

Revista CIENTÍFICA

Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, Centro de Investigaciones de Ingeniería
Volúmen 21 No. 1, 2024 ISSN 1993-3711 y en línea 1993-372X

Fortaleciendo
la **Investigación**



FIUSAC
FACULTAD DE INGENIERÍA
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



latindex

Órgano Divulgativo del Centro de Investigaciones de Ingeniería

Autores	Centro de Investigaciones de Ingeniería Facultad de Ingeniería
Título	Revista Científica Fortaleciendo la Investigación
Dig /Ed	Guatemala, CII, USAC 2024
Idioma	Español
Descripción	53 p. : il. ; 27 cm.
Ejemplares	Año MMXXIV, No. I (publicación anual)
ISSN	1993-3711 y en línea 1993-372X
Temas	Ingeniería Revistas



Revista Científica

Fortaleciendo la Investigación

Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Centro de Investigaciones de Ingeniería

Autoridades Universitarias

M.A. Walter Ramiro Mazariegos Biolis
Rector

Lic. Luis Fernando Cerdón Lucero
Secretario General

Autoridades Facultad de Ingeniería

Ing. José Francisco Gómez Rivera
Decano A.I.

Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez
Secretario Académico

Inga. Telma Maricela Cano Morales
Directora
Centro de Investigaciones de Ingeniería



COMITÉ EDITORIAL
Revista Científica
Fortaleciendo la Investigación

Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Centro de Investigaciones de Ingeniería

Ing. Civil Francisco Javier Quiñónez de la Cruz Dr. C.T. (P.D.)

MSc. Inga. Dilma Yanet Mejicanos Jol

Dra. Carmen Alicia Diéguez Orellana
Coordinadora

La presente edición 2024 de la Revista Científica del Centro de Investigaciones de Ingeniería, refleja artículos científicos como resultado de las investigaciones realizadas por los investigadores del Centro de Investigaciones de Ingeniería, los cuales proyectan avances significativos, que contribuyen al desarrollo de la sociedad en general.

El equipo de investigación de la Sección de Tecnología de la Madera del Centro de Investigaciones de Ingeniería presenta el artículo titulado **“Aprovechamiento de residuos para elaborar densificados como alternativa o sustituto de leña”**. El propósito central de este estudio corresponde a la evaluación de la viabilidad de elaborar briquetas, a partir de residuos de la agroindustria como una alternativa a la utilización de leña, centrándose en su aplicación en estufas ahorradoras de leña, distribuidas en Guatemala, utilizando protocolos internacionales para evaluar la eficiencia energética. Para el desarrollo de la investigación se elaboraron briquetas, utilizando residuos de la agroindustria como fibras de bambú, aserrín de pino, fibras de coco y residuos de papel. El estudio evaluó la eficiencia de las briquetas en términos de inicio en frío, inicio en caliente y alta potencia en estufas ahorradoras tipo Rocket. Se analizó la variación de la eficiencia de la estufa al cambiar el tipo de fibra, así como el uso de aglutinantes. Se compararon los resultados obtenidos con el rendimiento de las estufas utilizando leña de uso comercial de la especie pino, así como con fuego abierto.

La Sección de Química Industrial presenta un artículo titulado **“Evaluación del efecto bioadsorbente de la cascarilla de café modificada en aguas contaminadas con colorante azul reactivo 19”**, el cual se centra en evaluar la capacidad de adsorción de la cascarilla de café modificada químicamente, en la remoción del colorante azul reactivo 19 en aguas contaminadas. Para ello, se aplicó tratamientos químicos y térmicos al carbón activado, derivado de la cascarilla de café, los cuales fueron caracterizados estructuralmente, mediante Espectrometría Infrarroja por Transformada de Fourier (FTIR) y análisis de grupos funcionales básicos y ácidos. Los resultados revelaron modificaciones estructurales específicas, en los carbones tratados químicamente. El análisis estadístico, mostró diferencias significativas en los perfiles espectrométricos, indicando que el tratamiento con ácido fosfórico indujo cambios estructurales notables. Además, el análisis de grupos funcionales, indicó una mayor presencia de grupos ácidos en el carbón activado químicamente, lo que se asocia con una mayor afinidad hacia el colorante reactivo. En términos de capacidad de adsorción, los carbones tratados químicamente, demostraron una capacidad superior, en comparación con los tratados térmicamente.

También el equipo multidisciplinario del Laboratorio de Investigación de Extractos Vegetales -LIEXVE- de la Sección de Química Industrial del Centro de Investigaciones de Ingeniería, presenta el artículo titulado **“Evaluación de productos cosméticos con aceite esencial y absoluto de cardamomo (*Elettaria cardamomum* L. Matton) de tercera calidad y cascarilla”**, el cual se centra en la aplicación de extractos vegetales de cardamomo de tercera calidad, en cosméticos (crema humectante, aceite para masajes y loción), utilizando aceite esencial y absoluto obtenidos de materias primas provenientes de El Quiché y Alta Verapaz. Además, de la procedencia, la concentración de los extractos en las formulaciones cosméticas desempeñó un papel crucial en la caracterización fisicoquímica de los productos. La formulación de productos cosméticos a partir de extractos de cardamomo de tercera calidad, provenientes de El Quiché y Alta Verapaz, demostró ser funcional y tiene el potencial de impactar el mercado guatemalteco.

El Laboratorio Físico Químico de la Sección de Química Industrial presenta el artículo titulado “**Microplásticos en agua purificada, producida y envasada en Guatemala**”. Los microplásticos (MPs), son partículas poliméricas pequeñas, casi invisibles al ojo humano, de gran impacto en los últimos años por su capacidad de entrar a la composición de productos vitales. En este artículo, se informa los resultados obtenidos en la investigación, que tuvo como objetivo cuantificar y caracterizar la cantidad de partículas extraídas de muestras de agua potable empaquetada, proveniente de purificadoras comerciales nacionales, purificadoras locales de sectores ciudadanos y agua embotellada de importación.

El equipo multidisciplinario del Laboratorio de Investigación de Extractos Vegetales -LIEVEXE- de la Sección de Química Industrial del Centro de Investigaciones de Ingeniería, presenta el artículo titulado “**Obtención y caracterización fisicoquímica de extractos de orégano (*Lippia graveolens HBK*) y su aplicación conservante en embutidos**”. El artículo presenta los resultados del estudio de la obtención y caracterización fisicoquímica del extracto fluido y seco del orégano (*Lippia graveolens HBK*), proveniente del corredor seco de Guatemala y su evaluación conservante en la producción de embutidos, donde se concluyó que, no existe diferencia significativa en el rendimiento extractivo de cada extracto, en función de la escala de trabajo. Tampoco se halló diferencia significativa entre la densidad media del extracto fluido, en relación con la escala de trabajo. Los componentes mayoritarios fueron el timol y la pinocembrina, para el extracto fluido y seco, respectivamente. Las formulaciones de las películas comestibles empleadas en los embutidos fueron aceptadas en textura, olor y color, a diferencia del sabor en su evaluación sensorial.

Esperamos que los temas aquí presentados representen un aporte para la comunidad científica y para la sociedad guatemalteca, ya que nuestro fin como Centro de Investigaciones de Ingeniería es contribuir a la solución de la problemática en diversos ámbitos de nuestro país y que las innovaciones y productos obtenidos en dichas investigaciones sean de utilidad.

Ingeniera Química Telma Maricela Cano Morales
DIRECTORA
Centro de Investigaciones de Ingeniería
Facultad de Ingeniería
USAC

Contenido

Aprovechamiento de residuos

para elaborar densificados como alternativa o sustituto de leña

Dennis Salvador Argueta Mayorga (Doctor en Cambio Climático y Sostenibilidad) arguetadennis@gmail.com

Jesiel Salomón Enríquez Custodio (Auxiliar de Laboratorio) jesienriquezgt@gmail.com

Fredy Alexander Contreras Castañaza (Ing. Civil) ciusac_ac@yahoo.com

Mauricio Valentino Rivera Tello (Ing. Químico) mavert111v@gmail.com

Sección de Tecnología de la Madera / CII - Facultad de Ingeniería - USAC

12

Evaluación del efecto bioadsorbente

de la cascarilla de café modificada químicamente
en aguas contaminadas con colorante azul reactivo 19

Mario José Mérida Meré (Ing. Químico) mjmeridamere@gmail.com

Telma Maricela Cano Morales (Inga. Química) telma.canomorales@hotmail.com

Osber Isabel Carías Palencia (Ing. Mecánico) osbercarias@gmail.com

Gerson Joél Ortega Morales (Ing. Químico) gersonortegamo@gmail.com

Claudia Elisa Castellanos Jurado (Inga. Química) etracastellanosj@gmail.com

Juan Pablo López Cano (Ing. Industrial) jlpoez22@gmail.com

Renato Paolo Cisneros Quiñonez (Br. Ciencias y Letras) renatopcisneros@gmail.com

Melinna Lizeth Beteta Castro (Br. Ciencias y Letras) melybeteta@gmail.com

Laboratorio de Investigación de Extractos Vegetales -LIEEXVE-
Sección Química Industrial / CII - Facultad de Ingeniería - USAC

21

Evaluación de productos

cosméticos con aceite esencial y absoluto de cardamomo
(*Elettaria cardamomum L. Matton*) de tercera calidad y cascarilla

Astrid Susana del Rosario Paredes González (Inga. Química) astridparedes@hotmail.com

Telma Maricela Cano Morales (Inga. Química) telma.canomorales@hotmail.com

Mario José Mérida Meré (Ing. Químico) mjmeridamere@gmail.com

Osber Isabel Carías Palencia (Ing. Mecánico) osbercarias@gmail.com

Melinna Lizeth Beteta Castro (Br. Ciencias y letras) melybeteta@gmail.com

Laboratorio de Investigación de Extractos Vegetales -LIEEXVE-
Sección Química Industrial / CII - Facultad de Ingeniería - USAC

30

Microplásticos en agua purificada, producida y envasada en Guatemala

Ingrid Lorena Benítez Pacheco (Licda. en Química, Mtra. Ciencia y Tecnología del Medio Ambiente)
licdaibenitez@gmail.com

Paula María Vásquez Cifuentes (Inga. Química, M.A. en Energía y Ambiente)
vasquezcifuentes.paula@gmail.com

Ana Luisa Isabel Droege Romero (Inga. Química) ana.droege@gmail.com

Carlos Rodolfo Vargas López (Br. en Ciencias y Letras) carlosrodolfovargaslopez@gmail.com

Laboratorio Físicoquímico -LAFIQ-
Sección Química Industrial / CII - Facultad de Ingeniería - USAC

38

Obtención y Caracterización fisicoquímica de extractos fluido y seco de orégano (*Lippia graveolens HBK*) y su aplicación conservante en embutidos

María Angela Polanco Alfaro (Inga. Química) marian1997h@gmail.com

Telma Maricela Cano Morales (Inga. Química) telma.canomorales@hotmail.com

Mario José Mérida Meré (Ing. Químico) mjmeridamere@gmail.com

Claudia Elisa Castellanos Jurado (Inga. Química) etracastellanosj@gmail.com

Juan Pablo López Cano (Ing. Industrial) jlpoez22@gmail.com

Laboratorio de Investigación de Extractos Vegetales -LIEXVE-
Sección Química Industrial / CII - Facultad de Ingeniería - USAC

47



Aprovechamiento
de residuos para elaborar
densificados como alternativa
o sustituto de leña

Dennis Salvador Argueta Mayorga
(Doctor en Cambio Climático y Sostenibilidad)
arguetadennis@gmail.com

Jesiel Salomón Enríquez Custodio (Auxiliar de Laboratorio)
jesienriquezgt@gmail.com

Fredy Alexander Contreras Castañaza (Ing. Civil)
ciusac_ac@yahoo.com

Mauricio Valentino Rivera Tello (Ing. Químico)
mavert111v@gmail.com

Aprovechamiento de residuos

para elaborar densificados como alternativa o sustituto de leña

Dennis Salvador Argueta Mayorga
(Doctor en Cambio Climático y Sostenibilidad)
arguetadennis@gmail.com

Jesiel Salomón Enríquez Custodio
(Auxiliar de Laboratorio)
jesienriquezgt@gmail.com

Fredy Alexander Contreras Castañaza (Ing. Civil)
ciiusac_ac@yahoo.com

Mauricio Valentino Rivera Tello (Ing. Químico)
mavert111v@gmail.com

Resumen

El propósito central de este estudio corresponde a la evaluación de la viabilidad de elaborar briquetas, a partir de residuos de la agroindustria como una alternativa a la utilización de leña, centrándose en su aplicación en estufas ahorradoras de leña, distribuidas en Guatemala, utilizando protocolos internacionales para evaluar la eficiencia energética. Para el desarrollo de la investigación se elaboraron briquetas, utilizando residuos de la agroindustria como fibras de bambú, aserrín de pino, fibras de coco y residuos de papel. El estudio evaluó la eficiencia de las briquetas en términos de inicio en frío, inicio en caliente y alta potencia en estufas ahorradoras tipo Rocket. Se analizó la variación de la eficiencia de la estufa al cambiar el tipo de fibra, así como el uso de aglutinantes. Se compararon los resultados obtenidos con el rendimiento de las estufas utilizando leña de uso comercial de la especie pino, así como con fuego abierto. De acuerdo con los resultados obtenidos, según las eficiencias obtenidas con el uso de briquetas, se sustenta que estas corresponden a una opción más eficiente y sostenible, puesto que sus eficiencias son mejores en contraste con la leña de pino o el fuego abierto, además que se reutilizan residuos de la agroindustria y se merma la tala de árboles. Es decir, se obtienen beneficios desde la perspectiva de la eficiencia energética, como de la conservación y protección de los recursos naturales. En consecuencia, a través de este estudio se proporciona información relevante sobre la eficiencia y viabilidad de las briquetas de residuos de la agroindustria como una alternativa sostenible a la leña tradicional en el contexto de las estufas ahorradoras de Rocket.

Palabras clave: briquetas, conservación, desechos, eficiencia energética, estufas ahorradoras

Abstract

The central purpose of this study corresponds to the evaluation of the feasibility of making briquettes from agro-industrial waste as an alternative to the use of firewood, focusing on their application in fuel-efficient stoves distributed in Guatemala using international protocols to assess energy efficiency. For the development of the research, briquettes were made using agro-industrial waste such as bamboo fibers, pine sawdust, coconut fibers, and paper waste. The study evaluated the efficiency of the briquettes in terms of cold start, hot start, and high power in Rocket-type fuel-efficient stoves. The variation in stove efficiency was analyzed when changing the type of fiber, as well as the use of binders. The results obtained were compared with the performance of stoves using commercially available pine firewood, as well as with open fire. According to the results obtained, based on the efficiencies achieved with the use of briquettes, it is supported that these correspond to a more efficient and sustainable option, since their efficiencies are better compared to pine firewood or open fire, in addition to reusing agro-industrial waste and reducing tree felling. In other words, benefits are obtained from both the perspective of energy efficiency and the conservation and protection of natural resources. Consequently, this study provides relevant information on the efficiency and viability of agro-industrial waste briquettes as a sustainable alternative to traditional firewood in the context of Rocket fuel-efficient stoves.

Keywords: briquettes, conservation, waste, energy efficiency, fuel-efficient stoves

Introducción

En Guatemala, la demanda de leña para cocinar alimentos y para calefacción de hogares es alta, como lo menciona el Ministerio de Energía y Minas (2022), “del total de la energía final consumida en el 2022, la fuente energética de mayor consumo fue la leña con un 53.56 %, seguido de derivados del petróleo”. Una gran parte de la población, en especial la que vive en el área rural, depende de la leña como fuente de energía para el desarrollo de sus actividades cotidianas, como lo demuestra el estudio de INAB (2012), aproximadamente el 86 % de la demanda anual de leña en el sector residencial, corresponde a la demanda rural, el 14 % restante, es demanda urbana.

En el estudio de “Oferta y Demanda de Leña en la República de Guatemala”, del Instituto Nacional de Bosques -INAB- (2012), se puede observar que se estima que la oferta total anual de leña es de 17,96 millones de metros cúbicos, de los cuales el 85 % proviene de bosque natural, el 14 % de plantaciones forestales y el 1 % de residuos de la industria.

En la mayoría de los hogares del área rural se usa en fogones abiertos instalados dentro de las propias viviendas, por lo cual su uso no es eficiente y provoca serios daños a la salud; su incidencia en enfermedades pulmonares es muy alta, especialmente en niños y ancianos. Es importante tomar en consideración que el fogón abierto es parte de la cultura de los pueblos y no sólo es un medio de cocinar alimentos o calefacción, sino que también toma un sentido espiritual, como, por ejemplo, para los nahuas el fogón de tres piedras representaba a los tres guardianes del fuego: Mixcóatl, Tozpan e Ihuítl.

En Xochimilco, Chantico era la patrona del fuego. Entre los mayas, el fogón, ok'óoben, formado por las tres piedras, simbolizaba la cualidad femenina. Por otra parte, el fogón preserva el fuego vital que mantiene unidos a los tres planos del mundo, simbolizados por una piedra cada uno. Allí la mujer ayuda al sol a renacer, a regenerarse

todos los días tras su viaje por lo oscuro (Quiroz y Cantú, 2012). “Una estufa mejorada es el equipo para cocinar alimentos, que funciona con leña como combustible principal; está conformado de diferentes piezas organizadas entre sí, que permiten encerrar el fuego para administrarlo de acuerdo con los requerimientos, ubicarlo a diferentes alturas y trasladar los gases de combustión al exterior de la cocina luego de aprovechar al máximo su calor” (Tay, 2007).

Los beneficios esperados de la adaptación de estas estufas en los hogares rurales son: eficiencia en la combustión de la leña, mejora en la salud de los habitantes, reducción de la emisión de contaminantes nocivos y gases de efecto invernadero; reducción del consumo de biomasa y mitigación de la deforestación.

Por tanto, también se ha trabajado en la propuesta diversos modelos para diferentes formas de operación, necesidades y algunos beneficios agregados. Es importante mencionar que se tienen también beneficios financieros obtenidos por parte de las personas e instituciones participantes (Orozco, et. al, 2012).

Actualmente, en Guatemala no se cuenta con un centro de documentación, que haya colectado la información completa sobre el desarrollo de la tecnología de las estufas ahorradoras de leña.

El período histórico de evolución es relativamente grande, ya que comprende alrededor de 30 años de actividades dinámicas.

La construcción de estufas economizadoras o ahorradoras de leña es de gran importancia en la economía y salud de las comunidades rurales de Guatemala, ya que disminuyen grandemente el uso de leña para preparar los alimentos, evita que el humo provocado por la combustión se disperse dentro de las viviendas, aumenta el tiempo de vida de los techos principalmente de lámina, disminuye la tala de los árboles en las comunidades rurales mejorando con ello

la purificación del aire y el medio ambiente en general (Aché, 2006).

En lo relacionado con el medio ambiente, el uso de las estufas ahorradoras de leña, ocasionan un gran impacto favorable al disminuir la tala de los árboles, puesto que la leña a usar en la cámara de combustión es de un largo de 20 cm y un diámetro no mayor a 4 cm, si se compara con el tipo de fuego utilizado convencionalmente, donde se utiliza leños muchas veces mayores a 1 m y con diámetros que pueden llegar hasta 20 cm (Aché, 2006).

La ventaja fundamental de la estufa mejorada radica en la eficiencia calorífica, producto de la combustión de la leña, ya que, si su uso es adecuado, la energía se aprovecha más eficientemente (Aché, 2006).

Tomando en consideración, la alta producción de desechos o residuos sólidos en Guatemala, se presenta una solución asequible a través de la fabricación de briquetas (densificados), que pueden suplir a las estufas ahorradoras de leña, y analizar su funcionalidad y rendimiento, para que sea una opción en los hogares guatemaltecos, que emplean leña como combustible para la cocción de alimentos.

Objetivos

1. Evaluar la eficiencia de combustión y el rendimiento energético de las estufas ahorradoras de leña al compararlas con el uso de leña de pino, briquetas y fuego abierto, considerando parámetros como eficiencia en frío, eficiencia en caliente y eficiencia en alta potencia.
2. Determinar y comparar las emisiones de contaminantes atmosféricos generadas por el uso de leña de pino, briquetas y fuego abierto en las estufas, evaluando específicamente las emisiones de CO (PPM), CO₂ (PPM) y material particulado para identificar cuál opción presenta un menor impacto ambiental.
3. Cuantificar el porcentaje de ahorro de leña, obtenido con el uso de estufas ahorradoras en comparación con el fuego abierto, y establecer un punto de referencia de uso de combustible, para evaluar la eficiencia de cada tipo de estufa, en términos de reducción del consumo de leña.

Metodología

El procedimiento general para la elaboración de briquetas fue el siguiente:

- a. Selección de materia prima: se identificó los residuos agroindustriales disponibles, como: bagazo de caña de azúcar, restos de cultivos, entre otros. Además, se evaluó su disponibilidad y contenido de humedad, así como sus características físicas. Para esta investigación se contó con fibras provenientes de laminado de bambú y residuos del aserrío de la madera.
- b. Preparación de la materia prima: se trituró o cortó los residuos en trozos pequeños para facilitar su procesamiento. Se ajustó el contenido de humedad si fue necesario, para obtener una mezcla adecuada para la compactación.
- c. Selección de aglutinantes: se evaluó diferentes opciones de aglutinantes, adecuados para los residuos disponibles. Algunas opciones comunes incluyen almidón, papel reciclado, cera, entre otros. Se realizaron pruebas para determinar la cantidad adecuada de aglutinante necesaria, para mantener la integridad de las briquetas.
- d. Mezclado de los materiales: se mezclaron los residuos triturados con el aglutinante seleccionado. Se debe asegurar una distribución uniforme del aglutinante en toda la mezcla para garantizar la cohesión adecuada de las briquetas.

- e. Compactación: se utilizó una prensa o una máquina de briquetado para compactar la mezcla de residuos y aglutinante en forma de briquetas. Se ajustó la presión y la temperatura, según las especificaciones de los materiales utilizados.
- f. Secado: se colocaron las briquetas recién formadas, en un área bien ventilada para que se sequen completamente. Esto ayudó a eliminar cualquier exceso de humedad y a garantizar la estabilidad de las briquetas.
- g. Almacenamiento y pruebas: se almacenaron las briquetas en un lugar seco y seguro. Se realizaron pruebas de calidad, como pruebas de combustión y resistencia mecánica, para garantizar que las briquetas cumplieran con los estándares.
- h. Escalado y optimización: una vez establecido el proceso de elaboración básico, se considera la posibilidad de escalar la producción y realizaron ajustes para mejorar la eficiencia y la calidad de las briquetas.

Las siguientes figuras muestran las briquetas y pellets evaluadas.

Figura 1

Pellets evaluados como sustituto de leña, para analizar eficiencia en el uso de estufas ahorradoras de leña



Nota. Elaboración propia. Sección de Tecnología de la Madera.

Se aprecia en la figura 1, el material densificado, que se utilizó en la fase experimental de esta investigación, en donde se analizó la eficiencia energética de briquetas, como posible sustituto de leña de pino, para emplearse en estufas ahorradoras de leña en Guatemala.

En la figura 2, se observa una fotografía con más acercamiento, para ver la forma en que los densificados son elaborados, para luego formar briquetas y ser evaluadas como sustituto de leña natural.

Figura 2

Elaboración de briqueta con material de residuos agroindustriales



Nota. Elaboración propia. Sección de Tecnología de la Madera.

Es importante este tema, ya que el poder calorífico para cada especie de leña es distinto, lo que ocasiona un impacto en la eficiencia energética de la estufa. En las áreas rurales de Guatemala, es habitual observar que las personas usan distintas especies de árboles para quemar, además de afectar la eficiencia de la estufa, también provoca daños a bosques, debido a que no existe una regulación que proponga el uso de una especie específica.

En general, debería usarse como primera opción; especies locales, adaptadas al lugar y de las cuales se conozcan sus características silviculturales; tengan aceptabilidad entre los usuarios y haya disponibilidad de semilla (Ucelo, 2011).

Según Tay (2007), la biomasa consiste en tres elementos químicos: hemicelulosa, celulosa y lignina, agua, pequeñas cantidades de resinas y minerales. Según los análisis proximales de madera, la composición de esta es de aproximadamente 50 % de C y 45 % de O. Son cuatro las variables físicas más importantes: tamaño / forma, densidad / estructura, contenido de humedad y valor calorífico.

Instrumentos requeridos: balanza eléctrica con una capacidad mayor a 6 kg y precisión de 1 g, termómetro digital, con precisión de 1/10 °C, con termocupla de inmersión en líquidos y termocupla de ambiente, cronómetro, medidor de humedad de 6 % a 40 % con 0,1 % de error.

Accesorios: ollas estándar sin tapa de capacidad mayor a 5 litros, removedor de cenizas, tenazas para manejar el carbón, contenedor de metal para pesar el combustible y el carbón residual, tamiz para separar la ceniza del carbón restante, de un diámetro de malla de 1 mm, equipo de seguridad (guantes, lentes de protección, máscara y guardapolvos).

Materiales: agua limpia a temperatura ambiente, suficiente para cada prueba, dos lotes de combustible seco de 3 a 7 kg, para cada prueba, dos lotes de material de ignición, no mayor a 30 g cada uno, encendedor (fósforos y otros).

Lugar donde se realizaron las pruebas: se realizaron dentro de una campana, donde la estufa se instaló completamente y no tuviera interferencia del ambiente y la energía térmica de la madera, utilizando únicamente la plancha.

Para analizar la eficiencia en frío, se siguió el siguiente procedimiento:

- a. Registrar el peso inicial de la madera o briqueta.
- b. Llenar las ollas con 5000 gramos de agua fría y registrar el peso de las ollas + agua.
- c. Registrar la temperatura inicial del agua en las ollas.
- d. Registrar el peso del material combustible.
- e. Cuando el fuego esté encendido, registrar el tiempo y colocar las ollas sobre el fogón sin la tapa.
- f. Cuando el agua en la olla principal alcanza la temperatura de ebullición, registrar:
 - i. El tiempo.
 - ii. El peso de la madera restante (quitar el carbón).
 - iii. La temperatura del agua en las ollas.
 - iv. El peso del agua + ollas.
 - v. El peso del contenedor de carbón + el carbón y el desecho de carbón.

Para calcular la eficiencia en caliente, se registró lo siguiente:

- a. El peso inicial de la leña.
- b. El peso de las ollas con 5000 gramos de agua fría.
- c. La temperatura inicial del agua en las ollas.
- d. El peso del material combustible para encender el fuego.
- e. Cuando el fuego está encendido registrar el tiempo y colocar las ollas sobre el fogón.
- f. Cuando el agua alcance la temperatura de ebullición, anotar:
 - i. El tiempo.
 - ii. El peso de la leña que queda.
 - iii. La temperatura del agua en las ollas.
 - iv. El peso del agua + ollas.

Para la medición de emisiones de CO, CO₂ y material particulado, se empleó la medición directa a través del instrumento IAP, en partes por millón.

Resultados y discusión

Tabla 1

Resultados de la evaluación de estufas ahorradoras de leña, comparando el uso de leña de pino, briquetas y fuego abierto

Parámetro	Estufa ahorradora utilizando leña de pino (%)	Estufa 2 utilizando briquetas (%)	Fuego abierto (%)
Eficiencia en frío	27.32	28.83	17.02
Eficiencia en caliente	29.43	30.23	20.01
Eficiencia en alta potencia	32.23	33.45	19.80
Emisiones de CO PPM	11.56	11.84	174.23
Emisiones de CO ₂ PPM	1452.91	1402.23	3450
Material particulado $\mu\text{g}/\text{m}^3$	975.25	931.61	15273.9
Punto de referencia de uso de combustible	1536	1440	2350
Porcentaje de ahorro de leña comparado con el fuego abierto	34.63	38.72	-

Nota. Elaboración propia. Sección de Tecnología de la Madera.

De acuerdo con la tabla 1, los siguientes argumentos, interpretan los resultados:

1. Eficiencia de las estufas: ambas estufas, tanto la que utiliza leña de pino, como la que emplea briquetas, mostraron una mejora significativa en eficiencia, en comparación con el fuego abierto. La estufa que utilizó briquetas, tuvo una eficiencia ligeramente mayor en frío y en caliente, en comparación con la estufa que utilizó leña de pino.
2. Reducción de emisiones: ambas estufas redujeron las emisiones de CO y CO₂, en comparación con el fuego abierto, lo cual es beneficioso para la calidad del aire y el medio ambiente. La estufa que utilizó briquetas mostró una ligera reducción en las emisiones de CO₂, en comparación con la estufa que utilizó leña de pino.
3. Reducción de material particulado: las briquetas, también mostraron una reducción en la emisión de material particulado, en comparación con la leña de pino, lo cual es importante para la salud respiratoria y la calidad del aire en general.
4. Eficiencia en alta potencia: la estufa que utilizó briquetas mostró una eficiencia notablemente mayor en alta potencia, en comparación con la estufa que utilizó leña de pino. Esto puede deberse a la composición y características de las briquetas, que pueden proporcionar una combustión más completa y eficiente.
5. Ahorro de combustible: ambas estufas, especialmente la que utilizó briquetas, mostró un ahorro significativo de leña, en comparación con el fuego abierto. Esto es importante, tanto desde el punto de vista económico, como ambiental, ya que reduce la deforestación y promueve un uso más eficiente de los recursos naturales.

Conclusiones

1. El estudio indica que el uso de briquetas como combustible en estufas, resultó ser una opción más eficiente y sostenible, comparado con la leña de pino y el fuego abierto. Esto se traduce en una mayor eficiencia energética, reducción en las emisiones de contaminantes y una mejor conservación de recursos naturales.
2. La leña de pino presentó menores emisiones de dióxido de carbono y monóxido de carbono, en comparación con las briquetas y el fuego abierto. Sin embargo, en términos de material particulado, las briquetas mostraron resultados ligeramente superiores, ofreciendo una ventaja en la reducción de este tipo de contaminantes.
3. La estufa que utilizó briquetas mostró un ahorro del 38.72 % en el consumo de leña, en comparación con la estufa que empleó leña de pino. En contraste, la estufa que usó leña de pino ofreció un ahorro del 34.63 %, frente al fuego abierto, destacando así la eficacia de las briquetas para reducir el consumo de leña.

Recomendaciones

1. Implementar el uso de briquetas como combustible primordial en estufas, debido a su mayor eficiencia energética y reducción de emisiones, en comparación con la leña de pino y el fuego abierto. Las políticas ambientales y programas de subsidios podrían promover el uso de briquetas para reducir la contaminación del aire y conservar recursos naturales. Además, se debería fomentar el desarrollo de briquetas, a partir de fuentes sostenibles, para maximizar los beneficios ambientales.
2. Incorporar en los planes de estudios, de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, temas relacionados con la eficiencia energética y el impacto ambiental de los combustibles. Los programas de educación técnica y científica deben incluir estudios de caso sobre la eficiencia de diferentes tipos de estufas y combustibles. Esto permitirá a los estudiantes, comprender mejor los conceptos de sostenibilidad y eficiencia energética, preparándolos para tomar decisiones informadas y promover prácticas sostenibles en el futuro.
3. Promover campañas de concientización, sobre los beneficios de las briquetas frente a la leña de pino y el fuego abierto. Se deben desarrollar programas de sensibilización para comunidades que utilizan estufas, destacando las ventajas del uso de briquetas, en términos de ahorro de leña y reducción de emisiones. Estas campañas podrían incluir talleres, demostraciones prácticas y materiales informativos, para fomentar la adopción de tecnologías más limpias y eficientes entre los consumidores.

Referencias bibliográficas

- Aché, H.(2006). Experiencias en la construcción de estufas economizadoras de leña en el área rural del país. Tesis Facultad de Agronomía, Universidad de San Carlos de Guatemala.
- INAB. I ARNA-URL, FAO/GFP. (2012). Oferta y demanda de leña en la República de Guatemala/Woodfuel Integrated Supply/Demand Overview Mapping. Guatemala, FAO/GFP/Facility.
- Ministerio de Energía y Minas de Guatemala. (2022). Balance energético 2022, Guatemala.

- Orozco, M. Mireles, P., Jaimes, S., Gomora, B. (2012). La experiencia de las estufas ahorradoras de leña en dos comunidades indígenas del Estado de México. Pontificia Universidad Javeriana.
- Quiroz, J., Cantú, C. (2012). El fogón abierto de Tres Piedras en la Península de Yucatán: tradición y transferencia tecnológica. Revista Pueblos y Fronteras Digital, 7(13), 270-301.
- Tay, J. (2007). Evolución tecnológica de la fabricación de equipos domésticos para combustión de leña como consecuencia del tipo de materiales utilizados. Ensayo de eficiencia, Estudio Especial de Graduación para el título de Maestría en Ingeniería de Mantenimiento, Escuela de Postgrado, Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala.
- Ucelo, E. (2011). Módulo para el aprovechamiento de un bosque energético y su fuente principal, la leña (Tesis de maestría). Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Humanidades, Departamento de Pedagogía, Guatemala.

Agradecimientos

Centro de Investigaciones de Ingeniería, Facultad de Ingeniería, de la Universidad de San Carlos de Guatemala.

Autores

Dennis Salvador Argueta Mayorga

Doctor en Cambio Climático y Sostenibilidad. Sección de Tecnología de la Madera del Centro de Investigaciones de Ingeniería, Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala

Jesiel Salomón Enríquez Custodio

Auxiliar de laboratorio. Investigador auxiliar, Sección de Tecnología de la Madera del Centro de Investigaciones de Ingeniería, Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala.

Fredy Alexander Contreras Castañaza

Ingeniero Civil, Sección de Tecnología de la Madera del Centro de Investigaciones de Ingeniería, Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala.

Mauricio Valentino Rivera Tello

Ingeniero Químico, Sección de Tecnología de la Madera del Centro de Investigaciones de Ingeniería, Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala.



Evaluación del efecto bioadsorbente de la cascarilla de café modificada químicamente en aguas contaminadas con colorante azul reactivo 19

Mario José Mérida Meré (Ing. Químico)
mjmeridamere@gmail.com

Telma Maricela Cano Morales (Inga. Química)
telma.canomorales@hotmail.com

Osber Isabel Carías Palencia (Ing. Mecánico)
osbercarias@gmail.com

Gerson Joél Ortega Morales (Ing. Químico)
gersonortegamo@gmail.com

Claudia Elisa Castellanos Jurado (Inga. Química)
etracastellanosj@gmail.com

Juan Pablo López Cano (Ing. Industrial)
jlpoez22@gmail.com

Renato Paolo Cisneros Quiñonez (Br. Ciencias y Letras)
renatopcisneros@gmail.com

Melinna Lizeth Beteta Castro (Br. Ciencias y Letras)
melybeteta@gmail.com

Evaluación del efecto bioadsorbente de la cascarilla de café modificada químicamente en aguas contaminadas con colorante azul reactivo 19

Mario José Mérida Meré (Ing. Químico)
mjmeridamere@gmail.com

Telma Maricela Cano Morales (Inga. Química)
telma.canomoraes@hotmail.com

Gerson Joél Ortega Morales (Ing. Químico)
gersonortegamo@gmail.com

Laboratorio de Investigación de Extractos Vegetales -LIEEXVE-
Sección Química Industrial
Centro de Investigaciones de Ingeniería - Facultad de Ingeniería

Osber Isabel Carias Palencia (Ing. Mecánico)
osbercarias@gmail.com

Claudia Elisa Castellanos Jurado (Inga. Química)
etracastellanosj@gmail.com

Melinna Lizeth Beteta Castro (Br. Ciencias y Letras)
melybeteta@gmail.com

Juan Pablo López Cano (Ing. Industrial)
jlpoez22@gmail.com

Renato Paolo Cisneros Quiñonez (Br. Ciencias y Letras)
renatopcisneros@gmail.com

Resumen

Este artículo científico se centra en evaluar la capacidad de adsorción de la cascarilla de café modificada químicamente, en la remoción del colorante azul reactivo 19 en aguas contaminadas. Para ello, se aplicaron tratamientos químicos y térmicos al carbón activado, derivado de la cascarilla de café, los cuales fueron caracterizados estructuralmente, mediante Espectrometría Infrarroja por Transformada de Fourier (FTIR) y análisis de grupos funcionales básicos y ácidos. Los resultados revelaron modificaciones estructurales específicas, en los carbones tratados químicamente. El análisis estadístico, mostró diferencias significativas en los perfiles espectrométricos, indicando que el tratamiento con ácido fosfórico indujo cambios estructurales notables. Además, el análisis de grupos funcionales, indicó una mayor presencia de grupos ácidos en el carbón activado químicamente, lo que se asocia con una mayor afinidad hacia el colorante reactivo. En términos de capacidad de adsorción, los carbones tratados químicamente, demostraron una capacidad superior, en comparación con los tratados térmicamente. Las mediciones espectrofotométricas a 575 nm evidenciaron que, los carbones modificados químicamente, presentaron una capacidad de adsorción significativamente mayor, en comparación con los carbones tratados térmicamente. En cuanto a la cinética de adsorción, los modelos de pseudo segundo orden, fueron los más adecuados para describir el comportamiento de adsorción. Específicamente, para el carbón activado químicamente, los coeficientes de correlación (R^2) fueron 0.4758, 0.1151, 0.9817, 0.5119 y 0.7711, para concentraciones de 2, 6, 10, 25 y 35 ppm, respectivamente.

Palabras clave: bioadsorción, cascarilla de café, carbón activado, colorante reactivo 19, modificación química, análisis espectrométrico, cinética de adsorción, tratamiento químico, agua contaminada, capacidad de adsorción

Abstract

This project focused on evaluating the adsorption capacity of chemically modified coffee husk in the removal of reactive blue 19 dye from contaminated waters. For this purpose, chemical and thermal treatments were applied to activated carbon derived from coffee husk, which were structurally characterized using Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR) and analysis of basic and acidic functional groups. The results revealed specific structural modifications in the chemically treated carbons. Statistical analysis showed significant differences in the spectrometric profiles, indicating that the phosphoric acid treatment induced notable structural changes. Additionally, the functional group analysis indicated a higher presence of acidic groups in the chemically activated carbon, which is associated with a greater affinity towards the reactive dye. In terms of adsorption capacity, chemically treated carbons demonstrated superior capacity compared to thermally treated ones. Spectrophotometric measurements at 575 nm evidenced that chemically modified carbons exhibited significantly higher adsorption capacity compared to thermally treated carbons. Regarding adsorption kinetics, pseudo-second-order models were the most suitable for describing the adsorption. Specifically, for chemically activated carbon, the correlation coefficients (R^2) were 0.4758, 0.1151, 0.9817, 0.5119 and 0.7711 for concentrations of 2, 6, 10, 25 and 35 ppm respectively.

Keywords: bioadsorption, coffee husk, activated carbon, reactive dye 19, chemical modification, spectrometric analysis, adsorption kinetics, chemical treatment, contaminated water, adsorption capacity

Introducción

Según el Programa de Evaluación Mundial del Agua de la UNESCO (2021), la agricultura consume el 69 % del agua mundial, seguida de la industria con el 19 % y los hogares con el 12 %. Existe una creciente preocupación por el incremento del uso del agua a nivel global, el cual ha sido impulsado principalmente, por la demanda de naciones en desarrollo.

A medida que los países en desarrollo experimentan crecimiento económico, el uso per cápita de agua se aproxima al de las naciones desarrolladas. Se proyecta que la demanda de agua seguirá aumentando hasta 2050, con un incremento estimado entre el 20 % y el 30 %.

La industria textil, notable por su alto consumo de recursos naturales, energéticos y químicos, destaca en este contexto. En 2015, la población global de 7400 millones consumió 13,1 kg de artículos textiles per cápita, requiriendo grandes cantidades de fibras naturales y colorantes. En Guatemala y Centroamérica, la industria textil es una actividad económica crucial, representando el segundo mayor aporte al Producto Interno Bruto (PIB), después de la agricultura.

La contaminación por colorantes es un desafío ambiental significativo. Los colorantes sintéticos, como el azul 19 utilizado en jeans, son resistentes a la degradación ambiental. Diversos estudios han identificado materiales no convencionales, como adsorbentes naturales, para mitigar este problema. En particular, la cáscara de café, un subproducto agrícola abundante, ha mostrado potencial como material adsorbente para eliminar colorantes del agua.

Guatemala, siendo el noveno productor mundial de café, genera una cantidad considerable de cáscara de café, ofreciendo una oportunidad para su aprovechamiento en la descontaminación de aguas residuales de la industria textil. Este artículo informa sobre el desarrollo de la investigación que propuso el uso de la cáscara de café, como adsorbente para contribuir al saneamiento de aguas y la gestión sostenible de residuos industriales.

Metodología

En este estudio, las cascarillas de café recolectadas se sometieron a un proceso de lavado con agua desmineralizada caliente, según los métodos descritos por Lafi, et al. (2014) y citados en Castellar-Ortega, et al. (2020). Este procedimiento se realizó hasta alcanzar un pH constante, monitoreado con un potenciómetro de mesa de la marca Hanna Instruments, para eliminar finos e impurezas presentes. Posteriormente, el residuo húmedo se secó en un horno de convección, a una temperatura de 105 °C durante 24 horas, siguiendo las indicaciones de Feng, et al. (2018).

La carbonización sin tratamiento químico, consistió en colocar las muestras secas en cápsulas de porcelana y una mufla a 600 °C, con un tiempo de tratamiento de un minuto por gramo. Luego, las muestras se pulverizaron en un mortero y se almacenaron en bolsas de polietileno, bajo refrigeración hasta su análisis y/o uso, según Solís-Fuentes (2012).

Para la activación química, se utilizó ácido fosfórico (H₃PO₄), siguiendo los estudios de Ma & Ouyang (2013) y Neme, et al. (2022), en concentraciones de 20 % (CA20), en relación masa/volumen.

La impregnación se realizó agregando la solución de ácido fosfórico a la cascarilla deshidratada, en una relación de uno a cuatro en un balón con recirculación, agitando en un equipo ultrasónico a 65 °C, durante siete horas, y luego calcinado en un horno mufla a 550 °C, durante una hora. Se realizaron lavados con agua destilada, hasta que el pH se mantuvo constante.

Posteriormente, las muestras se secaron a 105 °C, durante 24 horas, para activar los carbones que se almacenaron en condiciones adecuadas. La caracterización fisicoquímica se llevó a cabo, mediante Espectrometría Infrarroja por Transformada de Fourier (FTIR), con un espectrofotómetro de la marca Perkin Elmer/Frontier, siguiendo los métodos de Ahmad & Alrozi (2010) y Ma & Ouyang (2013).

Los espectros se registraron a una velocidad de barrido de 20 escaneos por minuto, con una resolución de 2/cm, abarcando el rango de infrarrojo de 4000 a 400 cm⁻¹. Para evaluar la acidez de las cascarillas de café y los carbones activados, se utilizó el método Boehm, según González-García, et al. (2018).

Se tomaron muestras de 1.0 g y se mezclaron con disoluciones de NaOH, Na₂CO₃ y NaHCO₃, agitándose durante 24 horas a 25 °C. Luego, se filtraron y se determinó la concentración final, utilizando ftalato ácido de potasio, como estándar primario para NaOH y HCl 0.1 M para Na₂CO₃ y NaHCO₃. Este procedimiento se realizó en triplicado.

Para investigar el impacto de la concentración del colorante azul reactivo 19, se preparó una disolución de 500 mg/dm³ y se realizaron diluciones de 2, 6, 10, 25 y 35 mg/dm³. Se adicionaron 100 cm³ de cada disolución a 1000 mg del adsorbente y se agitaron a 120 rpm por ocho horas a 25 °C. Luego, se filtraron y se determinó la concentración del colorante, en un espectrofotómetro UV-vis a una longitud de onda de 575 nm.

Resultados

Tabla 1

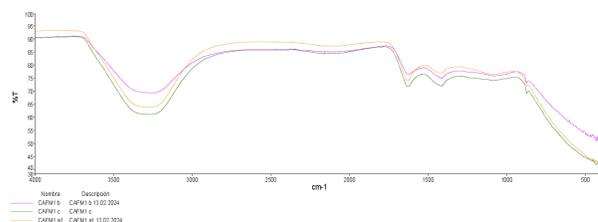
Caracterización del carbón activado químicamente, determinando los grupos funcionales básicos y ácidos, utilizando el método Boehm.

Corrida No.	Moles grupos básicos (mequi v-g/g)	Conformación grupos básicos (%)	f	Moles grupos ácidos (mequi v-g/g)	Conformación grupos ácidos (%)	f
1	0.95	44.28		1.20	55.72	
2	1	45.54	0.73	1.20	54.46	0.73
3	1	45.54		1.20	54.46	

Nota. Laboratorio de Investigación de Extractos Vegetales, CII, FIUSAC.

Figura 1

Espectrometría Infrarroja por Transformada de Fourier (FTIR), del carbón activado tratado térmicamente, obtenido de la cascarilla de café



Nota. Datos obtenidos en el Laboratorio de Química del Instituto de Investigaciones Químicas, Biológicas, Biomédicas y Biofísicas, Universidad Mariano Gálvez

Tabla 2

Caracterización del carbón activado térmicamente, determinando los grupos funcionales básicos y ácidos, utilizando el método Boehm.

Corrida No.	Moles grupos básicos (mequi v-g/g)	Conformación grupos básicos (%)	f	Moles grupos ácidos (mequi v-g/g)	Conformación grupos ácidos (%)	f
1	0.95	68.24		1.20	31.76	
2	1	65.28	1.48	1.20	34.72	1.48
3	1	66.82		1.20	33.18	

Nota. Laboratorio de Investigación de Extractos Vegetales, CII, FIUSAC.

Tabla 3

Espectrofotometría UV-Vis realizada a las soluciones con distintas concentraciones de colorante azul reactivo 19 (adsorbato) después de 8 horas de contacto con el carbón activado químicamente (bioadsorbente) para la determinación de la capacidad de adsorción.

Muestra No.	Concentración de colorante (mg/L)	Absorbancia			f
		Corrida 1	Corrida 2	Corrida 3	
1	2	0.001	0.001	0.000	0.001
2	6	0.007	0.007	0.007	0.000
3	10	0.010	0.012	0.010	0.001
4	25	0.075	0.076	0.076	0.001
5	35	0.110	0.110	0.110	0.000

Nota. Datos obtenidos en el Laboratorio de Química del Instituto de Investigaciones Químicas, Biológicas, Biomédicas y Biofísicas, Universidad Mariano Gálvez

Tabla 4

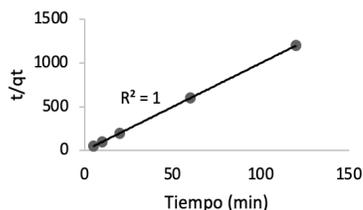
Espectrofotometría UV-Vis realizada a las soluciones con distintas concentraciones del colorante azul reactivo 19 (adsorbato) a distintos tiempos de contacto con el carbón activado químicamente (bioadsorbente) para la determinación de la cinética de adsorción.

Muestra No.	Concentración de colorante (mg/l)	Tiempo de contacto (min)	Absorbancia			f
			Corrida 1	Corrida 2	Corrida 3	
1	2	5	0.023	0.024	0.024	0.0006
2	6	10	0.008	0.007	0.008	0.0006
3	10	20	0.003	0.003	0.004	0.0006
4	25	60	0.006	0.007	0.008	0.0010
5	35	120	0.008	0.008	0.008	0.0000
6	2	5	0.011	0.012	0.012	0.0006
7	6	10	0.008	0.008	0.009	0.0006
8	10	20	0.008	0.008	0.008	0.0000
9	25	60	0.016	0.016	0.016	0.0000
10	35	120	0.017	0.017	0.016	0.0006
11	2	5	0.014	0.014	0.014	0.0000
12	6	10	0.011	0.010	0.010	0.0006
13	10	20	0.014	0.01	0.011	0.0021
14	25	60	0.008	0.008	0.008	0.0000
15	35	120	0.008	0.007	0.007	0.0006
16	2	5	0.018	0.018	0.02	0.0012
17	6	10	0.036	0.037	0.037	0.0006
18	10	20	0.022	0.023	0.023	0.0006
19	25	60	0.017	0.016	0.015	0.0010
20	35	120	0.034	0.034	0.034	0.0000
21	2	5	0.113	0.112	0.113	0.0006
22	6	10	0.039	0.039	0.039	0.0000
23	10	20	0.014	0.014	0.015	0.0006
24	25	60	0.011	0.012	0.012	0.0006
25	35	120	0.068	0.066	0.067	0.0010

Nota. Datos obtenidos en el Laboratorio de Química del Instituto de Investigaciones Químicas, Biológicas, Biomédicas y Biofísicas, Universidad Mariano Gálvez

Figura 2

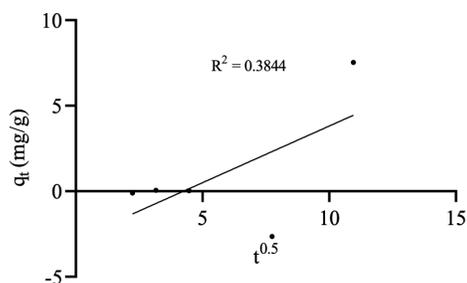
Curva $\ln(q_e - q_t)$ frente al tiempo de contacto de la solución de 2 mg/l de colorante azul reactivo 19, con el carbón activado térmicamente para el modelo de pseudo-segundo orden.



Nota. Laboratorio de Investigación de Extractos Vegetales, CII, FIUSAC

Figura 3

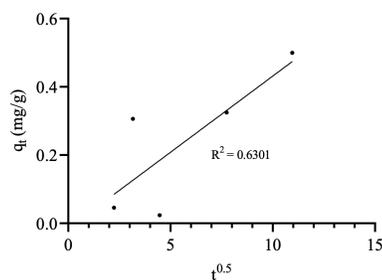
Curva de difusión intrapartícula del mecanismo de difusión del colorante azul reactivo 19, para una concentración de 6 mg/l, en el carbón activado químicamente



Nota. Laboratorio de Investigación de Extractos Vegetales, CII, FIUSAC

Figura 4

Curva de difusión intrapartícula del mecanismo de difusión del colorante azul reactivo 19, para una concentración de 10 mg/l, en el carbón activado térmicamente.



Nota. Laboratorio de Investigación de Extractos Vegetales, CII, FIUSAC

Discusión de resultados

Los resultados obtenidos de la caracterización y análisis de los carbones activados, tanto química como térmicamente, proporcionan información valiosa, sobre la eficiencia de cada método, en términos de bioadsorción del colorante azul reactivo 19. Las Tablas 1 y 2, muestran la caracterización de los grupos funcionales básicos y ácidos, utilizando el método Boehm. Para el carbón activado químicamente, se observa una mayor conformación de grupos ácidos (55.72 %), en comparación con los grupos básicos (44.28 %), lo que sugiere una mayor presencia de sitios ácidos en la superficie del carbón.

En contraste, el carbón activado térmicamente, presenta una conformación significativamente mayor de grupos básicos (68.24 %), frente a los grupos ácidos (31.76 %). Este contraste, en la distribución de grupos funcionales, podría influir en la afinidad de los carbones para adsorber diferentes tipos de contaminantes, en función de sus propiedades químicas.

El análisis por Espectrometría Infrarroja por Transformada de Fourier (FTIR), mostrado en la Figura 1, revela cambios estructurales en el carbón activado químicamente, en comparación con el carbón tratado térmicamente. Estos cambios son indicativos de la introducción de grupos funcionales específicos, que pueden mejorar la capacidad de adsorción del carbón activado químicamente.

Las mediciones de adsorción del colorante azul reactivo 19, presentadas en las Tablas 3 y 4, fueron realizadas, utilizando espectrofotometría UV-Vis. Los datos muestran la absorbancia medida en diferentes concentraciones de colorante, después de 8 horas de contacto con los carbones activados. No se encontró una diferencia estadísticamente significativa, en la capacidad de adsorción entre los dos tipos de carbón (valor $F > 0.05$), lo que sugiere; que ambos métodos de activación producen carbones con capacidades de adsorción similares.

La capacidad de adsorción se evaluó mediante curvas de calibración realizadas por triplicado, asegurando la precisión y reproducibilidad de las mediciones. Las concentraciones iniciales de 2, 6, 10, 25 y 35 ppm, se utilizaron para determinar la eficiencia de adsorción en diferentes condiciones. Los modelos cinéticos utilizados para analizar la adsorción incluyeron el modelo de pseudo-primer orden, pseudo-segundo orden y el modelo de difusión.

Los resultados de los modelos cinéticos indican que, el modelo de pseudo-segundo orden, proporciona un mejor ajuste a los datos experimentales, en comparación con el modelo de pseudo -primer orden, especialmente para el carbón activado químicamente, con coeficientes de correlación R^2 más altos (Figura 2).

Esto sugiere que la adsorción sigue una cinética de segundo orden, indicando que la adsorción es probablemente controlada por la interacción química entre el adsorbente y el adsorbato. Para el carbón activado térmicamente, aunque también se observa un mejor ajuste al modelo de pseudo-segundo orden, los coeficientes de correlación son menos consistentes.

El análisis del modelo de difusión intrapartícula (Figuras 3 y 4), muestra que ambos carbones presentan un ajuste variable a este modelo, lo que sugiere que la difusión intrapartícula está relacionada en el proceso de adsorción, pero no es determinante en el fenómeno.

Conclusiones

1. La activación química con ácido fosfórico introdujo grupos ácidos en el carbón activado, como se observó en el análisis de FTIR, lo que sugiere su potencial para aplicaciones específicas, con superficies funcionales activas.
2. La activación térmica del carbón, a partir de cascarillas de café, produjo grupos básicos, evidenciados por FTIR, indicando su aptitud para interacciones específicas, con sustancias ácidas.
3. Ambos tipos de carbón activado mostraron una capacidad de adsorción, consistente del colorante azul reactivo 19, a diferentes concentraciones; demostrando su robustez y eficiencia para aplicaciones industriales.
4. La capacidad de adsorción estable, a lo largo de 8 horas de contacto, indica que ambos carbones activados, mantienen su eficacia, destacando su viabilidad para procesos continuos en entornos industriales.
5. La cinética de adsorción de ambos carbones activados se ajusta mejor al modelo de pseudo segundo orden, lo que indica una mayor precisión en la descripción de la dinámica de adsorción del colorante.

Recomendaciones

1. Realizar investigaciones adicionales, para optimizar el proceso de activación química con ácido fosfórico, considerando variables como la concentración del ácido, el tiempo de impregnación y la temperatura. Ajustar estos parámetros podría mejorar las propiedades estructurales del carbón activado, incrementando su capacidad de adsorción y eficiencia en la eliminación de colorantes.
2. Dada la importancia de la materia prima en la producción de carbón activado, se sugiere investigar otras fuentes de residuos agrícolas o industriales, para evaluar su viabilidad en la creación de carbones activados con mejores propiedades adsorbentes. Esto podría diversificar las opciones y ofrecer soluciones más sostenibles.
3. Para confirmar la viabilidad práctica de los resultados obtenidos en laboratorio, se recomienda realizar estudios a escala piloto. Esto permitirá evaluar la eficiencia y la replicabilidad de los procesos, en condiciones más cercanas a las industriales, asegurando que los beneficios observados se mantengan en una escala mayor.
4. Dada la importancia de la sostenibilidad en el uso de carbones activados, se sugiere investigar la regeneración y reutilización de los materiales adsorbentes. Esto podría proporcionar información valiosa, sobre la vida útil y la eficacia a largo plazo de los carbones activados, en procesos continuos de eliminación de colorantes.

Referencias bibliográficas

Ahmad, A., & Alrozi, R. (2010). Optimization of preparation conditions for mangosteen peel-based activated carbons for the removal of remazol brilliant blue R using response surface methodology. *Chemical Engineering Journal*, 165(3), 883-890. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2010.10.011>

Castellar-Ortega, G., Cely-Bautista, M., Cardozo-Arrieta, B., Angulo-Mercado, R., & Plaza-Vega, E. (2020). Adsorption of Direct Blue 2 dyes over coffee grounds in a fixed-bed column at laboratory <https://doi.org/10.31910/rudca.v21.n2.2018.971>

Feng, N. C. Fan, W., Zhu, M. L., & Guo, X. Y. (2018). Adsorption of Cd²⁺ in aqueous solutions using KMnO₄-modified activated carbon derived from Astragalus residue. *Transactions of Nonferrous Metals Society of China (English Edition)*, 28(4), 794-801.

[https://doi.org/10.1016/S1003-6326\(18\)64712-0](https://doi.org/10.1016/S1003-6326(18)64712-0)

González-García, P. (2018). Activated carbon from lignocellulosic precursors: A review of the synthesis methods, characterization techniques and applications. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 82, 1393-1414.

<https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.04.117>

Lafi, R., Ben Fradj, A., Hafiane, A., & Hameed, B. H. (2014). Coffee waste as potential adsorbent for the removal of basic dyes from aqueous solution. *Korean Journal of Chemical Engineering*, 31(12), 2198-2206.

<https://doi.org/10.1007/s11814-014-0171-7>

Ma, Y. & Ouyang, F. (2013). A novel method for preparing activated carbon by microwave-assisted phosphoric acid activation from apple sawdust and its application in the adsorption of heavy metal ions. *Bioresource*

Neme, K., Lalau, C., Kaid, N., Diderot, N. & Bensaid, J. (2022). Activated carbons from date pits and olive stones prepared by H₃PO₄ activation. Adsorption properties for heavy metal removal from aqueous solutions. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 10(2), 107083.

<https://doi.org/10.1016/j.jece.2021.107083>

Solís-Fuentes J.A., Morales Téllez, M., Ayala Tirado, R. C. & Durán de Bazúa, M. C. (2012). Obtención de carbón activado a partir de residuos agroindustriales y su evaluación en la remoción de color del jugo de caña. *Tecnología, Ciencia, Educación*, 27, 36-48.

Agradecimientos

Los autores de este trabajo agradecen al Centro de Investigaciones de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, por su acceso a recursos y servicios. Asimismo, se reconoce la valiosa contribución del Licenciado Luis Velásquez y otros profesionales del Centro de Investigación y Desarrollo CID, de Cementos Progreso, así como del Dr. Ricardo San José, MSc. Rebeca Méndez, Lcda. Victoria Casasola y PhD. Claudia De León, del Instituto de Investigaciones Químicas, Biológicas y Biofísicas (I²QB₃).

Autores

Mario José Mérida Meré

Ingeniero Químico, Coordinador del LIEXVE -CII- USAC, Profesor Investigador Titular Escuela de Ingeniería Química, Docente de la Escuela de Ingeniería Química e Ingeniería Ambiental. Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala.

Telma Maricela Cano Morales

Ingeniera Química, Directora del Centro de Investigaciones de Ingeniería, -CII- USAC, Profesora de los cursos de Química General 1 y 2. Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala.

Gerson Joel Ortega Morales

Ingeniero Químico, Profesor Investigador en LIEXVE -CII- USAC, Profesor Investigador y Especialista en Investigación Científica. Docente de los cursos de Química Orgánica 1 y 2.

Osber Isabel Carías Palencia

Ingeniero Mecánico, Especialista en Gerencia del Comercio Exterior, Profesor Investigador en LIEXVE / CII y de la Escuela de Ingeniería Mecánica, Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala.

Claudia Elisa Castellanos Jurado

Ingeniera Química, Investigadora del Centro de Investigaciones de Ingeniería, LIEXVE, Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala.

Melinna Lizeth Beteta Castro

Bachiller en Ciencias y Letras, Auxiliar de Investigación del Centro de Investigaciones de Ingeniería, LIEXVE, Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala.

Juan Pablo López Cano

Ingeniero Industrial, Auxiliar de Investigación del Centro de Investigaciones de Ingeniería, -LIEXVE-, Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala.

Renato Paolo Cisneros Quiñonez

Bachiller en Ciencias y Letras, Auxiliar de Investigación del Centro de Investigaciones de Ingeniería, LIEXVE, Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala.



Evaluación

de productos cosméticos con aceite esencial y absoluto de cardamomo (*Elettaria cardamomum L. Matton*) de tercera calidad y cascarilla

Astrid Susana del Rosario Paredes González (Inga. Química)
astridparedes@hotmail.com

Telma Maricela Cano Morales (Inga. Química)
telma.canomorales@hotmail.com

Mario José Mérida Meré (Ing. Químico)
mjmeridamere@gmail.com

Osber Isabel Carías Palencia (Ing. Mecánico)
osbercarias@gmail.com

Melinna Lizeth Beteta Castro (Br. Ciencias y letras)
melybeteta@gmail.com

Evaluación de productos cosméticos

con aceite esencial y absoluto de cardamomo (*Elettaria cardamomum* L. Matton)
de tercera calidad y cascarilla

Astrid Susana del Rosario Paredes González (Inga. Química)
astridparedes@hotmail.com

Telma Maricela Cano Morales (Inga. Química)
telma.canomorales@hotmail.com

Laboratorio de Investigación de Extractos Vegetales -LIEXVE-
Sección Química Industrial
Centro de Investigaciones de Ingeniería - Facultad de Ingeniería

Mario José Mérida Meré (Ing. Químico)
mjmeridamere@gmail.com

Osber Isabel Carías Palencia (Ing. Mecánico)
osbercarias@gmail.com

Melinna Lizeth Beteta Castro (Br. Ciencias y letras)
melybeteta@gmail.com

Resumen

El presente estudio se centra en la aplicación de extractos vegetales de cardamomo de tercera calidad, en cosméticos (crema humectante, aceite para masajes y loción), utilizando aceite esencial y absoluto obtenidos de materias primas provenientes de El Quiché y Alta Verapaz. Además de la procedencia, la concentración de los extractos en las formulaciones cosméticas desempeñó un papel crucial en la caracterización fisicoquímica de los productos. Se determinó que no hay una diferencia estadísticamente significativa en el pH de la crema humectante formulado con aceite esencial de cardamomo a concentraciones de 0.5 % a 1 % m/m. Sin embargo, se encontró una diferencia significativa en la densidad y viscosidad según la procedencia del cardamomo. Para el aceite para masajes, no se observó diferencias significativas en el pH al utilizar concentraciones de 1 % m/m y 2 % m/m de aceite esencial de cardamomo, según su procedencia. En cuanto a la densidad, sí hubo diferencias significativas para ambas concentraciones, mientras que en la viscosidad solo hubo diferencias al aplicar 1 % m/m, no con 2 % m/m. En la loción formulada con absoluto de cardamomo a concentraciones de 0.5 % m/m y 1 % m/m, no se encontró diferencias significativas en el pH según la procedencia, pero sí en la densidad para ambas concentraciones. No fue posible evaluar los productos cosméticos con el aceite esencial y absoluto de cardamomo extraído de la cascarilla, ya que no se logró obtener suficiente material para las formulaciones. La formulación de productos cosméticos a partir de extractos de cardamomo de tercera calidad, provenientes de El Quiché y Alta Verapaz, demuestra ser funcional y tiene el potencial de impactar el mercado guatemalteco.

Palabras clave: cardamomo, cosmético, aceite esencial, absoluto, oleoresina, RTCA 71.03.45:07

Abstract

The present study focuses on the application of third-quality cardamom plant extracts in cosmetics (moisturizing cream, massage oil, and lotion), using essential oil and absolute obtained from raw materials sourced from El Quiché and Alta Verapaz. In addition to the origin, the concentration of the extracts in the cosmetic formulations played a crucial role in the physicochemical characterization of the products. It was determined that there is no statistically significant difference in the pH of the moisturizing cream formulated with cardamom essential oil at concentrations of 0.5 % to 1 % w/w. However, a significant difference was found in the density and viscosity according to the origin of the cardamom. For the massage oil, no significant differences in pH were observed when using 1% w/w and 2 % w/w concentrations of cardamom essential oil, depending on its origin. Regarding density, there were significant differences for both concentrations, while for viscosity, differences were only observed at 1% w/w, not at 2 % w/w. In the lotion formulated with cardamom absolute at concentrations of 0.5 % w/w and 1% w/w, no significant differences in pH were found based on origin, but there were differences in density for both concentrations. It was not possible to evaluate the cosmetic products with essential oil and absolute cardamom extracted from the husk, as sufficient material could not be obtained for the formulations. The formulation of cosmetic products from third-quality cardamom extracts sourced from El Quiché and Alta Verapaz proves to be functional and has the potential to impact the Guatemalan market.

Keywords: cardamom, cosmetic, essential oil, absolute, oleoresin, RTCA 71.03.45:07

Introducción

El presente artículo se centra en la investigación de las aplicaciones industriales de los extractos de especies vegetales, específicamente el cardamomo de tercera calidad, en la industria cosmética. La relevancia de este estudio radica en la posibilidad de agregar valor a estas cosechas, impulsando así el desarrollo económico local y ofreciendo nuevas oportunidades para los emprendedores guatemaltecos (Espina, 2014). Además, uno de los objetivos es explorar la incorporación de extractos de cardamomo en la formulación de diversos productos cosméticos como cremas hidratantes, aceites para masajes y lociones, lo que podría ampliar el horizonte de aplicación de este recurso natural.

El objetivo principal de esta investigación fue analizar las características fisicoquímicas y microbiológicas de productos cosméticos, desarrollados a partir de extractos de cardamomo de los departamentos de El Quiché y Alta Verapaz.

Este análisis se enfocó en determinar las concentraciones adecuadas de aplicación, proporcionando datos fiables que puedan ser utilizados por emprendedores interesados en este campo (Castaño Amores & Hernández Benavides, 2018). Para asegurar la calidad de los productos, otro de los objetivos incluyó, realizar controles detallados de las propiedades fisicoquímicas y microbiológicas según las normativas establecidas, lo que es crucial para garantizar la seguridad y eficacia de los productos cosméticos finales.

El enfoque metodológico de este estudio incluyó la formulación y prueba de productos cosméticos, con el fin de establecer un modelo de formulación que pueda ser replicado y mejorado. Este modelo servirá como base para el desarrollo de nuevas formulaciones, utilizando extractos de Guatemala, siendo uno de los mayores exportadores de cardamomo a nivel mundial, tiene un gran potencial para aprovechar este recurso en la fabricación de productos finales.

Este estudio pretende sentar un precedente importante, para que los emprendedores guatemaltecos puedan obtener mayores beneficios económicos, al incursionar en la producción y comercialización de cosméticos derivados del cardamomo (CACEGLOBAL, 2016).

Dentro de este marco, se buscará también desarrollar controles de las propiedades fisicoquímicas específicas para productos como, aceites para masajes y lociones, basados en la calidad del cardamomo utilizado.

El cumplimiento de las normativas establecidas por el Reglamento Técnico Centroamericano (RTCA), es esencial para garantizar la calidad de los productos cosméticos. Por ello, se han considerado los lineamientos del Departamento de Regulación y Control de Productos Farmacéuticos y Afines (2012), en esta investigación.

Además, se realizaron pruebas microbiológicas específicas, siguiendo los métodos descritos por Herrera (2011), para asegurar que los productos desarrollados cumplieran con los estándares de seguridad y eficacia.

Finalmente, se espera que esta investigación no solo beneficie a los productores locales, sino que también contribuya al desarrollo sostenible mediante el uso de procesos industriales con filosofía de "cero emisiones" (Cuadernos de Investigación, 2012), promoviendo así, una industria cosmética más ecológica y responsable.

Metodología

El artículo presenta resultados de la investigación, cuyo objetivo fue evaluar las aplicaciones industriales de los extractos de cardamomo de tercera calidad en productos cosméticos, tales como crema humectante, aceite para masajes y loción.

En esta investigación, se llevó a cabo un estudio detallado sobre los extractos de cardamomo para determinar su efectividad y calidad cuando se utilizan en diferentes productos cosméticos. El trabajo se realizó en el Laboratorio de Investigación de Extractos Vegetales (LIEXVE), de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala (USAC), utilizando materia prima de cardamomo de tercera calidad, procedente de las regiones de Alta Verapaz y El Quiché.

Las variables dependientes clave en este estudio fueron la apariencia, color, pH, densidad, viscosidad y recuento de microorganismos de los cosméticos formulados. Estos parámetros son fundamentales para evaluar la calidad y estabilidad de los productos cosméticos.

La variable independiente principal fue el lugar de procedencia del cardamomo (Alta Verapaz y El Quiché), que podría tener un impacto significativo en las propiedades finales de los cosméticos. Además, se consideraron las concentraciones de los extractos (aceite esencial y absoluto), aplicados en los productos.

Para llevar a cabo la investigación, se utilizó una técnica cuantitativa y se siguieron varios procedimientos experimentales. Primero, se obtuvo la materia prima vegetal a partir de cardamomo de tercera calidad. Luego, se formularon los tres tipos de productos cosméticos, cada uno con dos concentraciones diferentes de extractos y tres repeticiones por cada concentración, resultando en un total de 72 tratamientos.

La formulación de la crema humectante involucró la mezcla de agua desmineralizada, glicerina y otros componentes a temperaturas específicas, seguidos por la adición del aceite esencial de cardamomo como principio activo. El aceite para masajes se formuló mezclando aceite vegetal de almendras dulces, aceite esencial de cardamomo y vitamina E. La loción se preparó combinando agua, alcohol etílico desnaturalizado, glicerina y absoluto de cardamomo.

Se realizaron mediciones de las propiedades fisicoquímicas de cada producto, como el índice de refracción, densidad y pH. Además, se llevó a cabo análisis microbiológicos para determinar la presencia de bacterias en los cosméticos y pruebas hedónicas para evaluar la aceptación sensorial de los productos.

Los resultados de este estudio tienen importantes implicaciones para la industria cosmética, ya que demuestran el potencial de los extractos de cardamomo, como ingredientes activos en productos de cuidado personal. Además, el trabajo proporciona información valiosa sobre cómo las diferentes procedencias del cardamomo, pueden influir en las propiedades finales de los cosméticos.

Este estudio ofrece una visión completa de la aplicación de extractos de cardamomo en la industria cosmética, destacando la importancia de la calidad de la materia prima y los procesos de formulación en la producción de cosméticos eficaces y seguros. Los hallazgos pueden ser útiles para desarrollar nuevos productos y mejorar los existentes, contribuyendo a la innovación y sostenibilidad en el sector cosmético.

Resultados y discusión

Se realizó un estudio para una crema humectante elaborada con aceite esencial de cardamomo, de los departamentos de Alta Verapaz y El Quiché. En las muestras de El Quiché, el valor de pH es mayor que en las muestras de Alta Verapaz, a una concentración de 0.5 % m/m.

Al aumentar la concentración 1 % m/m, el pH sube a 6.53 en las muestras de Alta Verapaz y disminuye a 6.47 en las muestras de El Quiché. Para la densidad media de la crema, esta aumenta con la concentración del extracto de aceite esencial. Luego, con la viscosidad media, en las muestras de Alta Verapaz, es menor a una concentración de 0.5 % m/m, comparado con 1 % m/m. En las muestras de El Quiché, la viscosidad media aumentó proporcionalmente con la concentración del extracto.

Tabla 1

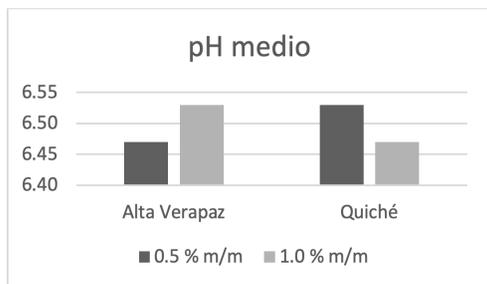
pH medio, densidad y viscosidad medias de crema humectante, elaborada con aceite esencial de cardamomo, proveniente de los departamentos de Alta Verapaz y El Quiché

Parámetro		Región Procedencia	
		Alta Verapaz	El Quiché
pH medio	0,5 % m/m	6,47	6,53
	1,0 % m/m	6,53	6,47
Densidad media (kg/m ³)	0,5 % m/m	1014,48	1038,26
	1,0 % m/m	987,97	964,45
Viscosidad media (cp)	0,5 % m/m	4709,00	4677,00
	1,0 % m/m	4943,00	5212,00

Nota. Datos experimentales, Laboratorio de Investigaciones de Extractos Vegetales, Universidad de San Carlos de Guatemala.

Figura 1

pH medio de crema humectante elaborada con aceite esencial de cardamomo, proveniente de los departamentos de Alta Verapaz y El Quiché



Nota. Datos experimentales, Laboratorio de Investigaciones de Extractos Vegetales, Universidad de San Carlos de Guatemala.

Además de la crema humectante, también se realizó un aceite para masaje, elaborado con aceite esencial de cardamomo, proveniente de Alta Verapaz y El Quiché a diferentes concentraciones de aplicación del extracto, en el cual se midió el índice de refracción, pH y densidad.

Los datos experimentales reportan con respecto al pH que, en ambos departamentos, este disminuye al duplicar la concentración del aceite esencial.

Con la densidad media del aceite, aumenta al duplicar la concentración del aceite esencial, independientemente del origen del cardamomo. Para el índice de refracción medio a 20 °C del aceite, al duplicar la concentración del aceite esencial de 1% m/m a 2 % m/m, se observa una ligera diferencia en el índice de refracción en ambos casos, con cambios del orden de diez milésimas.

Tabla 2

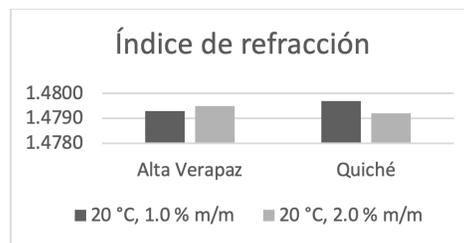
Índice de Refracción, pH y Densidad media de aceite para masajes, elaborado con aceite esencial de cardamomo, proveniente de los departamentos de Alta Verapaz y El Quiché

Parámetro		Región Procedencia	
		Alta Verapaz	Quiché
Índice de refracción	20 °C, 1,0 % m/m	1,4793	1,4797
	20 °C, 2,0 % m/m	1,4795	1,4792
pH medio	1,0 % m/m	6,07	5,87
	2,0 % m/m	6,20	6,00
Densidad media (kg/m ³)	1,0 % m/m	900,63	900,50
	2,0 % m/m	856,43	853,70

Nota. Datos experimentales, Laboratorio de Investigaciones de Extractos Vegetales, Universidad de San Carlos de Guatemala.

Figura 2

Índice de Refracción medio de aceite para masajes, elaborado con aceite esencial de cardamomo, proveniente de los departamentos de Alta Verapaz y El Quiché



Nota. Datos experimentales, Laboratorio de Investigaciones de Extractos Vegetales, Universidad de San Carlos de Guatemala.

Tabla 3

pH, densidad y viscosidad medias de loción, elaborada con absoluto de cardamomo, proveniente de los departamentos de Alta Verapaz y El Quiché, a diferentes concentraciones de aplicación de extracto

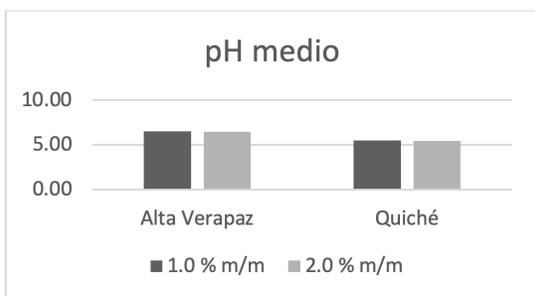
Parámetro		Región Procedencia	
		Alta Verapaz	Quiché
pH medio	1,0 % m/m	6,53	5,50
	2,0 % m/m	6,47	5,43
Densidad media (kg/m ³)	1,0 % m/m	935,45	93,35
	2,0 % m/m	909,11	911,28
Viscosidad media (cp)	1,0 % m/m	105,00	105,00
	2,0 % m/m	110,00	108,33

Nota. Datos experimentales, Laboratorio de Investigaciones de Extractos Vegetales, Universidad de San Carlos de Guatemala.

Además de los dos productos antes mencionados, se elaboró una loción con absoluto de cardamomo, proveniente de los departamentos de Alta Verapaz y El Quiché, a diferentes concentraciones. Se hicieron pruebas para pH y densidad. Al duplicar la concentración de 0.5 % a 1 %, el pH de la loción disminuye, tanto para las muestras Alta Verapaz como para las de El Quiché. Las densidades medias disminuyen en ambos casos al duplicar la concentración de absoluto de cardamomo, de 0.5 % a 1 %.

Figura 4

pH medio de aceite para masajes, elaborado con aceite esencial de cardamomo, proveniente de los departamentos de Alta Verapaz y El Quiché



Nota. Datos experimentales, Laboratorio de Investigaciones de Extractos Vegetales, Universidad de San Carlos de Guatemala.

Conclusiones

1. No se observó una diferencia estadísticamente significativa en el pH de la crema humectante, formulada con aceite esencial de cardamomo a concentraciones de 0.5 % y 1 % m/m. Sin embargo, sí se encontró una diferencia estadísticamente significativa en la densidad y viscosidad, según la procedencia del aceite esencial.
2. No se encontró una diferencia estadísticamente significativa en el pH del aceite para masajes, formulado con aceite esencial de cardamomo a concentraciones de 1 % m/m y 2 % m/m, en función de su procedencia. Sin embargo, sí existe una diferencia significativa en la densidad de ambas concentraciones, según la procedencia. En cuanto a la viscosidad, no hay diferencia significativa al 2 % m/m, pero sí la hay al 1 % m/m, en función de la procedencia.
3. Se determinó que en la loción formulada con absoluto de cardamomo a concentraciones de 0.5 % m/m y 1 % m/m, no hay una diferencia estadísticamente significativa en el pH, según la procedencia. Sin embargo, para la densidad en ambas concentraciones, sí existe una diferencia significativa.
4. Se incorporó los extractos obtenidos del aceite esencial de cardamomo cultivados en Alta Verapaz y El Quiché, en la formulación de productos cosméticos (crema hidratante, aceite para masajes y loción).
5. Se realizó un análisis microbiológico en los productos cosméticos (aceite para masajes y crema humectante), y se determinó que cumplen satisfactoriamente con los parámetros de la Norma RTCA 71.03.45:07.

Recomendaciones

1. Realizar estudios de estabilidad a largo plazo, para verificar si el pH se mantiene constante o cambia con el tiempo, lo cual podría depender de la concentración del aceite esencial.
2. Revisar y optimizar el proceso de mezcla, para asegurar que la distribución del aceite esencial en el producto final sea uniforme, lo que puede ayudar a reducir las variaciones en la densidad.
3. Monitorear el pH de la loción en futuros lotes, para asegurar la estabilidad del producto y su compatibilidad con la piel. Además, revisar y optimizar el proceso de mezcla, para asegurar que el absoluto de cardamomo se distribuya uniformemente en el producto final, lo que puede ayudar a reducir las variaciones en la densidad.
4. Mezclar absolutos de diferentes procedencias para crear un producto más homogéneo, en términos de densidad. Además de revisar y optimizar el proceso de mezcla, para asegurar una distribución uniforme del absoluto de cardamomo, en la loción; ajustar los tiempos y velocidades de mezcla, si es necesario.
5. Realizar estudios de estabilidad en los productos, para asegurar que mantienen sus características microbiológicas, dentro de los límites aceptables durante su vida útil, además de evaluar regularmente la efectividad de los sistemas de conservantes, utilizados en las formulaciones para asegurar su capacidad.

Referencias bibliográficas

CACEGLOBAL, (2016). Química Cosmética. Consejo Argentino de Ciencias Estéticas. Medicina-Estetica-Programa-CACE-1.pdf (caceglobal.org)

Castaño Amores, C. y Hernández Benavides, P. J., (2018). Activos antioxidantes en la formulación de productos cosméticos antienvjecimiento. *Ars Pharmaceutica* (Internet), vol. 59, no. 2. DOI 10.30827/ars. v59i2.7218. Antioxidant actives in the formulation of anti-aging cosmetic products (researchgate.net)

Castillo Cohaila, M. A., (2019). Evaluación sensorial de un emulsionante en el procesamiento de crema de aceituna negra. *Ciencia & Desarrollo*, no. 11DOI 10.33326/26176033.2007.11.232.

Departamento de Regulación y Control de Productos Farmacéuticos y Afines. Reglamento Técnico Centroamericano: RTCA 71.03.45.07. Productos Cosméticos, Verificación de la Calidad. <http://www.medicamentos.com.gt/index.php/legislacion-vigente/>

Espina Quiñonez, S. M. (2014). Evaluación del rendimiento extractivo y caracterización fisicoquímica del aceite esencial de cardamomo (*Elettaria cardamomum L. Matton*) de primeras, segunda y tercera calidad mediante el método de hidrodestilación a escala Laboratorio. Universidad de San Carlos de Guatemala.

Gil Pavas, E. (2012). Evaluación a escala de planta piloto del proceso industrial para la obtención de aceite esencial de cardamomo, bajo la filosofía "cero emisiones". *Cuadernos de Investigación*, vol. 0, No. 30.

Fomento, M. De, (2005). Reglamento Técnico Centroamericano RTCA 67.04.48:07.

Herrera, L., (2011). Pruebas Microbiológicas para E. Coli. *Biota et Scientia*

Mosquera Tayupanta, T., Medrano Jara, A. y Maldonado, M.E., (2020). Extractos naturales una alternativa conservante en la industria cosmética. *RISTI - Revista Iberica de Sistemas e Tecnologias de Informacao*, vol. 2020, no. E30

Agradecimientos

Los autores de este trabajo agradecen al Centro de Investigaciones de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala.

Autores

Astrid Susana del Rosario Paredes

Ingeniera Química, Auxiliar de Investigación del Centro de Investigaciones de Ingeniería, LIEXVE, Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala.

Telma Maricela Cano Morales

Ingeniera Química, Directora del Centro de Investigaciones de Ingeniería, LIEXVE, Profesora de los cursos de Química General 1 y 2. Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala.

Mario José Mérida Meré

Ingeniero Químico, Coordinador del Laboratorio de Investigación de Extractos Vegetales LIEXVE, Profesor Investigador, Profesor Escuela de Ingeniería Química, Docente de los cursos Extracciones Industriales, Seminario de Investigación de Ingeniería Química e Ingeniería Ambiental. Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala.

Osber Isabel Carías Palencia

Ingeniero Mecánico, Especialista en Gerencia del Comercio Exterior, Profesor Investigador en LIEXVE / CII y de la Escuela de Ingeniería Mecánica, Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala.

Melinna Lizeth Beteta Castro

Bachiller en Ciencias y Letras, Auxiliar de Investigación del Centro de Investigaciones de Ingeniería, LIEXVE, Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala.



M

icroplásticos
en agua purificada, producida
y envasada en Guatemala

Ingrid Lorena Benítez Pacheco (Licda. en Química)
MSc. en Ciencia y Tecnología del Medio Ambiente
licdaibenitez@gmail.com

Paula María Vásquez Cifuentes (Inga. Química)
M.A. en Energía y Ambiente
vasquezcifuentes.paula@gmail.com

Ana Luisa Isabel Droege Romero (Inga. Química)
ana.droege@gmail.com

Carlos Rodolfo Vargas López (Br. en Ciencias y Letras)
carlosrodolfovargaslopez@gmail.com

Ingrid Lorena Benítez Pacheco (Licda. en Química)
MSc. en Ciencia y Tecnología del Medio Ambiente
licdaibenitez@gmail.com

Ana Luisa Isabel Droege Romero (Inga. Química)
ana.droege@gmail.com

Paula María Vásquez Cifuentes (Inga. Química)
M.A. en Energía y Ambiente
vasquezcifuentes.paula@gmail.com

Carlos Rodolfo Vargas López (Br. en Ciencias y Letras)
carlosrodolfovargaslopez@gmail.com

Laboratorio Físicoquímico -LAFIQ- Sección Química Industrial
Centro de Investigaciones de Ingeniería
Facultad de Ingeniería

Resumen

Los microplásticos (MPs), son partículas poliméricas pequeñas, casi invisibles al ojo humano, de gran impacto en los últimos años por su capacidad de entrar a la composición de productos vitales. En este artículo, se informa los resultados obtenidos en la investigación, que tuvo como objetivo cuantificar y caracterizar la cantidad de partículas extraídas de muestras de agua potable, empacada provenientes de purificadoras comerciales nacionales, purificadoras locales de sectores ciudadanos y agua embotellada de importación. Para muestras de una misma marca, se tomó en cuenta el tamaño, la presentación, así como la maduración de la muestra, antes y después de un tiempo de su adquisición, bajo condiciones ambientales no controladas. Las muestras fueron filtradas y teñidas por Rosa de Bengala o Rojo de Nilo, para discriminar el material de las partículas entre naturaleza orgánica o inorgánica, en la cuantificación. Las muestras de purificadoras locales demostraron tener hasta 1419 MP/L, siendo el mayor contenido de microplásticos para todas las muestras, tanto al inicio y final del tiempo de maduración. El tiempo de maduración promovió un aumento de partículas en las muestras comerciales e importadas, en especial en presentaciones con empaques pequeños. Entre las partículas encontradas se identificaron por medio de FTIR-ATR, los siguientes plásticos: polietileno de alta densidad (HDPE), nylon, tereftalato de polietileno (PET) y polipropileno (PP).

Palabras clave: agua potable, Rojo de Nilo, Rosa de Bengala, plásticos, FTIR

Abstract

Microplastics (MPs) are small polymeric particles, nearly invisible to the human eye, which have had a significant impact in recent years due to their ability to enter vital product production. This research aimed to quantify and characterize the number of particles extracted from samples of packaged drinking water from national commercial purifiers, local purifiers in urban areas, and imported bottled water. For samples of the same brand, factors such as size, packaging, and sample maturation before and after a period of acquisition under uncontrolled environmental conditions were considered. The samples were filtered and stained with Bengal Rose or Nile Red to discriminate the material of the particles as organic or inorganic in quantification. Local purifier samples demonstrated up to 1419 MP/L, representing the highest microplastic content for all samples at both the beginning and end of the maturation period. The maturation period promoted an increase in particles in commercial and imported samples, particularly in presentations with small packaging. Among the particles found, the following plastics were identified using FTIR-ATR: high-density polyethylene (HDPE), nylon, polyethylene terephthalate (PET), and polypropylene (PP).

Keywords: drinking water, Nile Red, Bengal Rose, plastics, FTIR

Introducción

La ingestión de microplásticos se ha convertido en un tema de atención por la comunidad científica, siendo un problema emergente a nivel mundial. El ser humano consume microplásticos constantemente en comida, agua y en el aire; y por el momento se considera que estos son ubicuos (World Health Organization [WHO], 2019), esto se ha observado en investigaciones que han llegado a encontrarlos en productos de consumo diario, tales como cerveza, sal común y agua del chorro (Kosuth representa una gran cantidad de microplásticos et al., 2018). El consumo de agua embotellada ingeridos, se estima que el consumo anual de una persona es de hasta 52,000 microplásticos, más que una persona que solamente consume agua del grifo cada año (Cox et al., 2019). Solo en el año 2015, en Guatemala se distribuyeron 120,9 millones de litros de agua natural envasada (América Economía, 2016), lo cual representaría una cantidad exorbitante de microplásticos que llegan a los hogares.

Existen varios estudios realizados, que determinaron la presencia y abundancia de microplásticos en agua embotellada. En República Checa, se encontraron hasta 628 partículas/L con una abundancia de partículas en forma de fragmentos (Pivonkowsky et al., 2018). De manera similar, se cuantifican en aguas gaseosas producidas solamente en Ciudad de México, llegando hasta 28 partículas/L (Shruti et al., 2020). Entre estos estudios, resalta la gran variabilidad en las abundancias, dependiendo del origen de la muestra. Específicamente en Guatemala, se han realizado investigaciones sobre microplásticos enfocadas en su presencia en lagos (Sosa, 2019; de Tejada, 2019), y peces marinos (Mazariegos et al., 2021). Sin embargo, no hay investigaciones sobre la presencia de microplásticos en el agua potable nacional.

Por esto, es de suma importancia estudiar la cantidad y morfología de microplásticos contenidos en agua embotellada nacional, y el efecto que puede tener el

tamaño, tipo de envase y condiciones de almacenamiento en la abundancia. En el presente artículo, se describió la morfología y la cantidad de micropartículas presentes en agua embotellada de diferentes marcas en Guatemala, así como el efecto en el tamaño de empaque con la presencia de partículas. Para esto, se analizaron cinco marcas de purificadoras comerciales nacionales, cinco de purificadoras locales en distintos puntos de la Ciudad de Guatemala y tres marcas importadas. Por cada proveedor, se usaron las distintas presentaciones disponibles: botellas de distintos tamaños, garrafones, bolsas, botellas de plástico y botellas de vidrio.

En el proceso de extracción, las muestras seleccionadas se filtraron por un filtro de membrana, el cual fue teñido con Rosa de Bengala o Rojo Nilo, con el fin de diferenciar las partículas poliméricas y las orgánicas. Luego, se procedió al conteo y clasificación morfológica, mediante su observación en estereoscopio. Finalmente, se comprobó la naturaleza química de algunas partículas seleccionadas por medio de FTIR. Los datos se analizaron por pruebas estadísticas para determinar si el tamaño, tipo de empaque y las condiciones de almacenamiento, afectaron en la cantidad de micropartículas encontradas, como Análisis de Varianza y Tukey.

Objetivos

1. Cuantificar y caracterizar las micropartículas presentes en agua purificada, producida y embotellada en Guatemala.
2. Determinar el efecto del tipo y tamaño de empaque en la presencia de micropartículas en agua purificada.
3. Establecer la influencia de las condiciones ambientales de almacenaje en la presencia de micropartículas en agua purificada.

4. Comprobar por espectroscopia infrarroja la naturaleza polimérica de microplásticos.

Metodología

Ubicación geográfica y temporalidad de la investigación

El estudio se realizó de febrero 2022 a enero 2023. Los primeros meses se realizaron los muestreos de botellas, garrafones y bolsas en distintos centros de distribución y puntos de venta. Para las muestras comerciales (CM), se identificaron las purificadoras y marcas presentes en la Ciudad de Guatemala, que comercializan sus productos en gran parte del país. De igual manera, se identificaron las marcas importadas (IM), de venta en el área metropolitana.

Se distinguieron tres categorías de tamaño de presentación, según el rango de volumen reportado en la etiqueta del producto, como se presenta en la Tabla 1. Las muestras comerciales e importadas fueron recolectadas en supermercados de conveniencia en la Ciudad de Guatemala, seleccionando un solo lote por tamaño de presentación disponible, para garantizar el tratamiento uniforme de las muestras en las plantas de producción. En el caso de las muestras locales (LC), los sitios de muestreo se seleccionaron aleatoria y posteriormente se clasificaron por zonas de la Ciudad de Guatemala.

Del agua empaçada recolectada se distinguieron dos grupos, denominados "0" y "3". El grupo "0" se analizó inmediatamente después de su adquisición, mientras que el grupo "3" se analizó después de estar expuesto por un tiempo de maduración de tres meses, en condiciones de intemperie no controladas, simulando condiciones de almacenamiento precarias. Posteriormente, se caracterizaron, identificaron y clasificaron las micropartículas recuperadas para ambos grupos. Por cada presentación analizada se realizaron cinco repeticiones.

Técnicas e instrumentos

Los contenidos de las muestras de agua empaquetada fueron filtradas a través de una membrana de nitrato de

celulosa (tamaño de poro: 0.45 μm). Terminada la filtración, se agregó 5 mL del reactivo de tinción, correspondiente según el método utilizado para una muestra dada, siendo Rosa de Bengala (RB), o Rojo de Nilo (RN). Para cada reactivo, se usó una solución de concentración de 200 ppm (Kosuth et al., 2018) y 10 $\mu\text{g/L}$ (Maes et al., 2017), respectivamente. Se dejó reposar por 15 minutos. Transcurrido el tiempo, se filtró el remanente del tinte y se retiraron los filtros, dejándolos secar a temperatura ambiente. Una vez secos, se observaron a través de un estereoscopio, para la detección y separación de partículas. Las tinciones de RB se observaron bajo luz natural o blanca, mientras que las de RN se observaron con luz ultravioleta, con la debida protección ocular. Durante la observación, los microplásticos se clasificaron en cuatro categorías: fibras, films, amorfos y esferas.

Ciertas partículas aisladas durante la observación fueron analizadas para identificar su composición. Para esto, se utilizó espectroscopia infrarroja por transformada de Fourier en modo de reflectancia total atenuada (FTIR-ATR) (Spectrum One, PerkinElmer). La radiación infrarroja se configuró en longitudes de onda que oscilan entre 4,000 y 600 cm^{-1} , a una resolución de 4 cm^{-1} . Después de obtener el espectro, se realizó una búsqueda espectral, donde se utilizaron las bases de datos Perkin-Elmer ATR of Polymers Library y Hummel Ind. Poly. V1 © 1999 Chemical Concepts GmbH.

Procesamiento y análisis de información

Los datos de abundancia se sometieron a distintas pruebas estadísticas, utilizando el programa Minitab 18. Principalmente, se analizaron por medio de la prueba de hipótesis para datos pareados, con el fin de determinar si existe diferencia significativa entre los distintos tratamientos planteados. Las pruebas pareadas, se realizaron tomando inicialmente como factor el origen comercial, local o importada; posteriormente se determinó como factor, el tamaño de la presentación y las condiciones de almacenamiento bajo condiciones ambientales no controladas.

Resultados

Tablas y figuras

Tabla 1

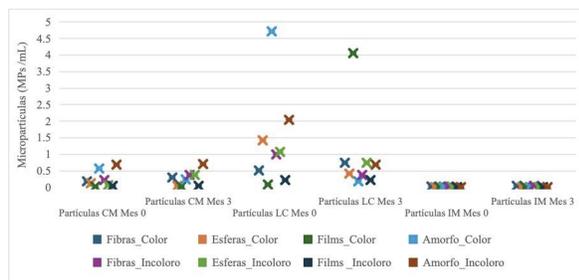
Promedio de MPs por categoría y rango, antes y después del tratamiento a la intemperie.

Clasificación	(MPs/mL) _{0M}	(MPs/mL) _{3M}
CM	0.215	0.234
LC	1.419	1.073
IM	0.022	0.031
A	0.293	0.289
B	0.078	0.126
C	0.042	0.108

Nota. MPs, se refiere a micropartículas; 0M, se refiere al periodo antes del tratamiento a la intemperie; 3M, se refiere al periodo después del tratamiento a la intemperie. Respecto a la clasificación se denotan envases comerciales (CM), muestras locales (LC), muestras importadas (IM), Rangos A (de 0 a 375 ml), B (de 376 a 675 ml) y C (de 676 a 1000). Fuente: elaboración propia.

Figura 1

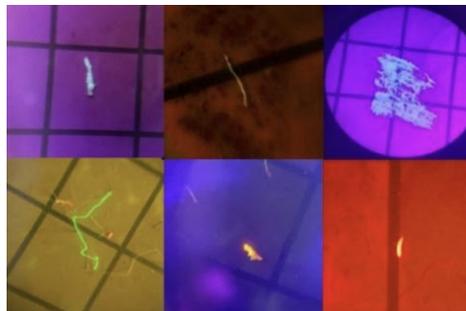
Morfología de micropartículas por litro origen y tiempo de prueba



Fuente: elaboración propia.

Figura 2

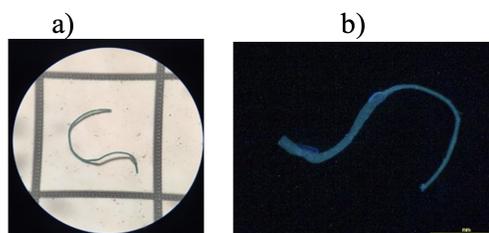
Partículas teñidas por Rojo Nilo, vistas bajo luz UV y filtro amarillo para luz azul



Fuente: elaboración propia.

Figura 3

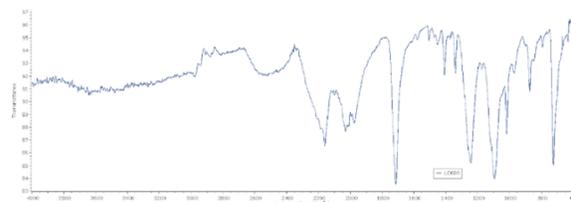
Fibra plástica de PET, observada bajo el estereoscopio y por microscopía óptica



Nota. La figura a, muestra una partícula de PET observada a través del estereoscopio a 4X. La figura b, es el mismo microplástico observado a través de microscopía óptica. Fuente: elaboración propia.

Figura 4

Espectro FT-IR de la fibra ilustrada en la Figura 3.



Nota. El espectro presentado es del microplástico observado en la Figura 3; el espectro denota los picos característicos de PET. Fuente: elaboración propia

Discusión

En Guatemala, el agua purificada es distribuida por purificadores comerciales de gran escala, que producen agua embotellada en masa. Además, en localidades como colonias o barrios, existen centros de purificación de agua más pequeños, que producen garrafones y bolsas de agua, que son fácilmente accesibles para los residentes del área.

Por otro lado, algunas marcas de agua extranjeras son importadas a Guatemala y suelen servirse en restaurantes, estas cuentan con diferentes estándares de calidad, que en algunos casos pueden ser más o menos rigurosos, por el país de origen. Sin embargo, a pesar de las medidas que tienen las plantas de purificación, es posible que los microplásticos se encuentren contaminando estos productos, dado el alcance que tienen por su pequeño tamaño y por la degradación del mismo empaque utilizado. Según el presente estudio, los rangos de contaminación por microplásticos, para las purificadoras comerciales, locales y extranjeras, son de 215 MP/L, 1419 MP/L y 22 MP/L, respectivamente. El rango de contaminación es más alto comparado con el de otros países, por ejemplo, en Malasia, 22 MP/L (Praveena et al, 2022) y un estudio universal 10.4 MP/L (Kosuth, Mason, y Wattenberg, 2018).

En la Figura 1, se desglosa los totales de partículas encontrados en cada tipo de purificadora, antes y después del tiempo de la intemperie, por cada morfología identificada. En muestras LC, se observa mayor densidad de partículas orgánicas, en especial después del tiempo a la intemperie. Para las muestras comerciales, las partículas inorgánicas aumentaron en proporción, después del tiempo de intemperie, específicamente en las esferas y fibras observadas.

Se puede considerar que las plantas de purificación de las categorías CM e IM, son más grandes a comparación de las de la categoría LC, con una mayor inversión y capacidad técnica.

Esto permite que, en las plantas de producción de las categorías CM e IM, haya procesos más eficientes para la purificación del agua, además, para estas grandes empresas, los controles de calidad son de mayor meticulosidad (Bartram y Howard, 2003).

Para las agrupaciones de cada rango mencionadas en la Tabla 1, se realizaron pruebas independientes, para establecer la incidencia del tamaño del envase y las MPs encontradas. Se observó, una relación inversa entre el tamaño de empaque y rango, siendo los envases más pequeños, los que obtuvieron un mayor número de micropartículas. Esto podría ser resultado del calor como factor esencial de degradación del plástico (Posada, 1994), dado que, en un envase pequeño, la cantidad de agua es menor y se calienta más rápido que en un envase mayor, haciendo que la degradación suceda más rápido.

La influencia de almacenaje en condiciones ambientales no controladas, se evaluó por medio de pruebas de hipótesis para muestras pareadas, con un nivel de significancia de 0.05. Se determinó en su mayoría, una presencia mayor después del tiempo de almacenaje en la intemperie. Las muestras locales mostraron una menor cantidad de partículas, debido al aumento en las partículas orgánicas, lo cual dificulta el conteo para identificar otros tipos de partículas presentes.

En las Figuras 2 y 3, se muestran ciertas partículas encontradas en las muestras analizadas. En la Figura 2, se encuentran las partículas tratadas con Rojo de Nilo, el cual tiñe selectivamente superficies no polares, tales como las de naturaleza polimérica (Maes et al., 2017).

En la Figura 3, se muestra una fibra particularmente grande, la cual fue también fotografiada electrónicamente, para demostrar su tamaño. Esta partícula fue confirmada como tereftalato de polietileno (PET), y su espectro infrarrojo se demuestra en la Figura 4. En este, se observa un pico en 1714 cm⁻¹, característico del estiramiento de un enlace carbonilo. Los números de onda 1245 cm⁻¹ y 1096 cm⁻¹, indican estiramientos del enlace C-O. Por tanto, el enlace carbonilo, es parte de un grupo funcional éster. Por otra parte, la señal en 2976 cm⁻¹ corresponde a los estiramientos de los grupos metileno (CH₂), en 1472 cm⁻¹, se puede observar un pico que corresponde a los estiramientos de tijera de los CH₂. Asimismo, el pico de 3055 cm⁻¹ corresponde a estiramiento C-H del anillo aromático y la señal en 1579 cm⁻¹, corresponde a las vibraciones del núcleo del benceno.

Esta muestra proviene de una bolsa de agua de polietileno de alta densidad, por lo que lo más probable es que esta provenga del proceso de envasado del agua. Además, de este plástico, se identificó polietileno de alta densidad (HDPE), nylon y polipropileno.

Conclusiones

1. El rango de partículas encontradas en agua comercial, local e importada, se encuentra en 215 MP/L, 1419 MP/L y 22 MP/L, respectivamente; las partículas más abundantes, fueron las amorfas y filmes, entre los totales determinados por cada tratamiento.
2. Los envases más pequeños contienen un mayor número de partículas suspensas, entre las muestras tratadas.
3. Se encontró una mayor cantidad de partículas al final del tiempo de prueba, bajo condiciones de intemperie no controlada, y en el caso de muestras locales, un crecimiento de material orgánico abundante.

4. La composición de las partículas seleccionadas para analizarse, consistió en microplásticos de nylon, PET, HDPE y propileno.

Recomendaciones

1. Es necesaria la investigación continua y monitoreo regular, incluyendo estudios periódicos que analicen el impacto del almacenamiento, el tipo de envase y otros factores, que puedan influir en la proliferación de microplásticos, asegurando la mejora en la calidad del agua.
2. Se recomienda instruir a los distribuidores y consumidores, sobre buenas prácticas de almacenamiento, para reducir la exposición a condiciones que fomenten la degradación de los envases y en consecuencia, la presencia de microplásticos.
3. Es fundamental implementar campañas de concientización, dirigidas a los distribuidores, sobre los riesgos asociados con la contaminación por microplásticos y la importancia de optar por envases fabricados con materiales biodegradables, disminuyendo el impacto ambiental a largo plazo.
4. Solicitar a autoridades que toman decisiones, impulsar reglamentos para la reducción de envases de plástico, o que los mismos sean más sostenibles a los utilizados actualmente.

Referencias bibliográficas

- América a Economía. (2016). Guatemaltecos consumen más de 120 millones de litros de agua envasada. <https://www.americaeconomia.com/negocios-industrias/guatemaltecos-consumen-mas-de-120-millones-de-litros-de-agua-ensada>
- Bartram, J. y Howard, G. (2003). Drinking-water standards for the developing world [Estándares de agua potable para los países en desarrollo]. Handbook of Water and Wastewater Microbiology, 221-240

- Cox, K. D., Covernton, G. A., Davies, H. L., Dower, J. F., Juanes, F. y Dudas, S. E. (2019). Human consumption of microplastics [Consumo humano de microplásticos]. *Environmental science & technology*, 53(12), 7068-7074. <https://doi.org/10.1021/acs.est.9b01517>
- De Tejada, A. M. S. (2018). Contaminación por microplástico en un lago endorreico de tierras bajas: El caso de Petén Itzá [Tesis de licenciatura, Universidad San Carlos de Guatemala].
- Kosuth, M., Mason, S. A. y Wattenberg, E. V. (2018). Anthropogenic contamination of tap water, beer, and sea salt [Contaminación antropogénica de agua de chorro, cerveza y sal de mar]. *PloS one*, 13(4). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0194970>
- Maes, T, Jessop, R., Wellner, N., Haupt, K., & Mayes, A. G. (2017). A rapid-screening approach to detect and quantify microplastics based on fluorescent tagging with Nile Red [Un acercamiento de rápida detección para cuantificar microplásticos basado en la tinción con Rojo de Nilo]. *Scientific reports*, 7(1).
- Mazariegos, C., Blande, E. y Melchor, C. (2021). Evaluación de la contaminación por microplásticos en la Reserva Natural de Usos Múltiples Monterrico. Instituto de Investigaciones Hidrobiológicas, Centro de Estudios del Mar y Acuicultura. <https://digi.usac.edu.gt/bvirtual/informes/puirna/NF-2020-06.pdf>
- Pivokonsky, M., Cermakova, L., Novotna, K., Peer, P., Cajthaml, T., & Janda, V. (2018). Occurrence of microplastics in raw and treated drinking water. *Science of the total environment*, 643, 1644-1651. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.08.102>
- Praveena, S. M., Ariffin, N. I. S. y Nafisyah, A. L. (2022). Microplastics in Malaysian bottled water brands: Occurrence and potential human exposure. *Environmental Pollution*, 315.
- Shruti, V. C., Pérez-Guevara, F., Elizalde-Martínez, I., & Kutralam-Muniasamy, G. (2020). First study of its kind on the microplastic contamination of soft drinks, cold tea and energy drinks-Future research and environmental considerations. *Science of the total environment*, 726.
- Sosa, B (2019). De las aulas hacia la conservación del ambiente. <https://noticias.uvg.edu.gt/de-las-aulas-hacia-la-conservacion-del-ambiente/>
- World Health Organization. (2019). Microplastics indrinking-water. <https://www.who.int/publications/i/item/9789241516198>

Agradecimientos

Se agradece el apoyo del Centro de Investigaciones de Ingeniería (CII) y el de la Dirección General de Investigación (DIGI), de la Universidad de San Carlos de Guatemala.

Así también a las entidades que hicieron posible llegar a obtener los resultados por medio de sus instalaciones y equipo instrumental: Laboratorio Químico Fiscal, Laboratorio de Sanidad Animal, Centro Tecnológico de Cementos Progreso, CETEC.

Autores

Ingrid Lorena Benítez Pacheco

Licenciada en Química, MSc. en Ciencia y Tecnología del Medio Ambiente, Profesora investigadora del Centro de Investigaciones de Ingeniería, con experiencia en proyectos de investigación en temas de gestión y manejo de residuos agroindustriales y contaminantes para su aprovechamiento y reducción.

Paula María Vásquez Cifuentes

Ingeniera Química, M.A. en Energía y Ambiente, investigadora del Centro de Investigaciones de Ingeniería, con experiencia en proyectos de investigación sobre contaminantes emergentes, financiados por la Dirección General de Investigación, -DIGI- USAC.

Ana Luisa Isabel Droege Romero

Ingeniera Química, investigadora auxiliar en proyectos de investigación sobre microplásticos, financiados por la Dirección General de Investigación DIGI /USAC.

Carlos Rodolfo Vargas López

Br. en Ciencias y Letras, estudiante de la Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia, Universidad de San Carlos de Guatemala.



O

btención y caracterización
físicoquímica de extractos fluido y seco
de orégano (*Lippia graveolens* HBK)
y su aplicación conservante en embutidos

María Angela Polanco Alfaro (Inga. Química)
marian1997h@gmail.com

Telma Maricela Cano Morales (Inga. Química)
telma.canomorales@hotmail.com

Mario José Mérida Meré (Ing. Químico)
mjmeridamere@gmail.com

Claudia Elisa Castellanos Jurado (Inga. Química)
etracastellanosj@gmail.com

Juan Pablo López Cano (Ing. Industrial)
jlpoez22@gmail.com

Obtención y caracterización fisicoquímica

de extractos fluido y seco de orégano (*Lippia graveolens* HBK)

y su aplicación conservante en embutidos

María Angela Polanco Alfaro (Inga. Química)
marian1997h@gmail.com

Mario José Mérida Meré (Ing. Químico)
mjmeridamere@gmail.com

Telma Maricela Cano Morales (Inga. Química)
telma.canomorales@hotmail.com

Claudia Elisa Castellanos Jurado (Inga. Química)
etracastellanosj@gmail.com

Laboratorio de Investigación de Extractos Vegetales -LIEXVE-
Sección Química Industrial
Centro de Investigaciones de Ingeniería - Facultad de Ingeniería

Juan Pablo López Cano (Ing. Industrial)
jlpoez22@gmail.com

Resumen

El artículo presenta los resultados del estudio de la obtención y caracterización fisicoquímica del extracto fluido y seco del orégano (*Lippia graveolens* HBK), proveniente del corredor seco de Guatemala y su evaluación conservante en la producción de embutidos. Se consideraron los métodos extractivos de percolación a escala laboratorio y maceración dinámica a escala planta piloto, utilizando como solvente alcohol etílico al 70 % y al 95 % (v/v), respectivamente. Se determinó el rendimiento extractivo en función del método y escala de trabajo. La caracterización fisicoquímica del extracto se llevó a cabo analizando su densidad, índice de refracción y solubilidad, también se determinó la composición química de cada extracto, por medio de cromatografía de gases con acoplamiento a espectrometría de masas (GC-MS). Se concluyó que, no existe diferencia significativa en el rendimiento extractivo de cada extracto, en función de la escala de trabajo. Tampoco se halló diferencia significativa entre la densidad media del extracto fluido, en relación con la escala de trabajo. Los componentes mayoritarios fueron el timol y la pinocebrina, para el extracto fluido y seco, respectivamente. Por último, las formulaciones de las películas comestibles empleadas en los embutidos fueron aceptadas en textura, olor y color, a diferencia del sabor en su evaluación sensorial.

Palabras clave: orégano, extractos, percolación, maceración dinámica, película comestible

Abstract

The present study addressed the obtaining and physicochemical characterization of the fluid and dry extract of oregano (*Lippia graveolens* HBK) from “el corredor seco” de Guatemala and its preservative evaluation in the production of sausages. The extractive methods of percolation at laboratory scale and dynamic maceration at pilot plant scale were considered, using 70% and 95% (v/v) ethyl alcohol as solvent, respectively. The extractive performance was determined depending on the method and work scale. The physicochemical characterization of each extract was carried out by analyzing its density, refractive index and solubility; its chemical composition was also determined by means of gas chromatography coupled to mass spectrometry (GC-MS). It was concluded that there is no significant difference in the extractive performance of each extract depending on the work scale. Nor was a significant difference found between the average density of the fluid extract in relation to the working scale. The major components were thymol and pinocebrin, for the fluid and dry extract, respectively. Finally, the formulations of the edible films used in the sausages were accepted in texture, smell and color as opposed to flavor in their sensory evaluation.

Keywords: oregano, extracts, percolation, dynamic maceration, edible film

Introducción

El orégano (*Lippia graveolens HBK*), es una planta aromática, utilizada en la medicina tradicional en América Central, su presencia se expande desde México hasta Panamá, Guatemala y Colombia (Rastrelli et al., 1998). La planta de orégano posee propiedades antisépticas, analgésicas, antipiréticas, antiinflamatorias, antibióticas y antioxidantes. Su extracto tiene varias aplicaciones, entre ellas se puede mencionar su uso como aditivo, ya sea como saborizante natural o conservante de alimentos, también se le puede atribuir su aplicación como precursor de perfumes, cosméticos y en la industria farmacéutica (Soto-Armenta et al., 2017). Los componentes primarios del orégano son timol y carvacrol, estos son los responsables de la mayoría de las acciones a las que se le atribuye (Cavero et al., 2006).

Se ha logrado demostrar que el orégano tiene efecto antimicrobiano, debido a que inhibe el crecimiento de ciertas bacterias patógenas, encontradas en alimentos. Este efecto, es debido a que sus extractos poseen compuestos volátiles, como los son el timol y carvacrol (Amadio et al., 2011).

Los extractos provenientes de plantas son una opción factible y con gran potencial en el mercado de aditivos conservantes naturales y eco amigables. Estos aditivos naturales logran tener el mismo efecto microbiano y reducen el riesgo en la salud humana del consumidor (Tofiño Rivera et al., 2017). Se pueden obtener haciendo uso de las técnicas por expresión, fermentación, o extracción, por lo que, para obtener el extracto fluido y extracto seco de orégano, se utilizó un conjunto de métodos propios de una extracción sólida-líquida.

Para escala laboratorio se utilizó el método percolación, mientras que para escala planta piloto, se utilizó el método de maceración dinámica (Burt, 2004).

La demanda en la producción del sector cárnico y sus derivados demuestra lo importante que es encontrar nuevas alternativas de aditivos, que logren mantener las propiedades y características del alimento, con una menor cantidad de químicos o si es posible la sustitución total (Tofiño Rivera et al., 2017). Una de estas posibilidades es el uso de extractos vegetales como aditivos conservantes (Burt, 2004).

Por lo tanto, el objetivo de esta investigación, fue conocer el potencial que tienen los extractos del orégano (*Lippia graveolens HBK*), como conservante en la producción de embutidos, demostrando su aplicación en una película comestible, la cual recubre el embutido.

En Guatemala, el orégano no se llega a aprovechar a nivel industrializado, obviando las propiedades antioxidantes y antibacterianas que posee y el uso que se le puede dar como aditivo conservante en la industria alimentaria.

Metodología

El estudio de la capacidad conservante que poseen los extractos fluido y seco del orégano (*Lippia graveolens HBK*), para su aplicación en la producción de embutidos, se desarrolló con materia prima, proveniente del corredor seco de Guatemala. Los dos extractos de estudio se obtuvieron mediante los métodos de extracción por percolación a escala laboratorio y maceración dinámica a escala planta piloto.

La fase experimental se desarrolló en el Laboratorio de Investigación de Extractos Vegetales (LIEXVE), de la Sección de Química Industrial del Centro de Investigaciones de Ingeniería, de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala.

Se estableció como variables independientes, la escala de trabajo, laboratorio y planta piloto y el tipo de extracto, fluido y seco. El rendimiento extractivo de los extractos fluido y seco, se definieron como las variables dependientes, así como, la densidad, el índice de refracción, la solubilidad y la composición química (componentes activos), esta última, analizada mediante la técnica de cromatografía de gases, con acoplamiento a espectrometría de masas CG-MS (por sus siglas en inglés), técnica mediante la cual se identificaron los componentes mayoritarios.

El análisis microbiológico, también se consideró dentro de las variables dependientes, llevando a cabo el conteo de microorganismos patógenos, en el crecimiento microbiano en los embutidos.

Para la evaluación de la capacidad conservante de cada extracto, se elaboró una película comestible, en cuya composición se incorporó el extracto fluido y el extracto seco, cada uno aplicado por separado.

Se propuso realizar una prueba hedónica de cinco puntos, con la finalidad de determinar la aceptabilidad del producto mediante la degustación del embutido, sometiendo a un análisis sensorial, las características que adoptó el embutido con la aplicación de las películas comestibles.

El diseño constó de doce unidades experimentales, realizando tres repeticiones de cada variable independiente.

Resultados y discusión

La Tabla 1 describe el rendimiento del extracto fluido y extracto seco de orégano (*Lippia graveolens* HBK), a escala laboratorio y planta piloto, habiéndose obtenido para el extracto fluido, el mayor rendimiento en ambos métodos. Esto, debido a que dicho extracto consiste en una solución de extracto-solvente en proporciones, que mantienen disperso el componente activo, mientras que, en el caso del extracto seco, implica una separación completa del solvente de la matriz del principio activo, dejando el material prácticamente cristalizado bajo las condiciones aplicadas.

Tabla 1

Rendimiento de extractos provenientes de orégano (*Lippia graveolens* HBK), a escala laboratorio y escala planta piloto.

<i>Escala</i>	<i>Propiedad</i>	<i>Solvente</i>	<i>Total</i>
<i>Laboratorio</i>	<i>Densidad (g/mL)</i>		1.016 ± 0.06
	<i>Índice de refracción</i>		1.362 ± 0.003
	<i>Solubilidad (g/100g solv.)</i>	<i>Etanol 95%</i>	1.534 ± 3.876
		<i>Agua desminera</i>	6.371 ± 1.498
<i>Planta Piloto</i>	<i>Densidad (g/mL)</i>		0.910 ± 0.075
	<i>Índice de refracción</i>		1.395 ± 0.004
	<i>Solubilidad (g/100 g solv.)</i>	<i>Etanol 95%</i>	100.00 ± 0.00
		<i>Agua desminera</i>	4.315 ± 2.175

Nota. Resultados del rendimiento de extracción. Elaboración propia, realizado con Excel.

La Tabla 2, detalla las propiedades fisicoquímicas del extracto fluido del orégano (*Lippia graveolens HBK*), obtenido a escala laboratorio y planta piloto, siendo estas: densidad, índice de refracción y solubilidad en etanol al 95 % y agua desmineralizada. Se reportó que la densidad posee un valor más alto para el extracto obtenido a escala laboratorio, a diferencia del obtenido a escala planta piloto.

Tabla 2

Caracterización fisicoquímica de extracto fluido proveniente de orégano (*Lippia graveolens HBK*), a escala laboratorio y planta piloto.

Escala	Propiedad	Solvente	Total
Laboratorio	Índice de refracción		1.381 ± 0.005
	Solubilidad (g/100 g solv.)	Etanol 95%	0.251 ± 0.007
		Agua desminera.	0.194 ± 0.041
Planta Piloto	Índice de refracción		1.426 ± 0.004
	Solubilidad (g/100 g solv.)	Etanol 95%	0.747 ± 0.090
		Agua desminera	0.082 ± 0.034

Nota. Caracterización fisicoquímica del extracto. Elaboración propia, realizado en Excel.

Tabla 3

Caracterización fisicoquímica de extracto seco proveniente de orégano (*Lippia graveolens HBK*), a escala laboratorio y planta piloto.

Tipo de extracto	Parámetro	Resultado (UFC/g)	Límite máximo permitido según RTCA (UFC/g)
Extracto fluido	Coliformes totales	3.5 x10 ⁵	No presenta límites
	Coliformes fecales	3.5 x10 ⁵	No presenta límites
	<i>Escherichia coli</i>	3.5 x10 ⁵	10 ²
	<i>Salmonella ssp</i>	Ausencia	Ausencia
	<i>Listeria monocytogenes</i>	Ausencia	Ausencia
Extracto seco	Coliformes totales	<10	No presenta límites
	Coliformes fecales	<10	No presenta límites
	<i>Escherichia coli</i>	<10	10 ²
	<i>Salmonella ssp</i>	Ausencia	Ausencia
	<i>Listeria monocytogenes</i>	Presencia	Ausencia

Nota. Caracterización fisicoquímica del extracto. Elaboración propia, realizado en Excel.

En la Tabla 3, se analizaron las propiedades fisicoquímicas del extracto seco del orégano (*Lippia graveolens HBK*), obtenido a escala laboratorio y planta piloto, siendo estas: índice de refracción y solubilidad en etanol al 95 % y agua desmineralizada. Para este caso no se registró un dato de densidad, debido a la presentación en la que se obtuvo dicho extracto.

Los datos reportados en los ensayos de índice de refracción indican que, esta propiedad no presentó una diferencia importante entre las escalas de trabajo.

En referencia a la solubilidad, la disolución del extracto seco en etanol al 95 %, es mayor en contraste con la disolución en agua desmineralizada.

Tabla 4

Análisis microbiológico del chorizo, elaborado con la aplicación de biopelículas comestibles formuladas con extracto fluido y extracto seco de orégano (*Lippia graveolens HBK*).

Tipo de extracto	Parámetro	Resultado (UFC/g)	Límite máximo permitido según RTCA (UFC/g)
Extracto fluido	Coliformes totales	3.5 x10 ⁵	No presenta límites
	Coliformes fecales	3.5 x10 ⁵	No presenta límites
	<i>Escherichia coli</i>	3.5 x10 ⁵	10 ²
	<i>Salmonella ssp</i>	Ausencia	Ausencia
	<i>Listeria monocytogenes</i>	Ausencia	Ausencia
Extracto seco	Coliformes totales	<10	No presenta límites
	Coliformes fecales	<10	No presenta límites
	<i>Escherichia coli</i>	<10	10 ²
	<i>Salmonella ssp</i>	Ausencia	Ausencia
	<i>Listeria monocytogenes</i>	Presencia	Ausencia

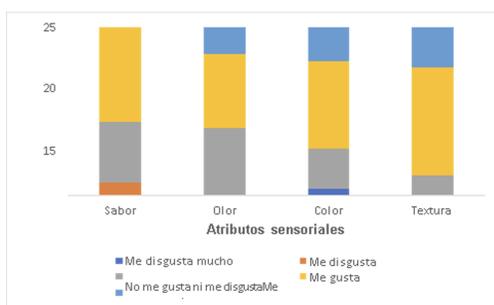
Nota. Análisis microbiológico del chorizo. Elaboración propia, realizado en Excel.

De acuerdo con el análisis microbiológico detallado en la Tabla 4, el potencial conservante de los extractos de orégano se evaluó con tres especies de microorganismos, obteniendo para el extracto seco, el mejor resultado, cumpliendo con todos los límites máximos permitidos con base al Reglamento Técnico Centroamericano 67.04.54:10, para el análisis de Unidades Formadoras de Colonias (UFC), por gramo (Ministerio de Salud y Asistencia Social, 2005).

Se realizó la prueba hedónica de cinco puntos, la cual consistió en una muestra de 25 personas para la evaluación sensorial de los embutidos, elaborados con la aplicación del extracto fluido, proveniente de orégano (*Lippia graveolens HBK*), como aditivo conservante en la biopelícula comestible. Los atributos sensoriales evaluados fueron: sabor, olor, color y textura. Las clasificaciones de los puntos constituyeron en: “me disgusta mucho”, “me disgusta”, “no me gusta, ni me disgusta”, “me gusta” y “me gusta mucho”. En la Figura 1, se muestran los resultados de dicha prueba.

Figura 1

Resultado gráfico del análisis sensorial sobre las muestras de chorizo con biopelícula comestible formulada con extracto fluido de orégano (*Lippia graveolens HBK*).

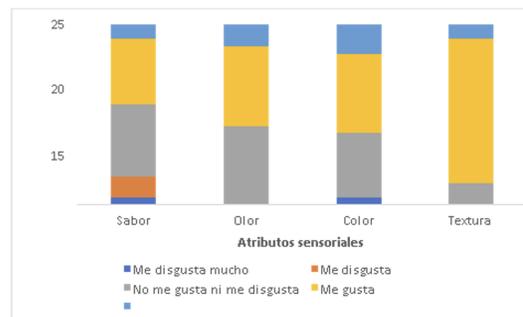


Nota. Resultado del análisis sensorial. Elaboración propia, realizado con Word.

En la figura anterior, se observa que la mayoría de las personas eligieron la opción de “me gusta”, para cada uno de los atributos sensoriales, manifestando que la percepción organoléptica fue aceptable.

Figura 2

Resultado gráfico del análisis sensorial sobre las muestras de chorizo con biopelícula comestible, formulada con extracto seco de orégano (*Lippia graveolens HBK*)



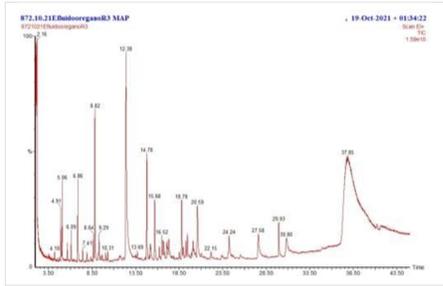
Nota. Resultado del análisis sensorial. Elaboración propia, realizado con Word.

En la figura anterior, se observa que, predomina la opción de “me gusta” para casi todos los atributos sensoriales, con excepción del sabor, en el cual predomina la opción de “no me gusta, ni me disgusta”. Nuevamente, se reportó una aceptación del embutido para su percepción organoléptica y su consumo.

Finalmente, en las Figuras 3 y 4, se muestran las gráficas de las cromatografías de gases, acoplado a espectrometría de masas, GC-MS, en donde se indica la composición química de los extractos. Para el extracto fluido se obtuvo como uno de los componentes químicos mayoritarios; el timol con un porcentaje de área de 13.83 %, definido como un derivado fenólico de los monoterpenos, asimismo, tuvo presencia de tetraterpenos como caroteno con 10.07 % y de sesquiterpenos, como cariofileno, en donde el cariofileno es bicíclico; mostrando un porcentaje de área de 1.72 %. Para el extracto seco se observa la presencia de flavonoides como pinocembrina, con un porcentaje de área de 49.82 %, sesquiterpenos como escualeno con 7.96 %, seguido de ácidos grasos como ácido palmítico y ácido linolénico, los cuales añaden propiedades antimicrobianas y antioxidantes (Arcila, 2004), con un porcentaje de área 2.33 % y 2.25 %, respectivamente.

Figura 3

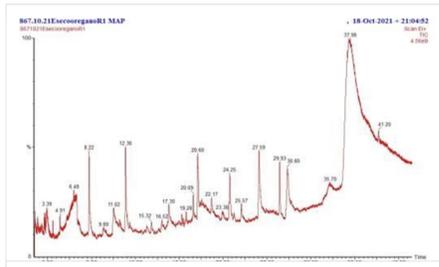
Cromatografía de gases acoplado a espectrometría de masa para extracto fluido de orégano a escala laboratorio



Nota. Departamento de Toxicología, Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia, USAC.

Figura 4

Cromatografía de gases acoplado a espectrometría de masa, para extracto seco de orégano a escala planta piloto



Nota. Departamento de Toxicología, Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia, USAC.

Conclusiones

1. No existe diferencia significativa en el rendimiento extractivo de extracto fluido y extracto seco de orégano (*Lippia graveolens HBK*), en función del tipo de escala laboratorio y planta piloto, por lo tanto, el método de extracción utilizado en planta piloto es más eficiente en cuanto al tiempo, puesto que fue menor, en comparación con escala laboratorio.

2. La densidad del extracto fluido de orégano (*Lippia graveolens HBK*), obtenido a escala laboratorio es de 1.016 ± 0.061 g/mL y en planta piloto es de 0.910 ± 0.075 g/mL, determinando que, no existe diferencia significativa entre la densidad media del extracto fluido, en función de la escala de trabajo.
3. La solubilidad de extracto fluido y extracto seco de orégano (*Lippia graveolens HBK*), en etanol al 95 % y agua desmineralizada, sí presenta diferencia significativa, en función del tipo de extracto y en función de la escala de trabajo laboratorio y planta piloto. Siendo el extracto fluido, el que presentó una mayor solubilidad.
4. Se determinó que la composición química del extracto fluido de orégano contiene como componente mayoritario; timol, seguido por cariofileno y caroteno, mientras que el extracto seco, presenta como compuestos de mayor abundancia; flavonoides como pinocembrina y sesquiterpenos, como escualeno y fitol. Mostrando que la composición química de los extractos de orégano (*Lippia graveolens HBK*), son de naturaleza terpénica, monoterpenos y sesquiterpenos.
5. Las muestras de chorizo con biopelículas formuladas con extracto fluido de orégano (*Lippia graveolens HBK*), no cumplen con los límites de la Norma RTCA 67.04.50:08 recomendados, ya que las muestras formuladas con extracto fluido presentan *Escherichia coli*, caso contrario, con las formuladas con extracto seco de orégano, puesto que sí cumplen con lo establecido por el Reglamento Técnico Centroamericano.

Recomendaciones

1. Trabajar con una temperatura constante en el proceso de secado del extracto seco y procurar que, la capa de extracto colocado en las bandejas del secador sea delgada y uniforme, para hacer efectiva su cristalización.
2. Almacenar los extractos a temperaturas bajas y en recipientes herméticos, inmediatamente después de la obtención, evitando la humedad, sobre todo para el extracto seco, ya que se trata de un extracto higroscópico.
3. Formular las biopelículas comestibles de los embutidos, aumentando y variando la concentración del extracto seco y extracto fluido de orégano, para encontrar la mejor dosis, en donde se obtenga la ausencia total de microorganismos patógenos, para la conservación de los embutidos.
4. Aplicar de una manera estricta, las Buenas Prácticas de Manufactura, manteniendo la inocuidad e higiene durante todo el proceso de desarrollo, para evitar contaminación cruzada en la producción de los embutidos.

Referencias bibliográficas

- Amadio, C., Medina, R., Dediol, C., Zimmermann, M., y Miralles, S. (2011). Aceite esencial de orégano: un potencial aditivo alimentario. *Revista de La Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Cuyo*, 43(1), 237-245.
- Arcila Lozano, C.C., Loarca-Piña, G., Lecona-Urbe, S., y González de Mejía, E. (2004). El orégano: propiedades, composición y actividad biológica de sus componentes. *ALAN*, 54(1), 100–111. http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0004-06222004000100015

- Burt, S. (2004). Essential oils: Their antibacterial properties and potential applications in foods. *International Journal of Food Microbiology*, 94(3), 223–253. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2004.03.022>
- Cavero, S., García-Risco, M. R., Marín, F. R., Jaime, L., Santoyo, S., Señoráns, F. J., Reglero, G., Ibañez, E. (2006). Supercritical fluid extraction of antioxidant compounds from oregano. Chemical and functional characterization via LC-MS and in vitro assays. *Journal of Supercritical Fluids*, 38(1), 62–69. <https://doi.org/10.1016/j.supflu.2005.01.003>
- Ministerio de Salud y Asistencia Social. (2005). Reglamento Técnico Centroamericano Para Alimentos y Bebidas Procesadas. Aditivos alimentarios. Guatemala
- Rastrelli, L., Caceres, A., Morales, C., De Simone, F., y Aquino, R. (1998). Iridoids from *Lippia graveolens*. *Phytochemistry*, 49(6), 1829–1832. [https://doi.org/10.1016/S0031-9422\(98\)00196-4](https://doi.org/10.1016/S0031-9422(98)00196-4)
- Soto-Armenta, L. C., Sacramento-Rivero, J. C., Acereto-Escoffí, P. O., Peraza-González, E. E., Reyes-Sosa, C. F., y Rocha-Urbe, J. A. (2017). Extraction Yield of Essential Oil from *Lippia graveolens* Leaves by Steam Distillation at Laboratory and Pilot Scales. *Journal of Essential Oil-Bearing Plants*, 20(3), 610–621. <https://doi.org/10.1080/0972060X.2017.1331756>
- Tofiño Rivera, A., Ortega Cuadros, M., Herrera Hinojosa, B. K., Fragoso Castilla, P., y Pedraza Claros, B. (2017). Conservación microbiológica de embutido carnico artesanal con aceites esenciales *Eugenia caryophyllata* y *Thymus vulgaris*. *Biotecnología En El Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 15(2), 30-41.

Agradecimientos

La autoría del presente artículo agradece al Departamento de Toxicología, Laboratorio de Investigación de Productos Naturales LIPRONAT y al Laboratorio de Análisis Fisicoquímicos y Microbiológicos LAFYM de la Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia de la Universidad de San Carlos de Guatemala.

Autores

María Angela Polanco Alfaro

Ingeniera Química, Escuela de Ingeniería Química, Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala.

Telma Maricela Cano Morales

Ingeniera Química, Directora del Centro de Investigaciones de Ingeniería, LIEXVE, Profesora de los cursos de Química General 1 y 2. Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala.

Mario José Mérida Meré

Ingeniero Químico, Coordinador del Laboratorio de Investigación de Extractos Vegetales LIEXVE, Profesor Investigador, Profesor Escuela de Ingeniería Química, Docente de los cursos Extracciones Industriales, Seminario de Investigación de Ingeniería Química e Ingeniería Ambiental. Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala.

Claudia Elisa Castellanos Jurado

Ingeniera Química, Investigadora del Centro de Investigaciones de Ingeniería, LIEXVE, Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala.

Juan Pablo López Cano

Ingeniero Industrial, Auxiliar de Investigación del Centro de Investigaciones de Ingeniería, LIEXVE, Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala.

Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería

Centro de Investigaciones de Ingeniería

Comité Editorial CII

correo electrónico: comite.editorialcii@gmail.com

Edificio -Emilio Beltranena-, Edificio T-5 y Área de Prefabricados

Campus Central zona 12, Código Postal 01012

Guatemala, Ciudad

<https://portal.ingenieria.usac.edu.gt/cii>

Página electrónica: Centro de Investigaciones de Ingeniería

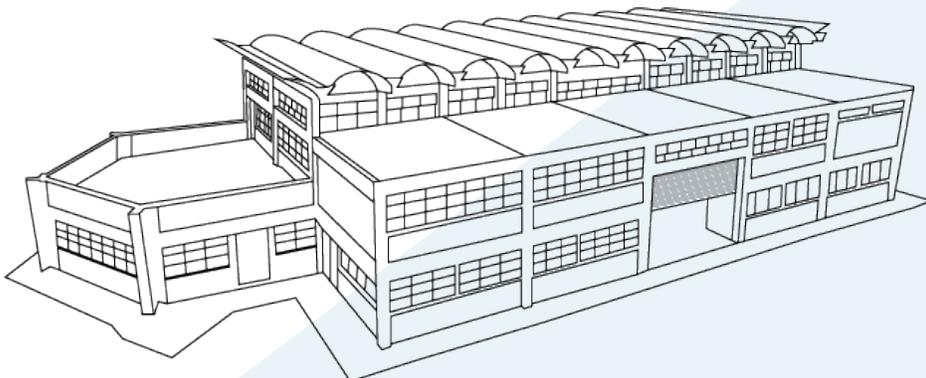
Diseño y Diagramación

Licenciada Mónica Paola Girón Castro, CICON-CII

La Revista Científica -Fortaleciendo la Investigación-

fue editada en la Ciudad de Guatemala, C.A.

Año MMXXIV



Invitación a los *autores*

La *Revista Científica -Fortaleciendo la Investigación-* del *Centro de Investigaciones de Ingeniería*, de la Facultad de Ingeniería, de la Universidad de San Carlos de Guatemala, es una publicación que se edita anualmente, con fondos de la institución.

La revista se encuentra elaborada de acuerdo al normativo de LATÍNDEx, sistema que rige la edición de revistas académicas y científicas para América Latina, El Caribe, España y Portugal.

La revista es científica y los artículos que la conforman, son resultados de investigaciones experimentales que se han llevado a cabo en diferentes laboratorios.

Están invitados a escribir en dicha revista, los docentes y profesionales que pertenezcan a la Facultad de Ingeniería.

Para escribir sus artículos, los autores deben basarse en las instrucciones para la presentación de artículos en la *Revista Científica del CII*, elaboradas por el Comité Editorial de la institución.

Coordinación
Comité Editorial CII
Universidad de San Carlos de Guatemala
Centro de Investigaciones de Ingeniería
Facultad de Ingeniería



USAC

Educación Superior
pública y gratuita

Revista **CIENTÍFICA**

Fortaleciendo la Investigación

Volúmen 21, No. 1, 2024 ISSN 1993-3711 y en línea 1993-372X



Universidad de San Carlos de Guatemala,
Facultad de Ingeniería
Centro de Investigaciones de Ingeniería