1007/978-3-319-45776-5_16
- Hocman, G. (1988). Chemoprevention of cancer: phenolic antioxidants (BHT, BHA). In *Inf. .i. Eiockm* (Vol. 20, Issue 7).
- Holguín, V. Amparo., García, I. Isis., & Mora Delgado, Jairo. (2018). *Árboles y arbustos para silvopasturas*. Sello Editorial Universidad del Tolima.
- Hossain, M., Al-Mijizy, Z., Al-Rashdi, K., Weli, A., & Al-Riyami, Q. (2013). Effect of temperature and extraction process on antioxidant activity of various leaves crude extracts of Thymus vulgaris [Article]. *Journal of Coastal Life Medicine*. <https://doi.org/10.12980/JCLM.1.2013C706>
- Imani, A., Maleki, N., Bohlouli, S., Kouhsoltani, M., Sharifi, S., & Maleki Dizaj, S. (2021). Molecular mechanisms of anticancer effect of rutin. In *Phytotherapy Research* (Vol. 35, Issue 5, pp. 2500–2513). John Wiley and Sons Ltd. <https://doi.org/10.1002/ptr.6977>
- Kawo, A. H., Abdullahi, Gaiya, Z. A., Halilu, A., Dabai, M., & Dakare, M. A. (2009). Preliminary phytochemical screening, proximate and elemental composition of Moringa oleifera lam seed powder. In *Bayero Journal of Pure and Applied Sciences* (Vol. 2, Issue 1).
- Kosińska, A., & Andlauer, W. (2012). Cocoa polyphenols are absorbed in Caco-2 cell model of intestinal epithelium. *Food Chemistry*, 135(3), 999–1005. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2012.05.101>
- Lalas, S., & Tsaknis, J. (2002). Characterization of Moringa oleifera seed oil variety “Periyakulam 1.” *Journal of Food Composition and Analysis*, 15(1), 65–77. <https://doi.org/10.1006/jfca.2001.1042>
- Llinares, M. (2022). *Propiedades antioxidantes de mieles de Mozambique en base a su composición en flavonoides y ácidos fenólicos*.
- Maiyo, F., Moodley, R., & Singh, M. (2015). Cytotoxicity, Antioxidant and Apoptosis Studies of Quercetin-3-O Glucoside and 4-(?-D-Glucopyranosyl-1?4-?-L-Rhamnopyranosyloxy)-Benzyl Isothiocyanate from Moringa oleifera. *Anti-Cancer Agents in Medicinal Chemistry*, 16(5), 648–656. <https://doi.org/10.2174/1871520615666151002110424>
- Mateos, G. G., Jiménez-Moreno, E., Serrano, M. P., & Lázaro, R. P. (2012). Poultry response to high levels of dietary fiber sources varying in physical and chemical characteristics. *Journal of Applied Poultry Research*, 21(1), 156–174. <https://doi.org/10.3382/japr.2011-00477>
- McCarty, M. F., Barroso-Aranda, J., & Contreras, F. (2009). The low-methionine content of vegan diets may make methionine restriction feasible as a life extension strategy. *Medical Hypotheses*, 72(2), 125–128. <https://doi.org/10.1016/j.mehy.2008.07.044>

- Mishra, K., Ojha, H., & Chaudhury, N. K. (2012). Estimation of antiradical properties of antioxidants using DPPH- assay: A critical review and results. *Food Chemistry*, 130(4), 1036–1043. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2011.07.127>
- Nadeem, M., & Imran, M. (2016). Promising features of Moringa oleifera oil: Recent updates and perspectives. In *Lipids in Health and Disease* (Vol. 15, Issue 1). BioMed Central Ltd. <https://doi.org/10.1186/s12944-016-0379-0>
- Nazir, N., Diana, A., & Sayuti, K. (2017). *Physicochemical and Fatty Acid Profile of Fish Oil from Head of Tuna (Thunnus albacares) Extracted from Various Extraction Method*. 7(2).
- Okuda, T., Baes, A. U., Nishijima, W., & Okada, M. (2001). ISOLATION AND CHARACTERIZATION OF COAGULANT EXTRACTED FROM MORINGA OLEIFERA SEED BY SALT SOLUTION. In *Wat. Res* (Vol. 35, Issue 2).
- Olson, M. E., & Alvarado-Cárdenas, L. O. (2016). ¿Dónde cultivar el árbol milagro, Moringa oleifera, en México? Un análisis de su distribución potencial. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 87(3), 1089–1102. <https://doi.org/10.1016/j.rmb.2016.07.007>
- Oomah, B. D., & Mazza, G. (1993). Flaxseed proteins-a review. In *Food Chemistry* (Vol. 48, Issue 2, pp. 109–114). [https://doi.org/10.1016/0308-8146\(93\)90043-F](https://doi.org/10.1016/0308-8146(93)90043-F)
- Pachauri, R. K., Mayer, Leo., & Intergovernmental Panel on Climate Change. (2014). *Climate change 2014 : synthesis report*.
- Paniagua, A., & Chora, J. (2016). Elaboración de Aceite de semillas de Moringa Oleifera para diferentes usos. *Revista de Ciencias de La Salud*, 3(9), 36–46. www.ecorfan.org/bolivia
- Pausas, J. G., & Millán, M. M. (2019). Greening and Browning in a Climate Change Hotspot: The Mediterranean Basin. In *BioScience* (Vol. 69, Issue 2, pp. 143–151). Oxford University Press. <https://doi.org/10.1093/biosci/biy157>
- Pérez, A., Sánchez, T., Armengol, N., & Reyes, F. (2010). *Características y potencialidades de Moringa oleifera, Lamark. Una alternativa para la alimentación animal Characteristics and potential of Moringa oleifera, Lamark. An alternative for animal feeding* (Vol. 33, Issue 4).
- Radovich, T., & Page, M. H. (2011). *Farm and Forestry Production and Marketing proile for Moringa (Moringa oleifera) Specialty Crops for Paciic Island Agroforestry (http://agroforestry.net/scps)*. <http://agroforestry.net/scps>
- Ramarao, K. D. R., Somasundram, C., Razali, Z., Kunasekaran, W., & Li Jin, T. (2022). The antioxidant properties and microbial load of Moringa oleifera leaves dried using a prototype convective air-dryer. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 29(6). <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2022.103290>
- Rodríguez, A., Piagentini, A., Rozycki, S., Lema, P., Pauletti, M. S., & Panizzolo, L. A. (2012). Evolución del desarrollo del color en sistema modelo de composición similar al dulce de leche. Influencia del tiempo de calentamiento y del pH. *Innotec*, (7), 38-42.
- Rojas, P., Berríos, F., Rojas, T. P., & Mit, E. (2022). *El Actual Proceso Inflacionario en Chile y sus Razones Rojas + Asociados (*) 10 de Mayo de 2022*.
- Ruiz, J. H. (2021). *Avances analíticos para la mejora de la información sobre seguridad de aceites vegetales y otros productos alimentarios vegetales de alto contenido graso*. Universidad Politécnica de Valencia.
- Saa, R. W., Fombang, E. N., Ndjantou, E. B., & Njintang, N. Y. (2019). Treatments and uses of Moringa oleifera seeds in human nutrition: A review. In *Food Science and Nutrition* (Vol. 7, Issue 6, pp. 1911–1919). Wiley-Blackwell. <https://doi.org/10.1002/fsn3.1057>
- Sesé Guillén, T. (2022). *Aprovechamiento de vainas de moringa para alimentación y propuesta de una instalación de refrigeración-congelación*. <https://riunet.upv.es:443/handle/10251/183978>
- Silva, M., Cibej, F., Salvá, B., Guevara, A., & Pascual, G. (2018). Effect of the debittered of moringa seed cake (Moringa oleifera) on its proximal composition and its nutritional and toxicological profile. *Scientia Agropecuaria*, 9(2), 247–257. <https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2018.02.10>
- Singh, A. K., Rana, H. K., Tshabalala, T., Kumar, R., Gupta, A., Ndhala, A. R., & Pandey, A. K. (2020). Phytochemical, nutraceutical and pharmacological attributes of a functional crop Moringa oleifera Lam: An overview. *South African Journal of Botany*, 129, 209–220. <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2019.06.017>
- Singh, B., Singh, B. R., Singh, R. L., Prakash, D., Dhakarey, R., Upadhyay, G., & Singh, H. B. (2009). Oxidative DNA damage protective activity, antioxidant and anti-quorum sensing

- potentials of *Moringa oleifera*. *Food and Chemical Toxicology*, 47(6), 1109–1116. <https://doi.org/10.1016/j.fct.2009.01.034>
- Talens, P. (2016). La medida de color en alimentos translucidos. In *Universitat Politècnica de València*. (pp. 1–7). <https://riunet.upv.es/handle/10251/68328>
- Tobias, L. (2010). *Moringa oleifera el árbol de la nutrición Moringa oleifera the tree of nutrition*. 2(1), 130–138.
- Trigo, C., Castelló, M. L., Ortolá, M. D., García-Mares, F. J., & Desamparados Soriano, M. (2020). *Moringa oleifera : An Unknown Crop in Developed Countries with Great Potential for Industry and Adapted to Climate Change*. *Foods*, 10(1), 31. <https://doi.org/10.3390/foods10010031>
- Vendrell Haya, S. (2021). *Enriquecimiento proteico y antioxidante de galletas con polvo de hojas secas de moringa y aceptación sensorial*. Universitat Politècnica de València.
- Vila-Traver, J., González de Molina, M., Infante-Amate, J., & Aguilera, E. (2022). Disentangling the effect of climate and cropland changes on the water performance of agroecosystems (Spain, 1922–2016). *Journal of Cleaner Production*, 344. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.130811>
- Zhong, J., Wang, Y., Yang, R., Liu, X., Yang, Q., & Qin, X. (2018). The application of ultrasound and microwave to increase oil extraction from *Moringa oleifera* seeds. *Industrial Crops and Products*, 120, 1–10. <https://doi.org/10.1016/J.INDCROP.2018.04.028>