

ISSN impreso: 1810-634X  
ISSN on line: 2309-8740

# REVISTA de la SOCIEDAD QUÍMICA DEL PERÚ

REVISTA TRIMESTRAL

VOLUMEN 88 N° 1  
ENERO - ABRIL - 2022



INSTITUCIÓN CIENTÍFICA FUNDADA EN 1933

LIMA, PERÚ



**REVISTA**  
**de la**  
**SOCIEDAD QUÍMICA DEL PERÚ**

**(Rev Soc Quím Perú)**  
**ISSN impreso: 1810-634X**  
**ISSN on line: 2309-8740**

**Revista Trimestral**

**Comité Editor**

**Editor en Jefe** : Ana Cecilia Valderrama Negrón  
**Miembros** : Julio Santiago Contreras  
Lisveth Flores Del Pino  
Julio Reynaldo Ruiz Quiroz

**Comité Consultivo**

Alarcón Cavero, Hugo Arturo  
**Universidad Nacional de Ingeniería**

Picasso Escobar, Gino Italo  
**Universidad Nacional de Ingeniería**

Castro Mandujano, Olivio Nino  
**Universidad Nacional Mayor de San Marcos**

Rueda, Juan Carlos  
**Pontificia Universidad Católica del Perú**

Flores del Pino, Lisveth  
**Universidad Nacional Agraria La Molina**

Ruiz Quiroz, Julio Reynaldo  
**Universidad Nacional Mayor de San Marcos**

Gamboa Fuentes, Nadia  
**Pontificia Universidad Católica del Perú**

Salvá Ruiz, Bettit Karim  
**Universidad Nacional Agraria La Molina**

Kong Moreno, Maynard  
**Pontificia Universidad Católica del Perú**

Santiago Contreras, Julio  
**Universidad Nacional Mayor de San Marcos**

La Rosa Toro Gómez, Adolfo  
**Universidad Nacional de Ingeniería**

Sun Kou, Rosario  
**Pontificia Universidad Católica del Perú**

Muñoz Jáuregui, Ana María  
**Universidad San Ignacio de Loyola**

Valderrama Negrón, Ana Cecilia  
**Universidad Nacional de Ingeniería**

**Revista indizada en el Chemical Abstracts, SciELO y Latindex**

Sede: Av. Nicolás de Araníbar 696 Santa Beatriz – Lima 01

Casilla Postal 14-0576 – Lima 14 Perú

Teléfono (511) 960 189 928

e-mail: [sqperu@gmail.com](mailto:sqperu@gmail.com)

Portal web: [www.sqperu.org.pe](http://www.sqperu.org.pe)

**Ley 26905 – Hecho el depósito legal a la Biblioteca Nacional del Perú**

**Certificado N° 95-1567**

---

**Vol 88**

**ENERO - ABRIL 2022**

**N° 1**

En el Perú: N° suelto S/.15

Suscripción anual: S/. 60.00

En el extranjero: Suscripción anual: \$50.00



**SOCIEDAD QUÍMICA DEL PERÚ**  
**CONSEJO DIRECTIVO**  
**(marzo 2022 – marzo 2024)**

<b>Presidente</b>	:	Mg. Nora Gabriela Herrera Hernández
<b>Vice-Presidente</b>	:	Dra. Santos Haydeé Chávez Orellana
<b>Tesorera</b>	:	Dra. Ana Lucy Siccha Macassi
<b>Secretario</b>	:	Mg. Mario Antonio Bolarte Arteaga
<b>Director Administrativo</b>	:	Mg. Helmer Helí Lezama Vigo
<b>Vocales</b>	:	Q.F. Gabriela Soriano Chávez
		Mg. Norma Amparo Cuizano Vargas
		Mg. Fernando Carlos Carrasco Solís
		Dra. Magali Camila Vivas Cuéllar
		Dra. Mercedes Puca Pacheco
		MSc. Christian Ronald Jacinto Hernández

**Comisión de Economía y Finanzas**  
Presidenta: Dra. Ana María Osorio Anaya

**Comisión de Publicaciones**  
Presidenta: Dra. Ana Cecilia Valderrama Negrón

**Comisión de Actuaciones Científicas**  
Presidenta: Mg. Fernando Carrasco Solís

**INSTITUCIONES Y EMPRESAS PROTECTORAS DE LA**  
**SOCIEDAD QUÍMICA DEL PERÚ**



**CONTENIDO**  
**(Vol. 88 – N° 1 – 2022)**

**Editorial** ..... 11

**Trabajos Originales**

- Actividad antioxidante, compuestos fenólicos y evaluación sensorial de formulaciones para infusión a base de cáscara de sanky (*Corryocactus brevistylus*) y canela (*Cinnamomum verum*) por Eliana Contreras-López, Ana María Muñoz, Yadira Fernández Jerí, Fernando Anaya-Meléndez. 13

- Aislamiento de la rotenona e identificación de esteroides en las hojas de Yawar Panga (*Aristolochia cf. Cauliflora Ule. o Aristolochia Didyma*) por Luis Rojas Rodríguez, Elena Córdor Cuyubamba, Victor Reyna Pinedo. 25

- Contenido de ácidos grasos, propiedades fisicoquímicas y actividad antioxidante de los aceites de *Chenopodium quinoa Willd* y *Amaranthus caudatus* extraídos por fluidos supercríticos por Carla del Carpio-Jiménez, Profeta Tapia Delgado, Ruth Sara Molleda Gutierrez. 39

- Diseño de un sistema de tratamiento de aguas grises claras para reuso como agua de riego por Fernando Anaya Meléndez, Elizabeth Norma Espinosa Descalzo, Jorge Eduardo Loayza Pérez, Raúl Armando Zamudio Castillo, Manuel Augusto Yáñez López 52

- Evaluation of thermal properties and permeability of bioplastic films based on starch, aloe vera and graphene por Mercedes Puca Pacheco, Manuel Aguilar Vega, Gonzalo Canché Escamilla, María Guadalupe Neira Velázquez. 63

- Valorización de torta residual de aceite de sinami (*Oenocarpus mapora* H. Karst) obtenida del prensado por tornillo como un recurso de valor agregado por Freddy Carlos Ferrer Cutire, Sandra Casimiro-Gonzales, Fernando Ramos-Escudero, Ana María Muñoz. 78

---

**Revista Arbitrada**

**Derechos reservados:** Prohibido el uso total o parcial del material de esta revista sin indicar la fuente de origen.  
**Nota:** Las referencias comerciales que aparecen en los trabajos no constituyen una recomendación de la Sociedad Química del Perú.

## INSTRUCCIONES PARA LOS AUTORES

La Revista de la Sociedad Química del Perú publica trabajos originales e inéditos de carácter científico, tecnológico y técnico en el campo de las ciencias químicas. La Revista acepta preferentemente los trabajos que expresen resultados valiosos, producto de las investigaciones científicas básicas o aplicadas, así como, los de divulgación que, por su importancia y la claridad de su exposición, constituyan un material valioso para la comunidad científica y tecnológica.

La Revista, en formato impreso o electrónico, está dividida en las siguientes secciones: artículos de investigación, comunicaciones cortas, cartas al editor, artículos de revisión, enseñanza de la química y divulgación.

Los trabajos son recibidos por el Comité Editorial, quien revisará cumplan con las "Instrucciones para los autores", la ortografía y redacción (incluida la puntuación). A continuación pasa a la Comisión de Publicaciones y Árbitros para que se pronuncien sobre el contenido científico. Si existen observaciones se comunicará al autor corresponsal para que se proceda a levantar dichas observaciones.

**Los artículos de investigación** son el resultado de un trabajo experimental o teórico, producto de una investigación científica o tecnológica, que aporta un nuevo conocimiento. Se recomienda una extensión entre 10 a 15 páginas a espacio y medio.

**Las comunicaciones cortas** son trabajos cuya extensión no debe ser mayor a 4 páginas a espacio simple, escritas bajo las mismas características que un artículo de investigación. Están referidos a trabajos cortos concluidos, pero en los que hay urgencia en su publicación.

**Las cartas al editor** son comunicaciones que brindan la oportunidad para discutir, criticar o ampliar algunos puntos sobre los trabajos publicados en la Revista. Su extensión no debe exceder una hoja a espacio simple.

**Los trabajos de revisión** se basan en recopilaciones bibliográficas de temas en los que el autor tiene amplia experiencia. La Comisión de Publicaciones encomendará estos trabajos a especialistas en la materia.

**Los artículos de enseñanza de la química** son aquellos que proporcionan, en especial a los profesores y alumnos, una nueva visión, interpretación o aclaran los conceptos, teorías o experimentos químicos. Los requisitos que deben tener son: originalidad, importancia pedagógica, relevancia y claridad.

**Las notas informativas** corresponden a temas que no están relacionados a una investigación, pero son artículos que merecen ser divulgados, por ser de gran interés para la comunidad química.

Los autores de los trabajos publicados son los únicos responsables de la autenticidad y opiniones expresadas en los mismos. Todos los autores de un artículo deberán firmar una carta de presentación del trabajo como garantía de haber participado activamente en la investigación y redacción del artículo. Todas las comunicaciones entre la Comisión de Publicaciones y el autor corresponsal se realizarán vía correo electrónico. El autor corresponsal deberá responder los correos electrónicos en el plazo que se señale.

Los autores enviarán sus artículos impresos y en formato electrónico (disco compacto o al correo electrónico [sqperu@gmail.com](mailto:sqperu@gmail.com)) a la Comisión de Publicaciones, junto con una carta dirigida al editor y abonarán 30 soles por concepto de gastos administrativos, como adelanto del pago de la publicación, no reembolsables.

La publicación de cada trabajo está sujeta al pago de las siguientes sumas:

Cuando todos los autores son socios: S/. 120,00

Cuando todos los autores no son socios: S/. 200,00

Si entre los autores hay socios y no socios: S/. 150,00

Si los autores residen en el extranjero US \$ 110,00

Cuando el número de autores es superior a 3 se añadirá, además, S/. 30,00 por cada autor en exceso.

Si el trabajo es enviado del extranjero, será US \$ 15,00 más por cada autor en exceso.

Por exceso de correcciones de estilo se cobrará después de la segunda, un mínimo de S/. 30,00.

Si alguna parte del trabajo, y a pedido de los autores, necesitara ser impreso a color, asumirán el 100 % del exceso del costo señalado por la imprenta.



The publication of each work is subject to payment of the following ones:

When all the authors are partners of the Peruvian Chemical Society: S/. 120,00

When all the authors are not partners: S/. 200,00

If among the authors there are partners and non partners: S/. 150,00

If the authors reside abroad US \$ 110,00

When the number of authors is superior at 3 it will be paid, also, US \$ 15,00 for each author in excess.

## Formato para los artículos

Baje la plantilla de artículo. Los autores pueden solicitar la plantilla de artículo al correo electrónico [sqperu@gmail.com](mailto:sqperu@gmail.com)

1. El texto completo, debe ser escrito en formato Microsoft Word, tamaño de página A4. Márgenes; izquierdo 3 cm, derecho 3 cm, superior 3 cm, inferior 3 cm. Espacio 1½, fuente Times New Roman, estilo de fuente regular (salvo indicación contraria), color de fuente negro (texto y gráficos) y tamaño de fuente 12. Se imprimirá de manera vertical. Todo el texto, excepto el título, debe estar alineado a la derecha y a la izquierda (usar la opción “justificar”). Los decimales deben llevar coma.
2. Los idiomas de publicación son español e inglés.
3. El título del trabajo, que debe ser **breve y claro**, en español y en inglés (este último antes del abstract) se escribe con tamaño de fuente 16, centrado y en negritas. Los nombres completos de los autores aparecerán a continuación con tamaño de fuente 12, el autor corresponsal se identificará con un asterisco. Las instituciones de la cual proceden los autores se escriben con tamaño de fuente 10 e irán a pie de página, donde también sólo el autor corresponsal colocará su correo electrónico después de la dirección postal completa de su institución.
4. Se presentarán dos resúmenes, uno en español y otro en inglés (Abstract), con una extensión aproximada entre 50 y 200 palabras. Las palabras Resumen y Abstract se escriben con tamaño de fuente 14, centrado y en negrita. Además, después del Resumen se deberá incluir entre 3 y 6 palabras clave, en español. Tanto Palabras clave como Key words se escriben a la izquierda del texto, con tamaño de fuente 12 y en negrita.).
5. Deberá respetarse las normas internacionales referentes a la nomenclatura, símbolos y sistemas de medida. Los nombres científicos de género y especie van en cursiva (itálica).
6. El caso de artículos originales y comunicaciones cortas, el texto debe contener las siguientes secciones: Introducción, Parte Experimental, Resultados y Discusión, Conclusiones, Agradecimientos, Referencias. Éstas se escriben con tamaño de fuente 14, en negritas y centradas. Las cartas al editor, artículos de revisión, enseñanza de la química y notas informativas, tendrán las secciones que el autor crea más conveniente.
7. Las tablas, figuras y esquemas, que no deben ser mayores que una página A4, tienen numeración arábica seguido de punto. A continuación se coloca la leyenda que explique su significado. La numeración y leyenda en una tabla, cuyo formato debe ser básico 1, se colocan en la parte superior a diferencia de las figuras y los esquemas que se ubican en la parte inferior. Las figuras deben ser originales y de alta resolución.
8. Las tablas, fotos, figuras y esquemas deben estar incluidos en el documento de Microsoft Word.
9. Las referencias, se citan en el texto correlativamente como superíndice. El número de estas referencias no debe ser excesivo. Deberían fluctuar entre 7 y 15. La sección Referencias se escribe con tamaño de fuente 14, centrado y en **negrita**. Las abreviaturas de la revistas se escribirán según el Chemical Abstracts Service Source Index (<http://www.cas.org/sent.html>) y *List of Journals Indexed in Index Medicus*, (<http://www.nlm.nih.gov/tsd/serials/lsiou.html>) Las referencias citadas se escribirán con el tamaño de fuente 10 y se seguirá el estilo de Vancouver.



## Editorial

### **PROFESOR PEDRO JOSEPH- NATHAN, una corta semblanza para un científico de larga trayectoria científica**

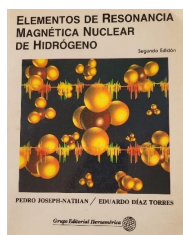
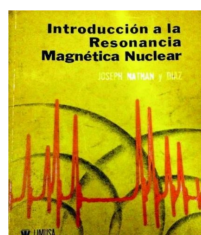
La Sociedad Química del Perú, SQP, es una sociedad científica sin fines de lucro creada en el año 1933, cuenta entre sus miembros a Socios Activos, Socios Honorarios, Socios Correspondientes y Socios Protectores.

Los Socios Correspondientes son personas, no peruanas, de actuación descollante en el campo de la Ciencia Química, el Profesor Dr. Pedro Joseph- Nathan está incluido en esa denominación. <sup>(1)</sup>

La SQP tuvo la oportunidad de contar con su participación en el Congreso Iberoamericano de Química de 1983, en el XXIV Congreso Latinoamericano de Química en el año 2000 en el que ofreció la Conferencia “Resonancia Magnética Nuclear de Sistemas AB Simples”<sup>(2)</sup>, y en el XXXI Congreso Latinoamericano de Química en el año 2014 con la Conferencia “Un siglo azteca estudiando productos naturales por resonancia magnética nuclear”<sup>(3)</sup>, todos desarrollados en la ciudad de Lima.



Aunque ello es una porción mínima de su extenso CV nos queda su recuerdo de su excelencia científica, de su trayectoria académica mostrada a través de sus múltiples publicaciones, más de 300, de patentes obtenidas, conferencias ofrecidas en diversos países, y obviamente los diversos reconocimientos como bien se señala en <sup>(4)</sup>. Dos de esas obras se encuentran a continuación:



Dentro de sus numerosas publicaciones tuve la suerte de compartir una de ellas en la Revista *Phytochemistry*: Angeles, L.R., Lock de Ugaz, O., Salked, I.C., Joseph-Nathan, P. (1984). A coumarin from *Perezia coerullescens*. *Phytochemistry*, 23, y además haber tenido la oportunidad de visitarlo en el CINVESTAV, su lugar de trabajo en la ciudad de México.

Con el presente hacemos llegar nuevamente nuestras expresiones de gran pesar por esta pérdida a su digna familia, a la comunidad científica mundial, latinoamericana, mexicana, y muy en especial la peruana.

## REFERENCIAS

1. Memoria de la Sociedad Química del Perú 60 Aniversario 1933-1993. Imprenta Grafitecna, pp23.
2. Memoria de la SQP por su 75 Aniversario 1993-2008, Ed. Gráfica Esergraf, pp27.
3. Revista de la Sociedad Química del Perú, vol 80, 3, julio-septiembre 2014, Ed. Gráfica Esergraf, pp221.
4. A. N. Catalán- J. Mex. Chem. Soc vol.50 no.3 Ciudad de México jul./sep. 2006.

## OLGA R. LOCK SING

Dra. en Ciencias Químicas PUCP; Maestría ITESM, México; Ingeniero Químico, UNMSM  
Docente (r) de la UNMSM y PUCP

Académica Correspondiente de la Academia Iberoamericana de Farmacia

Académica Emérita de la Academia Nacional de Ciencias

Secretaria Ejecutiva FLAQ, Federación Latinoamericana de Asociaciones Químicas

Ex Presidente SQP 1996-1997, 1998.1999 y Socia Honoraria 2005

Presidente de XXIV Congresos Latinoamericano de Química, 2000, y Congreso Iberoamericano de Química 2018

Miembro de la Comisión Científica SQP, entre otras comisiones

## ACTIVIDAD ANTIOXIDANTE, COMPUESTOS FENÓLICOS Y EVALUACIÓN SENSORIAL DE FORMULACIONES PARA INFUSIÓN A BASE DE CÁSCARA DE SANKY (*Corryocactus brevistylus*) Y CANELA (*Cinnamomum verum*)

Eliana Contreras-López<sup>a</sup>, Ana María Muñoz<sup>b</sup>, Yadira Fernández Jerí<sup>c</sup>,  
Fernando Anaya-Meléndez<sup>d</sup>

### RESUMEN

Las infusiones son bebidas elaboradas a base de hierbas y otros materiales vegetales, consideradas saludables por la presencia de compuestos bioactivos. El objetivo del presente estudio fue evaluar la actividad antioxidante, compuestos fenólicos y evaluación sensorial de formulaciones para infusión a base de cáscara de sanky y canela. Los tratamientos estudiados incluyeron 100% de cáscara de sanky (INF100), 70% de cáscara de sanky +30% de canela (INF70) y 50% de cáscara de sanky +50% de canela (INF50). El contenido fenólico y la actividad antioxidante variaron significativamente ( $p < 0,05$ ). El contenido de fenoles totales fue 1040; 3616 y 5353  $\mu\text{g GAE g}^{-1}$  para los tratamientos INF100, INF70 y INF50 respectivamente. La actividad de barrido del DPPH fue 1116,67; 1647,33 y 2017,00  $\mu\text{g de TEAC g}^{-1}$  y la actividad de barrido ABTS fue 2090; 8920 y 13425  $\mu\text{g de TEAC g}^{-1}$  para los tratamientos INF100, INF70 y INF50 respectivamente. Los resultados mostraron que las formulaciones destacaron en sus contenidos de proteína, grasa, ceniza y fibra. Respecto a la aceptabilidad sensorial de las infusiones, no hubo diferencias significativas ( $p > 0,05$ ) entre los tres tratamientos, destacando que las puntuaciones sensoriales fueron aceptables.

**Palabras claves:** infusión, cáscara de sanky, canela, fenoles totales, capacidad antioxidante.

<sup>a</sup> Grupo de Investigación Revalorización de Fuentes Naturales y Alimentos Funcionales (REVALF). Facultad de Farmacia y Bioquímica, Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Jr. Puno 1002, Lima, Perú. econtrerasl@unmsm.edu.pe

<sup>b</sup> Instituto de Ciencia de los Alimentos y Nutrición, Unidad de Investigación en Nutrición Salud Alimentos Funcionales y nutraceuticos. Universidad San Ignacio de Loyola. La Molina, Perú.

<sup>c</sup> Grupo de Investigación Bioquímica Toxicológica, Facultad de Farmacia y Bioquímica, Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Jr. Puno 1002, Lima-Perú.

<sup>d</sup> Grupo de Investigación Tecnologías Innovadoras de Tratamiento de Aguas Residuales Industriales (ITECTARI). Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Lima, Perú

## ANTIOXIDANT ACTIVITY, PHENOLIC COMPOUNDS AND SENSORY EVALUATION OF INFUSION FORMULATIONS BASED ON SANKY (*Corryocactus brevistylus*) PEEL AND CINNAMON (*Cinnamomum verum*)

### ABSTRACT

Infusions are beverages made from herbs and other plant materials, considered healthy due to the presence of bioactive compounds. The objective of the present study was to evaluate the antioxidant activity, phenolic compounds and sensory evaluation of infusion formulations based on sanky peel and cinnamon. The treatments studied included 100% sanky peel (INF100), 70% sanky peel +30% cinnamon (INF70) and 50% sanky peel +50% cinnamon (INF50). Phenolic content and antioxidant activity varied significantly ( $p < 0.05$ ). Total phenol content was 1040; 3616 and 5353  $\mu\text{g GAE g}^{-1}$  for INF100, INF70 and INF50 treatments, respectively. DPPH scavenging activity was 1116.67; 1647.33 and 2017.00  $\mu\text{g TEAC g}^{-1}$  and ABTS scavenging activity was 2090; 8920 and 13425  $\mu\text{g TEAC g}^{-1}$  for INF100, INF70 and INF50 treatments respectively. The results showed that the formulations excelled in their protein, fat, ash and fiber contents. Regarding the sensory acceptability of the infusions, there were no significant differences ( $p > 0.05$ ) among the three treatments, highlighting that the sensory scores were acceptable.

**Keywords:** infusion, sanky peel, cinnamon, total phenols, antioxidant capacity.

### INTRODUCCIÓN

Las formulaciones de infusión incluyen partes aromáticas secas de las plantas, como raíces, cepas, brotes, hojas, flores, cortezas, frutos o semillas, que se suelen remojar en agua caliente o hirviendo para consumirlas en forma de infusión <sup>1</sup>. El consumo de estas bebidas a base de hierbas está ganando popularidad impulsado por el hecho de que son fuentes ricas en compuestos bioactivos naturales. Son alternativas saludables sin cafeína y con diferentes compuestos bioactivos, que han penetrado en un nicho de mercado emergente junto con otras bebidas populares como el té, el café y el cacao <sup>2</sup>. El contenido de compuestos fenólicos y actividad antioxidante in vitro han sido estudiados en diferentes infusiones con la finalidad de obtener bebidas funcionales que demuestren capacidad de capturar radicales libres y se comporten como antioxidantes naturales útiles en la prevención de enfermedades crónicas que derivan del estrés oxidativo <sup>3-5</sup>.

En la región andina del Perú, crecen cactáceas silvestres, entre ellas la especie *Corryocactus brevistylus*, endémica del sur de Perú y del norte de Chile <sup>6</sup>. El sanky es el fruto comestible de esta cactácea, también llamado suja, cure, chona o sancayo. Es considerado como una fruta con potencial comercial por sus características nutricionales y funcionales, la pulpa del sanky contiene, flavonoides, ácidos orgánicos y alto contenido en vitamina C y calcio 6-8. Tiene compuestos con actividad antioxidante, gastroprotector y hepatoprotector <sup>7</sup>.

Por otro lado, existen escasos estudios realizados en la cáscara de sanky, con el objetivo de darle valor agregado a un posible residuo. Al respecto, Nolazco y Guevara <sup>9</sup> y Rojas et al. <sup>8</sup> reportaron entre sus resultados el análisis proximal, destacando su alto contenido en calcio además de presentar sustancias fitoquímicas como catequinas, triterpenos-esteroides y vitamina C. Asimismo, se han estudiado las condiciones óptimas para una eficiente recuperación de los componentes fenólicos de la cáscara de sanky por extracción asistida por ultrasonido <sup>8</sup>. Además, el perfil lipídico de la cáscara fue estudiado, revelando un contenido mayoritariamente de ácido palmítico y linoleico <sup>10</sup>.

La presencia de compuestos bioactivos en la cáscara de sanky, hacen que se considere como potencial fuente de ingredientes para la industria de alimentos, farmacéutica y cosmética <sup>7-10</sup>. Algunos estudios incluyeron la cáscara de sanky en la formulación de productos alimenticios. La adición de cáscara en la formulación de hamburguesa de carne de llama, no produjo sabores extraños. Lográndose obtener un producto cárnico libre de antioxidantes sintéticos, por el moderado contenido de capacidad antioxidante de la cáscara <sup>11</sup>. La adición de un extracto de la cáscara, obtenido mediante el empleo de un inyector ultrasónico, mostró un efecto protector en la variación del color de la carne de llama con durante el almacenamiento <sup>12</sup>.

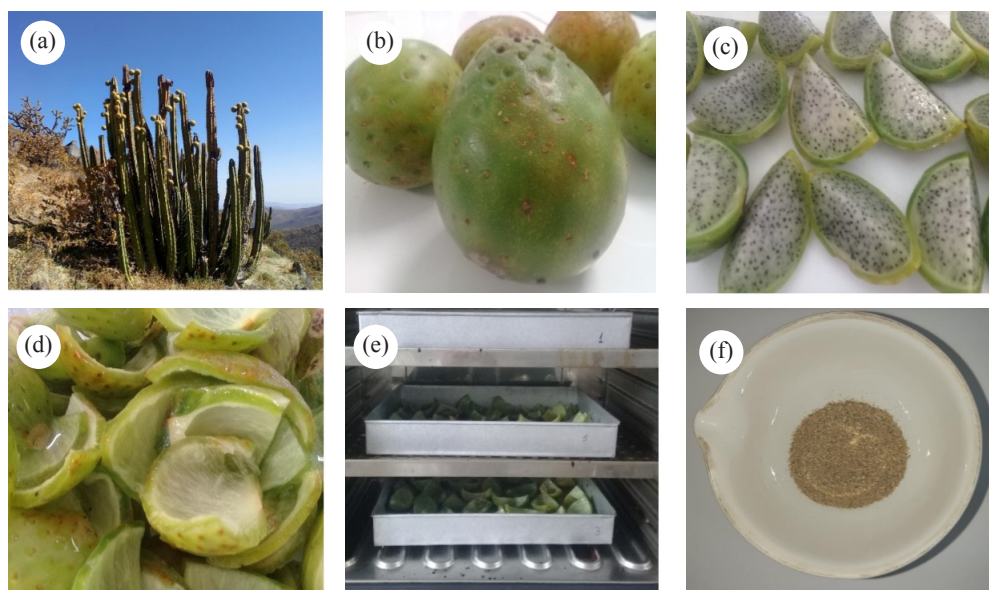
Por otra parte, la canela se obtiene de la corteza del árbol *Cinnamomum*, una especia aromática ampliamente utilizada en gastronomía por su sabor dulce y exótico. Se ha descrito actividad antioxidante por la presencia de sus aceites esenciales dentro de los que destaca el cinamaldehído, y eugenol así como la presencia de varios grupos poli fenólicos no volátiles como flavonoides de los tipos catequinas y proantocianidinas<sup>13</sup>. Los estudios indican que la canela puede emplearse para controlar la diabetes tipo 2 y mantener el peso corporal. Qin et al <sup>14</sup>, demostraron que el extracto acuoso de canela previene la resistencia a la insulina inducida por una dieta alta en fructosa. El consumo de canela en la dieta ha demostrado mejorar la sensibilidad a la insulina junto con la reversión del cambio en el peso del páncreas y la acumulación de grasa blanca mesentérica <sup>15</sup>.

Se conocen diferentes infusiones ricas en compuestos funcionales que han demostrado diferentes actividades moduladoras <sup>3-5</sup>. El empleo de residuos agroindustriales como las cáscaras de frutas está tomando fuerza en investigación de formulaciones de alimentos funcionales. La inclusión de cáscara de uva <sup>4</sup> y cascarilla de cacao <sup>5</sup> en la formulación de infusiones, tuvo efectos significativos sobre el mayor aporte compuestos fenólicos y capacidad antioxidante respecto a las formulaciones control (sin cáscara). Además, las formulaciones que contenían cáscara de uva presentaron un mayor grado de aceptación por parte de los consumidores de infusiones herbales. La utilización sostenible de los recursos en la satisfacción de las necesidades humanas es prioritaria para la conservación de la biodiversidad, y la conservación de especies silvestres como el sanky, el cual se encuentra catalogado como una especie vulnerable según su estado de conservación <sup>5</sup>. El objetivo del presente trabajo fue evaluar la composición proximal, compuestos fenólicos y actividad antioxidante de formulaciones para infusión a base de cáscara de sanky y canela, y la evaluación sensorial de infusiones elaboradas a base de estas.

## PARTE EXPERIMENTAL

### Preparación y secado de las muestras

Las muestras de sanky se adquirieron de la Comunidad Campesina de Saisa, distrito de Saisa, provincia de Lucanas, Región Ayacucho. Los frutos se lavaron con agua potable, se desinfectaron con solución de hipoclorito de sodio (100 ppm) y luego se enjuagaron con agua destilada. La cáscara de sanky se separó manualmente de la fruta, se secó a 45 °C, trituró, tamizó y almacenó en bolsas de aluminio a temperatura de congelación (-19 °C) hasta su posterior uso (Fig. 1). Adicionalmente, se obtuvo canela molida (marca Wong) adquirida en un supermercado local.



**Figura 1.** (a) *Corryocactus brevistylus* en Saisa, Lucanas, Región Ayacucho, Perú (Foto cortesía del Ing. Ciro Calle Pacheco); (b) Sanky (fruta); (c) frutas cortadas; (d) cáscara de sanky; (e) secado de la cáscara de sanky; (f) cáscara de sanky en polvo.

### Formulaciones a base de cáscara de sanky para infusión

Las formulaciones para infusión se prepararon a base a cáscara de sanky y canela. Los tratamientos estudiados incluyeron 100% de cáscara de sanky en polvo (INF100), 70% de cáscara de sanky en polvo+30% de canela en polvo (INF70) y 50% de cáscara de sanky en polvo+50% de canela en polvo (INF50).



### **Composición proximal**

Los contenidos de humedad, proteína (utilizando  $N \times 6,25$  como factor de conversión), grasa, cenizas y fibra se determinaron de acuerdo con los métodos estándar de la Asociación de Químicos Analíticos Oficiales (AOAC, 2005).

### **Determinación de minerales**

La determinación de minerales se realizó mediante espectrometría de absorción atómica según método recomendado por la (AACC, 2000) para la determinación de calcio y hierro. La determinación de zinc se realizó según la (NOM-117-SSAI, 1994).

### **Fenoles totales**

El contenido fenólico total (CFT) de las infusiones de cáscara de sanky fue estimado por el método de Folin-Ciocalteu sugerida por Singleton y Rossi<sup>16</sup>, con algunas modificaciones. Se utilizó etanol como disolvente para extraer los compuestos bioactivos. La muestra vegetal (0,5 g) se colocó en un tubo y se completó hasta 10 mL con etanol al 80%. El sobrenadante se diluyó con etanol al 80% hasta llegar a una concentración de 10 mg/mL. La mezcla de reacción consistió en 0,5 mL de extracto etanólico, 2,5 mL de reactivo de Folin Ciocalteu 0,02 N y 2 mL de carbonato de sodio al 7.5 %. La mezcla se incubó a 40°C por 20 minutos y después se dejó enfriar por 20 minutos a temperatura ambiente. El color azul que apareció se cuantificó a 760 nm en un espectrofotómetro (Shimadzu Uv/Vis 2550, Shimadzu Scientific Instruments, MD, USA) frente al blanco de reactivos. El contenido de fenoles totales se expresó como mg de ácido gálico equivalente (GAE) por gramo. La curva de calibración se preparó con ácido gálico como estándar.

### **Actividad antioxidante por el método DPPH**

La actividad de barrido de radicales DPPH se realizó empleando el radical estable 2,2-difenil-1-picrilhidrazilo, siguiendo el método propuesto por Brand- Williams et al. 17. Para la preparación del radical 2,2-difenil-1-picrilhidrazilo (DPPH), se disolvió 2 mg de DPPH, en 100 mL de metanol grado reactivo. Posteriormente fueron preparadas soluciones de trabajo hasta obtener una absorbancia de  $0.7 \pm 0.02$  a una longitud de onda de 517 nm. Los valores fueron calculados mediante la ecuación determinada al elaborar la curva de calibración estándar. Los resultados se expresaron como  $\mu\text{g}$  equivalentes de Trolox por gramo.

### **Actividad antioxidante por el método ABTS**

La actividad de barrido de radicales ABTS<sup>+</sup> de las infusiones fue determinado según el método de Re et al. 18. Para la preparación del radical 2,2-Azino-bis (3- etilbenzotiazolina-6-sulfónico (ABTS), se disolvió 77,6 mg de ABTS, en 20 mL de agua desionizada, luego se adicionaron 13,2 mg de persulfato de potasio (K<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>8</sub>), la solución se dejó reaccionar a temperatura ambiente durante 16 horas en oscuridad. Posteriormente se prepararon las

soluciones de trabajo hasta obtener una absorbancia de  $0,7 \pm 0,02$  para todos los casos, a una longitud de onda de 734 nm. Los valores de absorbancia fueron medidos durante 10 minutos y ajustados a una curva de calibración ABTS. Los resultados se expresaron como  $\mu\text{g}$  equivalentes de Trolox por gramo.

### **Preparación de las infusiones**

Las bebidas se prepararon mediante la infusión de 2 g de cada tratamiento en 200 mL de agua desionizada caliente (100 °C) durante 3 minutos, de acuerdo con Sridhar et al.<sup>4</sup>

### **Análisis sensorial**

Los evaluadores no entrenados firmaron un formulario de consentimiento libre e informado. Las muestras se analizaron mediante la prueba de aceptabilidad sensorial y la escala verbal de Kroll de cinco puntos, (1) super bueno, (2) bueno, (3) poco bueno, (4) malo y (5) muy malo<sup>19</sup>.

### **Análisis estadístico**

Se utilizó un diseño completamente aleatorio (DCA). Los experimentos se realizaron por triplicado y se representaron como una media con desviación estándar. Los valores medios se compararon mediante la prueba ANOVA de una vía y la prueba post hoc Tukey. Las diferencias se consideraron significativas cuando el valor de  $p < 0,05$ . La evaluación sensorial se analizó con la prueba no paramétrica de Friedman y la prueba de comparaciones múltiples de Dunn.

## **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

La composición proximal de las infusiones preparadas en base a la cáscara de sanky se muestran en la Tabla 1. Las formulaciones mostraron diferencias estadísticamente significativas ( $p < 0,05$ ) entre la composición proximal de las infusiones a base de cáscara de sanky. La formulación INF100, mostró los mayores contenidos de proteína, ceniza, humedad y calcio coincidentes con los resultados reportados por Nolzco y Guevara<sup>9</sup> y Rojas et al.<sup>8</sup>. Estos valores disminuyeron significativamente a medida que las formulaciones contenían menos porcentaje de cáscara de sanky (Tabla 1). Por el contrario, los contenidos de grasa, fibra, extracto libre de Nitrógeno, hierro y zinc se incrementaron significativamente en las formulaciones INF70 y INF50 en comparación con INF100. La canela aportó fibra dietética total, hierro y zinc a las formulaciones. Esto indicó que la combinación de cáscara de sanky y canela se complementaron en los aportes de nutrientes y minerales.

## Análisis proximal de las infusiones a base de cáscara de sanky

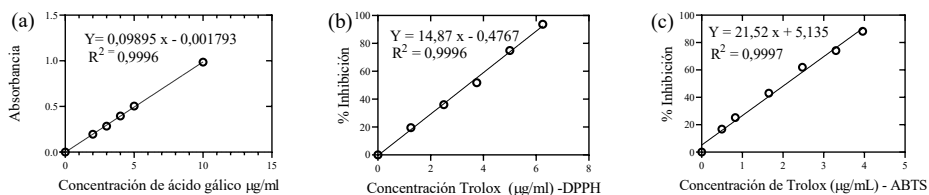
**Tabla 1.** Composición proximal de las infusiones en polvo a base de cáscara de sanky<sup>a</sup>

Parámetros	Formulaciones		
	INF100	INF70	INF50
Proteína (g 100 g <sup>-1</sup> )	9,59± 0,08 <sup>a</sup>	7,92±0,02 <sup>b</sup>	6,83±0,17 <sup>c</sup>
Grasa (g 100 g <sup>-1</sup> )	2,81±0,02 <sup>a</sup>	2,93±0,01 <sup>b</sup>	3,00±0,02 <sup>c</sup>
Ceniza (g 100 g <sup>-1</sup> )	15,50±0,50 <sup>a</sup>	11,55±0,01 <sup>b</sup>	8,88±0,16 <sup>c</sup>
Humedad (g 100 g <sup>-1</sup> )	6,17±0,16 <sup>a</sup>	5,87±0,02 <sup>b</sup>	5,10±0,10 <sup>c</sup>
Fibra (g 100 g <sup>-1</sup> )	17,17±0,16 <sup>a</sup>	21,38±0,07 <sup>b</sup>	24,11±0,11 <sup>c</sup>
Extracto Libre de Nitrógeno (g 100 g <sup>-1</sup> )	48,78±0,17 <sup>a</sup>	50,35±0,07 <sup>b</sup>	52,08±0,46 <sup>c</sup>
<b>Minerales</b>			
Calcio (mg kg <sup>-1</sup> )	329,52±0,50 <sup>a</sup>	233,70±0,03 <sup>b</sup>	165,39±0,18 <sup>c</sup>
Hierro (mg kg <sup>-1</sup> )	5,85±0,22 <sup>a</sup>	118,49±0,20 <sup>b</sup>	193,11±0,19 <sup>c</sup>
Zinc (mg kg <sup>-1</sup> )	1,07±0,07 <sup>a</sup>	21,74±0,04 <sup>b</sup>	35,50±0,19 <sup>c</sup>

<sup>a</sup> Los valores fueron los promedios ± desviación estándar de tres determinaciones. ANOVA de una vía. Letras diferentes (a,b,c) en la misma fila indica diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) (prueba de Tukey).

Según la tabla 1 destaca el contenido de proteína, grasa y cenizas de las formulaciones estudiadas en comparación con otras infusiones a base a cáscara de uva <sup>4</sup>, hierba luisa y menta, en estas dos últimas el aporte de grasa estuvo por debajo del límite de detección <sup>5</sup>. Respecto al contenido de fibra, las tres formulaciones de infusiones a base de cáscara de sanky y canela contienen valores más altos que la yerba mate <sup>20</sup> y la cascarilla de cacao <sup>5</sup>.

Las curvas de calibración para la determinación del contenido de fenoles totales, y actividad antioxidante DPPH y ABTS (Figura 2), se muestran a continuación:

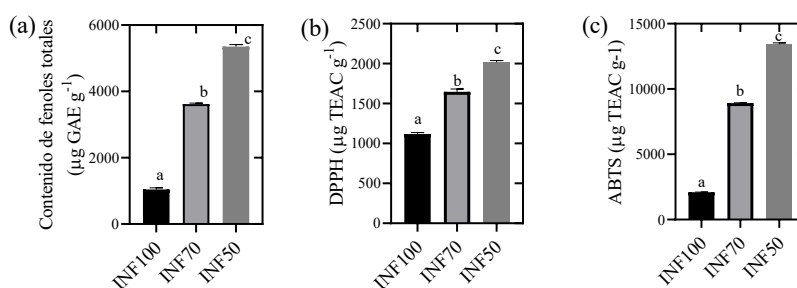


**Figura 2.** Curva de calibración estándar para la determinación de (a) contenido fenólico total; (b) actividad de barrido de radicales DPPH; (c) actividad de barrido de radicales ABTS.

El contenido fenólico total de las infusiones en base a cáscara de sanky se muestra en la Figura 3 (a). El contenido fenólico total varió significativamente ( $p < 0,05$ ) de 1040 µg GAE g<sup>-1</sup> (INF100), 3616 µg GAE g<sup>-1</sup> (INF70) a 5353 µg GAE g<sup>-1</sup> (INF50). La variación del contenido fenólico total en las diferentes formulaciones de infusión se atribuye a las diferentes

proporciones de sus componentes. La canela tiene un aporte importante de compuestos fenólicos y flavonoides<sup>13</sup>. La determinación del contenido fenólico está determinada por diferentes factores, como la temperatura y pH del solvente de extracción que reportaron Rojas et al.<sup>7</sup> entre 14 200 y 43 900  $\mu\text{g}$  (GAE)  $\text{g}^{-1}$  peso seco de cáscara de sanky. Asimismo, la humedad de la cáscara influye en los resultados de la medición del contenido de fenoles totales. Muñoz et al.<sup>21</sup> reportaron menor contenido de compuestos fenólicos totales en cáscara de sanky fresca (749,4  $\mu\text{g}$  GAE/g), respecto al material vegetal seco molido (INF100). Pese al menor contenido de compuestos fenólicos, organolépticamente una infusión preparada con muestras frescas podría mantener mejor el sabor, en comparación con las preparaciones a base de productos secos<sup>3</sup>.

En la Figura 3 (b) y (c) se muestran los resultados de la actividad antioxidante (DPPH y ABTS) en las infusiones elaboradas con diferentes proporciones de cáscara de sanky y canela. Las infusiones que contenían canela en polvo presentaron valores significativamente mayores ( $p < 0,05$ ). La actividad de barrido del DPPH fue 1116,67  $\mu\text{g}$  de TEAC  $\text{g}^{-1}$  (INF100), 1647,33  $\mu\text{g}$  de TEAC  $\text{g}^{-1}$  (INF70) y 2017,00  $\mu\text{g}$  de TEAC  $\text{g}^{-1}$  (INF50). La mayor inhibición de radical DPPH fue en la formulación INF50 (con 50% de cáscara de sanky), seguida de INF70 (Figura 3). Para la actividad de barrido ABTS, la formulación INF50 mostró una alta actividad de barrido ABTS (13425  $\mu\text{g}$  de TEAC  $\text{g}^{-1}$ ), seguida la formulación INF70 (8920  $\mu\text{g}$  de TEAC  $\text{g}^{-1}$ ) y de INF100 (2090  $\mu\text{g}$  de TEAC  $\text{g}^{-1}$ ). Los compuestos fenólicos de las infusiones pueden modular las actividades antioxidantes y pueden presentar un potencial funcional en los alimentos<sup>4</sup>. La diferencia del contenido de fenoles entre las formulaciones INF100, INF70 y INF50 se atribuye a que la cáscara de sanky y la canela en polvo son diferentes especies, asimismo se deben tomar en cuenta otros factores como la composición del suelo, el clima, el método de cosecha, almacenamiento postcosecha, el muestreo y las prácticas de elaboración<sup>22</sup>.



**Figura 3.** (a) Componentes fenólicos totales. El resultado se expresó en  $\mu\text{g}$  GAE (ácido gálico equivalente) por gramo. (b) y (c) Capacidad de eliminación de radicales DPPH y ABTS de infusiones preparadas a partir de 100% cáscara de sanky en polvo (INF100), 70% cáscara de sanky en polvo+30% canela en polvo (INF70), 50% cáscara de sanky+50% canela en polvo.

ANOVA de una vía. Cada columna representa la media de tres repeticiones  $\pm$  desviación estándar. a,b y c indican diferencia significativa en  $p < 0,05$  (prueba de Tukey). El resultado de las capacidades de captación de radicales DPPH y ABTS se expresan en  $\mu\text{g}$  de capacidad antioxidante equivalente de Trolox (TEAC) por gramo (g).

En los países latinoamericanos, las infusiones tipo té con sabor a canela se está volviendo popular, por sus beneficios a la salud, como propiedades antiinflamatorias, actividad antimicrobiana y antioxidante. Estas actividades están relacionadas con la disminución de enfermedades cardiovasculares, mejora de la función cognitiva y reducción riesgo de cáncer de colon <sup>13</sup>.

### Evaluación sensorial

El panel sensorial de consumidores estuvo compuesto por 84 personas que aceptaron participar en la evaluación y firmaron un formulario de consentimiento libre e informado. Las infusiones se evaluaron mediante la prueba de aceptabilidad sensorial y la escala verbal de Kroll de cinco puntos.

El panel sensorial estuvo compuesto por mujeres (59%) y hombres (41%). Las edades de los panelistas fueron: menores de 25 años (77%), entre 26 y 40 años (8%) y por encima de 40 años (15%). Los resultados de la prueba de aceptabilidad se presentan en la Tabla 2. Las tres formulaciones presentaron buenos puntajes para los atributos olor, sabor y aceptabilidad general. Las formulaciones INF100 y INF50 se encontraron en el rango de 2 a 3 para los tres atributos, lo que clasificó a los productos entre los términos “bueno” y “poco bueno”. La muestra INF70 tuvo el valor mejor calificado para el atributo olor, clasificándolo entre los términos “muy bueno” y “bueno”, los otros atributos fueron calificados igual a las otras muestras.

El análisis estadístico reveló que, el 36,9% de los encuestados calificaron como “bueno” a la muestra INF100; el 40,5% calificó como “super bueno” a la muestra INF70 y el 32,1% consideró como “bueno” a la muestra INF50, respecto al atributo olor. La mayoría de los de los encuestados juzgó como “bueno” a la muestra INF100 (39,3%), el 33,3% calificó como “bueno” a cada una de las otras muestras (INF70 y INF50), respecto al atributo sabor. En cuanto a la aceptabilidad general, el 33,3% de los encuestados consideraron como “bueno” a las muestras INF100 y INF70, el 35,7% calificaron como “bueno” a la muestra INF50.

**Tabla 2.** Resultados de la prueba sensorial de aceptabilidad sensorial para las muestras de infusiones en base a cáscara de sanky.

Atributo	INF100	INF70	INF50
Olor	2,74 ± 0,93a	1,92 ± 0,88bc	2,29 ± 0,71ac
Sabor	2,59 ± 0,93a	2,41 ± 0,82a	2,24 ± 0,71a
Aceptabilidad general	2,64 ± 1,01a	2,16 ± 0,99a	2,20 ± 0,88a

Los valores fueron los promedios ± desviación estándar. Total de panelistas=84 personas. Prueba de Friedman. a,b y c indican diferencia significativa en  $p < 0,05$  (prueba de comparaciones múltiples de Dunn)

Según la tabla 2 las infusiones presentaron buenos puntajes en los parámetros de olor, sabor y aceptabilidad general. La aceptabilidad de los productos se ve afectada por los hábitos alimenticios y preferencias de la población. Estas preferencias no son estáticas en el tiempo y dependen de las características de la población<sup>19</sup>. Estudios de infusiones de hierbas autóctonas australianas recibieron mayores puntuaciones de sabor, gusto y aceptabilidad general en comparación con el té verde<sup>23</sup>. En la búsqueda de aumentar la tasa de consumo de las infusiones es necesario apelar a las características sensoriales y hedónicas. Asimismo, advertir que es necesario seguir las instrucciones para la preparación de una infusión, dado que el método de preparación tiene un impacto en sus características sensoriales y garantiza que el consumidor optimice su experiencia con el producto<sup>1</sup>.

La información publicada es muy limitada sobre la seguridad de los productos vegetales, las bebidas a base de ellas, y sobre las interacciones entre los componentes de las infusiones<sup>3</sup>. Respecto a la canela, se puede ingerir diariamente de 1 a 6 g, para reducir el nivel de glucosa en suero después de 40 días. Sin embargo, la Autoridad Europea de Seguridad Alimentaria ha establecido la “ingesta diaria tolerable” en aproximadamente una cucharadita por día o 0,1 mg/kg de peso corporal<sup>13</sup>. Se requiere más investigación analítica y clínica sobre los compuestos bioactivos del *sanky* a fin de investigar los efectos en la reducción del riesgo de enfermedades.

## CONCLUSIONES

Las formulaciones para infusión a base de cáscara de *sanky* destacaban en sus contenidos de proteína, grasa, ceniza y fibra. El contenido de fenoles totales, actividad antioxidante frente al radical DPPH y al radical ABTS fueron mayores en las infusiones a medida que se incrementó el contenido de canela en las formulaciones. No existieron diferencias significativas respecto a la aceptabilidad sensorial entre las formulaciones desarrolladas.

## AGRADECIMIENTO

Al Vicerrectorado de Investigación de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos, por el financiamiento del proyecto con código A21040581. Asimismo, se agradece al Ing. Ciro Oswaldo Calle Pacheco de la Municipalidad Distrital de Saisa.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Rocha C, Moura AP, Cunha LM. Consumers' associations with herbal infusions and home preparation practices. *Food Qual Prefer.* 2020;86:104006. doi: 10.1016/j.foodqual.2020.104006
2. Etheridge CJ, Derbyshire E. Herbal infusions and health. *Nutr Food Sci.* 2020;50(5):969-985.
3. Chandrasekara A, Shahidi F. Herbal beverages: Bioactive compounds and their role in disease risk reduction - A review. *J Tradit Complement Med.* 2018;8(4):451-458.
4. Sridhar K, Charles AL. Proximate, functional, and sensory properties of Kyoho grape (*Vitis labruscana*) skin herbal infusions: Potential as sustainable novel functional beverages. *LWT.* 2021;152. doi:10.1016/J.LWT.2021.112289
5. Llerena, WF Teneda, K. Ah-Hen, and R. Lemus-Mondaca. Caracterización de una infusión de cascarilla de cacao (*Theobroma cacao* L., var. Arriba) con hierbas aromáticas. *Agro sur* 2017;45.3: 47-55.
6. Romero-Orejon FL, Muñoz AM, de la Fuente-Carmelino L, Jimenez-Champi D, Contreras-López E, Best I, et al. In: Vijayakumar R, Raja SSS, editors. *Secondary Metabolites - Trends and Reviews.* London: IntechOpen; 2022. doi:10.5772/intechopen.102419.
7. Areche C, Hernandez M, Cano T, Ticona J, Cortes C, Simirgiotis M, et al. *Corryocactus brevistylus* (K. Schum. ex Vaupel) Britton & Rose (Cactaceae): Antioxidant, Gastroprotective Effects, and Metabolomic Profiling by Ultrahigh-Pressure Liquid Chromatography and Electrospray High Resolution Orbitrap Tandem Mass Spectrometry. *Front. Pharmacol.* 2020;11:417. doi: 10.3389/fphar.2020.00417
8. Rojas T, Fuentes ME, Contreras-López E, Gómez S, Muñoz-Jáuregui AM. Extracción asistida por ultrasonido de compuestos fenólicos de la cáscara de sanky (*Corryocactus brevistylus*). *Rev Soc Quím Perú.* 2019;85:258-267.
9. Nolazco D, Guevara A. Estudio de las principales características fisicoquímicas y comportamiento del Sanqui (*Corryocactus brevistylus* subsp. puquiensis (Rauh & Backeberg) Ostolaza) en almacenamiento. *Anales Científicos,* 2009;70(4):1-11.
10. Rodríguez N, Acha de la Cruz O, Collantes I. Estudio de la composición de los ácidos grasos presentes en la semilla, cáscara y pulpa del *Corryocactus brevistylus* subsp. puquiensis. En: Sociedad Química Perú (Eds.)- Congreso Iberoamericano de Química y XXIX Congreso Peruano de Química; 16 – 19 octubre 2018; Lima, Perú. 2018. P. 186. Es.
11. Contreras-López E, Salvá B. Caracterización Sensorial de hamburguesa de llama con cáscara de sanky. *Rev Investig Altoandin.* 2018;20(2):155-168.
12. Contreras-López E, Muñoz-Jáuregui A, Salvá-Ruiz B. Evaluación del extracto de cáscara de sanky en la estabilidad de carne de llama. *Rev Investig Altoandin.* 2020;22(2):123 - 134.
13. Senevirathne BS, Jayasinghe MA, Pavalakumar D, Siriwardhana CG. Ceylon cinnamon: a versatile ingredient for futuristic diabetes management. *J Future Foods.* 2022;2(2):125-142.

14. Qin B, Nagasaki M, Ren M, Bajotto G, Oshida Y, Sato Y. Cinnamon extract prevents the insulin resistance induced by a high-fructose diet. *Horm Metab Res.* 2004;36(2):119-125.
15. Couturier K, Hininger I, Poulet L, Anderson R, Roussel A-M, Canini F, et al. Cinnamon intake alleviates the combined effects of dietary-induced insulin resistance and acute stress on brain mitochondria. *J Nutr Biochem.* 2016;28:183-190.
16. Singleton VL, Rossi JA. Colorimetry of total phenolics with phosphomolybdic-phosphotungstic acid reagents. *Am J Enol Vitic.* 1965;16(3):144-158.
17. Brand-Williams W, Cuvelier M-E, Berset C. Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. *Food Sci Technol.* 1995;28(1):25-30.
18. Re R, Pellegrini N, Proteggente A, Pannala A, Yang M, Rice-Evans C. Antioxidant activity applying an improved ABTS radical cation decolorization assay. *Free Radic Biol Med.* 1999;26(9-10):1231-1237.
19. Civille GV, Carr BT. Sensory evaluation techniques. 5<sup>th</sup> edition. Boca Raton, Florida, USA: CRC Press; 2016.
20. Brumovsky LA, Peralta JM, Fretes RM. Contenido de fibra alimentaria en infusiones de yerba mate en diferentes épocas del año. *Rev Cienc Tecnol.* 2005;7(2):30-33.
21. Muñoz AM, Contreras-López E, Fernández Y, Arosena M, Chavez R, Alvarado A, Ramos F, Aguilar LA. Evaluación de la actividad antioxidante y características nutricionales de cascara y semilla de *Corryocactus brevistylus* (Sanky). En: Sociedad Química Perú (Eds.)- Congreso Iberoamericano de Química y XXIX Congreso Peruano de Química; 16 – 19 octubre 2018; Lima, Perú. 2018. P. 69. Es.
22. Friedman M, Levin CE, Lee SU, Kozukue N. Stability of green tea catechins in commercial tea leaves during storage for 6 months. *J Food Sci.* 2009;74(2):H47-51.
23. Nirmal NP, Webber D, Merreddy R, Sultanbawa Y. Biochemical and functional properties of indigenous Australian herbal infusions. *Food Biosci.* 2018;26:133-138.



## AISLAMIENTO DE LA ROTENONA E IDENTIFICACIÓN DE ESTEROLES EN LAS HOJAS DE YAWAR PANGA (*Aristolochia cf. Cauliflora Ule. o Aristolochia Didyma*)

Luis Rojas Rodriguez<sup>1</sup>, Elena Cándor Cuyubamba<sup>1</sup>, Victor Reyna Pinedo<sup>1\*</sup>

### RESUMEN

Las plantas con propiedades terapéuticas son utilizadas comúnmente en medicina tradicional, tal es el caso del Yawar Panga, *Aristolochia cf. Cauliflora Ule*. En la bibliografía no se han publicado estudios relativos a la composición química de las hojas de Yawar Panga, ni de ninguna otra parte de la planta. A partir de los extractos de éter de petróleo y diclorometano de las hojas de Yawar panga, colectadas en el Jardín Botánico del Centro Takiwasi (Tarapoto, región San Martín, Amazonia peruana), se identificaron tres esterole,  $\gamma$ -sitosterol, estigmasterol y campesterol, los cuales fueron analizados mediante cromatografía de gases e identificados mediante sus espectros de masas (CG-EM). Así mismo, del extracto etanólico se aisló la rotenona (con 93,4% de pureza), que fue identificada mediante CG-EM, resonancia magnética nuclear de <sup>1</sup>H y <sup>13</sup>C (RMN <sup>1</sup>H y RMN <sup>13</sup>C) y por espectroscopía infrarroja con transformada de Fourier (FTIR).

Además, se realizó el análisis cualitativo de sus metabolitos secundarios.

**Palabras clave:** Yawar Panga, esteroles, flavonoide, rotenona.

## ROTENONE ISOLATION AND IDENTIFICATION OF STEROLS IN THE HOME OF YAWAR PANGA (*Aristolochia cf. Cauliflora Ule. or Aristolochia Didyma*)

### ABSTRACT

Plants with therapeutic properties are commonly used in traditional medicine, such is the case of Yawar Panga, *Aristolochia cf. Cauliflora Ule*. No studies on the chemical composition of Yawar Panga leaves, or any other part of the plant, have been published in the literature. From the petroleum ether and dichloromethane extracts of the leaves of Yawar panga, collected in the Botanical Garden of the Takiwasi Center (Tarapoto, San Martín region, Peruvian Amazon), three sterols,  $\gamma$ -sitosterol, stigmasterol and campesterol, were identified, which

---

<sup>1</sup> Facultad de Ciencias de la Universidad Nacional de Ingeniería

\* vrey26@yahoo.es

were analyzed by gas chromatography and identified through their spectra of masses (CG-EM). Likewise, rotenone (with 93.4% purity) was isolated from the ethanolic extract, which was identified by CG-EM,  $^1\text{H}$  and  $^{13}\text{C}$  nuclear magnetic resonance (RMN  $^1\text{H}$  and RMN  $^{13}\text{C}$ ) and by Fourier transform infrared spectroscopy (FTIR).

In addition, the qualitative analysis of its secondary metabolites was carried out.

**Key words:** Yawar Panga, sterol, flavonoid, rotenone.

## INTRODUCCI3N

El Per6 es considerado uno de los pa6ses megadiversos del mundo, pues cuenta con m6s de 60 ecosistemas diferentes, en donde crecen cerca de 25000 plantas diferentes<sup>1</sup>, las cuales son utilizadas con fines decorativos, alimenticios y medicinales. Tal es el caso del Yawar Panga (*Aristolochia cf. Cauliflora Ule. o Aristolochia Didyma*)<sup>2</sup>, cuyo nombre proviene de dos palabras en quechua, “yawar” que significa sangre y “panga” que es hoja ancha, cuya traducci3n del quechua al espa6ol es hoja ancha de sangre, debido a que al cortarse sus ramas liberan un l6quido rojizo, similar a la sangre.

La familia a la cual pertenece el Yawar Panga, Aristolochiaceae, cuenta con 7 g6neros y 625 especies diferentes<sup>3</sup>.

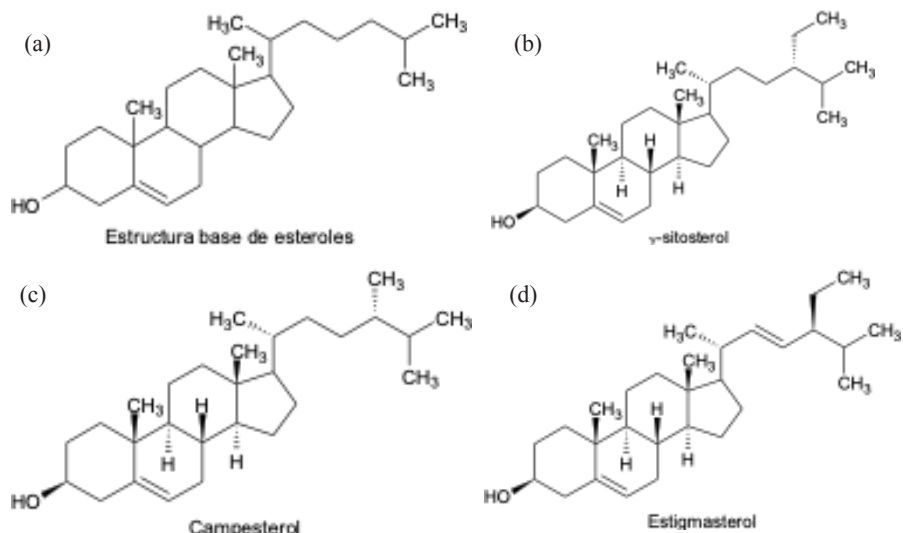
En esta familia de plantas se presenta com6nmente el alcaloide denominado 6cido aristol6quico, el cual posee actividad antitumoral y antimicrobiana<sup>4</sup>, pero que genera problemas renales al ser consumido<sup>5</sup>.

El Yawar Panga actualmente se usa en medicina tradicional en raz3n a sus propiedades em6ticas. As6, en el Centro Takiwasi (Tarpoto, Per6) la utilizan para la etapa inicial de desintoxicaci3n de sus pacientes, mediante la ingesta de la decocci3n acuosa de sus hojas<sup>2</sup>.

En la bibliograf6a no se ha publicado estudios relativos a la composici3n qu6mica de las hojas de Yawar Panga, ni de ninguna otra parte de la planta.

Por ello teniendo en cuenta los resultados del an6lisis cualitativo, decidimos estudiar los esteroides y flavonoides presentes en las hojas de Yawar panga.

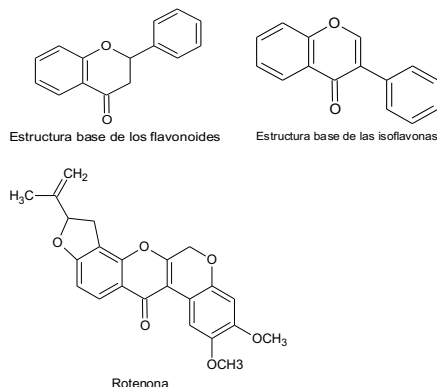
Los esteroides, Figura 1, son un tipo de metabolitos secundarios ampliamente distribuidos en las plantas, siendo el  $\beta$ -sitosterol, el principal esteroide presente en plantas, junto con el estigmasterol y el campesterol. El  $\gamma$ -sitosterol es un  $24\beta$ -ep6mero del  $\beta$ -sitosterol<sup>6</sup> y se ha publicado muy poco acerca de 6l. Los sitosteroides se diferencian del estigmasterol solo en que la cadena lateral del sitosterol es saturada<sup>7</sup>.



**Figura 1.** Estructura base de esteroides (a),  $\gamma$ -sitosterol (b), campesterol (c) y estigmasterol (d).

Los esteroides de origen vegetal presentan varias propiedades farmacológicas. Su consumo favorece la reducción de los niveles de colesterol<sup>8</sup>. El  $\gamma$ -sitosterol exhibe un amplio rango de actividad citotóxica frente a células cancerosas<sup>9</sup>. El estigmasterol inhibe marcadamente los tumores en carcinogénesis en ratas y se ha verificado que posee potenciales propiedades antiinflamatorias<sup>10</sup>.

Los flavonoides, Figura 2, constituyen los compuestos de mayor distribución en las plantas, encontrándose principalmente en forma de agliconas. Durante mucho tiempo se emplearon como colorantes, y actualmente como conservantes por sus propiedades antioxidantes. Además, poseen características antiinflamatorias y antibacterianas<sup>11</sup>. Los flavonoides se clasifican en flavonas, isoflavonas, chalconas y auronas, Figura 2. Uno de los ejemplos más conocidos de isoflavonas es la rotenona, un flavonoide que se extrajo por primera vez de las raíces de las plantas de los géneros *Lonchocarpus* y *Derris*<sup>12</sup>. Desde 1985 se utilizó como pesticida e insecticida natural eficaz contra chinches y acaros<sup>13</sup>, hasta que en 2007 fue catalogado como toxina ambiental.



**Figura 2.** Estructura base de flavonoides (a), isoflavonas (b) y rotenona (c).

A continuaci3n, se describe el estudio qu6mico cualitativo y el an6lisis mediante cromatograf6a de gases acoplada con espectrometr6a de masas (CG-EM) que permiti3 la identificaci3n de tres esteroides presentes en las hojas de Yawar panga,  $\gamma$ -sitosterol, campesterol y estigmasterol. Adem6s, se aisl3 el flavonoide rotenona y su estructura fue confirmada por resonancia magn6tica nuclear de  $^1\text{H}$  y  $^{13}\text{C}$  (RMN  $^1\text{H}$  y RMN  $^{13}\text{C}$ ), por espectrometr6a de masas (CG-EM) y por espectroscop6a infrarroja con transformada de Fourier (FTIR).

## PARTE EXPERIMENTAL

### Materiales y equipos

Para las cromatograf6as en capa fina (CCF) se utilizaron placas de silica kieselgel 60 F254 de 0,2 mm de espesor, con base de aluminio (Riedel de Ha6n). Las cromatograf6as en columna (CC) y la columna flash (CF) se realizaron sobre silica gel de un poro de 60 Å y un tama1o de part6cula de 40-63  $\mu\text{m}$  (Sigma Aldrich), as6 como tambi6n se utiliz3 sephadex LH-20 (GE Healthcare). Las placas preparativas (PP) fueron PLC Silica Gel 60 F25 de 2 mm de espesor, con base de vidrio de 20 x20 cm Merck Millipore.

Los an6lisis de identificaci3n de esteroides y de la rotenona se realizaron por CG-EM SHIMADZU, GC-2010 Plus, con automuestreador AOC-6000, y detector de espectrometr6a de masas SHIMADZU, GCMS-QP210 Ultra.

Adem6s, para la identificaci3n estructural de la rotenona se obtuvieron los espectros de RMN  $^1\text{H}$  y RMN  $^{13}\text{C}$ , que se registraron en la plataforma de RMN del Institut de Chimie de Toulouse - Francia, con un espectr3metro Bruker Avance de 300 MHz y el espectro FTIR por un IR marca Perkin Elmer modelo Spectrum 400IR/NIR.

### **Material vegetal**

Las hojas de Yawar Panga (*Aristolochia cf. Cauliflora Ule*) se recolectaron en el Jardín Botánico del Centro de Rehabilitación de Adicciones y de Investigación de Medicinas Tradicionales – Takiwasi, el 11 de febrero de 2014, bajo lluvia, por el Dr. Víctor Reyna P. y fueron identificados por el Blgo. Severo Baldeon (Herbario San Marcos, Museo de Historia Natural de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos).

La muestra vegetal se secó a 40 °C y se guardó en recipientes herméticos (febrero 2014), siendo nuevamente puestas a secar a 40 °C durante 5 días y pulverizadas en un molino doméstico previo al inicio del trabajo químico (noviembre 2018).

### **Análisis cualitativo**

El análisis cualitativo (marcha fitoquímica) se realizó por duplicado según el procedimiento adaptado de Rondina & Coussio<sup>14</sup>.

### **Aislamiento de rotenona e identificación de esteroides**

#### ***Extracción***

Las hojas secas y pulverizadas (500 g) de Yawar Panga se extrajeron por maceración a temperatura ambiente con éter de petróleo durante periodos de 1, 2, 3 y 4 días, respectivamente, juntándose los extractos obtenidos.

El extracto líquido se concentró en rotavapor a 40°C y se obtuvo 4,54 g del extracto bruto orgánico de éter de petróleo (EBO/éter).

A continuación, el material sólido se extrajo por maceración, a temperatura ambiente, con diclorometano y, luego, con etanol, obteniéndose los extractos brutos orgánicos de diclorometano (10,82 g) y etanol (4,37 g), EBO/diclorometano y EBO/etanol, respectivamente.

#### ***Separación y purificación de esteroides mediante cromatografía de EBO/éter y EBO/diclorometano***

El extracto de EBO/éter (4,54 g) se sometió a dos CC, una tras otra, utilizando como eluyentes mezclas de éter de petróleo, acetato de etilo, cloroformo y metanol. Las fracciones obtenidas en cada CC se analizaron por cromatografía de capa fina (CCF) frente a un patrón de ergosterol, lo cual permitió agrupar aquellas que tenían un comportamiento similar al ergosterol, obteniéndose 168 mg de una muestra, que denominamos muestra E, de cristales blancos con impureza amarilla.

El extracto de EBO/diclorometano (10,82 g) se separó por columna flash (CF), utilizando como eluyentes mezclas de éter de petróleo, acetato de etilo, cloroformo y metanol. Aquellas fracciones con comportamiento similar al ergosterol en CCF, se juntaron y volvieron a separar esta vez por CC utilizando como eluyentes combinaciones de los solventes ya mencionados. Nuevamente, se juntaron las fracciones con comportamiento similar al ergosterol en CCF. Finalmente, se purificaron por placa preparativa (PP), realizando tres veces la elución con una mezcla de éter de petróleo y acetato de etilo (relación nueve a uno); se reveló con luz UV a 265 nm y se colectó la sílica gel donde se observaba bandas coloreadas similares al

ergosterol, la cual se extrajo con diclorometano, obteniéndose 120 mg de cristales blancos (muestra D).

#### ***Identificación de esteroides mediante CG-EM***

Se analizaron las muestras D y E (ricos en esteroides). Para ello, se disolvió 1 mg/1 mL de la muestra en diclorometano. 1  $\mu$ L de cada muestra se inyectó utilizando un Split de 10:1, con un flujo de 1 mL/min, con una temperatura del inyector, de la interfase y del detector, iguales a 250 °C, 220 °C y 200 °C, la temperatura de la columna varió de 240 °C hasta 265 °C a una velocidad de 10 °C/min., permaneciendo en 265 °C durante 40 min.

#### ***Purificación de rotenona a partir del EBO/etanol***

El EBO/etanol (4,37 g) se sometió a partición líquido-líquido (PLL) con butanol, cloroformo y agua, obteniéndose tres fracciones, uno por cada solvente: Gbutanol (0,9 g), Gcloroformo (2,4 g), y Gagua (0,9 g). La fracción de Gcloroformo (2,4 g) se procesó mediante una columna de sephadex, con éter de petróleo, diclorometano y metanol, obteniéndose fracciones por cada solvente utilizado, las cuales al ser concentradas en rotavapor a 40 °C proporcionaron las fracciones Ge (1,2 g), Gd (0,6 g) y Gm (0,3 g). Gd (0,6 g) presentaba cristales con impurezas crema, motivo por el cual se realizó su purificación mediante CC, utilizando como eluyentes combinaciones de éter de petróleo, acetato de etilo, cloroformo y metanol. Las fracciones obtenidas se analizaron por CCF y se obtuvo 159 mg (muestra R) de un sólido-polvo de color crema con una sola mancha en CCF.

#### ***Identificación de rotenona por CG-EM y FTIR***

Se disolvió 1 mg de la muestra R en 1 mL de diclorometano. 3  $\mu$ L de la disolución se inyectaron con un Split de 20:1, con un flujo de 3 mL/min, con una temperatura del inyector, de la interfase y del detector, iguales a 250 °C, 220 °C y 200 °C, respectivamente, la temperatura de la columna varió de 190 °C hasta 250 °C a una velocidad de 10 °C/min., permaneciendo en 250 °C durante 5 min. Luego aumentó hasta 280 °C a una velocidad de 15 °C/min., permaneciendo en 280 °C durante 47 min. Además, obtuvimos su espectro de FTIR.

#### ***Identificación de rotenona por RMN <sup>1</sup>H y RMN <sup>13</sup>C***

La muestra R (20 mg) se envió a Toulouse-Francia para la obtención de sus espectros de RMN <sup>1</sup>H y RMN <sup>13</sup>C.

## **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

### **Análisis cualitativo**

El análisis cualitativo mostró que las hojas del Yawar Panga (*Aristolochia* cf. *Cauliflora* Ule) contienen aminogrupos primarios y/o secundarios, grupos fenólicos, triptenos y esteroides, catequinas, flavonoides, quinonas, antronas y antranoles. Además, se verificó la ausencia de taninos, alcaloides, leucoantocianidinas y saponinas. Como el ácido aristolóquico es considerado un alcaloide<sup>4</sup> y las pruebas cualitativas para alcaloides resultaron negativas, descartamos la presencia del ácido aristolóquico en las hojas de Yawar Panga.

### Identificación de esteroides por CG-EM

Las muestras D y E presentan los mismos (tres) esteroides:  $\gamma$ -sitosterol (mayoritario), estigmasterol y campesterol, Figuras 3 y 4.

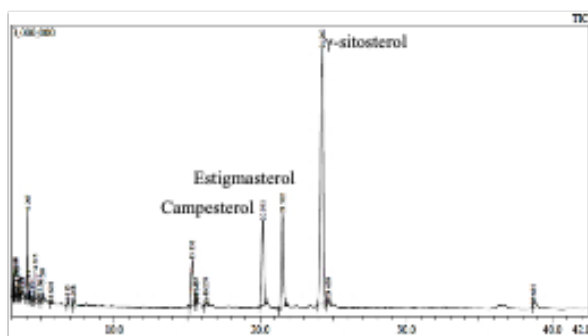


Figura 3. Cromatograma de iones totales (TIC) de la fracción E.

La muestra E, Figura 3, presenta un total de 78,42 % de esteroides, el porcentaje restante está distribuido en compuestos identificados como impurezas y algunas como grasas que se extrajeron con el éter de petróleo.

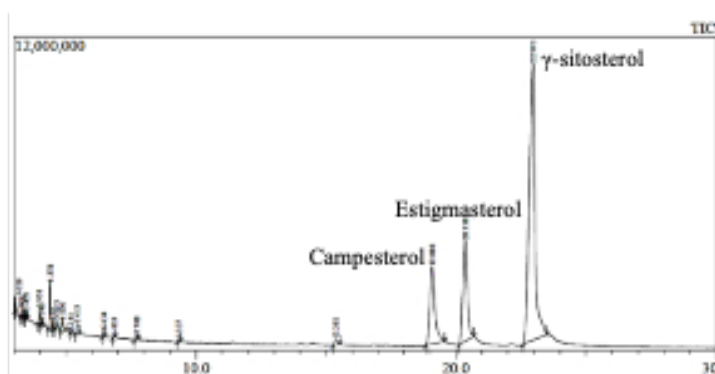


Figura 4. Cromatograma de iones totales (TIC) de la fracción D.

Por su parte la muestra D, Figura 4, están conformada por 94,5% de esteroides, siendo el  $\gamma$ -sitosterol el mayoritario. Los demás picos observados en el cromatograma de iones totales no alcanzan el 1% de composición.

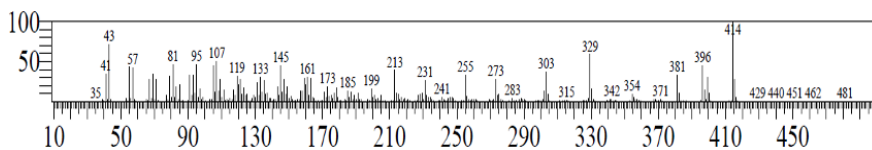
En la Tabla 1 se muestra el porcentaje de tres esteroides presentes en las muestras E y D obtenidos de las hojas del Yawar Panga: campesterol, estigmasterol y  $\gamma$ -sitosterol.

El equipo CG-EM proporciona los espectros de masas que corresponde a cada compuesto analizado (según su tiempo de retención) y proporciona los espectros de masas de las sustancias de referencia que están registrados en la base de espectros del equipo, resultando positiva la identificación de los tres esteroides.

**Tabla 1.** Metabolitos secundarios presentes en el extracto hidroalcohólico del fruto de tres variedades de *Opuntia ficus-indica* (L.) Miller “tuna”.

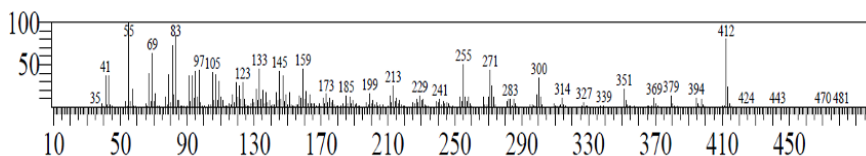
Muestra	Compuesto	Tiempo de retención (min.)	�rea (%)
E	Campesterol	20,191	14,63
	Estigmasterol	21,522	14,83
	$\gamma$ -sitosterol	24,260	48,96
D	Campesterol	19,086	12,69
	Estigmasterol	20,358	16,51
	$\gamma$ -sitosterol	22,970	65,30

El espectro de masas del compuesto mayoritario (figura 5) resultó similar al espectro del  $\gamma$ -sitosterol (registrado en la base de espectros del equipo), ambos con el pico ion molecular de 414.

**Figura 5.** Espectro de masas del  $\gamma$ -sitosterol extraído de las hojas de Yawar Panga.

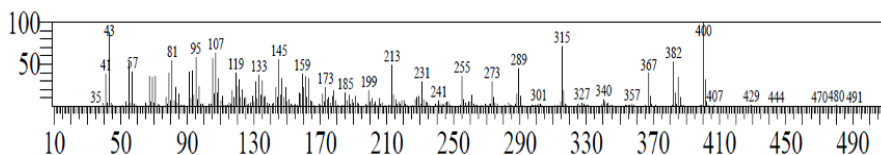
Además, este espectro de masas es similar al publicado por Grovas et al. (2018)<sup>6</sup> e identificado como  $\gamma$ -sitosterol.

El espectro de masas del segundo esteroles (figura 6) resultó similar al espectro del estigmasterol (registrado en la base de espectros del equipo), ambos con el pico ion molecular de 412.

**Figura 6.** Espectro de masas del estigmasterol extraído de las hojas de Yawar Panga.



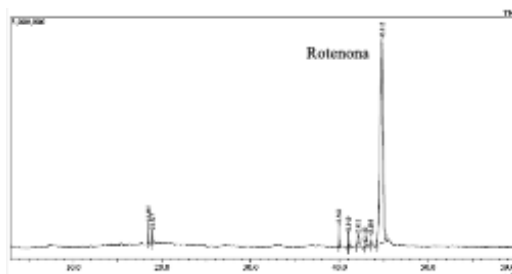
El espectro de masas del tercer esteroide (Figura 7) resultó similar al espectro del campesterol (registrado en la base de espectros del equipo), ambos con el pico ion molecular de 400.



**Figura 7.** Espectro de masas del campesterol extraído de las hojas de Yawar Panga.

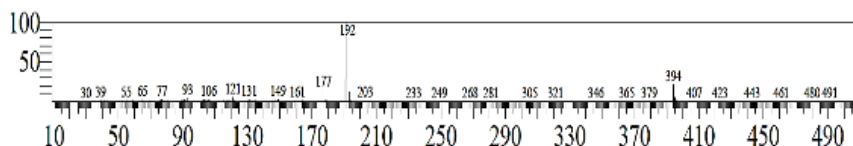
### Identificación de rotenona por CG-EM, FTIR y RMN $^1\text{H}$ y RMN $^{13}\text{C}$

La muestra R analizada mediante CG-EM (Figura 8) proporcionó rotenona con un 93,42 % de pureza. Los demás compuestos tienen menos del 1% de presencia en la muestra R. El color crema de nuestro producto, diferente al blanco reportado anteriormente para la rotenona, podría deberse a impurezas aún presentes en la muestra R.



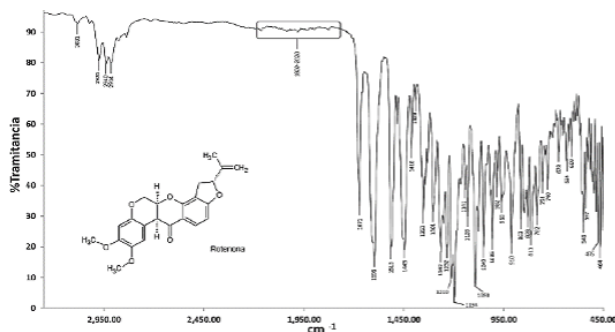
**Figura 8.** Cromatograma de iones totales (TIC) de la muestra R.

El equipo CG-EM proporcionó el espectro de masas (Figura 9), que resultó similar al espectro de la rotenona patrón (registrada en la base de espectros del equipo CG-EM), con los picos característicos a 394 (ion molecular) y 192 (pico base). Además, este espectro es similar al publicado por De Souza (2007)<sup>12</sup> de la rotenona obtenida de las raíces de *Derris urucur*.



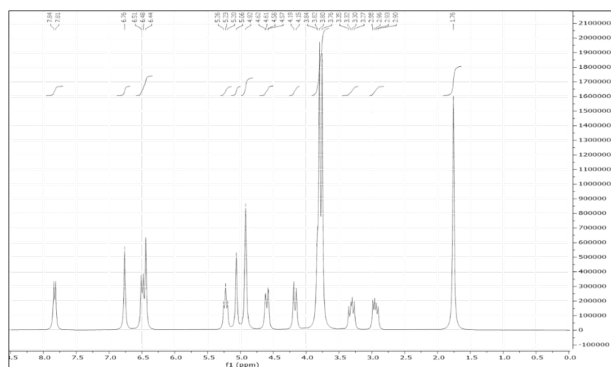
**Figura 9.** Espectro de masas de la rotenona aislada de las hojas de Yawar Panga.

Para confirmar ello, se registr6 el espectro FTIR (Figura 10), que result6 similar al reportado por Othman et al. (2018)<sup>15</sup> para una muestra patr6n de rotenona.

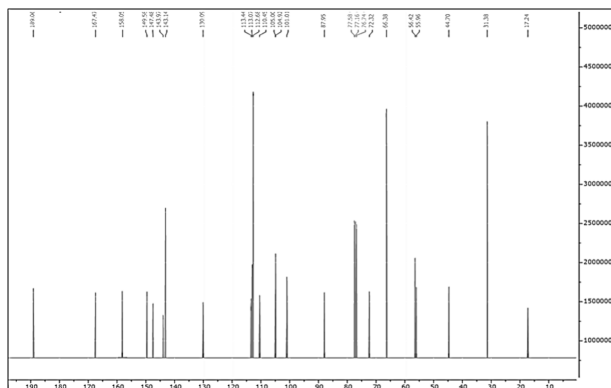


**Figura 10.** Espectro FTIR de la rotenona aislada de las hojas de Yawar Panga.

Para complementar el an6lisis estructural de la rotenona aislada de las hojas de Yawar panga se registraron los espectros de RMN<sup>1</sup>H (Figura 11) y de RMN<sup>13</sup>C (Figura 12):



**Figura 11.** Espectro RMN <sup>1</sup>H de la rotenona aislada de las hojas de Yawar Panga.



**Figura 12.** Espectro RMN <sup>13</sup>C de la rotenona aislada de las hojas de Yawar Panga.

Ambos espectros resultaron similares con aquellos publicados por de Souza (2007)<sup>12</sup>, tal como se ilustra en la comparación de los desplazamientos químicos  $\delta_H$  obtenidos para ambos espectros (Tabla 2 y Tabla 3, respectivamente):

**Tabla 2.** Desplazamientos químicos ( $\delta_H$  en ppm) de RMN<sup>1</sup>H a 300MHz de la rotenona en CDCl<sub>3</sub> (Figura 11), y aquellos reportados en bibliografía<sup>12</sup>.

Número de H	Integración	Acoplamiento	$\delta_H$ obtenido experimentalmente	$\delta_H$ (De Souza, 2007) <sup>12</sup>
1	3H	s	1,76	1,77
2	1H	m	2,96	2,97
3	1H	m	3,30	3,31
4a	3H	s	3,76	3,76
4b	3H	s	3,80	3,81
4c	1H	s	3,83	3,84
5	1H	d	4,17	4,18
6	1H	d	4,60	4,61
7a	1H	s	4,92	4,93
7b	1H	s	4,92	4,93
8	1H	s	5,06	5,07
9	1H	t	5,23	5,24
10a	1H	s	6,44	6,45
10b	1H	d	6,49	6,50
11	1H	s	6,76	6,77
12	1H	d	7,83	7,84

**Tabla 3.** Desplazamientos qu6micos ( $\delta$ H en ppm) de RMN<sup>13</sup>C a 75MHz de la rotenona en CDC<sup>13</sup> (Figura 11), y aquellos reportados en bibliograf<sup>12</sup>.

N6mero de C	Tipo de C	$\delta$ c obtenido experimentalmente	$\delta$ c (De Souza, 2007) <sup>7</sup>
1	CH <sub>3</sub>	17,24	17,09
2	CH <sub>2</sub>	31,38	31,24
3	CH	44,70	44,57
4	OCH <sub>3</sub>	55,96	55,82
5	OCH <sub>3</sub>	56,42	56,42
6	CH <sub>2</sub>	66,38	66,24
7	CH	72,32	72,19
8	CH	87,95	87,80
9	CH-arom.	101,01	100,88
10	C-arom.	104,92	104,79
11	CH-arom.	105,00	104,86
12	CH-arom.	110,45	110,34
13	CH <sub>2</sub>	112,68	112,53
14	C -arom.	113,07	112,93
15	C -arom.	113,44	113,30
16	CH-arom.	130,09	129,95
17	C	143,14	143,00
18	C -arom.	143,97	143,85
19	C-arom.	147,48	147,34
20	C-arom.	149,58	149,46
21	C-arom.	158,05	157,90
22	C-arom.	167,47	167,33
23	C-arom.	189,06	188,91

Los espectros obtenidos del compuesto aislado de las hojas de Yawar panga, y su correspondencia con los espectros publicados en la bibliografía para la rotenona, nos llevan a concluir que el compuesto aislado es la rotenona.

## CONCLUSIONES

A partir de los extractos de éter de petróleo y diclorometano de las hojas de Yawar Panga, colectadas en el Jardín Botánico del Centro Takiwasi (Tarapoto, región San Martín, Amazonia peruana) se identificaron, mediante CG-EM, tres esteroides,  $\gamma$ -sitosterol, estigmasterol y campesterol.

Así mismo, del extracto etanólico se aisló la rotenona (con 93,4% de pureza), que fue identificada mediante CG-EM, FTIR, RMN  $^1\text{H}$  y RMN  $^{13}\text{C}$

Además, en el análisis fitoquímico de las hojas de Yawar Panga se verificó la presencia de aminogrupos primarios y/o secundarios, grupos fenólicos, triptenos y esteroides, catequinas, flavonoides, quinonas, antranas y antranoles.

## AGRADECIMIENTOS

Al Dr. Jacques Mabit, Presidente Ejecutivo y al Dr. Fernando Mendive, Director Científico, del Centro de Rehabilitación de Adicciones y de Investigación de Medicinas Tradicionales – Takiwasi (Tarapoto, Perú) por las facilidades brindadas para la recolección de la muestra vegetal en el Jardín Botánico del Centro Takiwasi. A la PhD. Valérie Jullian, UMR 152 Pharmadev, Université de Toulouse, IRD, Francia, por el registro de los espectros de RMN  $^1\text{H}$  y RMN  $^{13}\text{C}$ . Al Vicerrectorado de Investigación de la Universidad Nacional de Ingeniería por la subvención otorgada para la realización de la presente investigación.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Brack A. Diccionario enciclopédico de plantas útiles de Perú. Cusco: centro de Estudios regionales Andinos “Bartolomé de las Casas”; 1999.
2. Politi M, Friso F, Mabit J. Plant based assisted therapy for the treatment of substance use disorders - part 1. The case of Takiwasi Center and other similar experiences. Revista Cultura y Droga. 2018; 23(26): 99–126.
3. Mulder CH. Aristolochiaceae. Rev Palaeobot Palynol. 2003; 123: 47-55.
4. Agrawal P, Laddha K. Development of validated high-performance thin layer chromatography for quantification of aristolochic acid in different species of the Aristolochiaceae family. J Food Drug Anal. 2017; 25(2): 425–429.

5. Heinrich M, Chan J, Wanke S, Neinhuis C, Simmonds MS. Local uses of *Aristolochia* species and content of nephrotoxic aristolochic acid 1 and 2--a global assessment based on bibliographic sources. *J Ethnopharmacol.* 2009;125(1):108-44.
6. Grovas Llamocca JE, Cándor Cuyubamba EA, Collantes Díaz IE, Reyna Pinedo VM. Esteroles presentes en el extracto apolar de las raíces de ajo sacha *Mansoa alliacea*. *Rev Soc Quím Perú.* 2018; 84(4): 513-521.
7. Sheng Y, Chen X-B. Isolation and identification of an isomer of  $\beta$ -sitosterol by HPLC and GC-MS. *Health.* 2009; 1(3): 203-206.
8. Pascual Fuster V. Utilidad de los esteroides vegetales en el tratamiento de la hipercolesterolemia. *Nutr Hosp.* 2017; 34: 62-67.
9. Luo H, Cai Y, Peng Z, Liu T, Yang S. Chemical composition and in vitro evaluation of the cytotoxic and antioxidant activities of supercritical carbon dioxide extracts of pitaya (dragon fruit) pee. *Chem Cent J.* 2014;8(1):1. doi: 10.1186/1752-153X-8-1.
10. Gabay O, Sanchez C, Salvat C, Chevy F, Breton M, Nourissat G, et al. Stigmasterol: a phytosterol with potential anti-osteoarthritic properties. *Osteoarthritis Cartilage.* 2010; 18(1):106–116.
11. Lock O. Investigación Fitoquímica. Métodos en el Estudio de Productos Naturales, Lima: Departamento de Ciencias-Pontificia Universidad Católica del Perú; 2018. pág. 109.
12. De Souza M. Modificações estruturais e avaliação da citotoxicidade de rotenóides isolados e modificados da espécie *Darris urucu*. [Tesis de maestría]. Campos dos Goytacazes-RJ, Brasil: Centro de Ciência e Tecnologia da Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro; 2007. .
13. Viteri Basantes JM. Estudio de factibilidad para la implementación de una planta de producción de un plaguicida biodegradable de baja toxicidad en base a la rotenona de barbasco *Lonchocarpus utilis*, en la provincia de Tungurahua. [Tesis de bachiller en Ingeniería Bioquímica]. Ambato: Universidad Técnica de Ambato; 2021.
14. Reyna V. Marcha Fitoquímica, Práctica de Laboratorio (Separata). Lima: Curso de Química de Productos Naturales – CQ046, Escuela Profesional de Química, Facultad de Ciencias, Universidad Nacional de Ingeniería (UNI); 2012.
15. Othman ZS, Koketsu M, Abd Karim NH, Zubairi SI, Hassan NH. Interaction study of binary solvent systems ionic liquid and deep eutectic solvent with rotenone. *Sains Malays.* 2018; 47(7): 1473–1482.

## CONTENIDO DE ÁCIDOS GRASOS, PROPIEDADES FÍSICOQUÍMICAS Y ACTIVIDAD ANTIOXIDANTE DE LOS ACEITES DE *Chenopodium quinoa Willd* y *Amaranthus caudatus* EXTRAÍDOS POR FLUIDOS SUPERCRÍTICOS

Carla del Carpio-Jiménez<sup>a</sup>, Profeta Tapia Delgado<sup>b</sup>, Ruth Sara Molleda Gutierrez<sup>b</sup>

### RESUMEN

Los aceites vegetales han experimentado un notable aumento en su consumo y se ha intensificado la búsqueda de nuevas fuentes de aceites funcionales, que son aquellos que presentan sustancias activas con importantes actividades biológicas que brindan protección de la salud y previenen enfermedades, por lo que pueden ser útiles tanto en el ámbito alimentario como dermatocósmico. El objetivo de la presente investigación fue cuantificar los principales ácidos grasos presentes en los aceites de las semillas de *Chenopodium quinoa Willd* y *Amaranthus caudatus* extraídos por fluidos supercríticos, asimismo, establecer sus principales propiedades fisicoquímicas y compararlas con las de otros aceites comúnmente usados y determinar su potencial actividad antioxidante. Se pudo establecer que en ambas muestras de aceite el contenido de ácidos grasos insaturados es alto, 65,73 % y 79,95 % para *Amaranthus caudatus* y *Chenopodium quinoa* respectivamente. Los ácidos grasos más abundantes fueron el ácido linoleico en 38,09 % y 50,99 % y el ácido oleico en 27,64 % y 28,96 % para *Amaranthus caudatus* y *Chenopodium quinoa* respectivamente. Las propiedades fisicoquímicas de ambos aceites son muy parecidas a las de otros aceites comúnmente utilizados y los valores de los índices de yodo y de saponificación son indicativos de su alta calidad y demuestran su potencial uso tanto en el ámbito alimentario como dermatocósmico. La actividad antioxidante usando el método de DPPH demostró un EC<sub>50</sub> de 337,92 µg/mL para el aceite de *Chenopodium quinoa* y de 433,94 µg/mL para el aceite de *Amaranthus caudatus*.

**Palabras clave:** Ácidos grasos, fluidos supercríticos, ácido linoleico, aceites funcionales, antioxidantes.

---

<sup>a</sup> Laboratorio de Tecnología Farmacéutica, Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco, Av. de la Cultura 733, Cusco 80101, Perú delcarpiojc\_daqf@unsaac.edu.pe

<sup>b</sup> Escuela Profesional de Farmacia y Bioquímica, Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco

## FATTY ACID CONTENT, PHYSICOCHEMICAL PROPERTIES AND ANTIOXIDANT ACTIVITY OF SUPERCRITICAL FLUID-EXTRACTED *Chenopodium quinoa* Willd and *Amaranthus caudatus* OILS

### ABSTRACT

Vegetable oils have experienced a notable increase in their consumption and the search for new sources of functional oils has intensified because those present active substances with important biological activities that provide health protection and prevent diseases and can be useful both in the food and dermo-cosmetic fields. The objective of this research was to quantify the main fatty acids present in *Chenopodium quinoa* Willd and *Amaranthus caudatus* seed oils extracted by supercritical fluids, establish their main physicochemical properties, compare them with those of other commonly used oils, and determine their potential antioxidant activity. It was possible to establish that in both oil samples the content of unsaturated fatty acids is high, 65,73 % and 79,95 % for *Amaranthus caudatus* and *Chenopodium quinoa*, respectively. The most abundant fatty acids were linoleic acid at 38,09 %, and 50,99 % and oleic acid at 27,64 %, and 28,96 % for *Amaranthus caudatus* and *Chenopodium quinoa* respectively. The physicochemical properties of both oils are very similar to other commonly used oils and the values of iodine and saponification indices are indicative of their high quality and demonstrate their potential use in both food and dermo-cosmetic fields. Antioxidant activity using the DPPH method showed an  $EC_{50}$  of 337,92  $\mu\text{g/mL}$  for *Chenopodium quinoa* oil and 433,94  $\mu\text{g/mL}$  for *Amaranthus caudatus* oil.

**Keywords:** Fatty acids, supercritical fluids, linoleic acid, functional oils, antioxidants.

### INTRODUCCIÓN

Los aceites vegetales pueden proporcionar fuentes renovables de ácidos grasos de alto valor y aunque se utilizan principalmente para aplicaciones nutricionales, en las últimas décadas ha aumentado su uso en las industrias química, farmacéutica y cosmética, así como para la producción de biocombustibles, y últimamente se ha desarrollado un marcado interés por la investigación sobre aceites vegetales funcionales, es decir aquellos que pueden tener efectos beneficiosos sobre la salud de las personas, previniendo la obesidad y las enfermedades crónicas como las cardiovasculares y muchos cánceres, debido especialmente a que presentan buenos perfiles nutricionales y bioactivos antioxidantes que pueden ser usados como sustancias capaces de reducir el riesgo de estrés oxidativo y prevenir ciertas enfermedades neurodegenerativas, así como el envejecimiento. Los aceites vegetales son componentes indispensables de la dieta humana, sobre todo aquellos que son una fuente importante de ácidos grasos esenciales. Con el crecimiento de la población y el desarrollo económico, los aceites vegetales comestibles han experimentado un notable aumento en su consumo y se ha



intensificado la búsqueda de nuevas fuentes de aceites funcionales debido a su importante papel en la protección de la salud y la prevención de enfermedades.

En los últimos años, han surgido algunos nuevos tipos de aceites vegetales como el aceite de maíz, el aceite de salvado de arroz y el aceite de camelia, que, en comparación con los principales aceites vegetales, como el de soja, tienen cuotas de mercado y producción relativamente pequeñas, por lo que se denominan aceites vegetales menores, sin embargo, presentan sustancias activas muy interesantes y con importantes actividades biológicas por lo que pueden ser útiles en el ámbito alimentario así como dermocosmético.

En este contexto, surgen los granos andinos como la quinua (*Chenopodium quinoa*) y la kiwicha (*Amaranthus caudatus*) cuyo alto valor nutricional está bien reconocido y que investigaciones realizadas en los últimos años han evidenciado la presencia de un aceite de alta calidad en sus semillas, con alto contenido en ácidos grasos poliinsaturados<sup>1</sup>.

El valor y la aplicación de un aceite vienen determinados en gran medida por su composición de ácidos grasos, en la naturaleza hay una rica diversidad de ácidos grasos, muchos de los cuales tienen un uso potencial en la industria. Algunas investigaciones han aportado evidencia sobre la compleja influencia del método empleado para extraer el aceite de semillas y frutos secos en la composición fisicoquímica, el valor nutricional y las propiedades sensoriales de los aceites<sup>2</sup>.

Existen diferentes métodos para obtener aceites de semillas, los más populares en los laboratorios y fábricas son las extracciones convencionales con disolventes simples (extracción sólido-líquido, extracción Soxhlet). Actualmente existen métodos más rápidos como la extracción asistida por ultrasonidos (UAE), extracción asistida por microondas (MAE), extracción acelerada con disolventes (ASE) y la extracción por fluidos supercríticos, que presentan ventajas sobre los métodos convencionales porque ahorran tiempo y reducen el uso de disolventes y pueden llevarse a cabo sin oxígeno ni luz, lo que evita la degradación de las sustancias deseadas<sup>3</sup>.

La extracción por fluidos supercríticos está considerada como una metodología ecológica, y se utiliza para hacer que los lípidos sean más funcionales. La extracción de aceites utilizando fluidos supercríticos es de gran importancia debido a la alta pureza de los compuestos finales, lo que aumenta el valor añadido de los productos finales y su precio en el mercado internacional. El fluido supercrítico suele ser el CO<sub>2</sub> porque no es tóxico, no es inflamable, con bajo costo y condiciones críticas suaves ( $P \geq 74$  bar y  $T \geq 31$  °C) que permiten la recuperación de compuestos termolábiles<sup>4</sup>.

Por estas razones, la extracción por fluidos supercríticos tiene un enorme número de aplicaciones, y se ha utilizado como una técnica adecuada para los productos naturales y en especial para los aceites con potencial uso como alimentos funcionales.

El objetivo de este estudio fue determinar el contenido de ácidos grasos, las propiedades fisicoquímicas y la actividad antioxidante de los aceites de los granos andinos: *Chenopodium quinoa* Willd. y *Amaranthus caudatus* L., extraídos por CO<sub>2</sub> supercrítico, con la finalidad de proporcionar una base teórica para el desarrollo e investigación de aceites funcionales derivados de los granos andinos más importantes de la región andina.

## PARTE EXPERIMENTAL

### Material vegetal

Las variedades de granos andinos adquiridas fueron: *Chenopodium quinoa* Willd., var. INIA 420 Negra Collana (quinua negra) de la comunidad de Jasana Kapallino, Huancané - Puno y *Amaranthus caudatus* L., var. Oscar Blanco (kiwicha) del Instituto Nacional de Innovación Agraria (INIA) Cusco.

### Extracción del aceite de las semillas de los granos andinos

La extracción de los aceites se realizó en un Sistema de Extracción de Fluidos Supercríticos SFT-100 suministrado por Supercritical Fluid Technologies Inc. (Newark, DE, USA). El gas de operación fue CO<sub>2</sub> de grado industrial con una pureza del 99,9 % suministrado por Praxair, Lima - Perú. La operación del proceso fue: 1) Llenado de la cámara de extracción con 480 - 520 g de semillas de grano deshidratado y molido con un tamaño de 522mm. 2) Cambio de las condiciones de CO<sub>2</sub> en el tanque a condiciones supercríticas. 3) Extracción estática, el CO<sub>2</sub> en condiciones supercríticas entró en la cámara de extracción durante 30 min. (tiempo de remojo). 4) Extracción dinámica cuando el CO<sub>2</sub> en condiciones supercríticas se deja fluir a través del lecho fijo formado por las semillas molidas, el tiempo varía de 180 - 360 min. dependiendo de la velocidad de extracción. El CO<sub>2</sub> con el aceite extraído se dirigió a la cámara de separación donde el gas se expandió hasta presión atmosférica. Las condiciones del proceso de extracción fueron flujo de 4.41 g/min de dióxido de carbono, la temperatura de extracción fue de 45 °C y la presión de extracción fue de 300 bar.

### Determinación del contenido de ácidos grasos

El perfil y contenido de ácidos grasos de las muestras de los aceites se determinó a través de los ésteres metílicos de ácidos grasos (FAME) que se prepararon de acuerdo con el método 963.33 de la AOAC<sup>6</sup> y que posteriormente fueron inyectados en un sistema de cromatografía de gases/espectrometría de masas (GC/MS) 6890 N Network GC (Agilent Technologies, Santa Clara, CA, EE.UU.) equipado con un detector de ionización de flama de helio y una columna capilar para aceites modelo HP-5 (50m longitud x 0.32 i.d., 1.05 μm de grosor de película), siendo arrastrados por el helio para ser separados de la fase estacionaria de la columna. La temperatura del inyector (Agilent Technologies – 7683B Series), fue de 250 °C, la temperatura del detector fue de 270 °C, el volumen de inyección de la muestra fue 5 μL. Para la identificación de los espectros de masa de los ácidos grasos se hizo la comparación con los espectros de masas brindados por la librería NIST y FAME y por comparación con los espectros de masas de estándares de metilésteres de ácidos grasos. El contenido de los aceites expresó como porcentaje en peso, % p/p (g de AF/100 g de muestra)

### Propiedades fisicoquímicas

Las propiedades fisicoquímicas evaluadas fueron la gravedad específica<sup>5</sup>, Índice de acidez, Índice de peróxido, Índice de yodo e Índice de saponificación que fueron determinados según los métodos oficiales de la AOAC 2000<sup>6</sup>.

### Actividad antioxidante

El ensayo de DPPH se realizó según el procedimiento descrito por Christodouleas et al.<sup>7</sup> con ligeras modificaciones. En detalle, las muestras de aceite se mezclaron con una solución 90:10 (v/v) de 1-butanol/etanol, y la mezcla se homogenizó en un baño de ultrasonidos. A continuación, se mezclaron 1,00 mL de la muestra diluida en 1-butanol/etanol y 4,00 mL de solución de DPPH. La actividad de barrido de radicales libres contra el DPPH de las soluciones de aceite se midió utilizando un espectrofotómetro UV/VIS PG Instrument T80+ (Woodway lane, Leicestershire, Reino Unido) a 517 nm. En este experimento, se utilizó Trolox como control positivo y todos los experimentos se repitieron tres veces. La actividad de barrido de radicales DPPH se calculó en términos de porcentaje de reducción de DPPH según la siguiente ecuación:

$$\text{DPPH}[\%]=\frac{(A_0 - A_S)}{A_0} \times 100$$

Donde A<sub>0</sub> representa la absorbancia de la solución blanco y A<sub>s</sub> es la absorbancia de la muestra.

Se halló los valores de EC<sub>50</sub>, que determinan el 50% de inhibición de los radicales libres DPPH, para lo cual se trazó un gráfico con el porcentaje de inhibición y la concentración de los aceites. El cálculo se realizó usando la ecuación lineal.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Extracción del aceite de las semillas de los granos andinos

En la Tabla 1, se muestra el porcentaje de extracción de aceite de cada uno de los granos andinos en estudio, el mayor porcentaje de extracción obtenido fue de 1,97 ± 0,00 g de aceite/100g de semillas de *Amaranthus caudatus* L. var. Oscar Blanco (kiwicha), en tanto que *Chenopodium quinoa* Willd. var. INIA 420 Negra collana presentó un porcentaje de extracción de 1,49 % ± 0,00 g de aceite/100 g de semillas. Cada determinación se realizó por triplicado.

**Tabla 1.** Porcentaje de rendimiento de extracción de aceites de granos andinos

Granos andinos	Rendimiento * (g de aceite/g de muestra)
<i>Chenopodium quinoa</i> Willd. var. INIA 420 Negra Collana (Quinoa Negra)	1,49 % ± 0,00
<i>Amaranthus caudatus</i> L. var. Oscar Blanco (Kiwicha)	1,97 % ± 0,00

\*Datos por triplicado con media ± desviación estándar

Las condiciones del proceso de extracción fueron un flujo de 4,4 g/min de CO<sub>2</sub>, la temperatura de extracción fue de 45 °C y la presión de extracción fue de 4300 psi (aprox. 300 bar).

Koziol<sup>8</sup> reportó un contenido de aceite en *Chenopodium quinoa* entre 1,8% y 9,5% con una media de 5 % al 7,2 %, que es superior al del maíz (3 % a 4 %), nuestro porcentaje de extracción está por debajo de este rango. En otro estudio realizado por Benito-Román et al. <sup>9</sup> se reportó un contenido de aceite en *Chenopodium quinoa* var. Collana de 4,9 ± 0,3 g aceite /g de muestra usando hexano como solvente de extracción, en tanto que para la extracción usando CO<sub>2</sub> supercrítico considerando una temperatura de extracción de 40-60 °C, una presión de 20-40 MPa y un tamaño de partícula de 250-1000 µm, se pudo evidenciar que la extracción resultó ser más rápida cuanto más alta es la presión, en tanto que la temperatura tuvo menos influencia en la cinética de extracción, sin embargo la calidad del aceite en términos de actividad antioxidante, y contenido de tocoferoles fue mayor en el aceite extraído por fluidos supercríticos.

En el caso del aceite de *Amaranthus caudatus* L, Westerman et al.,<sup>10</sup> determinaron un contenido total de aceite de 8,1 % en peso usando hexano como solvente y la extracción se realizó usando un Soxhlet durante un período de 18 h. Asimismo, reportaron diferentes porcentajes de extracción usando diferentes condiciones de extracción por fluidos supercríticos; a 45 °C y 100 bar, se obtuvo un rendimiento máximo del 2,69 %, a 35 °C y 100 bar, la tasa de extracción fue del 4,58 % y a 50 °C y 200 bar dio un máximo rendimiento del 6,57 %.

La diferencia entre los rendimientos de extracción podría explicarse por los diferentes métodos y condiciones utilizados para la extracción de los aceites, por ello es importante, establecer la necesidad de realizar la optimización del proceso de extracción con fluidos supercríticos de CO<sub>2</sub>, principalmente porque se encontró que el rendimiento de extracción varía significativamente con la temperatura y la presión. Muchos estudios, han demostrado que el uso de solventes como el hexano produce extracciones completas, en tanto que, la extracción por fluidos supercríticos representa alrededor del 92 %<sup>11</sup>. Es importante también tener en cuenta que los aceites obtenidos utilizando disolventes orgánicos presentan propiedades organolépticas insatisfactorias y aunque es un método fácil de desarrollar, está relacionado con la contaminación ambiental y con largos tiempos de extracción. La extracción por fluidos supercríticos es una técnica recomendada para extraer compuestos bioactivos de forma segura y sostenible habiendo obtenido mucha atención últimamente

debido a sus grandes beneficios como su mayor selectividad y ecología<sup>12</sup>.

### Contenido de ácidos grasos

En la Tabla 2, se puede apreciar que tanto el aceite de *Amaranthus caudatus* y de *Chenopodium quinoa*, presentan un alto contenido de ácido linoleico, 38,09 % y 50,99 % respectivamente. Asimismo, en ambos aceites se aprecia un alto contenido de ácido oleico 27,64 % y 28,96 % respectivamente. Ambos ácidos grasos constituyen el 65,73 % y 79,95 % del contenido de ácidos grasos insaturados en el aceite de *Amaranthus caudatus* y *Chenopodium quinoa* respectivamente, siendo el contenido de los ácidos grasos poliinsaturados el mayor en ambos casos. Estos valores son muy cercanos a los encontrados en otras investigaciones, como se discute líneas más abajo. Los tiempos de retención de los principales ésteres de metilo de ácidos grasos se muestran en las Fig. 1 y 2.

**Tabla 2.** Principales ácidos grasos presentes en los aceites de los granos andinos.

N°	Nomenclatura Química	Ácido graso	% ésteres de metilo de ácidos grasos	
			<i>Chenopodium quinoa</i> Willd. var. INIA 420 Negra Collana (Quinoa Negra)	<i>Amaranthus caudatus</i> L. var. Oscar Blanco (Kiwicha)
1	C <sub>18:2</sub>	Ácido linoleico (ω-6)	50,99	38,09
		<b>PUFA</b>	<b>50,99</b>	<b>38,09</b>
2	C <sub>18:1</sub>	Ácido oleico (ω-9)	28,96	27,64
		<b>MUFA</b>	<b>28,96</b>	<b>27,64</b>
3	C <sub>16:0</sub>	Ácido palmítico	10,55	18,28
4	C <sub>18:0</sub>	Ácido esteárico	--	4,47
		<b>SFA</b>	<b>10,55</b>	<b>22,75</b>
	<b>Ácidos grasos</b>	<b>Saturados</b>	<b>10,55</b>	<b>22,75</b>
		<b>Insaturados</b>	<b>79,95</b>	<b>65,73</b>

- PUFA, Ácidos grasos poliinsaturados; MUFA, Ácidos grasos monoinsaturados; SFA, Ácidos grasos saturados.
- Se reportan los ácidos grasos mayoritarios.

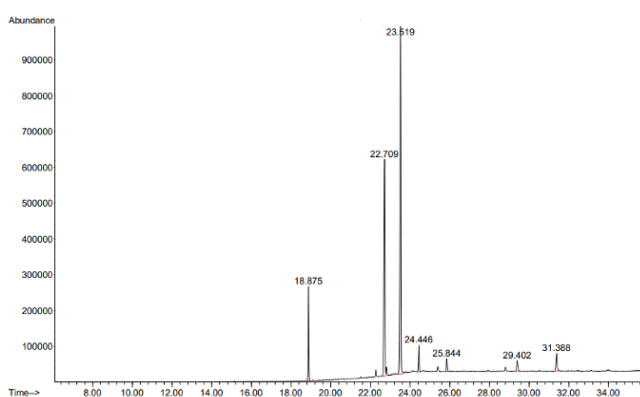
Estudios anteriores reportaron que el contenido de ácidos grasos insaturados en el aceite de quinua es de aproximadamente 82,7 %-85,0 % de la cantidad total de ácidos grasos, siendo los principales ácidos grasos el linoleico (más del 50 %), el oleico (más del 20 %) y el palmítico (8 %)<sup>8</sup>.

Benito-Román et al.,<sup>9</sup> estudiaron diferentes variedades de quinua, una de ellas fue la Collana, y obtuvieron el aceite usando la extracción por fluidos supercríticos, siendo el ácido linoleico el más abundante (52 ± 3 %), seguido del ácido oleico (26 ± 1 %) y del ácido palmítico (9,4 ± 0.5 %), asimismo, el porcentaje de ácidos grasos poliinsaturados fue de 56 ± 3 %, el porcentaje de ácidos grasos monoinsaturados fue de 32 ± 2 % y el porcentaje de ácidos

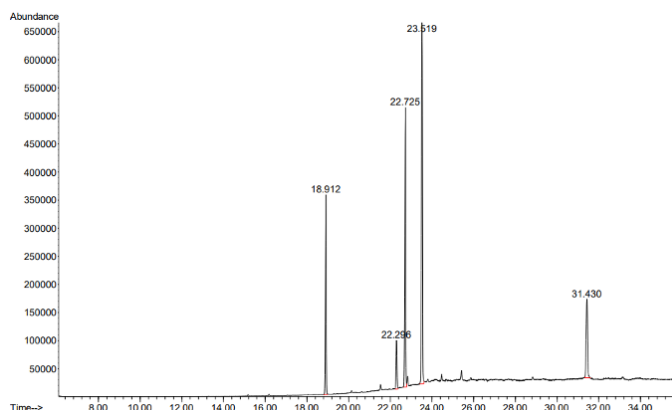
grasos saturados fue de  $11,7 \pm 0,6 \%$ , resultados muy cercanos a los obtenidos en la presente investigación.

Paucar-Menacho et al.,<sup>13</sup> indicaron que el aceite de *Amaranthus caudatus* contenía mayoritariamente los siguientes ácidos grasos: ácido linoleico en un  $40,76 \pm 0,01 \%$ , ácido oleico en un  $27,88 \pm 0,01 \%$ , ácido palmítico en un  $17,16 \pm 0,01 \%$  y ácido esteárico en un  $3,64 \pm 0,01 \%$ . Finalmente, un estudio reciente<sup>14</sup> ha reportado en el aceite de *Amaranthus caudatus* la presencia del ácido linoleico en un  $44,48 \%$ , ácido oleico en un  $28,82 \pm 0,02 \%$ , ácido palmítico en un  $19,08 \pm 0,01 \%$  y ácido esteárico en un  $4,10 \pm 0,01 \%$ , resultados muy cercanos a los obtenidos en la presente investigación. Estos resultados demuestran que tanto *Chenopodium quinoa* Willd. var. INIA 420 Negra collana y *Amaranthus caudatus* L. var. Oscar Blanco, son una fuente atractiva de ácidos grasos insaturados, que pueden ser usados en el ámbito alimentario teniendo en cuenta que con el continuo aumento de la población y el desarrollo económico la demanda de aceites de semillas de alta calidad sigue aumentando en países como China, de hecho, en las últimas décadas muchos aceites comestibles no comerciales (aceites comestibles especiales) que, aunque suelen ser más caros, presentan características nutricionales especiales por lo que se han vuelto cada vez más populares<sup>15</sup>. Asimismo, pueden ser usados en el desarrollo de formulaciones dermocosméticas, debido principalmente a que existe una demanda creciente de aceites vegetales para el tratamiento de enfermedades de la piel como la xerosis, dermatitis atópica, afecciones eczematosas y psoriasis<sup>16</sup>.

Las principales razones para su uso en la formulación de diferentes tipos de dermocosméticos son la presencia de ácidos grasos esenciales que actúan como emolientes naturales, portadores de otras sustancias activas; pero lo que realmente los hace valiosos son sus propiedades biológicas porque ofrecen numerosos ácidos grasos poliinsaturados (ácido linoleico, ácido  $\gamma$ -linolénico) que participan en la formación de los lípidos de la barrera cutánea<sup>17</sup>.



**Figura 1.** Cromatograma de los ésteres de metilo de los ácidos grasos del aceite de *Chenopodium quinoa* Willd. var. INIA 420 Negra collana extraído por fluidos supercríticos. Picos principales: 18,875 para ácido palmítico (C<sub>16:0</sub>), 22,709 para ácido oleico (C<sub>18:1</sub>), 23,519 para ácido linoleico (C<sub>18:2</sub>).



**Figura 2.** Cromatograma de los ésteres de metilo de los ácidos grasos del aceite de *Amaranthus caudatus* L. var. Oscar Blanco extraído por fluidos supercríticos. Picos principales: 18,912 para ácido palmítico (C<sub>16:0</sub>), 22,296 para ácido esteárico (C<sub>18:0</sub>), 22,725 para ácido oleico (C<sub>18:1</sub>), 23,519 para ácido linoleico (C<sub>18:2</sub>).

### Propiedades fisicoquímicas de los aceites extraídos por fluidos supercríticos

Las propiedades fisicoquímicas evaluadas a ambos aceites extraídos por fluidos supercríticos se detallan en la Tabla 3.

**Tabla 3.** Propiedades fisicoquímicas de los aceites extraídos por fluidos supercríticos

Propiedades fisicoquímicas*	<i>Chenopodium quinoa</i> Willd. var. INIA 420 Negra Collana (Quinoa Negra)	<i>Amaranthus caudatus</i> L. var. Oscar Blanco (Kiwicha)
Aspecto	Líquido oleoso denso de color amarillo	Líquido oleoso de color amarillo
Gravedad específica (20°C)	0,925 ± 0,01	0,922 ± 0,03
Índice de acidez (mg KOH/g)	0,79 ± 0,35	0,89 ± 0,14
Índice de yodo (g de I/100g)	159,98 ± 5,27	168,87 ± 13,29
Índice de peróxido (mEqO <sub>2</sub> /Kg)	4,8 ± 0,64	5,1 ± 0,50
Índice de saponificación (mg KOH/g)	195 ± 0,02	199 ± 0,02

\*Datos por triplicado con media ± desviación estándar.

El aspecto de líquido amarillo de los aceites de quinua negra y kiwicha se asemeja mucho a otros aceites vegetales utilizados tanto en el ámbito alimentario (aceite de girasol, aceite de soja) como en el ámbito dermocosmético (aceite de avena, aceite de argán).

La gravedad específica de los aceites de quinua negra y kiwicha determinadas fueron:  $0,93 \pm 0,01$  y  $0,92 \pm 0,03$  respectivamente. Estos valores son muy cercanos a los reportados para otros aceites de uso alimentario como el aceite de soja ( $0,919 - 0,925$ ), aceite de girasol ( $0,918 - 0,923$ ), aceite de oliva ( $0,918 - 0,923$ )<sup>18</sup>, y también son semejantes a los valores de aceites muy usados en el ámbito cosmético como el aceite de avena ( $0,914 - 0,932$ )<sup>19</sup> y aceite de argán ( $0,906 - 0,919$ )<sup>20</sup>.

Los índices de acidez y peróxido son propiedades relacionadas directamente con la calidad del aceite, así, el índice de acidez determina la cantidad de ácidos grasos libres, y el índice de peróxido permite conocer el estado de oxidación y la susceptibilidad a la rancidez. Un índice de peróxido debe ser inferior a 20 meqO<sub>2</sub>/kg para evitar el enranciamiento<sup>21</sup>.

El índice de acidez hallado para el aceite de quinua negra y kiwicha fue de  $0,79 \pm 0,35$  y  $0,89 \pm 0,14$  respectivamente. Estos valores están muy cercanos al del aceite de los frutos de *Olea europaea* (oliva) ( $0,24 - 0,78$  mg/KOH), y el índice de peróxido fue de  $4,8 \pm 0,64$  mEqO<sub>2</sub>/Kg para el aceite de quinua negra y de  $5,1 \pm 0,50$  mEqO<sub>2</sub>/Kg para el aceite de kiwicha, ambos valores inferiores a 10 mEqO<sub>2</sub>/Kg, valor que garantiza un bajo nivel de enranciamiento<sup>21</sup>.

El índice de yodo de los aceites de quinua negra y kiwicha fue de  $159,98 \pm 5,27$  y  $168,87 \pm 13,29$  respectivamente, estos altos valores indican el grado de insaturación de ambos aceites. El índice de saponificación hallado para el aceite de quinua negra fue de  $195 \pm 0,02$  y para el aceite de kiwicha fue de  $199 \pm 0,02$ , en ambos casos son valores altos que indican un alto contenido de ácidos grasos poliinsaturados, como se muestra en la Tabla 2 y que son muy cercanos a los de aceites de uso alimentario como el de soja ( $195,56 \pm 1,35$ ) y de girasol ( $197,14 \pm 0,56$ )<sup>22</sup>.

Los valores de los índices de yodo y de saponificación son indicativos de la alta calidad de estos aceites, y demuestran su potencial uso tanto en el ámbito alimentario como dermocosmético.

### **Actividad antioxidante**

La actividad antioxidante de los aceites de quinua negra y kiwicha se determinó utilizando el método de inhibición del radical DPPH a las concentraciones de 62,5, 125, 250, 500 y 1000 µg/mL como se muestra en la Tabla 4. Los resultados mostraron que todas las concentraciones presentan actividad antioxidante, siendo la concentración de 1000 µg/mL la que presentó la mayor actividad antioxidante para ambos aceites,  $57,23 \pm 0,16$  % para el aceite de quinua negra y  $61,30 \pm 0,14$  % para el aceite de kiwicha.



**Tabla 4.** Actividad antioxidante (% Inhibición  $\pm$  D.S) del aceite de *Chenopodium quinoa* Willd. var. INIA 420 Negra Collana (Quinua Negra) y *Amaranthus caudatus* L. var. Oscar Blanco (Kiwicha)

Muestras	Concentración ( $\mu\text{g/mL}$ )	Inhibición (%) DPPH*
<i>Chenopodium quinoa</i> Willd. var. INIA 420 Negra Collana (Quinua Negra)	62,5	--
	125	53,03 $\pm$ 0,09
	250	52,46 $\pm$ 0,09
	500	54,47 $\pm$ 0,14
	1000	57,23 $\pm$ 0,16
y = 0.0053x + 51.792		
IC <sub>50</sub> = 337,92 $\mu\text{g/mL}$		
<i>Amaranthus caudatus</i> L. var. Oscar Blanco (Kiwicha)	62,5	49,34 $\pm$ 0,16
	125	47,12 $\pm$ 0,10
	250	39,19 $\pm$ 0,04
	500	49,34 $\pm$ 0,14
	1000	61,30 $\pm$ 0,14
y = 0.016x + 43.055		
IC <sub>50</sub> = 433,94 $\mu\text{g/mL}$		

\*Datos por triplicado con media  $\pm$  desviación estándar.

Por otro lado, la concentración de aceite de quinua negra que se necesita para disminuir la concentración de DPPH en un 50% (IC<sub>50</sub>) fue de 337,92  $\mu\text{g/mL}$  y para el aceite de kiwicha fue de 433,94  $\mu\text{g/mL}$  como se muestra en la Tabla 4.

Estos valores son superiores al de otros aceites como el de jojoba (215  $\pm$  0,15  $\mu\text{g/mL}$ )<sup>23</sup>, aceite de semillas de uva (283,3  $\pm$  0,9  $\mu\text{g/mL}$ )<sup>24</sup>, en tanto que es inferior a aceites como el de aguacate (6200  $\pm$  0,4  $\mu\text{g/mL}$ ), salvado de arroz (500  $\mu\text{g/mL}$ )<sup>25</sup>.

Es importante mencionar además que, en investigaciones anteriores como la desarrollada por Benito-Román et al.,<sup>9</sup> se demostró que el aceite de *Chenopodium quinoa* extraído usando CO<sub>2</sub> supercrítico mostró mayor actividad antioxidante en comparación con el extraído usando como solvente hexano.

## CONCLUSIONES

En las muestras de aceite de las semillas de *Amaranthus caudatus* y *Chenopodium quinoa* se ha evidenciado un alto contenido de ácidos grasos insaturados que va de 65,73 a 79,95% respectivamente. Los ácidos grasos más abundantes fueron el ácido linoleico en 38,09 % y 50,99 % y el ácido oleico en 27,64 % y 28,96 % para *Amaranthus caudatus* y *Chenopodium quinoa* respectivamente. Las propiedades fisicoquímicas de ambos aceites son muy parecidas a las de otros aceites comúnmente utilizados y los valores de los índices de yodo y de saponificación son indicativos de su alta calidad demostrando su potencial uso tanto en el ámbito alimentario como dermocosmético. La actividad antioxidante usando el método de DPPH demostró un EC<sub>50</sub> de 337,92  $\mu\text{g/mL}$  para el aceite de *Chenopodium quinoa* y de 433,94  $\mu\text{g/mL}$  para el aceite de *Amaranthus caudatus*.

En la presente investigación se ha podido evidenciar que los aceites de quinua negra y kiwicha presentan importantes propiedades fisicoquímicas comparables a muchos de los aceites usados actualmente en alimentación y en dermatocósmica. Su alto contenido en ácidos grasos insaturados los convierte en potenciales aceites funcionales que podrían ser producidos industrialmente por los mismos productores de estos fabulosos granos andinos.

## AGRADECIMIENTO

Este trabajo fue apoyado financieramente con recursos de canon, sobre canon y regalías mineras de la Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco (Resolución Nro. R-0401-2018-UNSAAC).

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Repo-Carrasco R. Nutritional Value and Bioactive Compounds in Andean Ancient Grains. *Proceedings*. 2020; 53(1):1. doi: 10.3390/proceedings2020053001.
2. Hilali M, Charrouf Z, Souhli AEA, Hachimi L, Guillaume D. Influence of origin and extraction method on argan oil physico-chemical characteristics and composition. *J. Agric. Food Chem*. 2005; 53(6): 2081–2087.
3. Chemat F, Fabiano-Tixier AS, Vian MA, Allaf T, Vorobier E. Solvent-free extraction of food and natural products. *Trends Anal Chem*. 2015; 71: 157-168.
4. Uribe JAR, Perez JIN, Kaul HC, Rubio GR, Alcocer CG. Extraction of oil from chia seeds with supercritical CO<sub>2</sub>. *J Supercrit Fluids*. 2011; 56(2): 174-8.
5. AOAC Official Method. 920.212-1920, Specific gravity (apparent) of oils, pycnometer method. Washington D.C., USA: Association of Official Analytical Chemistry; 2014.
6. Horwitz W, Latimer G. AOAC International Official methods of analysis of AOAC International. 17th ed. Gaithersburg (MD), USA: Association of Official Analytical Chemistry; 2000.
7. Christodouleas DC, Fotakis C, Nikokavoura A, Papadopoulos K, Calokerinos AC. Modified DPPH and ABTS assays to assess the antioxidant profile of untreated oils. *Food Anal Methods*. 2015; 8(5): 1294-1302.
8. Koziol M. Chemical composition and nutritional evaluation of Quinoa. (*Chenopodium quinoa* Willd). *J Food Comp Anal*. 1992; 5(1): 35-68.
9. Benito-Román O, Rodríguez-Perrino M, Sanz MT, Melgosa R, Beltrán S. Supercritical carbon dioxide extraction of quinoa oil: Study of the influence of process parameters on the extraction yield and oil quality. *J Supercrit Fluids*. 2018; 139: 62-71.
10. Westerman D, Santos RCD, Bosley JA, Rogers JS, Al-Duri B. Extraction of Amaranth seed oil by supercritical carbon dioxide. *J Supercrit Fluids*. 2006; 37(1): 38-52.
11. Taribak C, Casas L, Mantell C, Elfadli Z, Metni RE, Martínez de la Ossa EJ. Quality of Cosmetic Argan Oil Extracted by Supercritical Fluid Extraction from *Argania spinosa* L. *J Chem*. 2013; 408194. doi:10.1155/2013/408194.
12. Wrona O, Rafińska K, Możeński C, Buszewski B. Supercritical fluid extraction of bioactive compounds from plant materials. *J AOAC Int*. 2017; 100: 1624-1635.

13. Paucar-Menacho LM, Dueñas M, Peñas E, Frias J, Martínez Villaluenga C. Effect of dry heat puffing on nutritional composition, fatty acid, amino acid and phenolic profiles of pseudocereals grains. *Pol J Food Nutr Sci.* 2018; 68(4): 289–297.
14. Martinez-Lopez A, Millian-Linares MC, Rodriguez-Martin NM, Millan F, Montserrat-de la Paz S. Nutraceutical value of kiwicha (*Amaranthus caudatus* L.). *J Funct Foods.* 2020; 65:103735. doi: 10.1016/j.jff.2019.103735.
15. Yang R, Zhang L, Li P, Yu L, Mao J, Wang X, et al. A review of chemical composition and nutritional properties of minor vegetable oils in China. *Trends Food Sci Technol.* 2018; 74: 26-32.
16. Evangelista MTP, Abad-Casintahan F, Lopez-Villafuerte L. The effect of topical virgin coconut oil on SCORAD index, transepidermal water loss, and skin capacitance in mild to moderate pediatric atopic dermatitis: a randomized, double-blind, clinical trial. *Int J Dermatol.* 2014; 53: 100-108.
17. Augustin M, Wilsmann-Theis D, Körber A, Kerscher M, Itschert G, Dippel M, et al. Diagnosis and treatment of xerosis cutis—a position paper. *J Dtsch Dermatol Ges.* 2019, 17, 3-33.
18. Codex Alimentarius Commission. 1999. Standard for named vegetable oils (Codex stan 210). [Internet]. FAO; 2021. [acesado 10 ene 2022]. Disponible en: <https://www.fao.org/3/y2774e/y2774e04.htm>
19. Ozcan MM, Ozkan G, Topal A. Characteristics of grains and oils of four different oats (*Avena sativa* L.) cultivars growing in Turkey. *Int J Food Sci Nutr.* 2006; 57: 345-352.
20. El Abbassi A, Khalid N, Zbakh H, Ahmad A. Physicochemical characteristics, nutritional properties, and health benefits of argan oil: A review. *Crit Rev Food Sci Nutr.* 2014; 54: 1401-1414.
21. Kong F, Singh RP. 12 - Advances in instrumental methods to determine food quality deterioration. En: Kilcast D, Subramaniam P, editors. *Food and beverage stability and shelf life.* Oxford, Philadelphia: Woodhead Publishing; 2011. pp. 381-404.
22. Mengistie T, Alemu A, Mekonnen A. Comparison of physicochemical properties of edible vegetable oils commercially available in Bahir Dar Ethiopia. *Chem Int.* 2018; 4(2):130-135.
23. Baccouch N, Salah HB, Belhadj S, Hentati O, Abdennabi R, Gharsallah N, et al. Chemical characterization and biological activities of *Simmondsia chinensis* (Link) CK Schneid seeds oil. *Cell Mol Biol (Noisy-le-grand).* 2018;64(4):11-16.
24. Ferreira SM, Santos L. A Potential Valorization Strategy of Wine Industry By-Products and Their Application in Cosmetics—Case Study: Grape Pomace and Grapeseed. *Molecules.* 2022; 27(3): 969. doi: 10.3390/molecules27030969.
25. Xuan TD, Gangqiang G, Minh TN, Quy TN, Khanh TD. An overview of chemical profiles, antioxidant and antimicrobial activities of commercial vegetable edible oils marketed in Japan. *Foods.* 2018; 7(2): 21. doi: 10.3390/foods7020021.

## DISEÑO DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS GRISES CLARAS PARA REUSO COMO AGUA DE REGADÍO.

Fernando Anaya Meléndez<sup>a</sup>, Elizabeth Norma Espinosa Descalzo<sup>b</sup>, Jorge Eduardo Loayza Pérez<sup>c</sup>, Raúl Armando Zamudio Castillo<sup>d</sup>, Manuel Augusto Yáñez López<sup>e</sup>

### RESUMEN

El artículo tiene como objetivo fundamental proponer un diseño efectivo para el tratamiento óptimo de aguas grises claras, las cuales siguen la clasificación de los diferentes tipos de aguas residuales como resultado de la prestación de un servicio tanto a nivel doméstico, como industrial. Según el grado de impurezas contenidas en dichas aguas residuales, se clasifican por ese orden en aguas negras, aguas grises oscuras y aguas grises claras. En el diseño propuesto, se hace una diferenciación de los desagües, que permiten tratar in situ a las aguas grises recolectadas en los servicios higiénicos situados en el quinto piso de la Facultad de Química e Ingeniería Química de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos. En la investigación se realizó la recolección, cuantificación, caracterización y tratamiento de las aguas grises, para un caudal promedio de 26.12 L/h (2.00 m<sup>3</sup>/día). Se midieron in situ (en muestras individuales): T (°C) = 21.5 – 23.0; pH (a 20 °C) = 7.32 – 8.03; Conductividad C (μS/cm) = 873 – 1083, Turbiedad (NTU) = 295 – 305; y en muestras compuestas (compósitos) se determinaron: SSS (mL/L) = 1:00, Dureza Total (mg/L) = 389, Alcalinidad Total (mg/L) = 136, DBO (mg O<sub>2</sub>/L) = 8, DQO (mg O<sub>2</sub>/L) = 163. La relación R = DBO/DQO = 0.05, indica que el tratamiento del agua gris debe ser fisicoquímico, descartándose el uso de un método biológico. Para poder utilizar el agua con fines de regadío se redujo la DQO a escala de laboratorio, mediante filtración por diferentes medios, obteniéndose una DQO (mg/L) = 18 (% reducción = 89), que cumple con los ECA-Agua para riego.

**Palabras clave:** Diseño, Sistema de Tratamiento, aguas grises, reúso, agua de regadío, desagües.

## DESIGN OF A CLEAR GRAY WATER TREATMENT SYSTEM FOR REUSE AS IRRIGATION WATER.

### ABSTRACT

The main objective of the article is to propose an effective design for the optimal treatment of clear gray water, which follows the classification of the different types of wastewaters as a result of the provision of a service both at a domestic and industrial level. Depending on the

<sup>a,b,c</sup> Facultad de Química e Ingeniería Química, Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Calle Germán Amezaga 375, Lima 01, Perú, fanayam@unmsm.edu.pe

<sup>d</sup> Asesor del Programa de Educación Sanitaria y Ambiental (PESA)- SEDAPAL.

<sup>e</sup> P&S Chemical Engineering S.A.C.

degree of impurities contained in the wastewater, it is classified in that order as black water, dark gray water and light gray water. In the proposed design, a differentiation of the drains is made, which allows treating in situ the gray water collected in the hygienic services located on the fifth floor of the Faculty of Chemistry and Chemical Engineering of the National University of San Marcos. In the investigation, the collection, quantification, characterization and treatment of gray water was carried out, for an average flow of 26.12 L/h (2.00 m<sup>3</sup>/day). They were measured in situ (in individual samples): T (°C) = 21.5 - 23.0; pH (at 20°C) = 7.32 - 8.03; Conductivity C (μS/cm) = 873 - 1083, Turbidity (NTU) = 295 - 305; and in composite samples (composites) the following were determined: SSS (mL/L) = 1.00, Total Hardness (mg/L) = 389, Total Alkalinity (mg/L) = 136, BOD (mg O<sub>2</sub>/L) = 8, COD (mg O<sub>2</sub>/L) = 163. The ratio R = BOD/COD = 0.05, indicates that gray water treatment must be physical-chemical, ruling out the use of a biological method. In order to use the water for irrigation purposes, the COD was reduced on a laboratory scale, through filtration by different means, obtaining a COD (mg/L) = 18 (% reduction = 89), which complies with the ECA-Water for irrigation.

**Key words:** Design, Treatment System, greywater, reuse, irrigation water, drainage.

## INTRODUCCIÓN

En estos momentos del siglo XXI ante variados problemas que afronta el mundo contemporáneo, debido a la escasez, el mal uso del agua potable y la disminución de las fuentes de agua dulce, la problemática del agua es un punto permanente en la agenda de discusiones de los principales organismos de cada país<sup>1-4</sup>. Entre los factores que gravitan sobre estos problemas están sin duda alguna, el crecimiento de la población y su distribución heterogénea, dado que, en las urbes reside en promedio el 80% de los habitantes del Perú<sup>5-6</sup> además del consumo indiscriminado de este líquido vital para la vida y el Desarrollo Sostenible (DS)<sup>7</sup>

Al respecto cabe señalar que a nivel planetario se cuenta sólo con alrededor del 1% de agua consumible directamente ya que la gran mayoría se deposita en los océanos y otra parte en los glaciales y los polos en forma de hielo<sup>7</sup>

Si unimos a estas realidades la poca conciencia social en cuanto a su uso, lo que provoca a su vez una acumulación de aguas residuales que en la mayoría de los casos no se pueden reutilizar, entonces la situación se agrava más.

En el presente trabajo se tienen en cuenta definiciones básicas del objeto de estudio de este artículo. A las aguas residuales provenientes de todo el conglomerado después que se utiliza para sus servicios, se les denomina aguas negras que se unen en un desagüe común y van a parar a la red de tuberías de desagües. Se llaman aguas negras porque contienen restos de metabolismo humano provenientes de servicios higiénicos e inodoros.

En general, estas aguas se clasifican en aguas negras propiamente dichas (originadas por los desechos humanos), aguas grises oscuras (surgidas de los fregaderos, cocinas, y lavado de

ropa) y finalmente las aguas grises claras que surgen de las duchas, lavabos y otras fuentes de baja carga orgánica<sup>10-15</sup>

En la investigación que sirve de base para este trabajo se realizó un muestreo en los baños de la Facultad de Química e Ingeniería Química de la Ciudad Universitaria de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos, donde se recomienda propiciar el uso de desagües diferenciados con el fin de verter una menor cantidad de aguas negras y tratar in situ las aguas grises claras.

Como modo de ilustrar con mayor claridad la magnitud del problema para su comprensión, si ingresan 100 litros de agua potable y se utilizan de ellos 30 litros como fluido de arrastre en los inodoros, entonces si hubiera desagües diferenciados se producirían 30 litros de aguas negras, pero como no hay dichos tipos de desagües, los 70 litros de aguas restantes se mezclan con los anteriores, transformándose en 100 litros de aguas negras.

A nivel nacional, especialmente en Lima Metropolitana, el caso es sumamente crítico, ya que a pesar de ser una megaciudad con las complejidades que ello conlleva, su composición es bastante heterogénea y las cuencas abastecedoras provenientes de los ríos Rímac, Chillón y Lurín, presentan escasez hídrica y alto grado de contaminación<sup>6-8</sup> Es por ello, que si el proyecto diseñado consistente en la separación de las aguas residuales para tratar convenientemente las aguas grises claras, se extendiera a nivel distrital resultaría un logro altamente positivo partiendo de lo que se propone en este trabajo, ya que brinda una opción de reúso sostenible de dichos efluentes<sup>11-15</sup>

## **PARTE EXPERIMENTAL. PRIMERA FASE**

### **2.1. Metodología y recolección de datos.**

A nivel experimental, se tomaron como referencia los servicios higiénicos y lavamanos del 5º piso del Pabellón Antiguo de la Facultad de Química e Ingeniería Química de dicha universidad, y se procedió a separar temporalmente, la línea de aguas grises antes de que se mezclen con la línea de aguas negras, para la realización del muestreo.

Luego se tomaron muestras de aguas grises cada dos horas, de estos servicios higiénicos tanto de mujeres como de hombres. A continuación, se ha procedido a la medición de los siguientes parámetros: Temperatura, pH, Conductividad y Turbiedad. Las aguas que se han analizado forman parte de las denominadas aguas grises claras y los resultados obtenidos (y estimados), son los que se han utilizado para el diseño del sistema de tratamiento. También se estimó la cantidad total de aguas grises, generada en los cinco pisos del referido pabellón.

La separación de estas aguas y su tratamiento se realizó como sigue:

Primero: Se acondicionaron los servicios higiénicos del 5to. Piso del Pabellón Antiguo de la Facultad de Química e Ingeniería Química (Ciudad Universitaria), para la recolección de aguas grises.

Segundo: Se recolectaron las aguas grises de cada uno de los lavamanos de los servicios cada dos horas, en los siguientes horarios: 08:00 horas, 10:00 horas, 12:00 horas, 14:00 horas y 16:00 horas. En cada caso se tomó una muestra de 1 L de cada uno de los recipientes preparados y acondicionados adecuadamente para tal fin.

Tercero: Los muestreos se repitieron durante cinco días (de lunes a viernes), calculándose las cantidades recolectadas, determinando los caudales generados.

Cuarto: En cada uno de los recipientes de 1 L, se determinaron los siguientes parámetros de caracterización: Temperatura (en °C), pH, Conductividad (en  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) y Turbidez (en NTU), en muestras simples<sup>9</sup>

Quinto: En las muestras compuestas, se determinaron otros parámetros, tales como: Alcalinidad,  $\text{CO}_3^{2-}$  (mg/L), Alcalinidad,  $\text{HCO}_3^-$  (mg/L), Dureza total,  $\text{CaCO}_3$  (mg/L), SSS – Sólidos Suspendidos Sedimentables (mL/L) y Tensoactivos, mg /L (SAAM)<sup>9</sup>

Sexto: La determinación de los parámetros DBO<sub>5</sub> y DQO, se realizó en un laboratorio externo.

Séptimo: Luego se hizo la estimación de la cantidad total generada, tomando en cuenta factores de corrección, asignados por el grupo de investigación GI ITECTARI.

Octavo: Con la información recopilada se procedió al Diseño del Sistema de Tratamiento.

## 2.2. Caracterización del agua residual y tratamiento por filtración.

La caracterización del agua residual se realizó en el laboratorio 523 A, con que cuenta el Grupo de Investigación ITECTARI, en el 5to. Piso del Pabellón Antiguo de la Facultad de Química e Ingeniería Química. Tomando en cuenta los requerimientos de la Facultad, se determinó la reutilización futura del agua tratada, la cuál sería aprovechada para el riego de los jardines de la Facultad de Química e Ingeniería Química en la Ciudad Universitaria. Este tratamiento corresponde a una primera fase y se verificó el cumplimiento de las características de calidad del agua tratada en referencia al DS N°004-2017-MINAM, ECA Agua categoría 3 para agua destinada al riego de vegetales<sup>9</sup> (DQO 40 mg de O<sub>2</sub>/L; DBO<sub>5</sub> de 15 mg de O<sub>2</sub>/L y detergentes (SAAM) 0.2 mg/L como valores máximos). Para la filtración que permitiera remover la DQO presente en el agua gris, se procedió a ejecutar los siguientes pasos:

- Se preparó la muestra sintética de agua gris, con el agua residual proveniente del lavado de las manos y dientes, las cuales se almacenaron en un balde de 20 litros. Después de dejarlo por un día, se observó la presencia de material flotante y sedimentos.
- Luego de realizar la separación del material flotante con una paleta, se tomó la solución sobrenadante y se procedió a la filtración a través de un filtro de arena de sílice: malla >10, de 20 cm de diámetro y 8 cm de altura ( $V = 251.3 \text{ cm}^3$ ), produciéndose una filtración rápida, que aparentemente no modificó la composición del agua residual.
- Posteriormente, se realizó la filtración a través de un filtro de sílice: malla < 10, de 20 cm de diámetro y 8 cm de altura ( $V = 251.3 \text{ cm}^3$ ), en el cual se observó una filtración lenta con un caudal de 29.3 mL/min, pero que condujo a una solución más transparente, a la cual se analizó la DQO (cantidad de oxígeno necesario para descontaminar el agua).
- En el análisis realizado por un laboratorio externo, se obtuvo un valor para la DQO = 18 mg/L (análisis por duplicado).

**Tabla 1.** Caracterización parcial del agua gris (agua residual)

Variable (Unidades)	Valor obtenido	Luego del tratamiento	Observaciones
Temperatura (°C)	20.5		Rango, cumple
pH	7.6		Rango, cumple
Turbiedad (NTU)	61.5		Rango, cumple
Conductividad, $\mu\text{S}/\text{cm}$	975		Rango, cumple
Alcalinidad, $\text{CO}_3^{2-}$ (mg/L)	No detectable		
Alcalinidad, $\text{HCO}_3^-$ (mg/L)	136		
Dureza total, $\text{CaCO}_3$ (mg/L)	389		
SSS (mL/L)	1		
DQO, $\text{mg O}_2/\text{L}$	163	18	Se reduce en 89%
DBO <sub>5</sub> , $\text{mg O}_2/\text{L}$	8		Laboratorio externo
Tensoactivos, $\text{mg}/\text{L}$ (SAAM)	0.02		

### 2.3. Resultados de la caracterización.

Los resultados de la caracterización se muestran en la Tabla 1, en la cual se incluyen aquellos reportados por un laboratorio externo, para el caso de la determinación de la DQO y la DBO<sub>5</sub> (la última indica la cantidad de oxígeno que las bacterias y otros microorganismos consumen durante 5 días a una temperatura de 20°C) <sup>9</sup>.

En el análisis de la tabla anterior, se obtuvo el resultado de las variables y su valor, donde se observa que la cantidad de oxígeno para descontaminar el agua (DQO) baja considerablemente después del tratamiento, de 163  $\text{mg O}_2/\text{L}$  a 18  $\text{mg O}_2/\text{L}$ , con lo cual se cumple con la norma para riego de vegetales mencionada previamente <sup>9</sup>.

Un aspecto importante por resaltar es que las muestras se tomaron antes de la suspensión de la actividad presencial debido a la pandemia, tomándose como referencia lo que aclaramos en la introducción sobre los servicios higiénicos del 5to. piso de la Facultad de Química e Ingeniería Química (FQIQ), de donde se ofrecen los datos siguientes:



## CÁLCULOS BÁSICOS EN BASE A LA INFORMACIÓN RECOPIADA:

### Nota importante:

Las muestras se tomaron antes de la suspensión de actividad presencial por la pandemia del COVID-19, del 5 al 9 de noviembre de 2018.

Se tomó como referencia el 5° Piso de la FQIQ:

$$Q_{SSHH \text{ MUJERES}} = 5.78 \text{ L/h/piso}$$

$$Q_{SSHH \text{ HOMBRES}} = 11.63 \text{ L/h/piso}$$

$$Q_T = \text{Caudal Total 5° Piso (experimental)} = 17.41 \text{ L/h/piso}$$

$F_{\text{pérdidas}}$  = Factor de corrección (por pérdidas) = 1.5 (determinado por el Grupo de Investigación GI ITECTARI)

$$Q_{Tc} = \text{Caudal Total 5° Piso (corregido)} = 26.115 \text{ L/h/piso}$$

t = tiempo (en horas) del uso de los servicios higiénicos = 15 horas (8:00 a 22 Horas).

Considerando que 1 día = 15 h.

$F_{\text{piso}}$  = Factor de corrección (por pisos) = 5

$$Q_{TPA} = \text{Caudal Total Pabellón Antiguo (corregido)} = 15\text{h/día} \times 5 \text{ pisos} \times 26.115 \text{ L/h/piso} = 1958.625 \text{ L/día} \approx 2 \text{ m}^3/\text{día}$$

$$Q = 2 \text{ m}^3/\text{día} \text{ (Detalle: m}^3 \text{ de aguas grises/día de 15 horas)}$$

(Nota: La planta a instalar en la FQIQ procesará un caudal de aguas grises)

$$Q_{\text{diseño}} = 130.575 \text{ L/h} \approx 150 \text{ L/h (aproximado a este valor).}$$

Caudal de diseño a escala banco (propuesta del GI ITECTARI):

$$Q_{\text{diseño-banco}} = Q_{\text{diseño}}/3 = (150 \text{ L/h})/3 = 50 \text{ L/h}$$

### **2.4. Diseño de un sistema de filtros (filtración lenta) para ser colocados en los jar-dines de la FQIQ.**

Luego de tener la caracterización de la muestra y sus resultados, se procedió al diseño del sistema de filtros basado tradicionalmente en su sencillez y utilizado para remover la turbiedad. Este se apoya en la reducción de velocidad de flujo para favorecer la sedimentación y, como consecuencia, contribuir a la clarificación del agua 11-15.

El sistema consta de sedimentadores en los que se aporta como elemento de perturbación de inercia, material de bajo costo y de fácil obtención que actúa como medio filtrante (específicamente piedra de río o de "canto rodado") con un tamaño específico para favorecer la retención de partículas de acuerdo al diámetro indicado en cada etapa. Generalmente estos sistemas se adaptan muy bien a rangos de turbiedad de medios a bajos.

Como se puede observar en el esquema de la Figura 2, la zona acondicionada como ingreso sumergido de cada unidad o módulo tiene piedras grandes de canto rodado con una longitud promedio entre 6 a 8 pulgadas a modo referencial, con el objetivo de asegurar un flujo libre de agua a cada etapa subsiguiente. Esto hace posible un mayor margen de tiempo de servicio

de cada unidad, evitando la obstrucción por problemas de pérdida de carga o problemas colaterales. Además, permite establecer mejores criterios para definir los periodos de lavado o de mantenimiento de las unidades 12-15.

Estos sistemas son muy sencillos, eficientes y de bajo costo, pero es menester entender que la operación y mantenimiento correctos dependen del control constante y sostenibilidad de los rangos de trabajo para los que fueron diseñados.

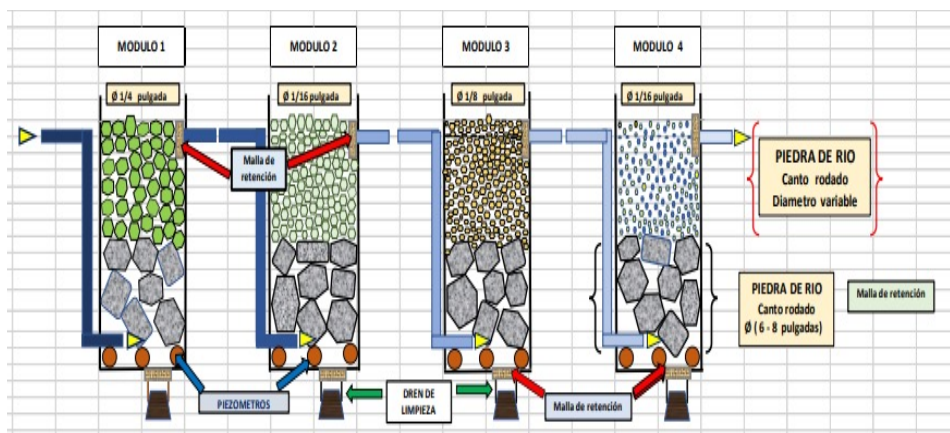


Figura 1. Esquema que representa la separación de aguas negras y grises.

Fuente: Elaboración propia.

A continuación, se ofrecen los cálculos básicos para dicho filtro de arena en que se indican los pasos correspondientes:

Tabla 2. Cálculos básicos y los pasos seguidos para el diseño de un filtro lento de arena tomando como referencia los heurísticos o reglas heurísticas. Elaboración propia.

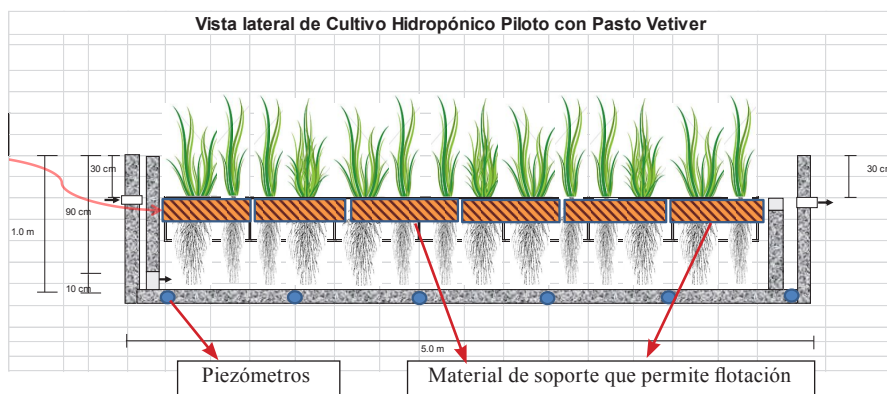
PASOS	RELACIONES BÁSICAS	DATOS Y CÁLCULOS BÁSICOS	VALORES
		Q = Caudal de diseño - banco	Q = 50 L/h
		$t_f$ = Tasa de filtración (Heurístico)	$(0.1 - 0.2) \frac{m^3}{m^2 \cdot xh}$
1	$Q = t_f \times A_f$	$t_f$ = Asumiendo dentro del rango	$t_f = 0.1 \frac{m^3}{m^2 \cdot xh}$
2	$A_f = Q/t_f$	$A = [50(L/h)/(0.1 \frac{m^3}{m^2 \cdot xh})] \times (1m^3/10^3L)$	$A_f = 0.50 m^2$
3	$D_f = (\frac{4A}{\pi})^{1/2}$	$D_f = (\frac{4 \times 0.50 m^2}{\pi})^{1/2}$	$D_f = 0.80 m$

## PARTE EXPERIMENTAL. SEGUNDA FASE

### 3.1. Biofiltración (humedal artificial usando Pasto Vetiver)

La segunda fase es una propuesta de proyecto (en proceso), y se refiere a la iniciativa de la utilización de un tipo de pasto para atrapar impurezas por medios naturales, aunque a nivel de ensayo se propone un humedal artificial 16.. Este humedal artificial de flujo subsumergido se toma considerando la especie vegetal a usar: en este caso, Pasto Vetiver (PV), que tiene una gran capacidad para retener la máxima cantidad de contaminantes (nutrientes) aprovechables, debido a su estructura radicular; por ello, es necesario favorecer que sólo las raíces estén permanentemente en contacto directo con el agua gris.

Debido a que el área donde se implementará dicho humedal artificial piloto se encuentra al lado de los laboratorios de la FQIQ, se usará en lugar de la grava y piedras como sustrato, un soporte que permita la flotación del pasto Vetiver, de tal forma, que se pueda utilizar las pozas de tratamiento con sembríos (cultivos) en forma de hidroponía, lo que permitiría asimismo evaluar opciones de mantenimiento más sostenibles (haciendo más rentable este proyecto). El siguiente esquema, ilustra cómo se dispondrán los elementos de esta fase.



**Figura 2.** Esquema que representa el filtro con pasto Vetiver.

**Fuente:** Diseño: Raúl Zamudio (Miembro del GI ITECTARI)

### 3.2. Descripción del filtro de pasto Vetiver

De acuerdo a las dimensiones del humedal hidropónico a evaluar se debiera considerar el número de plantas suficientes para empezar el control que, en este caso, lo aconsejable sería permitir entre planta y planta una separación inicial de 20 - 30 cm, y de ahí fomentar su desarrollo sin complicaciones, asumiendo que su función será la de asimilar los nutrientes a evaluar, los que provienen de las aguas con las que se está trabajando.

Para el caso de la FQIQ se sugiere construir en esta primera etapa dos baterías paralelas de 1m x 1m x 5 m con la finalidad de practicar un control redundante en caso de presentarse alguna interferencia no estimada originalmente.

Asimismo, se sugiere que el espesor del material flotante sea lo suficiente para sostener el tallo y raíces del Pasto Vetiver, considerando que la longitud del follaje debiera estar entre 15-20 cm y de 60 - 80 cm por la longitud de las raíces. También es necesario aclarar que los piezómetros considerados tendrán tres funciones importantes, ya que servirán para controlar los parámetros siguientes: turbiedad, parámetros de remoción y de variación de pérdidas de carga.

## CONCLUSIONES

La novedad de este artículo radica en evidenciar cómo las aguas grises pueden ser tratadas con fines de reutilización, en este caso para riego de áreas verdes partiendo de los servicios higiénicos donde se proyectó el diseño, además de otros posibles usos, tales como, limpieza de pisos de patios exteriores, en los mismos servicios higiénicos como fluido de arrastre en los inodoros y como agua de enfriamiento en la industria. De esta forma, además de su aporte ecológico, también resulta de un indiscutible valor práctico y económico cuando pueda ampliarse a escalas mayores, ya que las aguas grises en vez de desperdiciarse, pueden constituir un recurso muy importante para la economía formando parte de una correcta política de reciclaje, como exigen las condiciones actuales a nivel mundial.

El tratamiento propuesto depende del tipo de agua gris disponible y la carga de impurezas que contenga, por eso, primero se diseñó un filtro de arena, que es un equipo principal del sistema de tratamiento propuesto y que se demostró su eficiencia a nivel experimental, ya que la DQO bajó de 163 mg/L a 18 mg/L, que es un resultado significativo y permite su uso en riego de vegetales. Antes de la filtración se requiere instalar un sistema de separación de los sólidos suspendidos sedimentables, luego el filtro de grava-arena, seguido de un proceso de aireación para su uso en riego de los jardines.

Es posible la segregación de las aguas grises claras de los servicios higiénicos modificando las líneas de desagüe de los lavamanos. Los sólidos separados del agua gris, constituidos por jabones de calcio, magnesio y trazas de materia orgánica, pueden ser compostados por su biodegradabilidad, aportando nutrientes para los jardines.

Cabe resaltar que, a nivel de laboratorio, se ha demostrado la factibilidad de tratar las aguas grises claras a través de diferentes procedimientos, entre ellos el filtro de arena y grava, además del filtro exterior de Pasto Vetiver (PV), proyectado para ejecutar en la práctica en una segunda fase como etapa de pulido.

El reúso de las aguas grises tratadas, reduce la cantidad de aguas negras generadas, a la vez que disminuye el consumo de agua potable, la cual se utiliza actualmente para el riego de todos los jardines de la universidad. Cabe resaltar que, el agua usada para el riego proviene de un pozo ubicado en el campus, con el mayor costo que implica su extracción del subsuelo, además de la cloración, almacenaje y bombeo hacia los puntos de uso.

El presente proyecto, busca ser replicado en las diferentes facultades, con el propósito de contribuir a la economía y sostenibilidad de la institución, además de aportar a la formación de los estudiantes como futuros profesionales comprometidos con el Desarrollo Sostenible. Finalmente, el aporte social del proyecto, resulta en una gestión más económica y sostenible de los recursos hídricos sobre aquellas que requieren realizar grandes inversiones en mayor infraestructura para las Empresas Prestadoras de Servicios de Saneamiento (EPS) y/o en PTAR, esto debido al crecimiento demográfico constante, sumado a la migración desde las zonas rurales a las urbanas y la foránea, que viene incrementando la población urbana en el orden del 80% con respecto a la población total, niveles que requieren soluciones como las mostradas en este artículo para aportar al cumplimiento del 6º Objetivo del Desarrollo Sostenible: Agua y saneamiento para todos.

## **AGRADECIMIENTOS**

Nuestro reconocimiento a los estudiantes de la Facultad de Química e Ingeniería Química, quienes en la semana del 5 al 9 de noviembre de 2018 nos apoyaron en el muestreo y análisis de las muestras individuales de las aguas grises: Maycol Orozco, Stephanie Cruces, María Julia Torres, Karen Quintana, Israel Reátegui Pascasio, Alexandra Alvarado Vilela y Bárbara Cristina Orihuela Astete.

## **REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

1. Naciones Unidas (UN). Informe de los Objetivos del Desarrollo Sostenible. Nueva York: ONU; 2019.
2. OEFA Ministerio del Ambiente. Fiscalización Ambiental en Aguas Residuales. San Isidro, Lima: Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental; 2014.
3. Asamblea General de las Naciones Unidas. (2015). Resolución aprobada por la Asamblea General el 25 de setiembre de 2015 - Transformar nuestro mundo: La Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible e Indicadores de los ODS. [Internet] ONU; 2016. [accesado 15 feb 2022]. Disponible en: [https://unctad.org/system/files/official-document/ares70d1\\_es.pdf](https://unctad.org/system/files/official-document/ares70d1_es.pdf).
4. WWAP (Programa Mundial de Evaluación de los Recursos Hídricos de las Naciones Unidas). Informe Mundial de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos; 2017. Aguas Residuales: recurso desaprovechado. París: UNESCO; 2017.

5. MINAM. Ciencia para la sostenibilidad (2011-2016). El rol del sector Ambiente en la promoción de la Ciencia. Informes sectoriales de Ambiente. Lima: MINAM; 2016.
6. MINAM-SINIA. Cifras ambientales; 2017. Lima: MINAM; 2017.
7. MINAM. Ciudadanía Ambiental-Guía de Educación en Ecoeficiencia. Lima: MINAM; 2012.
8. Autoridad Nacional del Agua, ANA. Compendio Nacional de Estadísticas de Recursos Hídricos. Perú: 4 de abril 2018. Lima: ANA; 2019.
9. MINAM. D.S.N °004-2017. Estándares de Calidad de Agua (ECA-Agua). Lima: El Peruano; 2017.
10. Geiser G, Arroyo M. El agua como un recurso renovable. 1 ° edición. México: Trillas; 2011.
11. Gleason J. Sistemas de agua Sustentables en las Ciudades. México: Trillas; 2014.
12. Greywater Action (Version 2). [Internet]. 2015.[accesado 11 ene 2022]. Disponible en: <http://www.greywateraction.org>
13. Spellman F, Drinan J. Manual del agua potable. Zaragoza, España: Editorial Acribia; 2013.
14. Revitt DM, Eriksson E, Donner E. The implications of household greywater treatment and reuse for municipal wastewater flows and micropollutant loads. *Water Res.* 2011;45(4):1549-60.
15. Pidou M, Avery L, Stephenson T, Jeffrey P, Parsons SA, Liu S, Memon FA, Jefferson B. Chemical solutions for greywater recycling. *Chemosphere.* 2008;71(1):147-55.
16. Ruiz C, Rodríguez O. Desarrollo de un sistema de tratamiento para la remoción de flúor del agua mediante el uso del *Vetiveria zizanioides* L, en Guarataro, Yaracuy, Venezuela. [Tesis de magister]. Maracay, Venezuela: Universidad Central de Venezuela; 2006.

## EVALUATION OF THERMAL PROPERTIES AND PERMEABILITY OF BIOPLASTIC FILMS BASED ON STARCH, ALOE VERA AND GRAPHENE.

### ABSTRACT

The aim of this research was to obtain bioplastic films based on potato starch, graphene and aloe vera to study the effect of varying the content of these components on the thermal and permeability properties of the bioplastic. The water vapor barrier property is being of great interest in the study of bioplastic materials since materials with low permeability to water vapor are needed in the packaging industry to ensure the conservation of packaged products and are an alternative to conventional plastics. According to the results, two thermal decomposition zones were found, the first in the range of 100 to 280°C and the second around 300°C. A minimum value of permeability and permeability of 5,35 kg/h.kPa.m<sup>2</sup> and 0,001839 kg/h.kPa.m, respectively, was also found at a graphene concentration of 0,005%w/w; aloe concentration of 24% w/w; and starch concentration of 10% w/w.

**Key words:** bioplastic, permeability, starch, aloe, graphene.

## EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES TÉRMICAS Y PERMEABILIDAD DE PELÍCULAS BIOPLÁSTICAS A BASE DE ALMIDÓN, ALOE VERA Y GRAFENO.

Mercedes Puca Pacheco<sup>a\*</sup>, Manuel Aguilar Vega<sup>b</sup>, Gonzalo Canché Escamilla<sup>b</sup> and María Guadalupe Neira Velázquez<sup>c</sup>.

### RESUMEN

El propósito de la presente investigación fue obtener películas de bioplásticos a base de almidón de papa, grafeno y aloe vera para estudiar el efecto de la variación del contenido de estos componentes sobre las propiedades térmicas y de permeabilidad en el bioplástico. La propiedad barrera al vapor de agua está siendo de gran interés en el estudio de materiales bioplásticos ya que en la industria del embalaje se necesitan materiales con baja permeabilidad al vapor de agua para asegurar la conservación de los productos envasados y son una alternativa a los plásticos convencionales. De acuerdo a los resultados se encontraron dos zonas de descomposición térmica, la primera en el rango de 100 a 280°C y la segunda cerca de 300°C. También se encontró un valor mínimo de permeabilidad y permeabilidad de 5,35 kg/h. kPa.m<sup>2</sup> y 0,001839 kg/h.kPa.m, respectivamente, a una concentración de grafeno de 0,005%p/p; concentración de aloe del 24% p/p; y concentración de almidón de 10% p/p. **Palabras clave:** bioplástico, permeabilidad, almidón, aloe, grafeno.

<sup>a\*</sup> Facultad de química e Ingeniería Química, Universidad Nacional Mayor de San Marcos, CP 15081, Lima, Perú. \*mpucap@gmail.com

<sup>b</sup> Centro de Investigación Científica de Yucatán A.C., Unidad de Materiales, CP 97205, Yucatán, México.

<sup>c</sup> Centro de investigación en Química Aplicada, CP 25294, Coahuila, México.

## INTRODUCTION

Biodegradable materials within the classification of bioplastics that are generated from biomass have become of great scientific interest, to replace conventional plastics (non-biodegradable) from petroleum derivatives, which is generating pollution for long periods in the environment<sup>1</sup>.

Bioplastics can be used in the packaging industry in which the objective is to maintain the physical, chemical, nutritional and functional characteristics in optimal conditions until consumption. For this reason, among the most relevant properties to be considered are mechanical resistance, optical property, chemical property, thermal stability, density and barrier property both to humidity and to different gases, being of importance since a packaging material must present little permeability to these so that the product has a longer useful life<sup>2</sup>.

One of the ways to reduce vapor transmission through polymeric films is through the addition of hydrophobic materials. Graphene is both hydrophobic and impermeable to all gases within ambient conditions<sup>3</sup>. In general, a hydrophobic material imparts a poor barrier to oxygen and a hydrophilic material imparts a poor barrier to water vapor<sup>4</sup>. By incorporating graphene nanoparticles into a polymeric matrix, a polymeric nanocomposite is obtained that allows a change in its properties to be generated, thanks to the interaction between the polymer and the nanoparticles<sup>5</sup>. Composite materials are important today due to their advantageous properties, which are significantly different from the properties of each phase separately. Starch is a polymer made up of long chains of glucose molecules held together by glycosidic bonds and therefore has a chemical formula of  $(C_6H_{10}O_5)_n$ . At the molecular level, starch is composed of two main polymeric constituents (amylose and amylopectin), whose properties and proportions vary depending on the source<sup>6</sup>. On the other hand, the starch present in the polymeric matrix produces intra- and intermolecular hydrogen bonds and presents a partial crystallinity which provides a barrier to oxygen molecules and imparts a barrier to water vapor due to its swelling<sup>7</sup>.

The purpose of this research work was to find the effect of starch, aloe vera and graphene on vapor permeability as well as on thermal and thermogravimetric resistance, since they are among the determining factors for their use in food packaging, among others.

## EXPERIMENTAL PART

### Materials

For the synthesis of graphene, graphite from Sigma-Aldrich was used. Sulfuric acid at 98% w/w, potassium permanganate, concentrated hydrochloric acid at 36,5% w/w and ascorbic acid purchased from Merck (Peru) were also used. Tridistilled, deionized and filtered water was used. Yungay potato tubers (*Solanum tuberosum*) from the department of Huánuco in



Peru were used. Aloe vera (*barbadensis* Miller) from Lima was used. Venturo brand vinegar and glycerin purchased from Laboratorio Alkofarma EIRL were used.

## **Methods**

### ***a. Process for obtaining starch, aloe vera and graphene.***

Yungay potato starch was obtained by the wet extraction method<sup>8</sup> For this, the Yungay potato was harvested, washed and peeled, after which they were chopped into approximately 3 cm sizes and blended with cold boiled water in a proportion of 1: 1 to facilitate starch extraction. It was left to rest for 24 hours in a plastic bucket to decant the starch. The supernatant liquid was then removed, and then the starch was washed with distilled water up to 3 times. The water was then removed leaving the starch at the bottom of the container. The starch obtained was placed in a glass tray and dried in an oven at 50°C for 15 hours. Finally, the starch was pulverized using a mortar and stored in an airtight bottle at a temperature of 20°C<sup>9</sup>. Thus, starch granules of 5 to 10 microns were obtained.

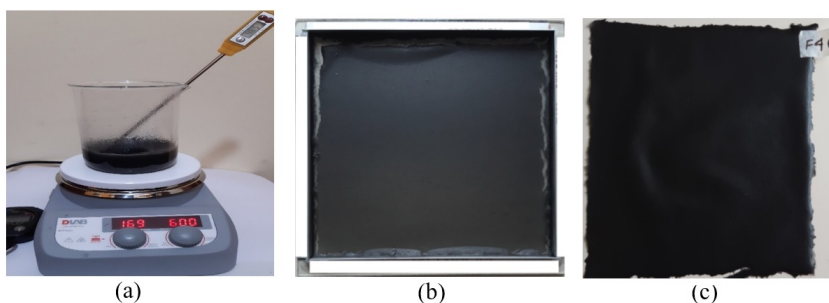
To obtain the aloe vera gel, the manual separation method by filleting was used, in which the collected aloe vera leaves were washed to remove all impurities. They were then placed for 2 days in a bucket of drinking water to remove the iodine. Then the bark was separated by filleting to leave only the pulp (aloe vera). The separated pulp was chopped and subsequently liquefied for 5 min. to obtain good homogeneity<sup>10, 11</sup>.

Graphene was obtained by the modified Hummer method<sup>12</sup>. The following procedure was used to obtain graphene: 0,5 g of graphite was weighed and poured into a 250 mL erlenmeyer flask, and then the flask, was placed in an ice bath, then 23 mL of concentrated sulfuric acid were slowly added, keeping the solution at a temperature below 20°C and stirring for 4 hrs. Then 3 g of solid KMnO<sub>4</sub> were added slowly and the stirring was maintained for 1 h more in an ice bath to avoid any explosion. The solution was then heated to 35°C, removing it from the ice bath, and keeping it under stirring for 1 hour more, so that the KMnO<sub>4</sub> could be oxidized. Next, 45 ml of distilled water were added and the temperature was raised to 95°C; keeping it under stirring for 2 hours, preventing it from boiling during the reaction. Finally, 10 ml of 30% hydrogen peroxide solution was added, and it was stirred for 1 h more. Graphene oxide was washed with a 5% w/v HCl solution, then with distilled water until the pH of the filtrate was 7. The graphene oxide formed was poured into a 250 ml beaker and 200 ml of a 5% m/v ascorbic acid solution was added to achieve the reduction of the graphene oxide and the solution was kept under stirring for 2 hrs. In this stage, topological defects and vacancies produced during the elimination of functional groups can be created<sup>13</sup>. Then, the filtering and washing process was carried out with distilled water until the filtered water had a pH of 7. Finally, the obtained graphene was dried at 50°C for 2 days.

### **b. Preparation of bioplastic films.**

For the preparation of the bioplastic films, the following procedure was used: potato starch was poured into the water, heated to 40°C, and mixed for 10 min., 7 g of vinegar (5% w/v acetic acid) was added and stirred for 15 minutes to produce acid hydrolysis of starch and

to remove amylopectin branches. Aloe vera gel was added and after 10 min of stirring, graphene (previously sonicated in 30 mL of distilled water for 30 minutes) was also added, and agitation was continued by other 15 minutes (See Figure 1 (a)). Then 5 g of glycerin were added to provide flexibility to the bioplastic and the mixture was stirred for 10 minutes. The solution was heated between 60°C and 70°C and stirred for approximately 5 minutes until the mixture acquired a certain viscosity and then was poured into a 20 x 20 cm glass mold (see Figure 1(b)). The solution was dried in an oven at 60°C for 10 hours (to complete obtaining of the film) (see Figure 1(c))



**Figure 1.** Images of the bioplastic preparation process at laboratory level (a) mold with the dry film (b) and the bioplastic film (c).

### c. Experimental design

To evaluate the effect of the concentrations of Yungay potato starch, aloe vera gel, and graphene on the thermal stability of the films, an experimental design was proposed through a factorial analysis, with three factors: the starch concentration (%w/w), the aloe concentration (%w/w) and the graphene concentration (%w/w), with two levels for each factor: high level (+) and low level (-) as shown in Table 1. The range of graphene concentration was considered from 0,005 to 0,045%, since at higher concentrations the films were brittle.

**Tabla 1.** Factorial design  $2^3$ .

Experimental Run	Notation [starch][aloe][graphene]	[starch] % w/w	[aloe gel] % w/w	[Graphene] % w/w
F1G	(+)(+)(+)	10	24	0,045
F2G	(-)(-)(-)	6	20	0,005
F3G	(+)(+)(-)	10	24	0,005
F4G	(+)(-)(+)	10	20	0,045
F5G	(-)(+)(-)	6	24	0,005
F6G	(-)(-)(+)	6	20	0,045
F7G	(+)(-)(-)	10	20	0,005
F8G	(-)(+)(+)	6	24	0,045
I1	(0)(0)(0)	8	22	0,025
I2	(0)(0)(0)	8	22	0,025

In each run, the glycerin concentration was maintained at 5% w/w, vinegar concentration at 7% w/w and the rest distilled water was used until completing 100% in the formulation.

Glycerin was added as a plasticizer to favor the formation of the film and give it flexibility, although this also produces an increase in permeability.

#### **d. Characterization of materials and starch films**

For the structural characterization, a Nicolet model protege 8700 equipment with an ATR accessory and ZnSe crystal was used, making 6 scans from 4000 to 650  $\text{cm}^{-1}$ , and a resolution of 4  $\text{cm}^{-1}$ .

The crystallographic structure and the presence of graphene were analyzed by X-ray diffraction (XRD) using a BRUKER brand diffractometer, model D8-FOCUS, which used a Cu tube, whose wavelength corresponding to  $\text{K}\alpha 1\text{-Cu}$  was  $\lambda = 1,5406 \text{ \AA}$ . X-ray generator with tube output voltage = 40 kV and tube output current = 40mA in a measurement range between 10 to 80° on the  $2\theta$  scale.

To evaluate the thermal stability and the decomposition temperature of the bioplastic, a TA Instruments model Q500 thermogravimetric analyzer (TGA) was used. Samples were analyzed from 50°C to 800°C at a heating rate of 10°C/min. under an inert atmosphere of nitrogen.

To evaluate the thermal transitions of the materials, a TA Instruments model Q200 Differential Scanning Calorimeter (DSC) was used. For the analysis, 10 mg of sample were weighed in aluminum trays, sealed and placed in the equipment. Analysis conditions were set from -50 °C to 225 °C with a heating rate of 10 °C/min under a nitrogen gas flow of 50 mL/min in order to maintain an inert atmosphere.

The morphology analysis of the cross section of the bioplastics was observed using a JEOL 6360LV SEM scanning electron microscope operated at 20 kV.

For the determination of the water vapor transmission (WVT) and the permeance in the starch/aloe vera/graphene films, the standard ASTM E96/E96M-14: Standard Test Method for Water Vapor Transmission of Materials was used, using the desiccant method or dry cup method. Permeability cups of 25  $\text{cm}^2$  were assembled for each bioplastic film. To do this, the cups were filled with desiccant (silica gel) to a limit of 1/4 inch (6 mm) before the upper edge, the test film (cut to the size of the cup frame) was placed on the seal of plastic (see Figure 2). The surface that was exposed to the environment during the manufacture of the film is the one that came into contact with the high moisture side of the system. The neoprene seal was placed on the metal ring and the cup lid was screwed on. Once the initial weight of the assembled cups was obtained, they were placed inside a desiccator, which contained distilled water in its lower part, which was previously conditioned to a relative humidity (RH) of  $70 \pm 5\%$  and a temperature of  $23,0 \pm 0,5^\circ\text{C}$ . The weight of the assembled cups was recorded every 15 minutes for 8 hrs and finally the 24 hours weight was taken. For each evaluated material,

the weight of the crown was plotted as a function of the elapsed time and when at least 4 points were adjusted to a straight line, a stationary state was assumed, with the slope of the straight line being the speed or speed of transmission of water vapor (Gt).

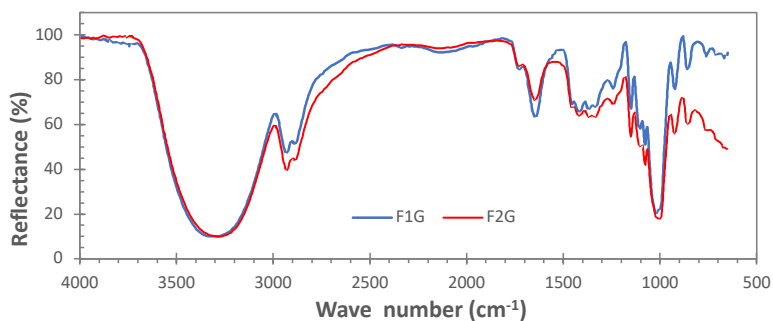


**Figure 2.** Experimental system of the desiccant method.

## RESULTS AND DISCUSSION

### Structural characterization of bioplastic films

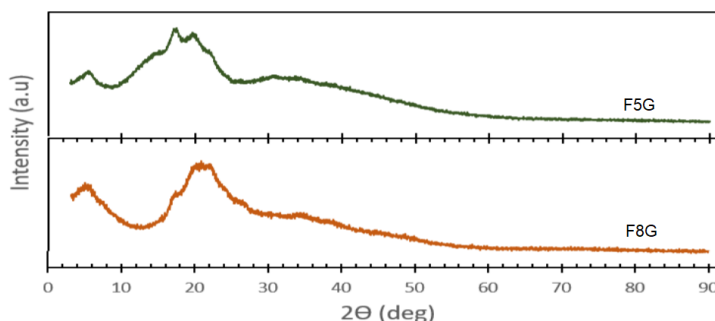
Figure 3 shows the FTIR spectra corresponding to the samples with the high level (F1G) and the lower level (F2G) of the components (see the factorial design in Table 3). In general, the spectra were very similar, although an increase in the intensity of the peaks corresponding to the characteristic functional ground of starch or aloe vera gel can be seen when the films contained the highest level of these compounds. In the region from 400 to 1250  $\text{cm}^{-1}$  considered the fingerprint region<sup>14</sup>, there were four characteristic peaks in the spectra between 925 and 1150  $\text{cm}^{-1}$ , which are attributed to stretching of the CO bond<sup>15</sup>. The peak located at 1467  $\text{cm}^{-1}$  is assigned to the bending of the CH<sub>2</sub> group and the broad peak located between 2900 and 2950  $\text{cm}^{-1}$ , characteristic of the C-H stretches and associated with the glucopyranose ring<sup>16</sup>. The broad peak between 3000 and 3700  $\text{cm}^{-1}$  is due to the hydrogen bonding of the hydroxyl groups that contributes to the stretching vibrations associated with the inter and intramolecular free bonding of the hydroxyl group, this group being a characteristic of the structure of the starch<sup>17</sup>.



**Figure 3.** Infrared spectra of bioplastic samples with the higher level (F1G) and the lower level (F2G) of the components (potato starch, aloe vera, and graphene).

## Difracción de Rayos X

To verify the presence of graphene and starch crystals in the bioplastic, the films were analyzed by X-ray diffraction. Figure 4 shows the presence of graphene is justified by the wide and weak band that is detected with values of  $2\theta$  between  $20$  and  $30^\circ$  and whose intensity depends on the C/starch ratio. Likewise, there is no presence of graphene oxide or graphite. According to Pardo et al., it can be inferred that the starch has a crystallinity of less than 10%, that is, the starch of the Yungay potato is similar to that of the Creole potato<sup>18</sup>. It is observed that granular starch presents a type A polymorphism characteristic of cereals with the main reflections at  $2\theta = 15,3; 17,5$  and  $23,13^\circ$ <sup>19</sup>. However, when a starch plasticized with glycerol is obtained, it recrystallizes in the type B polymorphism, this change in the polymorphism of the starch after its plasticization can be attributed to different factors such as the moisture content in the samples and in the environment, the content plasticizer, sample preparation, among others<sup>20</sup>. Due to the fact that, for the formation of the bioplastic, the processing is carried out in the molten state, in which it exceeds its glass transition temperature, the starch crystallizes in the type B structure, which is verified with a characteristic signal at a value of  $2\theta = 16,8^\circ$ <sup>21</sup>.



**Figura 4.** X-ray diffraction spectra of the films obtained in the experimental runs F5G and F8G.

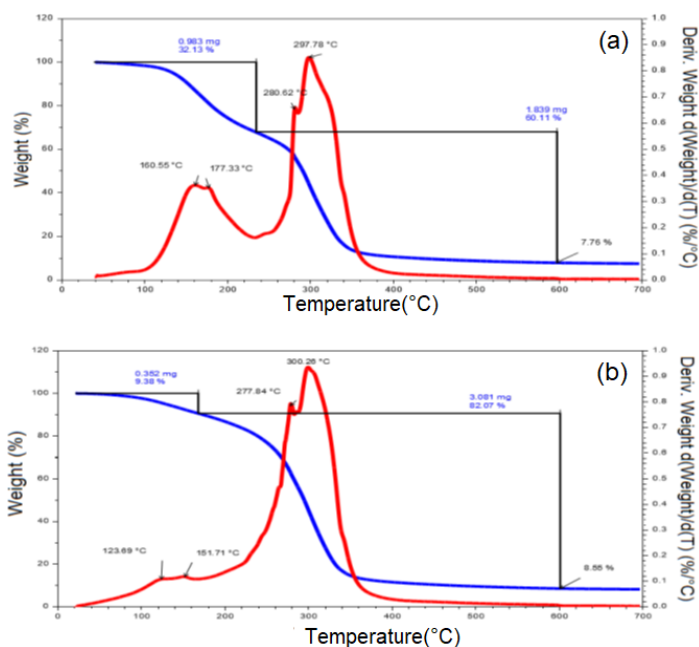
## Thermogravimetric analysis

Figure 5 shows the thermogravimetric analysis (TGA) curves as well as the differential thermogravimetric analysis (DTG) curves of the bioplastic films. According to Figure 5 (a) y (b), the thermograms (TGA) shown correspond to the samples with the higher level (F1G) and the lower level (F2G) of the components (see the factorial design in Table 1), in which the two decomposition zones are shown: the first zone in the range of  $100$  and  $280^\circ\text{C}$  correspond to moisture loss and glycerin volatilization and the second zone at a temperature of approximately  $300^\circ\text{C}$  (see Table 2), which is due to starch degradation. These results were similar to those reported by Luchese et al.<sup>22</sup>

It is important to note that bioplastics have drawbacks compared to conventional plastics, namely in terms of thermal properties. However, one of the strategies for improving the thermal properties of bioplastic is the filler and additive addition in bioplastic matrix<sup>23</sup>.

**Table 2.** Thermogravimetric analysis of bioplastic with graphene.

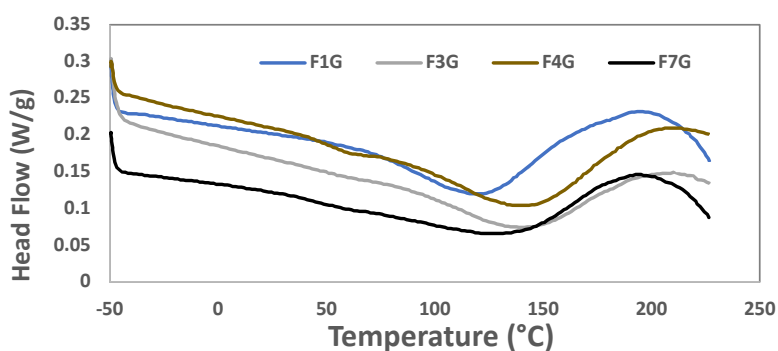
Sample	Code	First decomposition temperature. (°C)	Second decomposition temperature. (°C)
F1G	(+)(+)(+)	177,33	297,78
F2G	(-)(-)(-)	151,71	300,26
F3G	(+)(+)(-)	168,07	300,55
F4G	(+)(-)(+)	244,14	303,76
F5G	(-)(+)(-)	239,32	282,86
F6G	(-)(-)(+)	169,54	296,17
F7G	(+)(-)(-)	143,84	302,71
F8G	(-)(+)(+)	178,30	299,30
I1	(0)(0)(0)	192,30	298,30
I2	(0)(0)(0)	195,20	301,20

**Figure 5.** Curves of thermogravimetric analysis (TGA) (blue line) and differential thermogravimetric analysis (DTG) (red line) of bioplastic films for (a) F1G and (b) F2G.

## Differential Scanning Calorimetry (DSC)

The effect of graphene, aloe and starch on melting temperatures ( $T_m$ ) and heat of fusion ( $L_f$ ) was studied by DSC. Figure 6 shows the melting temperature ( $T_m$ ) and crystallization temperature ( $T_c$ ) curves, for which the heat flow vs. temperature has been plotted.

Dispersion and polymer-charge interaction across an interface are crucial in heat transfer. A strong polymer-charge adhesion promotes that the polymer chains are absorbed by the surface of the charge, as a result of this strong interaction the dispersion of the charge is favored and consequently the formation of networks or paths of thermal conduction is viable<sup>24</sup>. On the other hand, the contribution of graphene to the thermal properties of the bioplastic will largely depend on its degree of dispersion<sup>25</sup>.



**Figure 6.** Thermograms of DSC of bioplastic films with graphene.

In DSC thermograms reported for different varieties of starch, two endothermic peaks are reported, an endothermic peak in the amorphous zone of lower temperature due to the solubilization of the amorphous region of starch rich in amylose (linear chain) and an endothermic peak ( $T_p$ ) in the crystalline zone of higher temperature due to the solubilization of the crystalline region composed of amylopectin (branched chain)<sup>18</sup>. However, in the thermogram of the bioplastic only an endothermic peak was observed, in the peak temperature ranges between 120,42 and 143,20°C, values higher than when only starch is present ( $T_p$  between 65,48 and 110,02°C)<sup>18</sup>, which indicates that incorporating graphene and aloe vera increases the thermal resistance of the bioplastic obtained. However, a lower gelatinization energy was obtained between 21,45 and 63,66 J/g, compared to the gelatinization energy for starches from 76,53 to 334,50 J/g. Therefore, the bioplastics obtained presented low gelatinization energy. As the temperature increases, it indicates that it absorbs more heat to produce the solubilization of amylose and then the fusion of amylopectin crystals. It is important to point out that the second endothermic peak of the bioplastic must be at a temperature of approximately 300°C at which the second decomposition temperature is shown in the thermogravimetric analysis of the bioplastic in Figure 5.

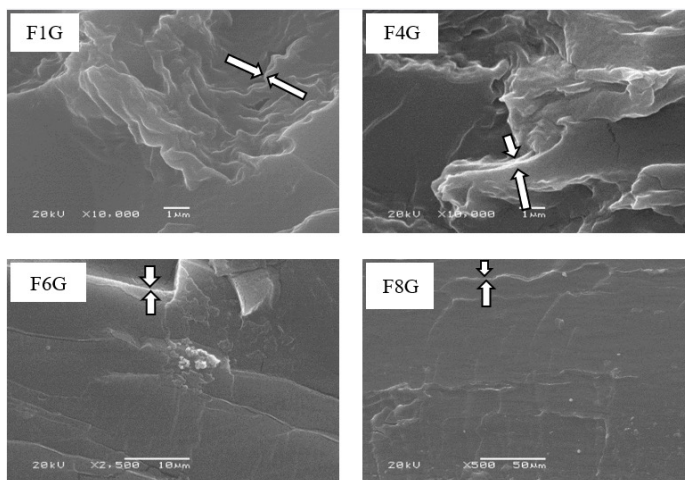
**Table 3.** Thermal analysis obtained by DSC of bioplastics with Graphene.

Code	Endothermic peak			
	Ti(°C)	Tf(°C)	Tp(°C)	$\Delta H_f$ (J/g)
F1G	70,86	189,52	120,42	63,66
F3G	78,23	201,77	141,17	29,94
F4G	83,42	205,02	143,20	34,35
F7G	70,69	188,08	134,38	21,45

Ti: Initial temperature, Tf: Final temperature, Tp: Peak temperature and  $\Delta H$ : Gelatinization enthalpy.

### Morphological study

Figure 7 shows the images obtained by SEM of the cryogenic fracture zone of the graphene-reinforced films with the higher concentration of graphene (0,045% w/w) at different magnifications. It can be observed that all samples show the presence of several stacked graphene sheets with a dense, wrinkled and folded morphology indicated by the arrow in Figures 7 and this is more notorious when the high level of starch was used in the films (F1G and F4G).



**Figure 7.** Images obtained by SEM of the surface of the cross section at higher amplitude of bioplastic films with a graphene concentration of 0,045% w/w.



The image obtained indicates that even the high shear stresses generated during the mixing process are not enough to break the agglomerates formed by the accumulation of large numbers of graphene particles stacked together by Van der Waals attraction forces<sup>26</sup>.

### **Permeability and permeance**

The water vapor transmission (WTV) and water vapor permeance values were calculated from the following expressions:

#### ***Water Vapor Transmission Rate, WVT:***

$$WVT = \frac{(G/t)}{A} \quad (1)$$

Where:

G = weight change, in grams (from linear graph G/t)

t = time, hours

A = exposure area, m<sup>2</sup> (canopy area: 0,0025 m<sup>2</sup>).

#### ***Permeance:***

$$\text{Permeance} = \frac{WVT}{\Delta P} \quad (2)$$

Where:

$\Delta p = S (R1 - R2)$ ,

S = mmHg (Absolute saturated vapor pressure at a temperature of 23°C., 21,068 mmHg)\*

R1 = Relative humidity of the crown, that is, 1

R2 = Relative humidity at normal laboratory conditions (0.5)

\* Value reported in Table 1 of the ASTM D1653-1 standard (Standard Test Methods for Water Vapor Transmission of Organic Coating Films).

#### ***Permeability:***

$$\text{Permeability} = \text{Permeance} * \text{Thickness} \quad (3)$$

The bioplastic films evaluated had an average thickness of 0,3437 mm.

Next, the results of permeance and permeability of bioplastic films are reported in Table 4.

**Table 4.** Permeance and permeability of bioplastic films based on starch, aloe and graphene.

Sample	Code	WVT (g/h.m <sup>2</sup> )	Permeance (kg/Pa.h.m <sup>2</sup> )	Permeability (kg/Pa.h.m)
F1G	(+)(+)(+)	7,81	5,56	0,001911
F2G	(-)(-)(-)	9,30	6,62	0,002275
F3G	(+)(+)(-)	7,52	5,35	0,001839
F4G	(+)(-)(+)	8,17	5,81	0,001997
F5G	(-)(+)(-)	11,13	7,92	0,002722
F6G	(-)(-)(+)	22,69	16,10	0,005534
F7G	(+)(-)(-)	12,26	8,73	0,003000
F8G	(-)(+)(+)	18,50	13,17	0,004527
I1	(0)(0)(0)	24,03	17,10	0,005878
I2	(0)(0)(0)	23,42	16,68	0,005733

### Statistical analysis of permeability results

Table 5 shows the analysis of variance of the permeability results, which was obtained using the statistical software Minitab 25, and it was found that the concentration of starch and the concentration of graphene had a significant effect with p values of 0,029 and 0,044 (p-value < 0,05). However, the concentration of aloe had no significant effect. In addition, Figure 8 shows the graph of the main effects, finding that both starch and aloe produce a decrease in permeance, while graphene produces an increase in permeance.

**Table 5.** Analysis of variance of the permeability of bioplastic films.

Interactions and Effects	p-value
Main effects	
A: Starch concentration (%)	0,029*
B: Aloe vera concentration (%)	0,101
C: Graphene concentration	0,044*
AB	0,253
AC	0,031*
BC	0,415
ABC:	0,072
Central point	0,018*

\*p-value < 0,05

Likewise, the permeance and permeability values of the bioplastic films were obtained at various concentrations of graphene (see Table 6).

**Table 6.** Results of permeance and permeability of bioplastic films.

[Starch]	[Aloe]	[Graphene]	Permeance	Permeability
%m/m	%m/m	%m/m	kg/kPa. h. m <sup>2</sup>	kg/kPa. h. m
6	24	0	13,67	0,004699
6	24	0,005	7,92	0,002722
6	24	0,025	10,81	0,003716
6	24	0,045	13,17	0,004527

According to Table 6, there are lower values of permeability and permeance of 7,92 kg/kPa.h.m<sup>2</sup> and 0,002722 kg/kPa.h.m respectively at a concentration of 0,005% of graphene. Although it shows a dual behavior, that is, it decreases the permeability up to a concentration of 0,005% of graphene and then increases the permeability to water vapor.

The increased permeability may be due to the fact that, although a crystalline graphene nanosheet, without flaws, is impermeable to gases<sup>27, 28</sup>, however, with the increase in concentration, the formation of agglomerations is possible, which generates preferential pathways for the passage of gases increasing permeability.

## CONCLUSIONS

A minimum permeance and permeability value of 5,35 kg/h.kPa.m<sup>2</sup> and 0,001839 kg/h.kPa.m, respectively, was found at a graphene concentration of 0,005%; aloe concentration, 24%; and starch concentration, 10%.

It was shown that the permeability to water vapor does not depend only on the concentration of graphene (filler), but also on the concentration of aloe vera and the polymer-particle interaction that determines the dispersion, the permeant gas molecule affinity - membrane and the morphology of the nanoparticle.

## ACKNOWLEDGMENT

The authors thank Guadalupe Mendez-Padilla (CIQA) for her support in running the thermal analyses of the samples. We also are grateful to María Isabel Loría Bastarrachea for running the water vapor permeability tests.

## REFERENCES

1. Siracusa V, Roccula, P., Romani, S., Dall, M. Biodegradable polymers for food packaging: a review. *Trends Food Sci Technol.* 2008; 19: 634–643.
2. Emblem A. 13 - Plastics properties for packaging materials. En: Emblem A, Emblem H, editores. *Packaging Technology.* Woodhead Publishing; 2012. p. 287-309. doi: 10.1533/9780857095701.2.287
3. Wang S, Zhang Y, Abidi N, Cabrales L. Wettability and surface free energy of graphene films. *Langmuir.* 2009; 25: 11078–11081.
4. Forssell P. Oxygen permeability of amylose and amylopectin films. *Carbohydr Polym.* 201; 47, 125–129.
5. Duncan T. Applications of nanotechnology in food packaging and food safety: Barrier materials, antimicrobials and sensors. *J Colloid Interface Sci.* 2011; 363: 1-24.
6. Chen L, Zhang H, McClements DJ, Zhang Z, Zhang R, Jin Z, et al. Effect of dietary fibers on the structure and digestibility of fried potato starch: A comparison of pullulan and pectin. *Carbohydrate Polymers.* 2019; 215: 47-57.
7. Bertuzzi MA., Castro EF, Armada M, Gottifredi JC. Water vapor permeability of edible starch-based films. *J. Food Eng.* 2007; 80, 972–978.
8. Mogrovejo A. Determinación de la influencia de dos métodos distintos en la obtención de almidón a partir de la oca (*Oxalis tuberosa* Molina) variedad amarilla.[Tesis de pregrado]. Cuenca: Universidad Politécnica Salesiana; 2019.
9. Avellán A, Díaz D, Mendoza A, Zambrano M, Zamora Y, Riera MA. Obtaining bioplastic from corn starch (*Zea mays* L.). *Revista Colón Ciencias, Tecnología y Negocios.* 2019; 7(1): 11.
10. Conti P, Simonetti R, Lozano E, Figueroa L. El poder curativo del *Aloe vera*. Primera edición. Buenos Aires, Argentina: Pluma y Papel Ediciones; 2006.
11. Reynolds T. *Aloes: The Genus Aloe.* Medicinal and aromatic plants-industrial profiles. Boca Raton, Florida: CPR Press LLC; 2004.
12. Ramanathan T, Abdala AA, Stankovich S, Dikin DA, Herrera-Alonso M, Piner RD, et al. Functionalized graphene sheets for polymer nanocomposites. *Nat Nanotechnol.* 2008; 3(6): 327-331.
13. Puca M, Tacuri E, Pantoja A, Neira MG, Canché G. Synthesis of polymer nanocomposites with graphene and their mechanical characterization. *Rev Soc Quím Peru.* 2017; 83(1): 65-77.
14. Olsen ED. *Optical Methods of Analysis.* 3ra ed. México: Editorial Reverté; 1990. 176-177.
15. Goheen SM, Wool RP. Degradation of polyethylene-starch blends in soil. *J Appl Polym Sci.* 1991; 42: 2691- 2701.
16. Mano JF, Koniarova D, Reis RL. Thermal properties of thermoplastic starch/synthetic polymer blends with potential biomedical applicability. *J Mater Sci-Mater.* 2003; 14, 127-135.
17. Fang JM, Fowler PA, Tomkinson J, Hill CAS. The preparation and characterization of a series of chemically modified potato starches. *Carbohydr Polym.* 2002; 47 (3): 245-252.

18. Pardo OH, Castañeda JC, Ortiz CA. Thermal and structural characterization of starches from different potato varieties. *Acta Agronómica*. 2013; 62 (4), 289-295.
19. Xie X, Q Liu, Cui SW. Studies on the granular structure of resistant starches (type 4) from normal, high amylose and waxy corn starch citrates. *Food Res Int*. 2006; 39(3): 332-341.
20. Van JGG, Hulleman SHD, Wit D, Johannes FG. Changes in the mechanical properties of thermoplastic potato starch in relation with changes in B-type crystallinity. *Carbohydr. Polym*. 1996; 29(3): 225-232.
21. Corradinia E, Felix AJ, da Silva AA, Capparelli LH. Preparation and Characterization of Thermoplastic Starch/Zein Blends. *Mater Res*. 2007; 10(3): 227-231.
22. Luchese CL, Benelli P, Spada JC, Tessaro IC. Impact of the Starch Source on the Physicochemical Properties and Biodegradability of Different Starch-Based Films. *J Appl Polym Sci*. 2018; 135 (33): 46564.
23. Abe MM, Martins JR, Sanvezzo PB, Macedo JV, Branciforti, MC, Halley P, et al. Advantages and Disadvantages of Bioplastics Production from Starch and Lignocellulosic Components. *Polymers*. 2021; 13: 2484. doi: 10.3390/polym13152484.
24. Smith JS, Grant DB, Smith DA. molecular dynamics simulation study of Nanoparticle interactions in a model polymer-nanoparticle composite. *Compos Sci Technol*. 2003; 63(11): 1599–1605.
25. Sengupta R, Bhattacharya M, Bandyopadhyay S, Bhowmick AK. A review on the mechanical and electrical properties of graphite and modified graphite reinforced polymer composites. *Prog Polym Sci*. 2011; 36(5): 638-670.
26. Petrescu MI, Balint MG. Structure and properties modifications in boron nitride. Part I: Direct Polymorphic transformations mechanisms. *UPB Sci Bull Series B*. 2007; 69(1):36-42.
27. Cui Y, Kundalwal S, Kumar S. Gas barrier performance of Graphene/polymer nanocomposites. *Carbon*. 2016; 98: 313-333.
28. Yoo B, Shin H, Yoon H, Park H. Graphene and Graphene oxide and their uses in barrier polymers. *J Appl Polym Sci*. 2014; 131:39628. doi: 10.1002/app.39628.

*Recibido el 28.06.22*  
*Aprobado el 04.07.22*

## VALORIZACIÓN DE TORTA RESIDUAL DE ACEITE DE SINAMI (*Oenocarpus mapora* H. Karst) OBTENIDA DEL PENSADO POR TORNILLO COMO UN RECURSO DE VALOR AGREGADO

Freddy Carlos Ferrer Cutire<sup>a</sup>, Sandra Casimiro-Gonzales<sup>b</sup>, Fernando Ramos-Escudero<sup>c</sup>,  
Ana Maria Muñoz<sup>b\*</sup>

### RESUMEN

Los frutos sinami son una fuente interesante de recursos promisorios y pueden ser aprovechados para el desarrollo de alimentos funcionales y cosméticos. Los objetivos del presente estudio se centran en la evaluación de la composición proximal y cromática de la torta, perfil de ácidos grasos del aceite obtenido mediante los métodos Folch y Soxhlet y el contenido de polifenoles totales y actividad antioxidante del residuo después de la extracción con n-hexano y cloroformo/metanol. Los resultados de este estudio muestran que el contenido de carbohidratos fue 76,0 g/100 g y la fibra cruda fue 19,20 g/100g. Las coordenadas cromáticas de la torta de sinami presentaron valores de  $a^* = 18,11$  y  $b^* = -7,99$ . El perfil de ácidos grasos mostró que el C18:1n-9/ ácido oleico, C16:0/ ácido palmítico, C18:2n-6/ ácido linoleico son los mayoritarios. Además la prueba de t al 5% de probabilidad no mostró diferencias significativas entre el método Folch y Soxhlet. El rendimiento de la extracción fue mayor con n-hexano en comparación a la mezcla de disolventes cloroformo/metanol. El contenido de polifenoles totales y la actividad antioxidante fue mayor en el residuo después de la extracción con n-hexano. Los resultados de este estudio evidencian la factibilidad del uso de la torta de sinami como sustituto parcial en productos comerciales. **Palabras clave:** Sustentabilidad, torta residual, composición nutricional, ácidos grasos, actividad antioxidante, métodos Soxhlet y Folch

---

<sup>a</sup> Escuela de Postgrado, Universidad San Ignacio de Loyola, Av. La Fontana 750, 15024, Lima, Perú.

<sup>b</sup> Instituto de Ciencias de Los Alimentos y Nutrición, Universidad San Ignacio de Loyola (ICAN-USIL), Campus Pachacamac, Sección B, Parcela 1, Fundo La Carolina, Pachacamac, 15823, Lima, Perú. amunoz@usil.edu.pe

<sup>c</sup> Unidad de Investigación en Nutrición, Salud, Alimentos Funcionales y Nutraceuticos, Universidad San Ignacio de Loyola (UNUSAN-USIL), Campus Gran Almirante Miguel Grau, Av. La Fontana 750, 15024, Lima, Perú.

## VALORIZATION OF SINAMI (*Oenocarpus mapora* H. Karst) OIL CAKE RESIDUAL OBTAINED FROM SCREW PRESS AS A RESOURCE VALUE-ADDED

### ABSTRACT

Sinami fruits are an interesting source of promising resources and can be used for the development of functional foods and cosmeceuticals. The objectives of the present study are focused on the evaluation of the proximal composition and chromatic parameters of the cake, the fatty acid profile of the oil obtained by the Folch and Soxhlet methods, and the content of total polyphenols and antioxidant activity of the residue after extraction with n-hexane and chloroform/methanol. The results of this study show that the carbohydrate content was 76,0 g/100 g and crude fiber was 19,20 g/100 g. The chromatic coordinates of the sinami cake presented values of  $a^* = 18,11$  and  $b^* = -7,99$ . The fatty acid profile showed that C18:1n-9/oleic acid, C16:0/palmitic acid, C18:2n-6/linoleic acid are the main fatty acids. Furthermore, the t-test at 5% probability did not show significant differences between the Folch and Soxhlet methods. The extraction yield was higher with n-hexane compared to the chloroform/methanol solvent mixture. Total polyphenol content and antioxidant activity were higher in the residue after extraction with n-hexane. The results of this study provide excellent findings for the use of sinami cake as a partial substitute in commercial products.

**Keywords:** Sustainability, sinami oilcakes, nutritional composition, fatty acids, antioxidant activity, Soxhlet and Folch methods.

### INTRODUCCIÓN

El fruto de sinami (*Oenocarpus mapora* H. Karst) es una interesante fruta tropical que puede ser aprovechada por su fuente de polifenoles, ácidos grasos, y actividad antioxidante. Los frutos de *O. mapora* son muy similares a *Oenocarpus bacaba* y *Oenocarpus distichus*. Los frutos cuando están maduros muestran color morado oscuro y son muy aprovechados para la elaboración de bebidas regionales<sup>1,2</sup>. El contenido de polifenoles y pigmentos de antocianinas monoméricas del pericarpio de *O. mapora* oscila entre ~9,72 mg ácido gálico equivalente por g de muestra y ~0,49 mg de cianidina 3-glucosido por g de muestra en base seca<sup>3</sup>.

La torta residual de la obtención de aceites vegetales son subproductos de semillas y frutas, extraídos por diferentes métodos como prensa en frío, prensa expeller, extracción por solvente convencional, extracción asistida por ultrasonido, extracción asistida mediante enzimas, extracción asistida mediante microondas, extracción mediante fluido supercrítico, etc<sup>4,5</sup>.

La torta residual de frutas y semillas se ha utilizado para múltiples aplicaciones comerciales entre las que se incluyen a: la harina de chía parcialmente desengrasada para la elaboración de un muffin<sup>6</sup>, aplicación de torta residual de semillas de manzana como sustituto parcial en

la elaboración de un pan de trigo<sup>7</sup>, incorporación de orujo de oliva obtenido de la extracción de aceite como fuente de fibra e hidroxitirosol en yogurt para la estabilidad gastrointestinal<sup>8</sup>, entre otros. Varios reportes han mencionado que las tortas residuales mejoran la calidad nutricional, modifican el color de los productos haciendo más llamativos a la vista de los consumidores, mejoran la textura y las propiedades antioxidantes. Actualmente, la revalorización de las frutas tropicales y sus subproductos para aplicaciones industriales desde el punto de vista de la sostenibilidad dentro del marco de los desafíos y oportunidades ha generado varias investigación para la mejora de la cadena de valor y la economía circular<sup>9,10</sup>.

En el presente trabajo de investigación se evalúa el potencial nutricional y bioactivo de la torta residual de sinami con miras a desarrolla futuras investigaciones que permitan su utilización en productos comerciales.

## PARTE EXPERIMENTAL

### Material vegetal

El fruto de sinami (Figura 1A) fueron obtenido por la Asociación para la Conservación de la Cuenca Amazónica (ACCA) de los alrededores del Centro Poblado Alegría, ubicado a 58 km de la carretera Interoceánica Sur (Puerto Maldonado-Iñapari), Provincia de Tambopata, Madre de Dios, Perú (L.S.: 12°7'10.6"; L.O.: 69°7'7.1"; Altitud: 258 msnm). Las muestras fueron colectadas en enero del 2022.

### Composición nutricional y propiedades cromáticas de la torta residual de sinami

La composición nutricional de la torta residual de sinami (Figura 1C) se llevó a cabo siguiendo el procedimiento descrito por diferentes métodos. El porcentaje de humedad fue determinado de acuerdo con el método descrito por NTP 206.0111<sup>11</sup>. El contenido de ceniza (AOAC 935,09), proteína total (AOAC 935,39) y grasa (AOAC 935,39) de acuerdo con la metodología descrita en los métodos oficiales de análisis AOAC12. El contenido de fibra cruda siguiendo el método descrito en NTP 206.01113. Mientras que los carbohidratos totales fueron determinados por diferencia.

Las propiedades cromáticas de la torta residual sinami se llevó a cabo mediante análisis de imágenes, las fotografías fueron tomadas bajo luz natural utilizando una cámara digital (Canon, Powershot SX60 HS, Tokio, Japón). El análisis de las imágenes fue conducido utilizando Color Inspiration Tool, versión libre. 1.10.1 (<https://apps.apple.com/us/app/id983966188>). Las imágenes fueron importadas al aplicativo móvil y los cuadros de color L\*, a\*, b\* fueron directamente registrados. Mientras que los valores del croma (C\*) y tono (h)<sup>14</sup> fueron calculados a partir de las siguientes ecuaciones.



$$C^* = \sqrt{a^{*2} + b^{*2}}$$

$$h = \operatorname{atan} \frac{b^*}{a^*}$$



**Figura 1.** Frutos de sinami en estadio maduro (A), proceso de extracción de aceite de sinami (B) y torta residual del proceso extractivo (C).

### Obtención de la torta residual de sinami

La torta residual de sinami fue obtenida siguiendo el procedimiento de Muñoz et al., el pericarpio fue removido mediante cuchillos de acero inoxidable, posteriormente las muestras se deshidrataron a 100°C durante 120 minutos en una estufa con aire forzada. Las muestras deshidratadas se utilizaron para la extracción de aceite mediante una prensa de tornillo (modelo Máquina prensadora de aceite, Genérico, Perú). La prensa operó a 90°C con un flujo de muestra de 12 kg por hora. Los subproductos obtenidos fueron el aceite y la torta, este último fue utilizado para el presente estudio. La torta residual de sinami obtenida fue previamente pesada y almacenada en bolsas de plástico al vacío en una cámara de congelación a -20°C (A54546, Infrac, Valencia, España) previos a los ensayos analíticos<sup>5</sup>.

### Extracción del aceite de la torta residual de sinami

La extracción del aceite de la torta residual de sinami fue obtenida mediante dos métodos extractivos: extracción mediante n-hexano (Soxhlet) y extracción mediante cloroformo/metanol (Folch). Para la extracción utilizando n-hexano se pesó 10 g de torta residual, se colocó en cartuchos de extracción de celulosa y se dejó reflujar durante 4 horas en un equipo Soxhlet automatizado (E-812, Buchi, Suiza).

Para la extracción mediante cloroformo/metanol (2:1 v/v) se pesó aproximadamente 15 g de torta residual de sinami, luego se colocó en un balón de 250 mL. El balón se llevó a calentamiento a 100°C durante 2 horas<sup>15</sup>. Después de la extracción el sobrenadante fue filtrado con papel Whatman, luego la recuperación del aceite se llevó en el rotavapor Buchi a una temperatura de 40°C, presión de vacío de 100 mbar y una velocidad de rotación de 60. El aceite recuperado por ambos métodos fue pesado y almacenado a -20°C antes de los análisis. El rendimiento del aceite fue obtenido utilizando la siguiente ecuación.

$$\text{Rendimiento de aceite \%} = \frac{m_{\text{aceite (g)}}}{m_{\text{masa inicial (g)}}} \times 100$$

### **Análisis de ácidos grasos**

El análisis de ácidos grasos se llevó a cabo mediante cromatografía gaseosa después de una derivatización de los ésteres metílicos de ácidos grasos (FAMES) siguiendo la metodología descrita por Ichihara and Fukubayashi<sup>16</sup>. Se utilizó un equipo de cromatografía gaseosa equipado con un detector de ionización de llama (VarianCP-3800, Walnut Creek, CA, EE. UU.) y una columna capilar de sílice fundida FAMEWAX® WCOT (30 m x 0,25 mm de d.i.: espesor de película de 0,25 µm, Restek Co.). Las condiciones de análisis del inyector, detector, y el programa de temperatura en el horno se llevó a cabo de acuerdo con Ramos-Escudero et al<sup>17</sup>. El resultado del contenido de ácidos grasos se expresó como porcentaje de ácidos grasos totales en el aceite de torta residual de sinami.

### **Polifenoles totales y actividad antioxidante**

El contenido de polifenoles totales se llevó a cabo siguiendo el procedimiento descrito en Alvites-Misajel et al<sup>18</sup> con algunas modificaciones. Las muestras previamente desengrasadas mediante los métodos de extracción con n-hexano y cloroformo/metanol fueron secadas en campana de extracción (Labconco, Kansas, EE. UU.) el polvo obtenido se guardó en empaque al vacío y almacenada a -20 antes de los análisis. Para el análisis de polifenoles se pesó aproximadamente 2,50 g y se adicionó 10 mL de etanol al 80%, seguidamente se llevó a vortex durante 1 hora, seguido de una extracción asistida por ultrasonido a 40 kHz, 30°C y 30 min. El desarrollo de la reacción fue iniciado por la adición de 0.1 mL de extracto, 0.75 mL de Folin-Ciocaltea 0,2 N y 0,75 mL de carbonato de sodio al 7,5%. El desarrollo de la reacción fue durante 2 horas a temperatura de 22°C en oscuridad, después de este tiempo las lecturas de absorbancia fueron registradas a 765 nm utilizando un espectrofotómetro Jasco V770. Los resultados se expresaron en mg de ácido gálico equivalente por kg de muestra (mg GAE/kg).

La actividad antioxidante se llevó a partir de las extracciones de los polifenoles. Los radicales libres de DPPH y ABTS fueron preparados previamente en solución etanólica al 80%. El factor de dilución de la reacción en ambos casos fue 20. El tiempo de reacción fue de 30 min después de este tiempo se registró los valores de absorbancia a 515 y 734 nm respectivamente<sup>18</sup>. Los resultados fueron expresados µmol de trolox equivalente por g de muestra (µmol TE/g).

### Análisis estadístico


Los resultados estadístico para el perfil de ácidos grasos, polifenoles y la actividad antioxidante fueron analizados utilizando la prueba de t de Student ( $\alpha = 0.05$ ) para muestras dependientes para verificar las diferencias entre los métodos extractivos. Los análisis estadísticos fueron conducidos utilizando el programa STATISTICA versión 8.0 (StatSoft, Inc., Tulsa, Oklahoma, EE. UU.).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Composición química proximal y medida del color

Los resultados de la composición química y la medida del color están resumidos en la Tabla 1.

**Tabla 1.** Composición química promedio (%) y color de la torta residual de sinami

Nº	Parámetros	Valores
1	Humedad, g/100 g	0.50
2	Cenizas, g/100 g	2.20
3	Lípidos, g/100 g	13.60
4	Proteínas, g/100 g	7.70
5	Carbohidratos totales, g/100 g	76.00
6	Fibra cruda, g/100 g	19.20
7	Energía total, kcal/100g	457.20
8	$L^*$	45.92
9	$a^*$	18.11
10	$b^*$	-7.99
11	$C^*$	19.87
12	$h$	-24.06
	Color visualizado sensor nix	

La composición química nutricional de la torta residual de sinami presentó altos valores de carbohidratos totales (76,00 g/100 g), fibra cruda (19,20 g/100 g), lípidos (13,60 g/100 g), proteínas (7,70 g/100 g), cenizas (2,20 g/100 g). Varias harinas presentan valores altos de carbohidratos como la harina de trigo (77,18 g/100 g), amaranto (68,24 g/100 g) y camote (83,46 g/100 g)<sup>19</sup>. El contenido de lípidos en la torta residual de sinami es mayor que la harina de amaranto > trigo > camote<sup>19</sup>. Inclusive es mayor que el de otras tortas de semillas de oleaginosas como copra (9,4 g/100g) y sésamo (9,3 g/100 g)<sup>20</sup>. Los valores de proteínas pueden ser comparable con otras harinas de palmeras tropicales como “chufa” (*Oenocarpus bataua* Mart.) y “pijuayo” (*Bactris gasipaes* Kunth) que presentaron contenidos de 5,40 g/100 g y 6,90 g/100 g respectivamente<sup>21,22</sup>. Por otro lado las propiedades cromáticas de la torta residual de sinami mostraron valores de  $L^* = 45,92$ ;  $a^* = 18,11$  y  $b^* = -7,99$ . Además, las coordenadas triestímulo presentaron valores de  $C^* = 19,87$  y  $h = -24,06$ . Los valores de  $a^*$  (positivo) y  $b^*$  (negativo) indican que la torta residual de sinami se encuentra en el cuadrante IV, su posición en el plano de la coordenada cromática  $a^*b^*$  (rojo-azul) indica presencia de antocianinas (Figura 2). Las especies de *Oenocarpus* spp., presenta frutos color negro violáceas en consecuencia contienen antocianinas. En genotipos de *O. distichus* Mart., el contenido de antocianinas varió de 152 a 258  $\mu\text{g/g}$  de muestra<sup>23</sup>. Entre las antocianinas identificadas en diferentes genotipos de *O. distichus* Mart., se encuentra la cianidina 3-*O*-rutinosido y otras cianidinas derivadas.

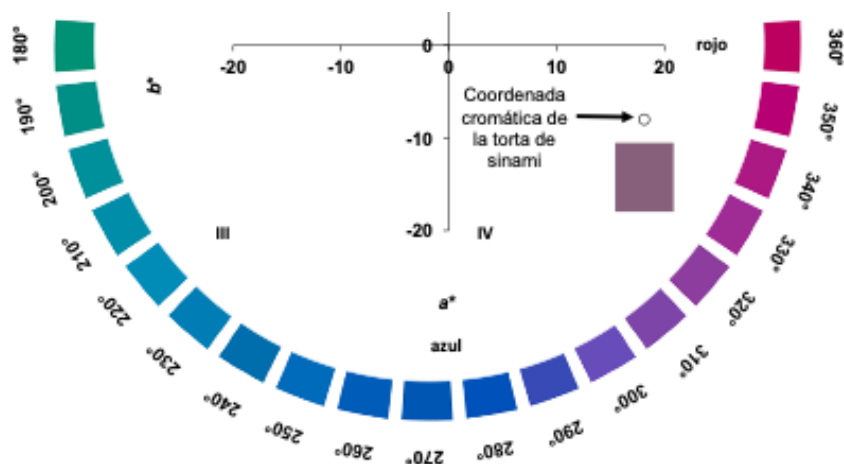


Figura 2. Coordenada cromática en el plano  $a^*b^*$  de la torta residual de sinami.

### Perfil de ácidos grasos del aceite de la torta residual de sinami

Los resultados del perfil de ácidos grasos según método extractivo: Soxhlet (n-hexano) y Folch (cloroformo/metanol) se detallan en la Tabla 2.

**Tabla 2.** Rendimiento y composición de ácidos grasos (% moles) del aceite de torta residual de sinami usando n-hexano y cloroformo/metanol

	Extracción con n-hexano	Extracción cloroformo/metanol
Rendimiento de extracción	13.87 <sup>a</sup>	6.62 <sup>b</sup>
C14:0/ ácido mirístico	0.11±0.00 <sup>a</sup>	0.09±0.00 <sup>a</sup>
C16:0/ ácido palmítico	20.90±0.11 <sup>a</sup>	20.65±0.28 <sup>a</sup>
C16:1n-7/ ácido palmitoleico	0.91±0.00 <sup>a</sup>	0.90±0.01 <sup>a</sup>
C18:0/ ácido esteárico	1.88±0.00 <sup>a</sup>	1.86±0.02 <sup>a</sup>
C18:1n-9/ ácido oleico	60.61±0.10 <sup>a</sup>	60.85±0.22 <sup>a</sup>
C18:1n-7/ ácido vaccénico	2.02±0.03 <sup>a</sup>	1.99±0.02 <sup>a</sup>
C18:2n-6/ ácido linoleico	12.99±0.01 <sup>a</sup>	13.07±0.05 <sup>a</sup>
C18:3n-3/ ácido $\alpha$ -linolenico	0.56±0.00 <sup>a</sup>	0.57±0.01 <sup>a</sup>
C18:4n-3/ ácido estearidónico	0.02±0.00 <sup>a</sup>	0.02±0.00 <sup>a</sup>
SFA	22.89	22.60
MUFA	63.53	63.74
PUFA	13.58	13.66

Valores con la misma letra en la fila no difieren para la prueba de t al 5% de probabilidad, n-hexano: Soxhlet, cloroformo/metanol: Folch.

En cuanto al rendimiento de la extracción utilizando n-hexano en Soxhlet fue mayor en comparación con la mezcla de cloroformo/metanol usando el método Folch. La extracción de aceite de materiales vegetales utilizando solventes polares como los usados en el método Folch pueden recuperar componentes con características polares que pueden afectar el rendimiento de la extracción.

El perfil de ácidos de ácidos grasos de la torta residual de sinami presenta mayor contenido de C18:1n-9/ ácido oleico > C16:0/ ácido palmítico > C18:2n-6/ ácido linoleico > C18:1n-7/

ácido vaccénico > C18:0/ ácido esteárico. Estos cinco componentes representan los principales ácidos grasos. Además el perfil de ácidos grasos no muestra diferencias significativas para la prueba de t al 5% de probabilidad entre los métodos extractivos de n-hexano y cloroformo/metanol. Otros componentes de ácidos grasos minoritarios son el ácido mirístico, ácido palmitoleico, ácido  $\alpha$ -linolénico, y ácido estearidónico. Los ácidos grasos monoinsaturados (MUFA) representan alrededor del 63%. Los ácidos grasos saturados (SFA) alrededor del 22%, mientras que ácidos grasos poliinsaturados (PUFA) aportan alrededor del 13% del total de los ácidos grasos. Estos datos son comparables con los valores obtenidos para aceite de pulpa liofilizada de *O. distichus* Mart., mediante la extracción de fluido supercrítico que presentó valores de ácido oleico entre 64.23 a 66.24%, ácido palmítico entre 17.19 a 18.81%, ácido linolénico entre 12.10 a 13.35% y ácido esteárico de 2.19 a 2.39%<sup>24</sup>. Otras *Arecaceae* como *Mauritia flexuosa* y *Oenocarpus bataua* presentaron contenidos mayores de ácido oleico entre 73.29 a 79.54% y 75.40 a 77.2% respectivamente<sup>17,25</sup>. Por otro lado, los aceites vegetales con alto grado de monoinsaturados y bajo contenido de ácidos grasos saturados son considerados de buena calidad debido al efecto beneficiosos de los MUFAs. Bowen et al. mencionaron que altos contenidos de ácido oleico con una disminución de PUFAs proporcionan efectos beneficiosos sobre las lipoproteínas con un riesgo reducido de enfermedades cardiovasculares en personas adultas con adiposidad central<sup>26</sup>. En este contexto, el perfil de los ácidos grasos de los aceites vegetales con estas características es fundamental en la prevención de las enfermedades cardiovasculares.

### Contenido de polifenoles y actividad antioxidante

El contenido de polifenoles y la actividad antioxidante de la torta residual de sinami evaluada mediante el radical DPPH y ABTS se muestran en la Tabla 3.

**Tabla 3.** Contenido de polifenoles totales y actividad antioxidante en la torta residual de sinami después de la extracción con n-hexano y cloroformo/metanol

	Después de la extracción con n-hexano	Después de la extracción cloroformo/metanol
Polifenoles totales *	550.42±0.70 <sup>a</sup>	359.48±3.51 <sup>b</sup>
DPPH **	986.0.2±1.95 <sup>a</sup>	472.88±2.07 <sup>b</sup>
ABTS **	326.85±1.66 <sup>a</sup>	295.78±1.91 <sup>b</sup>

Valores con letra diferente en la fila difieren para la prueba de t al 5% de probabilidad, n-hexano: Soxhlet, cloroformo/metanol: Folch. \* mg GAE/kg; \*\*  $\mu$ mol TE/g

Los resultados mostrados en la Tabla 3 indican que en la torta residual de sinami después de la extracción con n-hexano presenta mayor contenido polifenoles totales y mayor actividad antioxidante en comparación con la torta residual después de la extracción con cloroformo/

metanol. El método Folch es una técnica bastante utilizada para la recuperación de la fracción lipídica de muestras biológicas, sin embargo, su utilización puede incluir la extracción de compuestos polares como polifenoles. Kozłowska et al., han reportado que la extracción por el método Folch presenta mayor actividad antioxidante que el método por Soxhlet<sup>27</sup>. Los resultados de este estudio muestran diferencias significativas para la prueba de t al 5% de probabilidad. La recuperación de los compuestos polares usando n-hexano es menor en comparación con la mezcla de disolvente cloroformo/metanol; sin embargo, cuando se mide el contenido de polifenoles totales en el residuo después de la extracción con n-hexano presenta mayor cantidad de polifenoles totales comparado con el residuo después de la extracción con cloroformo/metanol. Los valores de DPPH y ABTS de los extractos etanólicos al 80% derivados de la torta residual tratadas mediante el método Soxhlet fue superior que la tratada mediante el método Folch.

## CONCLUSIONES

En el presente estudio, se evaluó la composición nutricional y cromática en la torta de sinami. Mientras que el perfil de ácidos grasos se evaluó en el aceite de sinami obtenido por el método Folch (cloroformo/metanol) y método Soxhlet (n-hexano), además los polifenoles totales y la actividad antioxidante en el residuo después de la extracción de los métodos mencionados anteriormente. La composición proximal revela que la torta de sinami presenta alto contenido de carbohidratos y fibra cruda. Las coordenadas cromáticas de la torta de sinami se ubica en el cuarto cuadrante del plano  $a^*b^*$  siendo  $+a^*$  (rojo) y  $-b^*$  (azul) que indica la presencia de pigmentos vegetales de tipo antocianinas. El perfil de ácidos grasos del aceite de la torta residual de sinami muestra extraída por el método de Folch y Soxhlet muestra similitud en función a la composición de los ácidos grasos, siendo el ácido oleico, ácido palmítico, ácido linolénico los más abundantes. El residuo después de la extracción con cloroformo/metanol fue menor en comparación con el residuo después de la extracción con n-hexano.

## FINANCIAMIENTO

Esta investigación fue financiada por el Fondo Nacional de Desarrollo Científico, Tecnológico y de Innovación Tecnológica del Perú (proyecto número 108-2018-FONDECYT-BM-IADT-MU).

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Best I, Rengifo H, Velarde E, Loja JF, Portugal A, Rengifo P. et. al. Phenology of *Oenocarpus mapora* H. Karst in low-terrace and high-terrace forests of the Madre de Dios region, Peru. *Forests*. 2021; 12: 1424.
2. Smith N. *Oenocarpus mapora*. In: Nigel Smith. *Palms and People in the Amazon*. Cham, Switzerland: Springer Cham; 2015. p. 421-428.
3. Quiñones Ruiz CE. Determinación de polifenoles totales, antocianinas y capacidad antioxidante del unguurahui (*Oenocarpus bataua* Mart.), sinamillo (*Oenocarpus mapora* H. Karst.) y huasai (*Euterpe oleracea* Mart.). [Tesis de Maestro]. Tingo María, Perú: Universidad Nacional Agraria de la Selva; 2018.
4. Nde DB, Foncha AC. Optimization methods for the extraction of vegetable oils: A review. *Processes*. 2020; 8(2): 209. doi: 10.3390/pr8020209.
5. Muñoz AM, Casimiro-Gonzales S, Gómez-Coca RB, Moreda W, Best I, Cajo-Pinche MI. et. al. Comparison of four oil extraction methods for sinami fruit (*Oenocarpus mapora* H. Karst): Evaluating quality, polyphenol content and antioxidant activity. *Foods*. 2022; 11(10): 1518. doi: 10.3390/foods11101518.
6. Aranibar C, Aguirre A, Borneo R. Utilization of a by-product of chia oil extraction as a potential source for value addition in wheat muffins. *J Food Sci Technol*. 2019; 56: 4189-4197.
7. Purić M, Rabrenović B, Rac V, Pezo L, Tomašević I, Demin M. Application of defatted apple seed cakes as a by-product for the enrichment of wheat bread. *LWT-Food Sci Technol*. 2020; 130: 109391. doi: 10.1016/j.lwt.2020.109391.
8. Ribeiro TB, Bonifácio-Lopes T, Morais P, Miranda A, Nunes J, Vicente AA. et. al. Incorporation of olive pomace ingredients into yoghurts as a source of fibre and hydroxytyrosol: Antioxidant activity and stability throughout gastrointestinal digestion. *J Food Eng*. 2021; 297: 10476. doi: 10.1016/j.jfoodeng.2021.110476.
9. Aschemann-Witzel J, Bizzo HR, Doria Chaves ACS, Faria-Machado AF, Gomes Soares A, de Oliveira Fonseca MJ. et. al. Sustainable use of tropical fruits? Challenges and opportunities of applying the waste-to-value concept to international value chains. *Crit Rev Food Sci Nutr*. 2021; 1-13. doi: 10.1080/10408398.2021.1963665.
10. Cádiz-Gurrea ML, Villegas-Aguilar MC, Leyva-Jiménez FJ, Pimentel-Moral S, Fernández-Ochoa A, Alañón ME. et. al. Revalorization of bioactive compounds from tropical fruit by-products and industrial applications by means of sustainable approaches. *Food Res Int*. 2020; 138: 109786.
11. Norma Técnica Peruana. Bizcochos, galletas, y pastas o fideos. Determinación de la humedad NTP 206.011. 2018.
12. AOAC. Official Method of Analysis. 20th Ed. Gaithersburg, MD (USA): Association of Analytical Chemists; 2016.
13. Norma Técnica Peruana. Cereales y menestras. Determinación de la fibra cruda NTP 205.003. 2016.
14. Zegarra S, Muñoz AM, Ramos-Escudero F. Elaboration of a gluten-free bread based on cañihua (*Chenopodium pallidicaule* Aellen) flour and sensory acceptability evaluation. *Rev Chil Nutr*. 2019; 46(5): 561-570.



15. Folch J, Lees M, Stanley GHS. A simple method for the isolation and purification of total lipids from animal tissues. *J Biol Chem.* 1957; 226: 497-509.
16. Ichihara K, Fukubayashi Y. Preparation of fatty acid methyl esters for gas-liquid chromatography. *J Lipid Res.* 2010; 51; 635-640.
17. Ramos-Escudero F, Gómez-Coca RB, Muñoz AM, Fuente-Carmelino LDL, Pérez-Camino MC. Oil from three aguaje morphotypes (*Mauritia flexuosa* L.f.) extracted by supercritical fluid with CO<sub>2</sub>: Chemical composition and chromatic properties. *Front Sustain Food Syst.* 2022; 6: 843772. doi: 10.3389/fsufs.2022.843772.
18. Alvites-Misajel K, García-Gutiérrez M, Miranda-Rodríguez C, Ramos-Escudero F. Organically vs conventionally-grown dark and white chia seeds (*Salvia hispanica* L.): fatty acid composition, antioxidant activity and techno-functional properties. *Grasas Aceites* 2019; 79(2): e299. doi:10.3989/gya.0462181.
19. Calderon de la Barca AM, Mercado-Gomez LE, Heredia-Sandoval NG, Luna-Alcocer V, Loaiza PMA, Gonzalez-Rios H. et. al. Highly nutritional bread with partial replacement of wheat by amaranth and orange sweet potato. *Foods* 2022; 11: 1473. doi:10.3390/foods11101473.
20. Sunil L, Appaiah P, Prasanth Kumar PK, Gopala Krishna AG. Preparation of food supplements from oilseed cakes. *J Food Sci Technol.* 2015; 52(5): 2998-3005.
21. Navas Hernández PB. Componentes minoritarios y propiedades antioxidantes de aceites vírgenes y tortas residuales obtenidos por presión en frío a partir de fuentes vegetales convencionales y no convencionales. [Tesis Doctoral]. Ciudad Real, España: Universidad de Castilla La Mancha; 2010.
22. Ribeiro RG, Monteiro MKC, Rodrigues do Carmo J, Pena RS, Chisté RC. Peach palm flour: production, hygroscopic behavior, and application in cookies. *Heliyon* 2021; 7(5): e07062. doi: 10.1016/j.heliyon.2021.e07062.
23. Carvalho AV, Ferreira da Silveira T, Brabo de Sousa SH, de Moraes MR, Godoy ET. Phenolic composition and antioxidant capacity of bacaba-de-leque (*Oenocarpus distichus* Mart.) genotypes. *J Food Comp Anal.* 2016; 54: 1-9.
24. Cunha VMB, Paiva da Silva M, Brabo de Sousa SH, Bezerra PN, Menezes EGO, Neves da Silva NJ. et. al. Bacaba-de-leque (*Oenocarpus distichus* Mart.) oil extraction using supercritical CO<sub>2</sub> and bioactive compounds determination in the residual pulp. *J Supercrit Fluids.* 2019; 144: 81-90.
25. Bowen KJ, Kris-Etherton PM, West SG, Fleming JA, Connelly PW, Lamarche B. et. al. Diets enriched with conventional or high-oleic acid canola oils lower atherogenic lipids and lipoproteins compared to a diet with a western fatty acid profile in adults with central adiposity. *J Nutr.* 2019; 19(3): 471-478.
26. Chaves Yela JA, Ortiz Tobar DP, Bahos Ordoñez EM, Ordoñez Forero GA, Villota Padilla DC. Análisis del perfil de ácidos grasos y propiedades fisicoquímicas del aceite de palma de mil pesos (*Oenocarpus bataua*). *Perspectivas Nutrición Humana* 2020; 22(2): 175-188.
27. Kozłowska M, Gruczyńska E, Ścibisz I, Rudzińska M. Fatty acids and sterols composition, and antioxidant activity of oils extracted from plant seeds. *Food Chem.* 2016; 213: 450-456.



**XXX CONGRESO PERUANO DE QUÍMICA  
“Dra. Olga Lock Sing de Ugaz”  
I CONGRESO IBERO LATINOAMERICANO DE NANOTECNOLOGÍA,  
NANOCIENCIAS Y APLICACIONES  
“Dra. Catalina Ruiz Pérez”  
Del 18 al 20 de octubre 2021**