

# Revista CIENTÍFICA

Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, Centro de Investigaciones de Ingeniería  
Volúmen 20, No. 1, 2023 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

<b>REP.</b>	Autores	Centro de Investigaciones de Ingeniería Facultad de Ingeniería
<b>No. 20</b>	Título	Revista Científica Fortaleciendo la Investigación
	Dig /Ed	Guatemala, CII, USAC 2023
	Idioma	Esp.
	Descripción	90 p. : il. ; 27 cm.
	Ejemplares	Año MMXXIII, 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 Cordón 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**

# Presentación

## Revista Científica -Fortaleciendo la Investigación-

**B**ienvenidos a la edición 2023 de la Revista Científica del Centro de Investigaciones de Ingeniería. En esta edición, nos complace presentar una colección de artículos que reflejan el esfuerzo y la dedicación de nuestros investigadores en diversas disciplinas de la ingeniería. Los trabajos aquí recopilados no solo demuestran avances significativos en sus respectivos campos, contribuyendo al bienestar de la sociedad. Esta publicación es una ventana al conocimiento y a la innovación, que busca inspirar a futuras generaciones de ingenieros y científicos.

El equipo del Laboratorio de Investigación de Extractos Vegetales (LIECVE), de la Sección de Química Industrial, liderado por los Ingenieros Químicos Telma Maricela Cano Morales y Mario José Mérida Meré, asesoró a la Ingeniera Brenda Amarylys Cermeño Dávila en su estudio **“Evaluación del aceite esencial de cardamomo (*Elettaria cardamomum*, L. Matton) utilizando método convencional de secado y secador eléctrico”**. En este estudio, se evaluó y comparó el rendimiento del aceite esencial utilizando un secador de leña y un secador eléctrico de bandejas de flujo transversal, determinando la eficiencia de cada método en cardamomo de primera calidad. Este trabajo es crucial para optimizar procesos en la industria agrícola y aumentar la calidad y rendimiento de los productos esenciales.

La Ingeniera Química Telma Maricela Cano Morales y su equipo en LIECVE presentan el artículo titulado **“Evaluación de la capacidad biocida del aceite esencial microencapsulado y su aplicación en la desinfección de cuerpos de agua”**. El estudio se centró en evaluar el efecto biocida de aceites esenciales microencapsulados de orégano (*Origanum vulgare L.*), romero (*Rosmarinus officinalis L.*) y albahaca (*Ocimum basilicum L.*). Estos aceites, extraídos mediante arrastre con vapor en una planta piloto, se sometieron a análisis fisicoquímicos. Dado que los aceites esenciales son susceptibles a volatilizarse y perder efectividad en entornos ambientales, fueron microencapsulados en oligómeros cíclicos biodegradables de  $\beta$ -ciclodextrina para mejorar su estabilidad y acción biocida, aplicado contra larvas del zancudo *Aedes aegypti*. El estudio se enfocó en analizar cómo la temperatura afecta la encapsulación y, por ende, la degradación de los aceites. Se examinaron detalladamente las propiedades de las microcápsulas y se evaluó la actividad biocida, tanto de los aceites esenciales puros como de los microencapsulados en larvas. Estos hallazgos podrían revolucionar el uso de aceites esenciales en aplicaciones médicas y agrícolas, ofreciendo una solución más duradera y efectiva para el control de plagas.

El Doctor Edgar Virgilio Ayala Zapata y el MSc. Ingeniero Industrial Saulo Moisés Méndez Garza, dan a conocer resultados importantes en el artículo **“Control de calidad del armado de bastidor y forro para edificación de muros con maderas nacionales de Guatemala”**. En este estudio, se evaluaron y documentaron los procesos y procedimientos de secado para la edificación de paneles de madera. Asimismo, se seleccionaron y transportaron tres especies de El Petén a la Universidad de San Carlos de Guatemala, zona 12. Se investigaron las características físicas y propiedades mecánicas de las maderas, se diseñó el sistema constructivo de muros de madera, y se definieron los procesos de control de calidad del sistema constructivo, del bastidor y del forro. Este trabajo no solo contribuye a la mejora de técnicas de construcción, sino que también promueve el uso sostenible de recursos forestales nacionales, impulsando la economía local y preservando el medio ambiente.

El Ingeniero Mecánico Osber Isabel Carias Palencia, publica el artículo con los resultados de la investigación titulada **“Determinación del poder calorífico de los residuos de cascarilla de cardamomo y sus potenciales usos energéticos”**. En este estudio, se muestran los resultados de la determinación del poder calorífico de la cascarilla de cardamomo (*Elettaria cardamomum*) y su incidencia en la cantidad de aceite esencial presente en la cascarilla. Se analizaron dos tipos de cascarilla: una agotada de su aceite esencial y otra no agotada. Este análisis es fundamental para desarrollar nuevas fuentes de energía renovable a partir de residuos agrícolas, contribuyendo así, a una mayor eficiencia energética y reducción de desechos.

El MSc. Ingeniero Industrial Saulo Moisés Méndez Garza publica el artículo basado en la investigación **“Estudio de ingeniería de una planta de producción comunitaria de materiales de construcción”**. Este estudio se realizó en el interior de una planta de producción de materiales de construcción, creada por el organismo internacional Arquitectos Sin Fronteras, de Galicia, España, en el Programa Oxlajuj TZ'ikin. El propósito fue desarrollar un proyecto de construcción de viviendas nuevas y la reparación de otras en comunidades del Municipio de Champerico, Retalhuleu. Este proyecto destaca por su enfoque en la autosuficiencia comunitaria y el empoderamiento local, ofreciendo un modelo sostenible para la construcción y mejoramiento de viviendas en áreas rurales.

El equipo de investigación del Laboratorio de Investigación de Extractos Vegetales (LIEXVE), de la Sección de Química Industrial, conformado por los Ingenieros Químicos Mario José Mérida Meré, Gerson Joél Ortega Morales, Telma Maricela Cano Morales y el Ingeniero Mecánico Osber Isabel Carías Palencia, expone en esta publicación el artículo sobre los procesos y resultados de la investigación **“Evaluación del potencial conservante de extractos de orégano (*Lippia graveolens* HBK), procedentes del corredor seco de Guatemala como biopelículas comestibles en embutidos”**. El estudio busca comunicar la evaluación del potencial conservante de los extractos de orégano (*Lippia graveolens* HBK): aceite esencial, oleorresina, extracto fluido y extracto seco, empleados como principios activos en la formulación y elaboración de biopelículas comestibles, las cuales fueron aplicadas a embutidos. La obtención de los extractos se realizó mediante destilación de arrastre con vapor directo para el aceite esencial y extracción sólido-líquido, utilizando etanol como solvente para oleorresina, extracto fluido y extracto seco. La composición química de los extractos se determinó mediante cromatografía gaseosa acoplada a espectrometría de masas. Este estudio tiene el potencial de revolucionar la industria alimentaria, proporcionando métodos naturales y sostenibles para la conservación de alimentos.

La Maestra en Ciencia y Tecnología del Medio Ambiente, Licenciada en Química, Ingrid Lorena Benítez Pacheco, junto al Ingeniero Químico César Alfonso García Guerra y la Ingeniera Química Ana Luisa Isabel Droege Romero, del Laboratorio Físicoquímico (LAFIQ), de la Sección de Química Industrial, presentan en este artículo los resultados de la investigación titulada **“Identificación de microplásticos en sal común proveniente de salinas ubicadas en la costa del Pacífico de Guatemala”**. En este estudio, se identificaron microplásticos (MPs), en la sal común de cuatro salinas de la costa del Pacífico de Guatemala, proveniente de dos procesos de producción: por bombeo de agua de mar (BAM), y por bombeo de manto freático saturado (BMF). Las partículas retenidas se cuantificaron y clasificaron de acuerdo con su forma por estereoscopia, mientras que la composición química se determinó por espectroscopia infrarroja de transformada de Fourier (FTIR). En ambos procesos se confirmó la presencia de micropartículas contaminantes, encontrándose polietileno y tereftalato de polietileno. El proceso BAM contó con una mayor abundancia, con 733-911 partículas/kg, y las fibras fueron la forma de partícula predominante en ambos procesos (97,0 % en el proceso BAM). Este trabajo es vital para la comprensión de la contaminación por microplásticos en productos de consumo diario y su impacto en la salud humana y el medio ambiente.

El equipo de investigación del Laboratorio de Investigación de Extractos Vegetales (LIEXVE), de la Sección de Química Industrial, integrado por el Ingeniero Químico Mario José Mérida Meré, quien coordinó el proyecto de investigación cofinanciado por la Dirección General de Investigación (DIGI), junto con la Ingeniera Química Telma Maricela Cano Morales, el Ingeniero Mecánico Osber Isabel Carías Palencia y el Ingeniero Químico Gerson Joél Ortega Morales, exponen los resultados obtenidos a partir de la investigación titulada **“Evaluación de la actividad antimicrobiana de extractos obtenidos de la okra (*Abelmoschus esculentus* L. Moench), cultivada en Guatemala y su aplicación en productos cosméticos”**.

La investigación presenta los resultados de la evaluación de los métodos extractivos de la okra (*Abelmoschus esculentus* L. Moench), de sus hojas, flores y semillas, utilizando maceración dinámica y Soxhlet. Los extractos obtenidos fueron caracterizados fisicoquímicamente, incluyendo el aceite fijo de semilla, concreto de flores y oleorresina de hojas; se aplicaron en dos tipos de cosméticos: jabón de tocador y jabón en gel. Estos resultados podrían impulsar la industria cosmética natural, ofreciendo alternativas más saludables y sostenibles en productos de cuidado personal.



El equipo de investigación de Ingenieros Químicos, conformado por la Ingeniera Ana Lucía García Juárez, junto con la Ingeniera Telma Maricela Cano Morales, la Ingeniera Claudia Elisa Castellanos Jurado y el Ingeniero Mario José Mérida Meré, presenta el artículo de la investigación “**Evaluación del rendimiento extractivo y efecto conservante del aceite esencial de canela (*Cinnamomum zeylanicum Blume*) aplicado en aderezo de fresa**”. En este estudio, la extracción del aceite esencial se realizó directamente de la corteza, procedente de dos diferentes altitudes, mediante un proceso denominado hidrodestilación, el cual fue desarrollado a escala de laboratorio. Se llevó a cabo la caracterización fisicoquímica del aceite esencial y se evaluó su contenido de cinamaldehído. Asimismo, se evaluó la propiedad antimicrobiana, aplicando el aceite esencial a un aderezo de fresa, determinando la concentración óptima para su efecto preservante. Este estudio no solo destaca por su aporte en la preservación de alimentos, sino también abre nuevas posibilidades para el uso de aceites esenciales en la industria alimentaria.

La Ingeniera Química Mirna Liseth Álvarez Véliz, junto con los profesionales investigadores: Ingeniera Química Telma Maricela Cano Morales, el Ingeniero Químico Mario José Mérida Meré y el Bachiller en Ciencias y Letras Renato Paolo Cisneros Quiñonez, trabajaron el artículo sobre la investigación titulada “**Evaluación y caracterización fisicoquímica del aceite esencial extraído del cardamomo (*Elettaria cardamomun L. Matton*), cultivado en el Departamento de Alta Verapaz, Guatemala**”. El estudio investigó el rendimiento y las propiedades del aceite esencial de cardamomo, utilizando métodos de hidrodestilación a nivel laboratorio y planta piloto. Para ello, el fruto fue procesado en diferentes granulometrías, evaluando tres temperaturas de secado: 40, 50 y 60 °C. La caracterización fisicoquímica incluyó el índice de refracción, índice de acidez, contenido de humedad y cenizas, solubilidad en etanol, peso específico, identificación de componentes químicos mediante cromatografía de gases (GC), y espectrometría de masas (MS), análisis microbiológicos y bioensayos para determinar el efecto antifúngico y antioxidante del aceite esencial. Este trabajo es esencial para mejorar los procesos de extracción y optimizar la calidad del aceite de cardamomo, un producto de gran valor en el mercado internacional.

Agradecemos profundamente a todos los autores por su valiosa contribución, que enriquece el contenido de nuestra revista y aporta al avance científico y social de Guatemala. Su trabajo es fuente de inspiración y un testimonio del potencial de la investigación científica para transformar la sociedad.

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



# Contenido

11

**Evaluación** del aceite esencial de cardamomo (*Elettaria cardamomum*, *L. Matton*) utilizando método convencional de secado y secador eléctrico

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

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

Brenda Amarylys Cermeño Ávila (Ing. Química) brenda.ingquim@gmail.com

Juan Pablo López Cano (Br. Ciencias y Letras) jlpoez22@gmail.com

Laboratorio de Investigación de Extractos Vegetales -LIEXVE-

Sección Química Industrial

CII - Facultad de Ingeniería - USAC

19

**Evaluación** de la capacidad biocida del aceite esencial microencapsulado y su aplicación en la desinfección de cuerpos de agua

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

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

Juan Pablo López Cano (Br. Ciencias y Letras) jlpoez22@gmail.com

Laboratorio de Investigación de Extractos Vegetales -LIEXVE-

Sección Química Industrial

CII - Facultad de Ingeniería - USAC

26

**Control** de calidad del armado de bastidor y forro, para edificación de muros con maderas nacionales de Guatemala

Edgar Virgilio Ayala Zapata (Dr. Ing.Civil) virgilioayala@yahoo.com

Sección de Tecnología de los Materiales y Sistemas Constructivos

Saulo Moisés Méndez Garza (MSc. Ing. Industrial) mjmeridamere@gmail.com

Sección de Ecomateriales

CII - Facultad de Ingeniería - USAC

# 34

**Determinación** del poder calorífico de los residuos de cascarilla de cardamomo y sus potenciales usos energéticos

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

Escuela de Ingeniería Mecánica, CII - Facultad de Ingeniería - USAC

# 41

**Estudio** de ingeniería de una planta de producción comunitaria de materiales de construcción

Saulo Moisés Méndez Garza (MSc. Ing. Industrial) mendezgarza@yahoo.com

Sección de Ecomateriales, CII - Facultad de Ingeniería - USAC

# 49

**Evaluación** del potencial conservante de extractos de orégano (*Lippia graveolens HBK*), procedentes del corredor seco de Guatemala como biopelículas comestibles en embutidos

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

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

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

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

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

# 56

**Identificación** de microplásticos en sal común proveniente de salinas ubicadas en la costa del Pacífico de Guatemala

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

César Alfonso García Guerra (Ing. Químico) checha1gar@yahoo.com

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

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





64

**Evaluación** de la actividad antimicrobiana de extractos obtenidos de la okra (*Abelmoschus Esculentus L. Moench*), cultivada en Guatemala y su aplicación en productos cosméticos

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

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

71

**Evaluación** del rendimiento extractivo y efecto conservante del aceite esencial de canela (*Cinnamomum zeylanicum Blume*) aplicado en aderezo de fresa

Ana Lucía García Juárez (Inga. Química) analugarcia0@gmail.com

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

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

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

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

80

**Evaluación** y caracterización fisicoquímica del aceite esencial extraído del cardamomo (*Elettaria cardamomun L. Matton*), a nivel laboratorio y planta piloto

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

Mirna Liseth Alvarez Véliz (Inga. Química) Liseth.alvarez14101@gmail.com

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

Claudia Elisa Castellanos Jurado (Ing. Química) etracastelllanosj@gmail.com

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

**Evaluación** del aceite esencial

de cardamomo (*Elettaria cardamomum*, *L. Matton*)

utilizando método convencional de secado y secador eléctrico



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

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

Brenda Amarylys Cermeño Ávila (Inga. Química)  
brenda.ingquim@gmail.com

Juan Pablo López Cano (Br. Ciencias y Letras)  
jlpoez22@gmail.com

# Evaluación del aceite esencial de cardamomo (*Elettaria cardamomum*, *L. Matton*) utilizando método convencional de secado y secador eléctrico

Telma Maricela Cano Morales (Inga. Química)

telma.canomoraes@hotmail.com

Mario José Mérida Meré (Ing. Químico)

mjmeridamere@gmail.com

Brenda Amarylys Cermeño Ávila (Inga. Química)

brenda.ingquim@gmail.com

Juan Pablo López Cano (Br. Ciencias y Letras)

jpgoez22@gmail.com

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

## Resumen

En el siguiente estudio se evaluó y comparó el rendimiento del aceite esencial de cardamomo (*Elettaria cardamomum*, *L. Matton*), en función del tipo de secado utilizando un secador de leña y un secador eléctrico de bandejas de flujo transversal. Se determinó la eficiencia de cada secador en función del cardamomo pergamino de primera calidad. El secador de leña tuvo una relación de 4.25:1, mientras que el eléctrico de flujo transversal, tuvo una relación de 4.00:1 de cardamomo pergamino, es decir; que por cada 4.25 quintales de cardamomo cereza, se obtuvo 1 quintal de cardamomo pergamino de primera calidad, utilizando el secador de leña y por cada 4.03 quintales de cardamomo cereza, se obtuvo 1 quintal de cardamomo pergamino de primera calidad. La extracción del aceite esencial de cardamomo (*Elettaria cardamomum*, *L. Matton*), a escala planta piloto se realizó a través del método de arrastre por vapor. El rendimiento para el cardamomo del secador de flujo transversal fue del 7 %, mientras que para el secador de leña fue del 3 %. Se realizó la caracterización fisicoquímica: color, olor, densidad, índice de refracción y un análisis de cromatografía de gases/masas (GC-MS); comprobando que el contenido de 1,8 cineol (eucaliptol), es superior utilizando el secador de bandejas de flujo transversal.

**Palabras clave:** Aceite esencial, rendimiento, lixiviación, cardamomo, secado

## Abstract

In the study the performance of cardamom essential oil (*Elettaria cardamomum*, *L. Matton*) was evaluated and compared depending on the type of drying using a wood-fired dryer and an electric crossflow tray dryer. The efficiency of each dryer was determined based on the first quality parchment cardamom. The wood-fired dryer had a ratio of 4.25:1 while the electric crossflow dryer had a ratio of 4.00:1 for parchment cardamom, that is, for every 4.25 quintals of cherry cardamom, 1 quintal of top-quality parchment cardamom was obtained. using the wood dryer and for every 4,003 quintals of cherry cardamom, 1 quintal of premium parchment cardamom was obtained. The extraction of cardamom essential oil (*Elettaria cardamomum*, *L. Matton*) at a pilot plant scale was carried out using the steam stripping method. The yield for cardamom from the crossflow dryer was 7 %, while for the wood dryer it was 3 %. Physicochemical characterization was performed: color, odor, density, refractive index and a gas/mass chromatography analysis (GC-MS) were performed; verifying that the 1.8 cineole (eucalyptol) content is higher using the crossflow tray dryer.

**Keywords:** Essential oil, performance, leaching, cardamom, drying

## Introducción

Guatemala es un país rico en agricultura, debido a la diversidad de climas y tierras. Guatemala ha logrado posicionarse como uno de los principales países en exportación de materia prima para diferentes usos comerciales, desde medicamentos hasta perfumería (Elfriede, 1990). Siendo uno de sus principales productos el cardamomo, y actualmente Guatemala es responsable del 80 % de las exportaciones mundiales de cardamomo, posicionándolo como el principal exportador (Cardegua, 2013). Actualmente en Guatemala existen 6 empresas que se dedican a la comercialización de cardamomo, ya sea de primera, segunda, tercera, así como amarillos, abiertos y oro. También se comercializan los diferentes productos que se obtienen del cardamomo, tales como: aceites esenciales, fragancias, decorativos, entre otros.

A la fecha, el proceso de secado se realiza en secadores industriales de leña y no se tiene un control de la temperatura de secado, haciendo que se alcancen temperaturas muy altas, arruinando parte del producto y deforestando gran parte de los bosques (Peña, 1981).

Es por ello, que este estudio tuvo como finalidad la evaluación y comparación de los dos métodos de secado, el método utilizado por la industria y un método con condiciones controladas, utilizando para ello un secador eléctrico de bandejas de flujo transversal. Para determinar la influencia del método de secado, se evaluó el rendimiento del aceite esencial de cardamomo pergamino y se compararon los resultados entre ambos tipos de secado, para verificar la existencia de diferencias significativas.

## Metodología

El estudio tuvo como objetivo específico el evaluar y comparar el rendimiento del aceite esencial de cardamomo, utilizando dos métodos de secado. El estudio tuvo como objetivos específicos el evaluar y

comparar el tiempo de secado del cardamomo en el secador eléctrico de flujo transversal de bandejas, con el secador de leña actualmente utilizado en la industria del cardamomo. Además, se busca determinar el porcentaje de humedad óptimo del cardamomo, que garantice un rendimiento adecuado en la extracción del aceite esencial. A través de este análisis, se pretende identificar el tiempo idóneo de secado en el secador eléctrico de flujo transversal de bandejas, para maximizar la calidad del producto final. Paralelamente, se buscará evaluar el rendimiento del aceite esencial de cardamomo, en relación con el tipo de secado, empleando el método de arrastre de vapor a nivel planta piloto. Este enfoque integral permitió obtener información valiosa para mejorar los procesos de secado y extracción, contribuyendo así a la optimización de la industria del cardamomo.

La parte experimental de esta investigación se llevó a cabo en el secador eléctrico de bandejas de flujo transversal y en la Planta Piloto de Extracción-Destilación del Laboratorio de Investigación de Extractos Vegetales -LIEXVE-, en el Centro de Investigaciones de Ingeniería, de la Universidad de San Carlos de Guatemala. Los análisis fisicoquímicos se realizaron en el área de laboratorios del -LIEXVE-, Centro de Investigaciones de Ingeniería y en el Departamento de Toxicología de la Facultad de CC.QQ. y Farmacia de la Universidad de San Carlos de Guatemala.

El cardamomo seco se obtuvo a través del presidente de -Cardegua- (Asociación de Cardamomeros de Guatemala), el cual fue secado y clasificado en el beneficio de cardamomo Los Pimentales de Sasay (Cardegua, 2013). Para el proceso de secado, se distribuyó el cardamomo en cereza, de manera uniforme en las 15 bandejas del secador, con el fin de secar la materia prima para la extracción del aceite esencial para la fase 2. Se trabajó a una temperatura de 40 °C y 6 resistencias con una apertura al 100 % del dämpfer.

El estudio tuvo como objetivos específicos el evaluar y comparar el tiempo de secado del cardamomo en el secador eléctrico de flujo transversal de bandejas, con el secador de leña actualmente utilizado en la industria del cardamomo. Además, se busca determinar el porcentaje de humedad óptimo del cardamomo que garantice un rendimiento adecuado en la extracción del aceite esencial. A través de este análisis, se pretende identificar el tiempo idóneo de secado en el secador eléctrico de flujo transversal de bandejas, para maximizar la calidad del producto final.

Paralelamente, se busca evaluar el rendimiento del aceite esencial de cardamomo, en relación con el tipo de secado, empleando el método de arrastre de vapor a nivel planta piloto. Este enfoque integral permitirá obtener información valiosa para mejorar los procesos de secado y extracción, contribuyendo así a la optimización de la industria del cardamomo.

La parte experimental de esta investigación se llevó a cabo en el secador eléctrico de bandejas de flujo transversal y en la Planta Piloto de Extracción-Destilación del Laboratorio de Investigación de Extractos Vegetales -LIEXVE-, en el Centro de Investigaciones de Ingeniería, de la Universidad de San Carlos de Guatemala. Los análisis fisicoquímicos se realizaron en el área de laboratorios del -LIEXVE-, Centro de Investigaciones de Ingeniería y en el Departamento de Toxicología de la Facultad de CC.QQ. y Farmacia de la Universidad de San Carlos de Guatemala.

El cardamomo seco se obtuvo a través del presidente de -Cardegua- (Asociación de Cardamomeros de Guatemala), el cual fue secado y clasificado en el

beneficio de cardamomo Los Pimentales de Sasay (Cardegua, 2013). Al aceite esencial de cardamomo obtenido se le realizaron diferentes análisis fisicoquímicos como la densidad, el índice de refracción y la cromatografía de gases acoplado a espectrometría de masas (GC-MS), para determinar la influencia del tipo de secado en el rendimiento del aceite esencial obteniendo así, un estudio comparativo de los diferentes métodos de secado.

Para determinar el porcentaje de humedad se utilizó una balanza, en la cual se coloca 1 gramo de la materia prima molida y posteriormente esta realiza su función; la balanza cuenta con un secador interno y automáticamente realiza un diferencial de pesos, peso al inicio y al final del proceso. En el análisis cualitativo se clasificó, después del secado, la calidad del cardamomo por color, siendo el verde el de mayor calidad; al cardamomo secado en la industria se le realizó el mismo procedimiento.

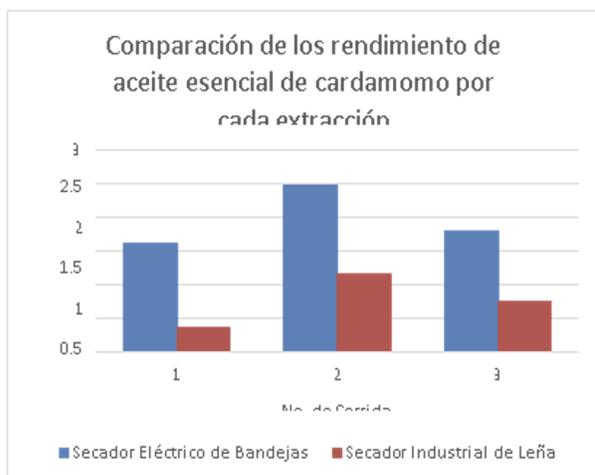
Se obtuvo el porcentaje de cardamomo de primera calidad, después del secado en el secador eléctrico de bandejas de flujo transversal; y el porcentaje de cardamomo de primera calidad obtenido del secado realizado por la industria.

Al aceite esencial de cardamomo obtenido se le realizaron diferentes análisis fisicoquímicos, como: la densidad, el índice de refracción y la cromatografía de gases, acoplado a espectrometría de masas (GC-MS), para determinar la influencia del tipo de secado en el rendimiento del aceite esencial, obteniendo así, un estudio comparativo de los diferentes métodos de secado.

## Resultados

**Figura 1**

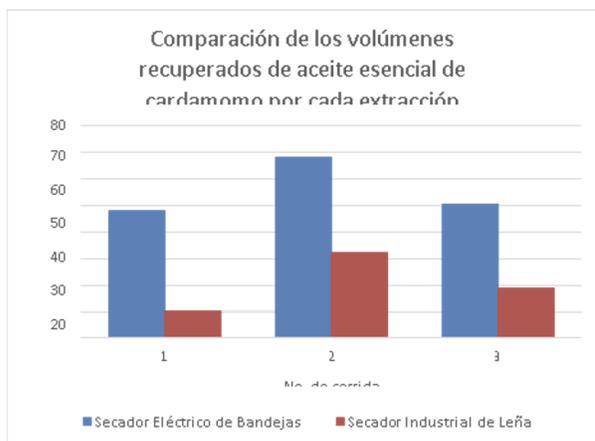
Comparación de volúmenes recuperados, utilizando el secador de bandejas de flujo transversal y el sector industrial de leña.



**Nota.** Elaboración propia, Laboratorio de Investigación de Extractos Vegetales -LIEXVE-

**Figura 2**

Comparación de los rendimientos de aceite esencial de cardamomo, utilizando el secador de bandejas de flujo transversal y el secador industrial de leña



**Nota.** Elaboración propia, Laboratorio de Investigación de Extractos Vegetales -LIEXVE-

**Tabla 1**

Composición química para el aceite esencial de cardamomo, rendimiento 1,61 % (secado con secador eléctrico de bandejas de flujo transversal)

No.	Retención (min)	Porcentaje de área (%)	Componente químico	No. De CAS
1	4,785	28,81	Eucaliptol	470-82-6
2	9,722	26,793	Acetato de $\alpha$ -terpinilo	80-26-2
3	3,755	4,504	$\beta$ -Felandreno	555-10-2
4	8,072	4,097	(+)-3-Careno	498-15-7
5	3,195	2,778	$\alpha$ -Pino	80-56-8
6	5,771	2,474	Linalool	78-70-6
7	12,468	2,344	Nerolidol	7212-44-4
8	3,945	2,165	$\beta$ -Pino	127-91-3
9	1,269	1,496	Triclorometano	67-66-3
10	8,172	1,408	Geranios	106-24-1

**Nota.** Elaboración propia, Laboratorio de Investigación de Extractos Vegetales -LIEXVE-

**Tabla 2**

Composición química para el aceite esencial de cardamomo, rendimiento 0,75 % (secado con secador de leña industrial)

No.	Retención (min)	Porcentaje de área (%)	Componente químico	No. De CAS
1	9,767	28,81	Acetato de $\alpha$ -terpinilo	80-26-2
2	4,705	26,793	Eucaliptol	470-82-6
3	8,072	4,504	$\beta$ -Pino	18172-67-3
4	12,488	4,097	Cariofileno	13877-93-5
5	5,766	2,778	Linalool	78-70-6
6	8,162	2,474	Geraniol	624-15-7
7	18,911	2,344	Omega 3	60-33-3
8	17,33	2,165	Ácido Hexadecanoco	57-10-3
9	18,711	1,496	9-cis-ácido retonoico	5300-03-08
10	7,286	1,408	$\alpha$ -Terpineno	98-55-5

**Nota.** Elaboración propia, Laboratorio de Investigación de Extractos Vegetales -LIEXVE-

**Tabla 3**

*Humedad presente en el cardamomo en función del tiempo*

#	0 horas	3 horas	6 horas	9 horas	12 horas	15 horas
1	80,00 %	39,91 %	20,53 %	11,72 %	8,63 %	8,63 %
2	80,00 %	36,83 %	17,89 %	14,80 %	9,52 %	9,07 %
3	80,00 %	39,03 %	15,68 %	9,96 %	9,52 %	9,52 %
4	80,00 %	36,39 %	22,73 %	19,21 %	14,80 %	14,80 %
5	80,00 %	39,91 %	20,53 %	17,00 %	13,04 %	12,60 %
6	80,00 %	39,03 %	14,36 %	10,40 %	8,19 %	8,19 %
7	80,00 %	36,39 %	15,24 %	13,04 %	9,07 %	9,07 %
8	80,00 %	39,91 %	17,44 %	14,80 %	12,16 %	12,16 %
9	80,00 %	39,91 %	24,05 %	17,44 %	11,72 %	11,72 %
10	80,00 %	39,03 %	20,09 %	14,80 %	11,72 %	11,72 %
11	80,00 %	35,95 %	17,89 %	13,92 %	11,28 %	11,28 %
12	80,00 %	39,03 %	19,21 %	14,36 %	10,40 %	10,40 %
13	80,00 %	36,83 %	24,05 %	10,84 %	5,99 %	5,99 %
14	80,00 %	38,15 %	13,04 %	10,40 %	6,43 %	6,43 %
15	80,00 %	39,91 %	17,89 %	13,92 %	9,52 %	9,69 %

**Nota.** Elaboración propia, Laboratorio de Investigación de Extractos Vegetales -LIEEXVE-

**Tabla 4**

*Densidad del aceite esencial de cardamomo extraído para ambos métodos de secado*

Método	Corrida	Densidad(g/ml)
Secador de bandejas de flujo transversal	1	0,90945034
		0,90945034
		0,91909354
	2	0,91108968
		0,90376085
		0,9123433
3	0,90732883	
	0,90665381	
	0,90540019	
Secador industrial de leña	1	0,93384764
		0,92912247
		0,92796528
	2	0,92266152
		0,92025072
		0,92642237
	3	0,93269045
		0,92806172
		0,92999036

**Nota.** Elaboración propia, Laboratorio de Investigación de Extractos Vegetales -LIEEXVE-

## Discusión

- Se presentan los resultados obtenidos a partir del proceso experimental de investigación, llevado a cabo en el Laboratorio de Investigación de Extractos Vegetales -Liexve-. El principal propósito del estudio fue evaluar y comparar el rendimiento del aceite esencial de cardamomo (*Elettaria cardamomum*, L. Matton), en función de dos diferentes tipos de secado. Es importante recalcar que en los dos métodos de secado se trabajó bajo distintas condiciones, las cuales afectaron directamente el rendimiento de secado; dichas condiciones se basan principalmente en que en el secador de leña no existen condiciones controladas, por lo que dichos secadores funcionan a la intemperie con grandes volúmenes de materia prima, con una llama constante sin control de temperatura, afectando directamente la uniformidad del secado, ocasionando la pérdida de materia prima por la quema del cardamomo.
- En la Figura 1 se ilustra los volúmenes de aceite esencial de cardamomo obtenidos después de haber realizado el proceso de secado, utilizando los dos métodos establecidos. Se observa que se obtuvo más volumen de aceite, utilizando el secador eléctrico de bandejas de flujo transversal.
- En la Figura 2, se presenta el rendimiento obtenido de aceite esencial de cardamomo a escala laboratorio, a través del método de arrastre por vapor. Se observa una diferencia significativa en los dos métodos de secado utilizados y el comportamiento del rendimiento del aceite esencial de cardamomo, secado con el método del secador eléctrico de bandejas de flujo transversal, fue mayor al rendimiento del aceite esencial de cardamomo, utilizando el método de secado de leña.

- En las Tablas I y II se muestra la composición química del cardamomo con rendimiento 1,61 % (secado con secador eléctrico de bandejas de flujo transversal) y con rendimiento 0,75 % (secado con secador de leña industrial), respectivamente. Se observa que el acetato de  $\alpha$ -terpinilo y el eucaliptol son las estructuras químicas que más predominan, con 28,81 % y 26.80 % del área total de las estructuras.
- En las Figuras 3 y 4 se muestran los perfiles cromatográficos correspondientes al aceite esencial de cardamomo, con el método de secador de bandejas de flujo transversal y con el método de secado industrial de leña respectivamente, en las que se destacan los componentes químicos mayoritarios. El cromatógrafo de gases permitió realizar una descomposición de tres compuestos orgánicos en diferentes tiempos de retención, formando un cromatograma, en el cual, se mostró la detección en el espectro de masas por medio de una serie de picos, siendo los más altos, los compuestos que mayor porcentaje de área abarcaban y, por ende, los más abundantes dentro del aceite esencial (Deulofeu, 2006).
- En la Tabla III se muestra el porcentaje de humedad del cardamomo en diferentes tiempos de secado y distintas corridas, utilizando el método de secador por bandejas de flujo transversal; mostrando una pequeña variación entre cada una de las corridas.
- En la Tabla IV se presenta una comparación de densidad del aceite esencial de cardamomo, obtenido de cada método de secado. Se aprecia que existe una diferencia significativa entre los valores calculados, determinando que el cardamomo secado a través del secador de flujo transversal posee una menor densidad.

## Conclusiones

1. Existe diferencia significativa en el rendimiento de aceite esencial de cardamomo, utilizando los dos diferentes métodos de secado, obteniéndose un valor máximo de 2,46 %, en el secador eléctrico de bandejas de flujo transversal.
2. Existe diferencia significativa en los resultados de la cromatografía del aceite esencial de cardamomo, utilizando los dos diferentes métodos de secado, encontrando que el mayor contenido de acetato de  $\alpha$ -terpenilo y 1,8 cineol, se encontró en el aceite esencial de cardamomo secado en el secador eléctrico de bandejas de flujo transversal.
3. El tiempo de secado óptimo, en el secador de bandejas eléctrico de flujo transversal, fue de 15 horas.
4. El porcentaje de humedad para obtener el mayor rendimiento de aceite esencial, se encontró en un rango de 9,27 % -10,81 %. Dicho rendimiento se encontró con materia prima secada en el secador de bandejas eléctrico de flujo transversal.

## Resultados

1. Realizar una comparación de la influencia de los dos tipos de secado, en el rendimiento de aceite esencial, para la segunda, tercera, cuarta y quinta calidad de cardamomo (*Elettaria cardamomum L. Matton*).
2. Realizar un estudio de rendimiento de aceite esencial de cardamomo (*Elettaria cardamomum L. Matton*), para la primera, segunda, tercera, cuarta y quinta calidad de cardamomo

## Referencias bibliográficas

- Cardegua. Blog de noticias de Cardegua. [en línea]. <<http://www.cardegua.com/>>. [Consulta: 19 de octubre de 2013].
- Deulofeu Gabriel, N. M. Determinación del rendimiento de la oleoresina de tres distintas clases de cardamomo (*Elettaria cardamomum* Matton) cultivado en Alta Verapaz, extraída por maceración dinámica y dos solventes distintos, a nivel laboratorio. Trabajo de graduación de Ing. Química. Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala, 2006. 112 p.
- Elfriede de De Pöll, R. B. Características diferenciales en cardamomo: zona norte de Guatemala, regiones 4, 5, y 6. Universidad del Valle de Guatemala, Instituto de Investigaciones, PROGECAR, 1990. 41 p.
- Herbotecnia. Secado de hierbas aromáticas y medicinales-métodos. [en línea]. <<http://www.herbotecnia.com.ar/poscosechaseadoMetodos.htm>>. [Consulta: 25 de octubre de 2013].
- Lima Aguirre, S. I. Análisis de los rendimientos obtenidos de dos especies de eucalipto trabajados en seco a nivel laboratorio y a nivel planta piloto en la extracción de su aceite esencial. Trabajo de graduación de Ingeniería Química. Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala, 2005. 76 p.
- Lossi Nishtal, E. A. Obtención del aceite esencial del flavelo del fruto de naranja dulce (*Citrus Sinesis* L.) Ttpo Blanca, variedad Valencia, empleando el método de destilación por arrastre de vapor a nivel laboratorio, en función de diferentes tipos de corte y contenido de humedad. Trabajo de graduación de Ing. Química. Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala, 2012. 146 p.

## Agradecimientos

Los autores de este artículo agradecen al Laboratorio de Investigación de Extractos Vegetales -LIEXVE-, Centro de Investigaciones de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala; también al Laboratorio de Investigación de Productos Naturales -LIPRONAT- y al Laboratorio de Análisis Físicoquímicos y Microbiológicos -LAFYM-, Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia, Universidad de San Carlos de Guatemala.

### Telma Maricela Cano Morales

Ingeniera Química, Directora del Centro de Investigaciones de Ingeniería, Profesora Titular X de los Cursos de Química General 1 y 2.

### Mario José Mérida Meré

Ingeniero Químico, Coordinador del -LIEXVE-, Docente de los cursos Extracciones Industriales y Seminario de Investigación de Ingeniería Química. Facultad de Ingeniería, USAC.

### Brenda Amarylys Cermeño Dávila

Ingeniera Química de la Facultad de Ingeniería, USAC.

### Juan Pablo López Cano

Bachiller en Ciencias y Letras, Auxiliar de Investigación en el Laboratorio de Investigación de Extractos Vegetales -LIEXVE-, Facultad de Ingeniería, USAC.

Evaluación de la capacidad biocida del aceite esencial microencapsulado y su aplicación en la desinfección de cuerpos de agua



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

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

Juan Pablo López Cano (Br. Ciencias y Letras)  
jlpoez22@gmail.com

# Evaluación de la capacidad biocida del aceite esencial microencapsulado y su aplicación en desinfección de cuerpos de agua

Telma Maricela Cano Morales (Inga. Química)

telma.canomoraes@hotmail.com

Mario José Mérida Meré (Ing. Químico)

mjmeridamere@gmail.com

Osber Isabel Carías Palencia (Ing. Mecánico)

osbercarias@gmail.com

Gerson Joél Ortega Morales (Ing. Químico)

gersonortegamo@gmail.com

Juan Pablo López Cano (Br. Ciencias y Letras)

jpgoez22@gmail.com

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

## Resumen

El estudio se centró en evaluar el efecto biocida de aceites esenciales microencapsulados de Orégano (*Origanum vulgare L.*), Romero (*Rosmarinus officinalis L.*), y Albahaca (*Ocimum basilicum L.*). Estos aceites, extraídos mediante arrastre con vapor en una planta piloto, se sometieron a análisis fisicoquímicos. Dado que los aceites esenciales son susceptibles a volatilizarse y perder efectividad en entornos ambientales, fueron microencapsulados en oligómeros cíclicos biodegradables de  $\beta$ -Ciclodextrina para mejorar su estabilidad y acción biocida, aplicado contra larvas del zancudo *Aedes aegypti*. El estudio se enfocó en analizar cómo la temperatura afecta la encapsulación y, por ende, la degradación de los aceites. Se examinaron detalladamente las propiedades de las microcápsulas y se evaluó la actividad biocida, tanto de los aceites esenciales puros, como de los microencapsulados en larvas. Los resultados indicaron que la microencapsulación mejoró la estabilidad y capacidad de los aceites esenciales para eliminar larvas.

**Palabras clave:**  $\beta$ -Ciclodextrina, capacidad larvicida, aceite esencial, *Aedes aegypti*, microencapsulación

## Abstract

The study aimed to evaluate the biocidal effect of microencapsulated essential oils from Oregano (*Origanum vulgare L.*), Rosemary (*Rosmarinus officinalis L.*), and Basil (*Ocimum basilicum L.*). These oils, extracted using steam distillation in a pilot plant, underwent physicochemical analysis. Due to the susceptibility of essential oils to volatilization and loss of effectiveness in environmental settings, these oils were encapsulated in biodegradable cyclic oligomers of  $\beta$ -Cyclodextrin to enhance their stability and biocidal action against larvae of the *Aedes aegypti* mosquito. The study focused on analyzing how temperature affects encapsulation and, consequently, oil degradation. The properties of the microcapsules were thoroughly examined, and the biocidal activity of both pure essential oils and microencapsulated ones on larvae was evaluated. The results indicated that microencapsulation improved the stability and efficacy of essential oils in larva elimination.

**Keywords:**  $\beta$ -Cyclodextrin, larvicidal capacity, essential oil, *Aedes aegypti*, microencapsulation

## Introducción

En respuesta a una creciente preocupación en torno a las enfermedades transmitidas por mosquitos, como el Dengue, la Chikunguña, la Fiebre Amarilla y el Zika; esta investigación se enmarca con el propósito fundamental de evaluar la capacidad biocida de los aceites esenciales microencapsulados, extraídos de tres especies vegetales aromáticas distintas y su aplicabilidad como agentes desinfectantes en cuerpos de agua. Estos padecimientos, particularmente el Dengue, han tenido un impacto significativo en todo el mundo, con estimaciones que indican alrededor de 390 millones de infecciones por año, resultando en millones de casos clínicos (Bhatt et al., 2013). En el contexto de Guatemala, una región tropical susceptible a brotes anuales, la falta de adecuados sistemas de saneamiento y el manejo inadecuado de cuerpos de agua, está relacionado con la continua proliferación de vectores, portadores de enfermedades, poniendo en riesgo vidas y generando problemas de salud pública.

El suministro de agua de calidad, para consumo humano y animal, se torna crucial para prevenir diversas enfermedades, ya sea por agentes parasitarios o la propagación de vectores. Sin embargo, la consideración del ecosistema acuático es igualmente esencial, ya que, al tratar de erradicar los vectores y organismos nocivos, se afecta inadvertidamente a organismos benéficos y al equilibrio ecológico. La introducción de larvicidas, como DFB (Diflubenzuron) y TMP (Temefos), ha demostrado efectos negativos en especies acuáticas, así como en mamíferos que consumen agua contaminada (Abe et al., 2019). Este escenario motiva la búsqueda de alternativas que, además de ser efectivas, sean respetuosas con los ecosistemas acuáticos y posean cualidades biodegradables.

En este contexto, los aceites esenciales emergen como candidatos prometedores. Compuestos por mezclas complejas de hasta 100 componentes, tales como terpenoides, fenoles aromáticos y ésteres, los aceites esenciales se distinguen por sus propiedades biocidas y

su origen vegetal (Bandoni, 2002; Sharapin, 2000). La utilización de plantas con propiedades insecticidas y la formulación de productos naturales, han sido prácticas tradicionales (Jacobson, 1958). Además, al ser mezclas complejas, estos extractos vegetales pueden exhibir sinergismos o interacciones potenciadoras, minimizando el riesgo de resistencia (Isman, 2006).

El presente artículo tiene como objetivo central, comunicar los resultados de la evaluación de la actividad biocida de aceites esenciales extraídos de Orégano (*Origanum vulgare L.*), Romero (*Rosmarinus officinalis L.*) y Albahaca (*Ocimum basilicum L.*). Estos aceites esenciales, son compuestos activos contra organismos vectores acuáticos, que se someterán a procesos de microencapsulación con  $\beta$ -ciclodextrina como alternativa biodegradable de protección (Ros, 2010). La relevancia de esta propuesta radica en su potencial para ofrecer una solución efectiva y respetuosa con el medio ambiente, en la lucha contra vectores transmisores de enfermedades, contribuyendo a la preservación de los ecosistemas acuáticos y la biodiversidad. La investigación no solo buscó la eficacia biocida, sino también la viabilidad técnica y ambiental de la microencapsulación, buscando establecer un enfoque de producción referente en el país.

## Metodología

En el marco de esta investigación, se emprendió una rigurosa exploración enfocada en la evaluación de la capacidad biocida de aceites esenciales microencapsulados, extraídos de tres especies vegetales aromáticas distintas, así como en su viabilidad como agentes desinfectantes en cuerpos de agua. Con miras a alcanzar tal cometido, se trazaron una serie de objetivos específicos, cada uno abordando aspectos clave de la indagación.

Se buscó examinar el rendimiento de la extracción de aceite esencial de tres plantas: Orégano (*Origanum vulgare L.*), Romero (*Rosmarinus officinalis L.*) y Albahaca (*Ocimum basilicum L.*), en una escala de planta piloto. La metodología aplicada se fundamentó en la destilación

directa por arrastre de vapor, una técnica respaldada por el enfoque (Santizo Lacayo 2004). En una fase subsiguiente, se llevó a cabo la caracterización fisicoquímica de los aceites esenciales obtenidos. En esta etapa, se evaluaron propiedades como densidad, solubilidad en etanol, índice de refracción, viscosidad, pH y composición química, empleando para ello la técnica de cromatografía de gases GC-MS. Este análisis detallado, permitió una comprensión precisa de las propiedades moleculares, inherentes a los aceites esenciales y su potencial impacto biocida.

La encapsulación de los aceites esenciales emergió como un aspecto crucial en este estudio. Se avanzó en la formulación de microcápsulas basadas en  $\beta$ -ciclodextrina, diseñadas para albergar los aceites esenciales y garantizar su estabilidad. El proceso de encapsulación se fundamentó en la técnica de precipitación, mediante la interacción de soluciones etanol-agua y agitación a temperaturas específicas. Para la caracterización de estas microcápsulas, se recurrió a la microscopía electrónica de barrido (MEB) (Restrepo, et al., 2009).

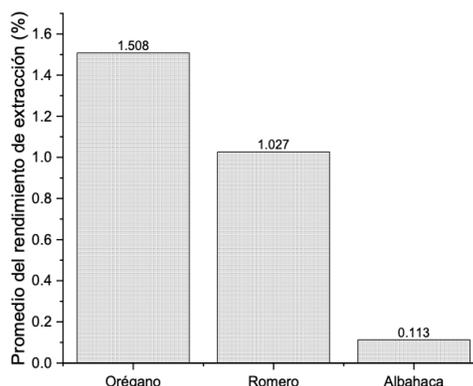
Para la evaluación de la eficiencia de encapsulación de los aceites esenciales, se realizó espectroscopía infrarroja FTIR, con la cual se determinó el perfil composicional de los grupos funcionales del oligómero cíclico de beta-ciclodextrina pura y el complejo beta-ciclodextrina-aceite esencial (Matos-Chamorro, et al., 2010). La culminación de este estudio se reflejó en la evaluación de la actividad biocida de los aceites esenciales, tanto en su estado puro como encapsulado, mediante la utilización de larvas de *Aedes aegypti*, como modelo experimental. La metodología adoptada se basó en las directrices establecidas por la Organización Mundial de la Salud (OMS), en 1981, y contempló la

inclusión de  $\beta$ -ciclodextrina, para determinar su efectividad en los procesos de desinfección.

## Resultados

**Figura 1**

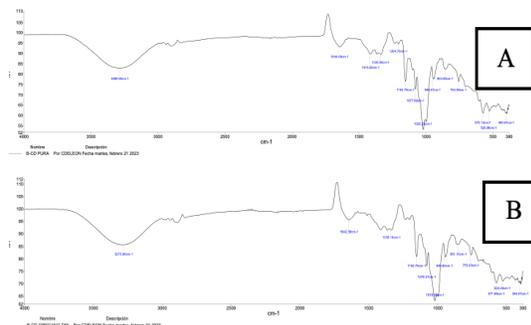
Rendimiento porcentual promedio del extracto de aceite esencial de Orégano (*Origanum vulgare L.*), Romero (*Rosmarinus officinalis L.*) y Albahaca (*Ocimum basilicum L.*).



**Nota.** Elaboración propia, Laboratorio e Investigación de Extractos Vegetales -LIEXVE-

**Figura 2**

Espectro IR de  $\beta$ -ciclodextrina pura (A) y aceite esencial de Orégano (*Origanum vulgare L.*) microencapsulado con  $\beta$ -ciclodextrina a 60 oC (B).



**Nota.** Elaboración propia, Laboratorio e Investigación de Extractos Vegetales -LIEXVE-

**Tabla 1**

Componentes mayoritarios obtenidos de cromatografía gaseosa del aceite esencial de Romero (*Rosmarinus officinalis L.*)

No.	Tiempo de retención (min)	Área (%)	Componente Químico	Número CAS
1	4.94	15.719	2-octin-1-ol	20739-58-1
2	4.285	8.828	3-hexin-1-ol	1002-28-1
3	6.791	8.673	endo-2-Aminonorbornano	31002-73-1
4	3.795	6.794	1,5-dimetilpirazol	694-31-1
5	3.67	6.546	4-Hidrazono-5-hidroxiimino-4,5,6,7-tetrahydrobenzofurazano	694-31-1

**Nota.** Elaboración propia, Laboratorio de Análisis Físicoquímicos y Microbiológicos -LAFYM-.

**Tabla 2**

Componentes mayoritarios obtenidos de cromatografía gaseosa del aceite esencial de Orégano (*Origanum vulgare L.*)

No.	Tiempo de retención (min)	Área (%)	Componente Químico	Número
1	4.355	4.531	1,8-Nonadiino	2396-
2	4.695	2.254	1,7-Octadiino	871-
3	3.365	1.450	2-metil-1-hexen-3-ino	23056-
4	3.460	1.332	2-etenil-Biciclo[2.2.1]heptano	2146-
5	4.535	1.148	1,3-Cicloheptadieno	4054-

**Nota.** Elaboración propia, Laboratorio de Análisis Físicoquímicos y Microbiológicos -LAFYM-.

**Tabla 3**

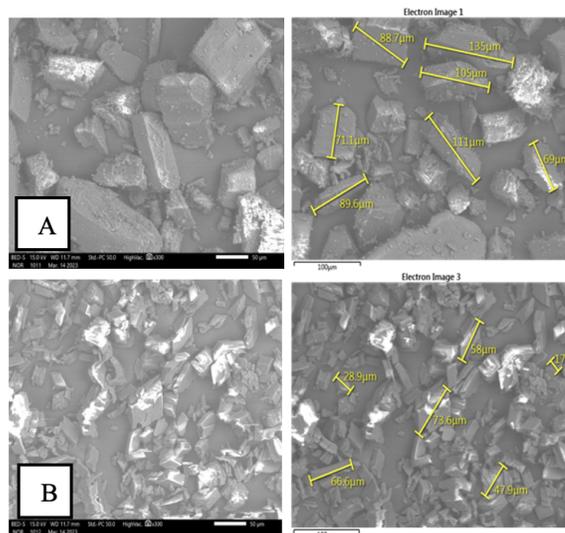
Componentes mayoritarios obtenidos de cromatografía gaseosa del aceite esencial de Albahaca (*Ocimum basilicum L.*)

No.	Tiempo de retención (min)	Área (%)	Componente Químico	Número CAS
1	4.93	6.961	7-Oxabiciclo[4.1.0]heptan-2-ona.	106-87-6
2	6.061	3.014	7-Oxabiciclo[4.1.0]heptan-2-ona.	106-87-6
3	4.085	2.495	Espiro {6,6-dimetil-2,3-diazabicyclo[3.1.0]hex-2-eno-4,1'-ciclopropano}	135485-30-2
4	6.356	2.242	1,3,3-trimetilBiciclo[2.2.1]heptan-2-ol	1632-73-1
5	3.46	1.207	(1S)-2,6,6-Trimetilbicyclo[3.1.1]hept-2-eno	7785-26-4

**Nota.** Elaboración propia, Laboratorio de Análisis Físicoquímicos y Microbiológicos -LAFYM-.

**Figura 3**

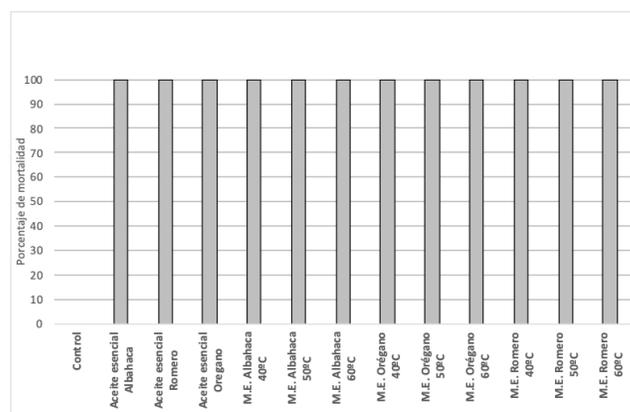
Micrografía de la  $\beta$ -ciclodextrina pura (A) y Micrografía del complejo  $\beta$ -ciclodextrina y aceite esencial de Orégano (*Origanum vulgare L.*) a 60 oC (B).



**Nota.** Datos proporcionados por el Centro de Investigación y Desarrollo Cetec, Cementos Progreso.

**Figura 4**

Porcentaje de mortalidad sobre larvas de mosquito *Aedes aegypti* 24 horas después de la aplicación de microencapsulados de aceites esenciales y de aceites esenciales puros de 3 especies *Ocimum sp.*, *Salvia rosmarinus Spenn.* y *Origanum vulgare L.*



**Nota.** Datos proporcionados por Bioinsecta.

## Discusión de resultados

- En el marco de este estudio se presentan los resultados obtenidos, a partir de la investigación llevada a cabo en el Laboratorio de Investigación de Extractos Vegetales (LIEXVE). El propósito central de esta investigación consistió en explorar y analizar las propiedades de los aceites esenciales (AE) extraídos de tres especies vegetales distintas: *Origanum vulgare* L. (Orégano), *Rosmarinus officinalis* L. (Romero) y *Ocimum basilicum* L. (Albahaca).
- En la Figura 1, se ilustran los rendimientos porcentuales promedio de los extractos de aceite esencial, obtenidos a través del método de extracción por vapor directo. Se observa un rendimiento superior en el caso del aceite de Orégano, en comparación con los obtenidos de Romero y Albahaca.
- En la Figura 2, se presentan los espectros infrarrojos (IR) de la  $\beta$ -ciclodextrina ( $\beta$ -CD), en su estado purificado, junto con el complejo resultante de la microencapsulación del aceite esencial de Orégano, a 60 °C. Se realizaron comparaciones estadísticas de las lecturas de FTIR, en los resultados obtenidos. Se señalan diferencias significativas, que sugieren cambios en los anchos de banda de absorción, durante el proceso de microencapsulación de los aceites en la  $\beta$ -CD (Matos-Chamorro et al., 2010).
- En las Tablas I, II y III se exponen los perfiles cromatográficos correspondientes a los aceites esenciales de Romero, Orégano y Albahaca, respectivamente, en las que se destacan los componentes químicos mayoritarios. Entre los ejemplos notables, se incluye la presencia de 2-octin-1-ol y 3-hexin-1-ol en el Romero, 1,8-Nonadiino y 1,7-Octadiino en el Orégano, y 7-Oxabiciclo [4.1.0]heptan-2-ona en la Albahaca. Todos estos compuestos poseen propiedades antimicrobianas y bioactivas de gran relevancia.

## Recomendaciones

1. Se sugiere investigar a fondo las temperaturas óptimas para la microencapsulación de cada aceite esencial, maximizando así la eficiencia de encapsulación. Esto mejoraría la calidad y cantidad de los complejos  $\beta$ -ciclodextrina-aceite.
2. Se recomienda realizar pruebas en entornos de campo, para validar la eficacia biocida de los aceites esenciales, en larvas de *Aedes aegypti*. Estos estudios, además de considerar la toxicidad, asegurará la viabilidad de los aceites como agentes de control de vectores, sin efectos adversos en el ecosistema circundante.

## Referencias bibliográficas

- Abe, F. R., Machado, A. A., Coleone, A. C., da Cruz, C., & Machado-Neto, J. G. (2019). Toxicity of Diflubenzuron and Temephos on Freshwater Fishes: Ecotoxicological Assays with *Oreochromis niloticus* and *Hyphessobrycon* eques. *Water, Air, and Soil Pollution*, 230(3)1–10. <https://doi.org/10.1007/s11270-019-4128-7>
- Bandoni, Arnald L. (2002). Los Recursos Vegetales Aromáticos en Latinoamérica: Su aprovechamiento industrial para la producción de aromas y sabores. Recuperado de <http://agris.fao.org/agris-search/search.do?recordID=AR2008000133>
- Bhatt, S., Gething, P. W., Brady, O. J., Messina, J. P., Farlow, A. W., Moyes, C. L., Drake, J. M., Brownstein, J. S., Hoen, A. G., Sankoh, O., Myers, M. F., George, D. B., Jaenisch, T., William Wint, G. R., Simmons, C. P., Scott, T. W., Farrar, J. J., & Hay, S. I. (2013). The global distribution and burden of dengue. *Nature*, 496(7446), 504–507. <https://doi.org/10.1038/nature12060>
- Isman, M. B. (2006). Botanical insecticides, deterrents, and repellents in modern agriculture and an increasingly regulated world. In *Annual Review of Entomology* (Vol. 51, pp. 45–66).

<https://doi.org/10.1146/annurev.ento.51.110104.151146>

- Jacobs, M. 1958. *Insecticides from plants: a review of literature, 1941-1953*. United States Department of Agriculture. Agricultural Hand Book.
- Matos-Chamorro A.; Quispe-Condori, Socrates; Quito-Vidal, Moisés Rosulo; Beltrán-Cárdenas, S. K. (2010). Evaluación de la Capacidad Antimicrobiana del Aceite Esencial de Orégano (*Origanum vulgare*) Microencapsuladas en  $\beta$ -ciclodextrina Aplicados en Cultivos Microbianos. *Ciencia y Tecnología de Alimentos*, 1, 18–24. <http://arbor.revistas.csic.es/index.php/Restreparbor/article/viewArticle/1004>
- o, J., Vinasco, L. E., Jaramillo, L. P., & Colmenares, A. J. (2009). Encapsulamiento de los aceites esenciales de citral (*cymbopogon citratus*) en  $\beta$ -ciclodextrinas usando CO<sub>2</sub> supercrítico Encapsulation of essential oil from citral (*cymbopogon citratus*) in  $\beta$ -ciclodextrines by using supercritical CO<sub>2</sub>. *Red de Revistas Científicas de América Latina, El Caribe, España y Portugal*, 11(2), 9–19. <http://www.redalyc.org/pdf/2913/291323541001.pdf>
- Ros, M. T. M. (2010). Encapsulación de flavonoles en ciclodextrinas. Efecto en su actividad antioxidante. 241.
- Sharapin N. (2000). *Fundamentos de Tecnología de Productos Fitoterapéuticos*. Bogotá: Convenio Andres Bello.
- Wojciechowska, M., Stepnowski, P., & Gołębowski, M. (2016). The use of insecticides to control insect pests. In ISJ (Vol.

### **Agradecimientos**

Los autores de este artículo agradecen al Centro de Investigaciones de Ingeniería, de la Universidad de San

Carlos de Guatemala, por su acceso a recursos y servicios. Asimismo, se reconoce la valiosa contribución de José Luis Ortiz Peñate, José Andrés Barillas Quezada y otros profesionales del Centro de Investigación y Desarrollo -CETEC- de Cementos Progreso, así como de MSc. Rebeca Méndez, MSc. Elizabeth Solórzano y PhD. Claudia De León del Instituto De Investigaciones Químicas, Biológicas y Biofísicas (I2qb3). También se extiende el agradecimiento al Doctor Geisler Gómez y al Ingeniero Agrónomo Marco Polo, de Bioinsecta, cuya colaboración fue esencial para el alcance de estos resultados.

### **Telma Maricela Cano Morales**

Ingeniera Química. Directora del Centro de Investigaciones de Ingeniería, Profesora Titular X de los Cursos de Química General 1 y 2.

### **Mario José Mérida Meré**

Ingeniero Químico, Coordinador del -LIEXVE-, -CII-USAC, Docente de los cursos Extracciones Industriales y Seminario de Investigación de Ingeniería Química.

### **Gerson Joel Ortega Morales**

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

### **Osber Isabel Carías Palencia**

(Ingeniero Químico) Ingeniero Mecánico, especialista en Gerencia de Comercio Exterior, Profesor e Investigador en LIEXVE-/CII- USAC y de la Escuela de Ingeniería Mecánica.

### **Juan Pablo López Cano**

(Bachiller en Ciencias y Letras)) Auxiliar de Investigación, -LIEXVE-, -CII-USAC.

**Control** de calidad del armado  
de bastidor y forro, para edificación de muros  
con maderas nacionales de Guatemala



Edgar Virgilio Ayala Zapata (Dr. Ing.Civil)  
virgilioayala@yahoo.com

Saulo Moisés Méndez Garza (MSc. Ing. Industrial)  
mendezgarza@yahoo.com

# Control de calidad del armado de bastidor y forro para edificación de muros con maderas nacionales de Guatemala

Saulo Moisés Méndez Garza (MSc. Ing. Industrial)

mendezgarza@yahoo.com  
Sección de Ecomateriales, CII/USAC

Edgar Virgilio Ayala Zapata (Dr. Ing. Civil)

virgilioayala@yahoo.com  
Sección de Tecnología de los Materiales  
y Sistemas Constructivos, CII/USAC

## Resumen

Las maderas duras no tradicionales, Santa María (*Calophyllum Brasiliense Camb*), Manchiche (*Lonchocarpus Castilloi standl*) y Danto (*Vatairea lundellii*), son especies del sureste de México, Centro y Sudamérica. Por sus características de dureza y durabilidad, son utilizadas en la industria de la construcción. Para la edificación de muros, ha sido necesario el secado en condiciones naturales. Se diseñó y construyó un área que reproduce las condiciones empleadas por las concesiones forestales de la Reserva de la Biósfera Maya para secar madera. Se evaluó y documentó los procesos y procedimientos de secado para la edificación de paneles de madera. Así mismo, se seleccionó y transportó las tres especies de El Petén a la Universidad de San Carlos de Guatemala, Campus Central zona 12, se investigó las características físicas y propiedades mecánicas de las maderas, se diseñó el sistema constructivo de muros de madera, se definieron los procesos de control de calidad del sistema constructivo, del bastidor y del forro.

**Palabras clave:** concesiones forestales, sostenibilidad, impacto ambiental, transferencia tecnológica, propiedades

## Abstract

The non-traditional hardwoods, Santa María (*Calophyllum Brasiliense Camb*), Manchiche (*Lonchocarpus Castilloi standl*) and Danto (*Vatairea lundellii*), are species from southeastern Mexico, Central and South America. Due to their hardness and durability characteristics, they are used in the construction industry. For the construction of walls, drying under natural conditions has been necessary. An area was designed and built that reproduces the conditions used by the forest concessions of the Mayan Biosphere Reserve to dry wood. The drying processes and procedures for the construction of wood panels were evaluated and documented. Likewise, the three species from El Petén were selected and transported to the University of San Carlos of Guatemala, Central Campus zone 12, the physical characteristics and mechanical properties of the wood were investigated, the construction system of wooden walls was designed, and the quality control processes were defined. of the construction system, the frame and the lining

**Keywords:** forestry concessions, sustainability, environmental impact, technology transfer, properties

## Introducción

La edificación de muros de madera es una alternativa en la industria de la construcción en Guatemala, especialmente cuando se hace uso de las maderas nacionales.

En el proceso de edificación de muros, que se realizó en la Sección de Tecnología de Materiales, del Centro de Investigaciones de Ingeniería, se analizaron dos de sus componentes: el armado del bastidor y el forro, en el marco del proyecto de investigación: Implantación de un sistema de control de calidad en la edificación de muros, utilizando maderas nacionales, cofinanciado por el Fondo Nacional de Ciencia y Tecnología, FONACYT.

El proyecto inició con la identificación de las maderas y sus proveedores, así como las comunidades forestales de la Reserva de la Biósfera Maya, del Departamento de El Petén.

Desde un principio, las maderas fueron cuidadosamente seleccionadas, así como los cortes en el aserradero, la preparación y el envío hacia el Centro de Investigaciones de Ingeniería, en la Universidad de San Carlos de Guatemala, Campus Central zona 12.

Luego, en el laboratorio, se realizó una investigación sobre las características físicas y propiedades mecánicas de las especies seleccionadas.

Partiendo de la información obtenida, se diseñaron los sistemas constructivos de muros de madera, su armado interno y la documentación de los procedimientos.

El proyecto fue realizado en dos áreas: en la Sección de Tecnología de Materiales, donde fueron construidos los muros, y en la Sección de Estructuras, donde fueron ensayados. Las maderas utilizadas en esta investigación provienen de bosques concesionados en la Reserva de la Biósfera Maya y, protegidos y supervisados periódicamente por el Consejo Nacional de Áreas Protegidas (CONAP).

Se investigaron tres especies de madera: Santa María (*Calophyllum Brasiliense Camb*), Manchiche (*Lonchocarpus Castilloi standl*) y Danto (*Vatairea lundellii*). La normalización de la madera es importante, debido a que, siendo un elemento estructural de gran auge, repercute al no tener conocimiento de un control de la calidad (Tecún, 2006).

## Marco conceptual

La aparición de la modalidad de aprovechamiento y comercialización de los recursos forestales provenientes de los bosques de la Reserva de la Biósfera Maya, a través de las comunidades organizadas, ha marcado un antes y un después en la administración de las áreas forestales, mismas que son vigiladas periódicamente por el CONAP. Según (Cossío, 2006), la industria de la madera de áreas manejadas incrementará los precios de esta, con ello se motiva el uso de procesos tecnológicos más eficientes, tanto en el manejo de bosques naturales, como en el cultivo del bosque.

Cabe señalar que, en los últimos treinta años, fueron deforestadas 2 millones de hectáreas en suelos con potencial forestal, las que deben ser recuperadas para atenuar los efectos ambientales, que se derivan de la deforestación (Cossío, 2006). Su facilidad de adaptación a los diferentes niveles de prefabricación y la mejora de las técnicas de protección, hacen de la madera un material deseable para procesos de construcción limpios, secos y rápidos, haciendo las edificaciones de madera competitivas, tanto por su costo inicial, como por su bajo costo de mantenimiento, aspectos que se combinan con la idoneidad de este material para ajustarse a nuevas funciones (Zambrano, 2005).

Según (Forster, 2002), el establecimiento de la forestería comunitaria ha permitido frenar sustancialmente los procesos de destrucción de los bosques latifoliados en regiones de frontera agrícola. El proceso de trabajar con las maderas es complejo, menciona que, "Las maderas pesadas requieren herramientas especiales para poder ser trabajadas convenientemente (máquinas más pesadas, filos recubiertos de estelita o de carburo de tungsteno)."

Según (Ayala, 2006), las tres especies no tradicionales identificadas provenientes de las concesiones forestales del Departamento de El Petén, que fueron investigadas, son las siguientes: Danto (*Vatairea lundellii Standley*) especie nativa de la familia Fabaceae, de 30 a 40 metros de altura y un metro de diámetro a la altura del pecho, fuste con frecuencia con contrafuertes en la base, que alcanzan hasta 2 metros de altura.

Crece de forma natural desde el sur de México, Centro América hasta Brasil y en ambas costas de Guatemala. Es una especie emergente de los estratos superiores, crece en las zonas de vida del bosque húmedo y muy húmedo subtropical, de 0 a 600 msnm, tanto en suelos anegados o bajos, como también en suelos bien drenados. La especie *Calophyllum brasiliense Camb. var. rekoy Standl (Santa María)*, es nativa de la familia Clusiaceae, frecuentemente de 15 a 50 metros de alto y fuste de 0.5 a 1.8 metros de diámetro a la altura del pecho. Fuste recto, cilíndrico, algunas veces con pequeños contrafuertes en base, libre de ramas en sus dos terceras partes.

Es nativo desde México, Centroamérica, hasta Perú y Brasil, también en las Antillas desde Cuba y Jamaica hasta Trinidad e Indias Occidentales. En Guatemala, se encuentra en los departamentos de Petén, Huehuetenango, Quiché, Alta Verapaz, Izabal, Chiquimula, Jutiapa, Santa Rosa, Escuintla, Guatemala, Chimaltenango, Sololá y Suchitepéquez. La especie *Lonchocarpus castilloi Standl (Manchiche)*, es nativa de la familia Fabaceae, alcanza de 30 a 40 metros de altura y diámetros de 40 a 100 cm a la altura del pecho.

El fuste es recto, pero algunas veces se bifurca. Se encuentra en México y Centro América. En Guatemala se encuentra en Quiché, Alta Verapaz, Izabal y Petén. Crece en bosque húmedo subtropical, bosque muy húmedo subtropical y bosque tropical, a altitudes de 0 a 900 msnm.

Su reproducción es sexual y las semillas maduran de agosto a septiembre. La madera es de textura fina a mediana, muy pesada (0.70 a 0.95 gr/cm<sup>3</sup>), dureza lateral alta a muy alta, resistente a la descomposición, muy resistente al ataque de hongos e insectos y difícil de trabajar.

**Tabla 1**  
Ensayos de laboratorio.

Nombre de Ensayo	Santa María	Manchiche	Danto
Porcentaje de humedad %	18,12	26,00	25,10
Peso específico (g/cm <sup>3</sup> ) (kg/m <sup>3</sup> )	0,44 440,00	0,45 450,00	0,46 460,00
Densidad verde (g/cm <sup>3</sup> ) (kg/m <sup>3</sup> )	0,64 640,00	0,88 880,00	0,74 740,00
Densidad seca (g/cm <sup>3</sup> ) (kg/m <sup>3</sup> )	0,57 570,00	0,81 810,00	0,68 680,00
Contracción volumétrica %	11,27	8,17	7,34
Contracción volumétrica (cm <sup>3</sup> ) (m <sup>3</sup> )	0,73 730,00	0,96 960,00	0,93 930,00

Nota. Ayala, 2006

## Objetivos

- Evaluar y documentar los procesos y procedimientos de secado para la edificación de paneles de madera.
- Investigar sobre las características físicas y propiedades mecánicas de las maderas seleccionadas.
- Determinar el sistema constructivo de muros de madera.
- Determinar los procesos de control de calidad del sistema constructivo, del bastidor y del forro.

## Metodología

La investigación sobre el armado de bastidor y forro, para la edificación de muros, se conformó por las siguientes fases:

### Sistema de control de calidad

La investigación se centró en la importancia que tiene la calidad aplicada a los procesos de un sistema constructivo, desde la selección de la madera hasta la realización de los ensayos de laboratorio.

### Procesos de preparación de la madera

Los procesos para la preparación de la madera fueron: aserrado, secado, cepillado, canteado, desorillado, perfilado, pulido y corte.

Los procesos de preparación de la madera son fáciles de comprender, documentar y aplicar, pueden ser modificados de acuerdo con las necesidades en la edificación de muro. En esta investigación la preparación abarcó los siguientes aspectos:

- Diagramas de flujo.
- Descripción de los procesos y procedimientos de preparación de la madera.
- Referencias normativas para procesos de preparación de la madera, y
- Términos y definiciones

### Propuesta de muro arriostrado simple

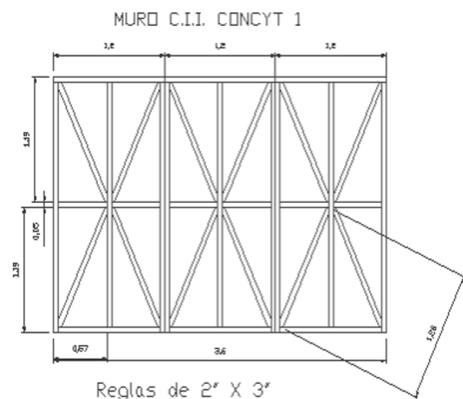
El diseño de esta propuesta tuvo las siguientes especificaciones:

- Las dimensiones de cada panel fueron: 244 cm de alto, 120 cm de ancho efectivo, 12 cm de espesor.

- El área bruta transversal de cada panel fue del orden de los 550 cm<sup>2</sup>.
- El bastidor de cada panel se conformó con 3 piezas de 7.5 cm por 5 cm por 244 cm; 3 piezas de 7.5 cm por 5 cm por 120 cm y 4 piezas inclinadas del centro a las orillas de 7.5 cm por 5 cm por 115 cm.
- El forro de cada panel se compuso de: 8 tablas de 17.14 cm por 2 cm por 120 cm y 16 tablas de 17.14 cm por 2 cm por 100 cm de cada lado.

Figura 1

Muro arriostrado simple



Nota. Ayala, 2006

### Propuesta de muro arriostrado con doble marco

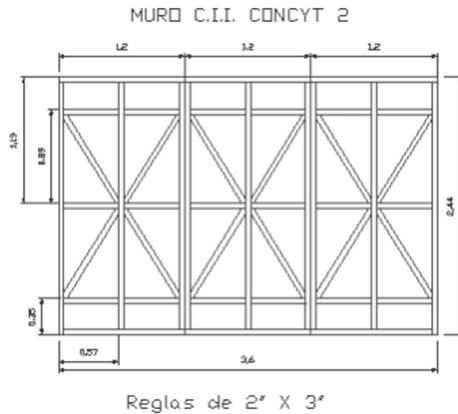
El diseño de esta propuesta tuvo las siguientes especificaciones:

- La dimensión de cada panel fue: 244 cm de alto, 120 cm de ancho efectivo y 12 cm de espesor.
- El área bruta transversal de cada panel fue de 550 cm<sup>2</sup>.
- El bastidor de cada panel estuvo formado con 3 piezas de 7.5 cm por 5 cm por 244 cm; 5 piezas de 7.5 cm por 5 cm por 120 cm y 4 piezas inclinadas del centro a las orillas de 7.5 cm por 5 cm por 75 cm.

- El forro de cada panel se compuso de: 8 tablas de 17.14 cm por 2 cm por 120 cm y 16 tablas de 17.14 cm por 2 cm por 100 cm de cada lado.

Figura 2

Muro arriostrado con doble marco



Nota. Ayala, 2006

Figura 3

Procedimiento de armado de bastidor y forro

DIAGRAMA	DESCRIPCIÓN	RESPONSABLE	EQUIPO	UBICACIÓN
	Boveda para madera preparada			
	La madera es trasladada de la bodega para madera preparada a la carpintería	Jefe de sección, auxiliares de laboratorio y	Carretón para monta cargas	Bodega de madera secada
	Se seleccionan dos piezas de 244cm de largo y dos piezas de 120cm de largo, las cuales son unidas en sus extremos con cola blanca y tornillos de 5 X 8 pulgadas	Carpinteros y auxiliares de laboratorio	Barreno, prensas, metro, escuadras, brocas	Carpintería
	Se arma el centro con una pieza de 244cm de largo y otra de 120cm de largo, Se arma el centro con una pieza de 244cm de largo y otra de 120cm de largo, las cuales se le hace un corte en el centro para formar una cruz y pegar con cola blanca y con tornillos de 2 1/2 X 8"	Carpinteros y auxiliares de laboratorio	Barreno, prensas, metro, escuadras, brocas	Carpintería
	Una vez terminados el marco y la cruz se procede a unirlos con cola blanca y tornillos de 5 X 10 pulgadas en los cuatro extremos de la cruz y en el centro del marco	Carpinteros y auxiliares de laboratorio	Barreno, prensas, metro, escuadras, brocas	Carpintería
	Luego de ajustar los cuatro arriostres del centro hacia las esquinas, se procede a unirlos con cola blanca y 2 tornillos de 5 X 8 pulgadas	Carpinteros y auxiliares de laboratorio	Barreno, prensas, metro, escuadras,	Carpintería
	Se procede a colocar el forro compuesto por 8 tablas de 120cm de largo y 16 de 60cm de largo por 17.14cm de ancho, para ello se coloca inicialmente una tabla de 120cm la cual se fija al bastidor con cola blanca y 6 tornillos de 2 X 8 pulgadas, 2 en sus extremos y 2 en el centro	Carpinteros y auxiliares de laboratorio	Barreno, prensas, metro, escuadras, brocas	Carpintería
	Seguidamente se colocan dos tablas de 60cm unidas con 4 tornillos de 2 X 8 pulgadas, dos en cada uno de sus extremos, como segunda fila de forro, y así sucesivamente hasta terminar de forrar un lado del muro	Carpinteros y auxiliares de laboratorio	Barreno, prensas, metro, escuadras, brocas	Carpintería
	Transporte de la madera de la Carpintería hacia el área de ensayos	Carpinteros y auxiliares de laboratorio	Carretón para monta cargas	Carpintería

Nota. Ayala, 2006

## Resultados

1. El sistema de control de calidad en el armado del bastidor y forro de las maderas seleccionadas, requirió de conocimientos sobre las mismas, dado que poseen diferentes comportamientos y características.
2. Los ensayos a los paneles fueron posibles, dado que se realizaron en la Sección de Estructuras, donde se cuenta con el equipo e instalaciones apropiadas, bajo la supervisión especializada del jefe de dicha Sección.
3. Se pudo documentar cada uno de los procesos y procedimientos del sistema constructivo del armado del bastidor y el forro, con lo cual se estableció el monitoreo adecuado del control de calidad en las diferentes etapas del sistema.
4. Es importante contar con la narrativa de los procesos y procedimientos del sistema constructivo, en donde se refleje con el detalle necesario, en qué consisten las actividades, quién las realiza, los equipos y herramientas que utiliza y la ubicación de la estación de trabajo.

## Discusión

- Se realizó la evaluación de la calidad en los procesos y procedimientos del sistema constructivo, que consiste en el armado del bastidor y del forro, dicha tarea demandó conocimientos específicos sobre maderas y su uso en la construcción.
- El corte de la madera, el armado del bastidor y el forro, demostraron ser una alternativa al sistema constructivo tradicional de muros, pues, además de presentar resultados satisfactorios, demostró que el personal del laboratorio posee capacidades y conocimientos, tanto de las maderas como del equipo utilizado y el manejo de las normativas para la ejecución de los ensayos de laboratorio.

- La documentación de los procesos y procedimientos sobre el corte y cepillado de la madera, ha permitido observar a través de diagramas de flujo la transformación de dicho material, los diagramas han provisto información sobre quién realiza la actividad, el equipo y herramienta que utiliza y la identificación y ubicación de las estaciones de trabajo, para la transformación de la madera.

## Conclusiones

1. La selección de las maderas se ha realizado en función del manejo adecuado de las especies, con el objeto de identificar sus aplicaciones en el mercado.
2. Los diseños para sistemas constructivos utilizados para propósitos de investigación, han sido el resultado de la experiencia basada en los servicios que presta la Sección de Estructuras del Centro de Investigaciones de Ingeniería, en materia de ensayos a elementos de construcción.
3. La propuesta del sistema de control de calidad ha permitido conocer cada una de las fases del proceso del sistema constructivo de muros y, además, permite monitorear los procesos de control de calidad en las diferentes etapas del sistema, garantizando un valor agregado al producto final.
4. Los diagramas de flujo han aportado un conocimiento ordenado sobre los procedimientos de cada fase del proceso, por medio de un diagrama se ha podido identificar fallas en cualquier punto específico de los procedimientos definidos para este proyecto.

## Recomendaciones

1. Se recomienda realizar investigaciones con otras especies de madera de las concesiones forestales, que permitan su aprovechamiento racional y de acuerdo con un plan de manejo adecuado.

que permitan su aprovechamiento racional y de acuerdo con un plan de manejo adecuado

2. Es necesario realizar más investigación sobre la caracterización física, mecánica y química de otras especies maderables desconocidas que, por ignorar sus características básicas, son despreciadas comercialmente como materias primas y, por consiguiente, como productos terminados.
3. Para todos los procesos y procedimientos del corte y cepillado que se ejecutan en la edificación de muros, se recomienda que sean mostrados como operaciones integrales, en donde se especifique con el grado de entendimiento sencillo, el diagrama de flujo, la descripción de este, el responsable de dicha actividad, el equipo que se utilice y la ubicación física.

## Referencias bibliográficas

- Ayala, V. (2006). Implantación de un sistema de control de calidad en la edificación de muros utilizando maderas nacionales. Guatemala: SENACYT.
- Cossío, N. Y. (2006). Propuesta de comercialización de madera en aserrío para una concesión forestal comunitaria en El Petén. Guatemala: Universidad de San Carlos de Guatemala.
- Forster, R. (2002). Comunidades forestales y el mercadeo de maderas tropicales poco comerciales de Mesoamérica. (R. Forster, Ed.) México: USAID.
- Tecún, S. (2006). El piso de madera: su elaboración, instalación y normalización. Guatemala: Universidad de San Carlos de Guatemala.
- Zambrano, O. O. (2005). Propuesta de un sistema constructivo de paredes para edificaciones utilizando maderas nacionales. Guatemala: Universidad de San Carlos de Guatemala.

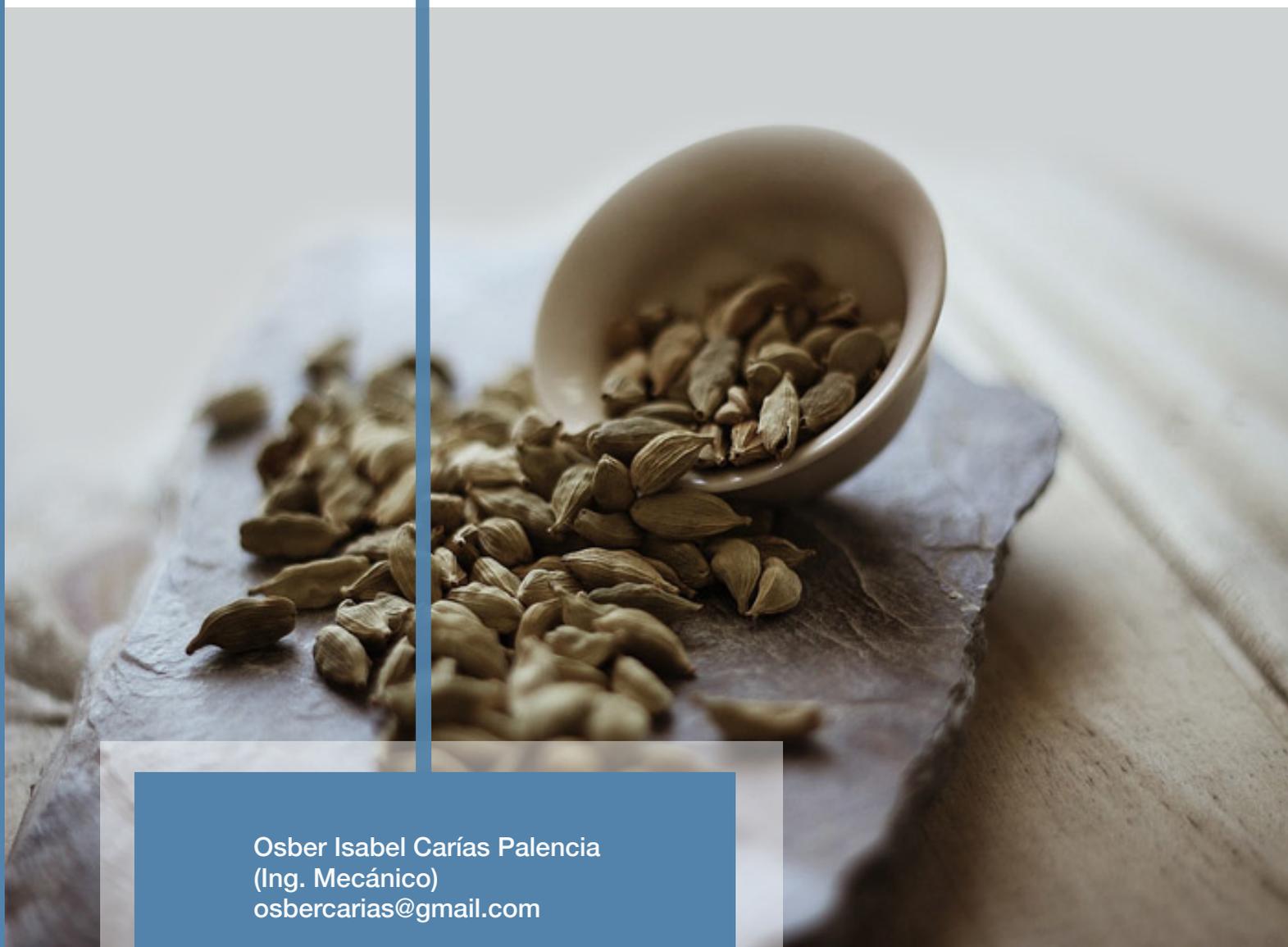
### Edgar Virgilio Ayala Zapata

Doctor en ingeniería civil, profesor investigador, jefe de la Sección de Tecnología de los Materiales y Sistemas Constructivos del Centro de Investigaciones de Ingeniería, de la Universidad de San Carlos de Guatemala.

### Saulo Moisés Méndez Garza

Maestro en formulación y evaluación de proyectos, ingeniero industrial, profesor investigador de la Sección de Ecomateriales del Centro de Investigaciones de Ingeniería, de la Universidad de San Carlos de Guatemala.

**Determinación** del poder calorífico  
de los residuos de cascarilla de cardamomo  
y sus potenciales usos energéticos



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

# Evaluación del poder calorífico de los residuos de cascarilla de cardamomo y sus potenciales usos energéticos

Osber Isabel Carías Palencia (Ing. Mecánico)

osbercarias@gmail.com

Profesor Investigador en LIEXVE - CII-  
y de la Escuela de Ingeniería Mecánica, Facultad de Ingeniería, USAC.

## Resumen

Este artículo presenta los resultados de la investigación, para determinar el poder calorífico de la cascarilla de cardamomo (*Elettaria Cardamomum*) y su incidencia en la cantidad de aceite esencial presente en la cascarilla. Se analizaron dos tipos de cascarilla: una agotada de su aceite esencial y otra no agotada. Se cuantificaron las emisiones de CO<sub>2</sub> resultantes de la combustión de ambas cascarillas y se compararon con combustibles convencionales de generación energética. Para obtener el poder calorífico, se secó la cascarilla de cardamomo y se redujo su tamaño de partícula, según la Norma ASTM D-240. Para calcular las emisiones de CO<sub>2</sub> por gramo de materia prima combustionada, se estandarizó el tamaño de la materia prima y se realizaron dos lotes; uno agotado y otro no agotado. Los resultados fueron mucho más bajos que los de combustibles convencionales, como el Bunker-C y son comparables con la leña, lo que hace que la cascarilla de cardamomo sea una opción prometedora para la generación energética.

**Palabras clave:** cascarilla, cardamomo, poder calorífico, ASTM D-240, Bunker-C, emisiones, aceite esencial

## Abstract

This research work focused on determining the calorific value of cardamom husk (*Elettaria Cardamomum*) and its impact on the quantity of essential oil present in the husk. Two types of husk were analyzed: one depleted of its essential oil and the other not depleted. The CO<sub>2</sub> emissions resulting from the combustion of both husks were quantified and compared with conventional fuels used in energy generation. To obtain the calorific value, the cardamom husk was dried and its particle size reduced according to ASTM D-240 standards. To calculate the CO<sub>2</sub> emissions per gram of raw material burned, the size of the raw material was standardized, and two batches were prepared, one depleted and one not depleted. These values are much lower than those of conventional fuels like Bunker-C and are comparable to wood, making cardamom husk a promising option for energy generation.

**Keywords:** husk, cardamom, calorific value, ASTM D-240, Bunker-C, emissions, essential oil.

## Introducción

La generación de energía, desde los orígenes de la humanidad misma, siempre ha sido de mucha importancia. En la actualidad, se cuenta con diferentes métodos de generación de esta, mediante vapor y usando combustibles biomásicos de residuos, que han sido eficientados, debido a la demanda energética (Arpel-Lica, 2009).

Las centrales termoeléctricas de biomasa, que, a través de su combustión, permiten producir energía eléctrica, son recursos renovables y con un impacto ambiental inferior a las centrales termoeléctricas tradicionales (Çengel & Boles, 2003).

Al contrario de otras energías renovables, como la solar fotovoltaica o la eólica, estas tienen una capacidad de almacenamiento, y por esta razón, parecen interesantes para el respaldo de las centrales renovables, no programables y para el aporte de algunos servicios de red (Comisión Centroamericana de Ambiente y Desarrollo & Consejo Agropecuario Centroamericano, 2008). Guatemala, el mayor productor de cardamomo a nivel mundial, cuenta con un residuo llamado “cascarilla”, al cual se le dan diversos usos, desde su venta para la extracción de aceite esencial, hasta la utilización de fertilizante para las mismas plantaciones. Es por ello, que se busca un uso distinto a este residuo, con la implementación de pruebas para la determinación del poder calorífico, se buscó conocer sus potenciales usos energéticos, en centrales térmicas de biomasa (The Climate Registry, 2018).

## Desarrollo del Estudio

El artículo presenta resultados de la investigación que tuvo como objetivo, la determinación del poder calorífico de los residuos de cascarilla de cardamomo, procedentes del beneficio en Guatemala y sus potenciales usos energéticos en plantas de vapor.

En esta investigación, se llevó a cabo un estudio detallado sobre la cascarilla de cardamomo, para evaluar su potencial en términos de poder calorífico y emisiones de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), durante la combustión.

El trabajo se realizó en muestras procedentes del beneficio de cardamomo en la República de Guatemala. Se utilizaron dos tipos de cascarilla: agotada de aceite esencial y sin agotar.

Las variables dependientes, clave en este estudio fueron, las emisiones de CO<sub>2</sub> (expresadas en gramos) y el poder calorífico (en MJ/kg). Estos parámetros son fundamentales para comprender el rendimiento y el impacto ambiental de la cascarilla de cardamomo, como fuente de energía.

La variable independiente fue el contenido de aceite esencial de cardamomo, expresado como un porcentaje en la muestra de cascarilla. Esta variable podría tener un impacto significativo en las propiedades de combustión y las emisiones de CO<sub>2</sub>, lo cual se exploró en el estudio. Para llevar a cabo la investigación, se aplicó una técnica cuantitativa que involucró varios pasos. Primero, se molió la materia prima de cascarilla de cardamomo y se tamizó para obtener partículas de tamaño uniforme. Luego, se tomaron muestras de 100 gramos de cada tipo de cascarilla, para determinar el poder calorífico, utilizando una bomba calorimétrica. Además, se realizó un proceso de pirólisis y combustión en muestras adicionales, para calcular las emisiones de CO<sub>2</sub> en gramos por unidad de masa de materia prima vegetal.

Se calcularon medidas estadísticas como la media, la varianza y la desviación estándar, para comprender la distribución de datos y la variabilidad en los resultados. Además, se llevó a cabo un análisis de varianza (ANOVA), para evaluar si existían diferencias significativas entre las muestras de cascarilla de cardamomo agotada y sin agotar, en términos de poder calorífico y emisiones de CO<sub>2</sub>.

Los resultados de este estudio tienen importantes implicaciones; tanto en la utilización de la cascarilla de cardamomo como fuente de energía, como en la evaluación de su impacto ambiental. Además, el trabajo proporciona información valiosa sobre cómo el contenido de aceite esencial de cardamomo puede influir en las propiedades de combustión y las emisiones de CO<sub>2</sub>.

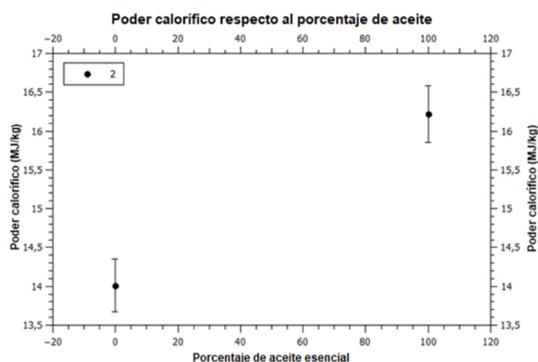
Los resultados de este estudio tienen importantes implicaciones; tanto en la utilización de la cascarilla de cardamomo como fuente de energía, como en la evaluación de su impacto ambiental. Además, el trabajo proporciona información valiosa sobre cómo el contenido de aceite esencial de cardamomo, puede influir en las propiedades de combustión y las emisiones de CO<sub>2</sub>.

Este estudio proporciona una visión completa de la cascarilla de cardamomo como recurso energético, destacando su poder calorífico y sus emisiones de CO<sub>2</sub>, en función de su contenido de aceite esencial. Estos hallazgos pueden ser útiles en la búsqueda de fuentes de energía más sostenibles y en la gestión de los

## Resultados obtenidos

**Figura 1**

Poder calorífico respecto al porcentaje de aceite esencial.



**Nota.** Elaboración propia, con base en datos experimentales de laboratorios técnicos, área de hidrocarburos, Ministerio de Energía y Minas (MEM).

**Tabla 1**

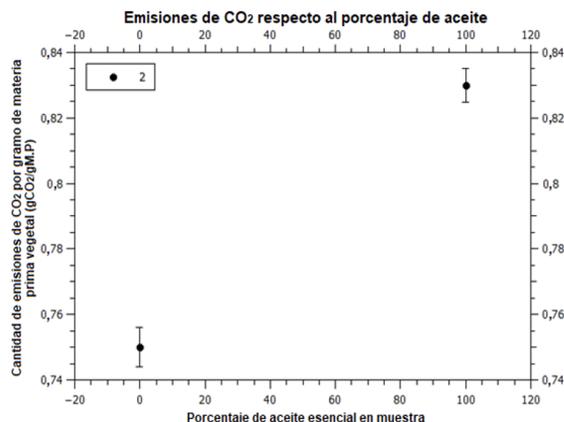
Poder calorífico en diferentes unidades de medición de cascarilla de cardamomo sin agotar de su fracción natural de aceite esencial.

Corrida	MJ/Kg	Kcal/kg	Btu/Lb
1	16,14	3 856	6 940
2	16,62	3 968	7 143
3	15,90	3 795	6 833
<b>Media</b>	16,22	3 873	6 972
<b>Desviación</b>	0,3666		

**Nota.** Elaboración propia, datos experimentales LIEXVE-CII, USAC.

**Figura 2**

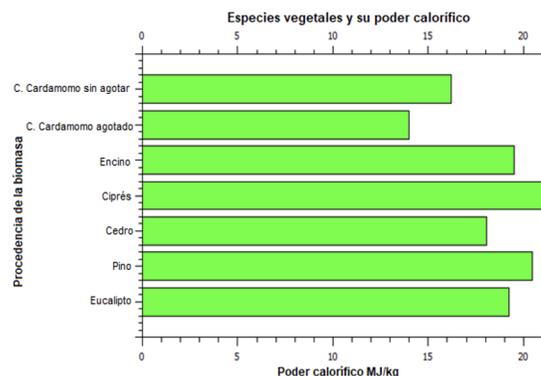
Emisiones de CO<sub>2</sub> respecto al porcentaje de aceite esencial



**Nota.** Elaboración propia, datos experimentales LIEXVE-CII, USAC.

**Figura 3**

Especies vegetales y su poder calorífico, comparadas con la cascarilla.



**Nota.** Elaboración propia, datos experimentales LIEXVE CII, USAC.

**Tabla 2**

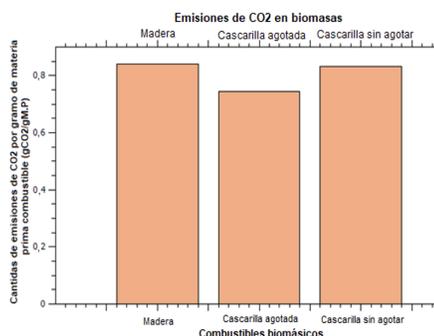
Poder calorífico en diferentes unidades de medición de cascarilla de cardamomo sin agotar de su fracción natural de aceite esencial.

Corrida	MJ/Kg	Kcal/kg	Btu/Lb
1	13,68	3 268	5 884
2	14,36	3 422	6 160
3	13,99	3 341	6 013
<b>Media</b>	14,01	3 344	6 019
<b>Desviación</b>	0,3404		

**Nota.** Elaboración propia, datos experimentales LIEXVE-CII, USAC.

**Figura 4**

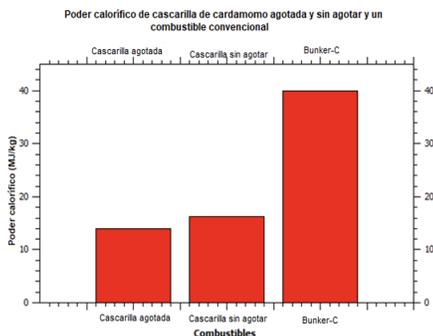
*Emisiones de CO2 en biomásas*



Nota. Elaboración propia, datos experimentales LIEXVE-CII, USAC.

**Figura No. 5**

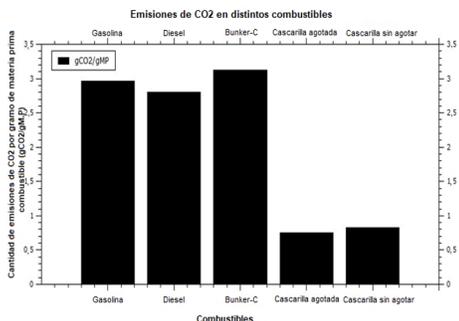
*Poder calorífico de cascarilla de cardamomo agotada y sin agotar, de su fracción de aceite esencial y un combustible convencional (Bunker-C)*



Nota. Elaboración propia, datos experimentales LIEXVE-CII, USAC.

**Figura 6**

*Emisiones de CO2 en distintos combustibles y las cascariilas analizadas*



Nota. Elaboración propia, datos experimentales LIEXVE-CII, USAC.

**Tabla 3**

*Factores de emisión de gases CO2 en gramos por cada gramo de materia prima combustionada, de varios combustibles utilizados para la generación de energía*

Combustible	Factor De Emisión(gCO2/L)	Densidad (g/L)	gCO2/gM
Gasolina	2311,89	780	2,964
Diesel	2689,63	959	2,805
Bunker-C	3155,24	1,010	3,124
Madera			0,840

Nota. Climate Registry. Default emission factors 2018.

**Tabla 4**

*Análisis de varianza de CO2 en función de la fracción de aceite esencial*

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad para F	Valor crítico para F
Entre grupos	3,034029512	1	3,034029512	86,3396	0,000746311	7,70864
Dentro de los grupos	0,14056255	4	0,035140638			
Total	3,174592062	5				

Nota. Elaboración propia, datos experimentales LIEXVE CII, USAC.

## Discusión

- El estudio se enfocó en evaluar el poder calorífico y los factores de emisión de gases de efecto invernadero, de la cascarilla de cardamomo en dos condiciones: con su fracción natural de aceite esencial y agotada de esta fracción (Fancescato, Antonini & Zuccoli Bergomi, 2008). Los resultados se presentan en varias tablas y figuras para comparar y analizar las diferencias.
- En la Tabla 1 y Tabla 2 se muestran los valores del poder calorífico, destacando que el aceite esencial de la cascarilla de cardamomo sin agotar, tiene un poder calorífico significativamente mayor (Incropera & de Witt, 1996). Esto se debe a que el aceite esencial, compuesto en su mayoría por hidrocarburos y compuestos orgánicos, agrega una energía adicional, cuando se incinera el material celulósico.

- Además, se compara el poder calorífico de la cascarilla de cardamomo con especies forestales madereras utilizadas para la generación de energía, y se observa que la cascarilla de cardamomo tiene un buen rendimiento en términos de poder calorífico, a pesar de ser en su mayoría, un subproducto desechado (Kern, 1986).
- En la Figura 5, se compara la cascarilla de cardamomo con un combustible fósil convencional (Bunker-C), y se muestra que la biomasa de la cascarilla, tiene un poder calorífico considerablemente mayor. Esto se debe a la diferencia en la naturaleza química de ambos combustibles, donde el Bunker-C es un hidrocarburo líquido altamente inflamable y la cascarilla de cardamomo es biomasa que se descompone en carbono para la combustión (Zanotti, 2008).
- Los factores de emisión de gases de efecto invernadero, donde se destaca que la cascarilla de cardamomo, con su fracción de aceite esencial conservada, tiene un factor de emisión mayor (Comisión Económica para Latinoamérica y Ministerio de Energía y Minas, 2011). Esto se relaciona con el mayor poder calorífico, ya que las emisiones de CO<sub>2</sub>, están directamente relacionadas con la cantidad de carbono consumido durante la combustión.
- Se comparan los factores de emisión de varios combustibles comunes, en generación de energía en la Tabla 3 y las Figuras 4 y 6. Se evidencia un contraste entre las emisiones de CO<sub>2</sub> de los combustibles líquidos, como el Bunker-C, y la cascarilla de cardamomo, incluso cuando se agota su aceite esencial, con las emisiones de la leña,

siendo esta última más favorable desde el punto de vista ambiental (Fortalecimiento de la capacidad en energía renovable para América Central, 2002).

- Finalmente, el análisis de varianza en la Tabla 4, muestra una diferencia significativa en las emisiones de CO<sub>2</sub>, en relación con la presencia de aceite esencial en la cascarilla de cardamomo. En resumen, el estudio destaca el potencial de la cascarilla de cardamomo, como una fuente de energía renovable, con un buen rendimiento calorífico y emisiones de CO<sub>2</sub>, comparativamente bajas en relación con otros combustibles.

## Conclusiones

1. Se calculó el poder calorífico para la cascarilla de cardamomo agotada, de su fracción natural de aceite esencial, el cual tuvo un valor medio de 14,01 MJ/kg.
2. Se calculó el poder calorífico para la cascarilla de cardamomo sin agotar, de su fracción natural de aceite esencial, el cual tuvo un valor medio de 16,22 MJ/kg.
3. Existe una diferencia significativa en el valor del poder calorífico, respecto a la cantidad de aceite esencial contenido en la cascarilla de cardamomo.
4. Existe una diferencia significativa en el valor de emisiones de CO<sub>2</sub>, respecto a la cantidad de aceite esencial contenido en la cascarilla de cardamomo.
5. En la comparación de emisiones entre un combustible convencional (Bunker-C) y las emisiones obtenidas mediante la combustión de la cascarilla de cardamomo, se determinó que la cantidad de emisiones del Bunker-C es cuatro veces mayor.

## Recomendaciones

1. Ejecutar un estudio sobre la factibilidad económica del uso de cascarilla de cardamomo, para el uso de la generación de energía.
2. Realizar un estudio sobre el diseño de un generador de vapor, utilizando la cascarilla de cardamomo como biomasa combustible.
3. Efectuar un estudio sobre la creación de briquetas de cascarilla de cardamomo, adicionando a las mismas, un aglutinante que aumente su poder calorífico.
4. Tomar el presente estudio como referencia de los usos productivos energéticos, que se le puede dar a la cascarilla de cardamomo.
5. Realizar estudios más extensos, comparando especies vegetales que comúnmente se utilizan para la generación energética, especialmente en el entorno de la industria de ingenios azucareros.
6. Ejecutar estudios correspondientes a filtros, que se pudieran utilizar para aminorar las emisiones ambientales de CO<sub>2</sub>, producto de la combustión de cascarilla de cardamomo.

## Referencias bibliográficas

- Arpel-Lica. Manual de biocombustibles. Asociación Regional de Empresas de Petróleo y Gas Natural en Latinoamérica y el Caribe. Argentina: Arpel, 2009. 190 p.
- Çengel, Yunus A; Boles, Michael A. Termodinámica. 5a ed. México: McGraw-Hill, 2003. 988 p.
- Comisión Centroamericana de Ambiente y Desarrollo, CAD y Consejo Agropecuario Centroamericano, CAC 2008. Programa estratégico regional para el manejo de los ecosistemas forestales. El Salvador: Comité Técnico de Bosques, 2014. 48 p.

Comisión Económica para Latinoamérica y Ministerio de Energía y Minas. Informe final, encuesta nacional de leña (consumo de la leña en hogares y pequeña industria en la República de Guatemala). Guatemala: CEPAL, 2011. 41 p.

Fortalecimiento de la capacidad en energía renovable para América Central. BUN-CA. Biomasa manual sobre energía renovable. Costa Rica: FOCER, 2002. 56 p.

Francescato, Valter., Antonini, Eliseo; Zuccoli Bergomi, Luca. Manual de combustibles de madera, producción, requisitos de calidad, comercialización. Valladolid, España: Asociación Española de Valorización Energética de la Biomasa, 2008. 82 p.

Incropera, Frank P; de Witt, David P. Fundamentos de transferencia de calor. 4a ed. México: Prentice Hall, 1996. 881 p.

Kern, Donald. Procesos de transferencia de calor. 2a ed. México: C.E.C.S.A, 1986. 981 p.

The Climate Registry. The climate registry's 2018 default emission factors. USA: TCR, 2018. 41 p.

Zanotti, Jr. Los bosques energéticos en Guatemala y el uso de leña. Instituto Nacional de Bosques. Guatemala: INAB, 2008. 66 p.

## Agradecimientos

El autor de este trabajo agradece al Centro de Investigaciones de la Facultad de Ingeniería y a la Escuela de Ingeniería Mecánica, de la Universidad de San Carlos de Guatemala.

## Osber Isabel Carías Palencia

Ingeniero Mecánico, Especialista en Gerencia de Comercio Exterior, Profesor Investigador en LIEXVE - / CII- y de la Escuela de Ingeniería Mecánica, Facultad de Ingeniería, USAC.

**Estudio** de ingeniería de una planta de producción comunitaria de materiales de construcción

**Saulo Moisés Méndez Garza (MSc. Ing. Industrial)**  
**mendezgarza@yahoo.com**

Fotografía  
de Cajolá

Imagen: ALAMY

# Estudio de ingeniería de una planta de producción comunitaria de materiales de construcción

**Saulo Moisés Méndez Garza (MSc. Ing. Industrial)**

mendezgarza@yahoo.com

Sección de Ecomateriales, CII/USAC

## Resumen

El estudio de ingeniería se realizó en el interior de una planta de producción de materiales de construcción, que fue creada por el organismo internacional Arquitectos Sin Fronteras, de Galicia, España, en el Programa Oxlajuj TZ'ikin, cuyo propósito fue desarrollar un proyecto de construcción de viviendas nuevas y la reparación de otras, en comunidades del Municipio de Champerico, Retalhuleu. En dicho estudio, se analizó la capacidad instalada de la planta de producción, se analizaron dos materiales de construcción: bloques de concreto de 15 x 20 x 40 cm, y tejas de micro concreto. Se analizó la situación sin proyecto y la situación con proyecto de la organización; se determinaron los insumos, suministros, maquinarias y equipos para establecimiento de los procesos de producción de ambos productos, se elaboraron los diagramas de flujo de proceso y se determinaron los costos de producción unitaria de cada uno de los materiales de construcción en mención.

**Palabras clave:** < teja de micro concreto, bloques de concreto, capacidad instalada, procesos de producción, costos de producción.

## Abstract

The engineering study was carried out inside a construction materials production plant, which was created by the international organization Architects Without Borders, from Galicia, Spain, in the Oxlajuj TZ'ikin program, whose purpose was to develop a project construction of new homes and the repair of others, in communities in the municipality of Champerico, Retalhuleu. In this study, the installed capacity of the production plant was analyzed, two construction materials were analyzed: 15 x 20 x 40 cm concrete blocks, and micro concrete tiles, the situation without a project and the situation with the organization's project was analyzed, The inputs, supplies, machinery and equipment were determined to establish the production processes of both products, the process flow diagrams were prepared and the unit production costs of each of the construction materials mentioned were determined.

**Keywords:** micro concrete tile, concrete blocks, installed capacity, production processes, production costs

## Introducción

El estudio técnico o de ingeniería, se realizó en una planta de producción comunitaria, localizada en la comunidad de Santa Cruz Cajolá, del Municipio de Champerico, Retalhuleu, donde opera en un terreno ocupado en calidad de préstamo, creada por la organización internacional Arquitectos Sin Fronteras, de Galicia, España, en el marco del Programa Oxlajuj TZ'ikin, ejecutado en los años 2010 y 2011. Tal estudio de ingeniería, sirvió para determinar la factibilidad de la fabricación de los materiales de construcción, en este caso; bloques de concreto de 15 x 20 x 40 cm y la teja de micro concreto, visto desde la perspectiva de la capacidad instalada de la planta de producción mencionada, además, de otros factores importantes, tales como: el recurso humano; la selección de las materias primas; los procesos y procedimientos de producción; la dosificación y elaboración de las mezclas en los porcentajes adecuados; la maquinaria; el equipo y herramientas; entre otros. Para la situación sin proyecto, la planta de producción cuenta actualmente, con una máquina mezcladora y una bloquera, que fabrican alrededor de 1,100 bloques de 15 x 20 x 40 cm y tres máquinas vibradoras con su respectivo lote de moldes, para la fabricación de 200 tejas de micro concreto cada una, para hacer un total de 600 unidades. Ambas producciones se realizan en un turno de 8 horas diarias. En la situación con proyecto, la mejora consiste en que la actividad productiva empezaría a ser manejada a través de una razón comercial; tipo cooperativa de producción, así lo establece el Instituto Nacional de Cooperativas -INACOP- (Herrarte, 1996), que le permita realizar transacciones de compra-venta con terceros, tomando como base que, las cooperativas desarrollan actividades productivas, financieras y comerciales en forma similar a las sociedades mercantiles (Herrarte, 1996). Otro beneficio, es que la actividad productiva será extendida a un horizonte de 5 años, y se tiene previsto que la planta incrementará en un 25 % la producción del primer año, en un periodo de 8 horas laborales diarias, es decir, que en el segundo año de ejecución del proyecto, la producción de bloques y tejas será de 1,375 y 750 unidades diarias respectivamente (Garza, 2011).

De acuerdo con estudios técnicos realizados por la organización española, especialmente al encuestar a proveedores de bloques en el casco urbano de Retalhuleu, se determinó que la demanda insatisfecha de este producto alcanzaba el 85.47 %, considerando que la demanda es la cantidad de bienes o servicios que los consumidores están dispuestos a adquirir, dado un nivel determinado de precios (Solloy, 2009).

La planta cuenta con un área de 60 m<sup>2</sup> para la manufactura de bloques, manejada por 6 operarios y sus instalaciones: una mezcladora; una máquina bloquera; un depósito de agua; un lote de tablas para recibir los bloques producidos; y un espacio de curado primario.

Para la manufactura de tejas de micro concreto, manejada por 9 operarios y sus instalaciones, la planta cuenta con un área de 54 m<sup>2</sup> para tres máquinas vibradoras; tres lotes de 200 moldes, uno para cada máquina; una mesa de trabajo ocupada por las máquinas vibradoras y las mezcladoras; una pileta de agua; y un espacio de curado primario.

Se estableció también los procesos de producción de los materiales de construcción, los diagramas de flujo de proceso y el costo de producción del bloque de concreto de 15 x 20 x 40 cm y la teja de micro concreto.

El complejo de la planta de producción está distribuido de la siguiente manera:

- Salón de reuniones
- Vestidores
- Despacho
- Área de fabricación de tejas
- Área de curado de tejas
- Almacén
- Área de curado de bloques
- Área de fabricación de bloques
- Área de salida de bloques
- Pilas de curado de tejas
- Área de depósito de agregados para tejas
- Pozo y depósito
- Área de depósito de agregados para bloques Letrina

## Objetivos

1. Analizar la capacidad instalada de la planta de producción.
2. Definir la situación sin proyecto y situación con proyecto de la planta de producción.
3. Analizar los procesos de producción de los materiales de construcción: bloques de concreto de 15 x 20 x 40 cm y las tejas de micro concreto.
4. Analizar los costos de producción de los dos materiales de construcción.

## Marco conceptual

El estudio técnico, en comparación con el estudio de mercado, se realiza a lo interno de la organización, tomando como base los resultados obtenidos de la investigación realizada en el mercado.

De acuerdo con la información obtenida, acerca de la razón comercial, que mejor se adapta a la planta de producción comunitaria, la cooperativa de responsabilidad limitada fue la que llenó las expectativas del Programa Oxlajuj TZ'ikin.

En la cabecera departamental de Retalhuleu, se realizó la investigación o estudio de mercado de materiales de construcción, en consideración a que en este lugar se

concentran, por un lado; vendedores que ofrecen sus mercancías a cambio de dinero y, por otro, compradores que aportan su dinero para conseguirlas (Sampedro, 2002).

Además, porque en las aldeas y caseríos ubicados entre la cabecera departamental y Champerico, eran inexistentes las ventas de materiales de construcción en ese momento.

El estudio técnico, en comparación con el estudio de mercado, se realiza a lo interno de la organización, tomando como base los resultados obtenidos de la investigación realizada en el mercado.

En el estudio de ingeniería, se considera con mayor énfasis, los aspectos de la oferta de los materiales de construcción en mención, así mismo, se analiza los aspectos puramente técnicos, los que tienen relación con la capacidad instalada y las prácticas de manufactura, para operar las máquinas vibradoras con las que se fabrican las tejas de micro concreto.

Dicho material de cubierta de viviendas está siendo utilizado en varios países de América Latina y África (Meléndez et. al); una máquina bloquera y una mezcladora, la cual es capaz de mezclar totalmente dos o más materiales sólidos, para la fabricación de bloques de concreto (Sagastume, 2006).

De acuerdo con la definición de la situación sin proyecto y situación con proyecto, la primera se refiere a la situación actual de la organización, la cual fue una planta de producción creada por un organismo internacional, para dar cumplimiento a un proyecto de construcción de viviendas y reparación de otras, en donde la organización produciría los materiales de construcción para dicho proyecto. En la situación con proyecto, la organización debe operar por sí misma, a partir de la finalización del proyecto financiado en su totalidad por el organismo internacional, con vigencia de dos años. Para el efecto, se consideró transformar la organización actual en una cooperativa de producción (Garza, 2011).

Según (Garza, 2011), a través del estudio técnico, se definió las líneas de producción para la elaboración de las mezclas de los bloques de concreto de 15x20x40 cm, y las tejas de micro concreto, a fin de que se cumpla con las especificaciones técnicas, y los costos de producción unitario para ambos materiales.

Las operaciones realizadas por la organización se relacionan con los siguientes factores, según (Garza, 2011).

- Personal administrativo y mano de obra directa
- Materias primas
- Servicios e insumos administrativos
- Distribución de la planta de producción
- Mantenimiento de maquinaria y equipo
- Depreciación de maquinaria y equipo
- Localización de la planta de producción.

## Metodología

El estudio técnico o de ingeniería, es uno de cinco estudios que solicita el INACOP, como parte de los requisitos a una organización, que, desea transformarse en cooperativa de responsabilidad limitada.

El estudio técnico, se realizó con el fin de determinar la factibilidad de la fabricación de los materiales de constru-

cción, elaborados para satisfacer las necesidades del programa, dirigido por el organismo internacional, en el marco de la capacidad instalada de la organización.

Para ello se definieron dos líneas de producción, una para la fabricación de bloques de concreto, y la segunda para la fabricación de tejas de micro concreto, también se estimaron los costos directos e indirectos de producción unitaria, para cada uno de los materiales. Las líneas de producción, para los productos mencionados cuentan con la maquinaria y equipo necesario, y el recurso humano debidamente capacitado, lo que garantiza que los productos terminados cumplirán con las especificaciones del cliente.

## Proceso de producción del bloque de concreto de 15 x 20 x 40 cm

Para la fabricación de este producto, se definieron los materiales necesarios, tales como: arena pómez, arena tipo selecto, cemento y agua. La cantidad y la mezcla de los materiales se calculó, a requerimiento de los albañiles, con base a su experiencia en la operación de la bloquera, para elaborar 26 bloques por mezcla, se muestra el equipo utilizado:

### *Materiales*

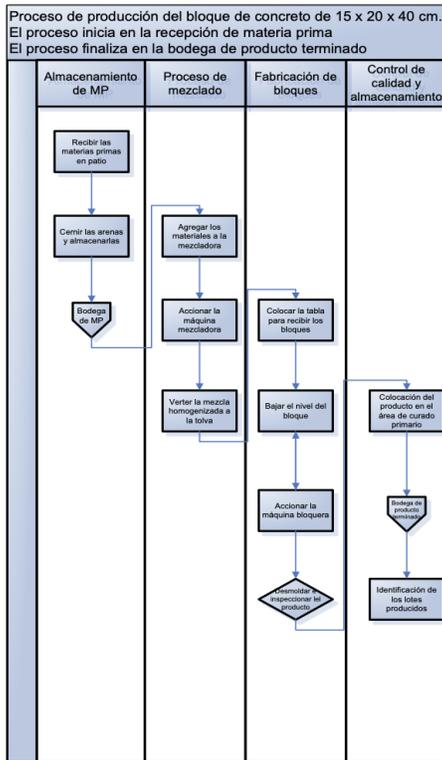
- 10 cubetas de arena pómez
- 3 cubetas de selecto
- ½ saco de cemento y
- Agua

### *Equipo*

- Malla de ½ pulgada
- Palas
- Cubetas de 5 galones
- Mezcladora
- Madera en tablas, para recibir los bloques fabricados
- Nivel para bloques
- Bloquera

**Figura 1**

Diagrama de flujo de proceso de producción de bloques de 15 x 20 x 40 cm



Nota. Garza ( 2 011)

Un metro cúbico de arena contiene 36 cubetas, (las cubetas en mención tienen capacidad de cinco galones). Los materiales se vierten en la mezcladora y esta se pone a funcionar, luego se le agrega agua hasta convertirla en una masa homogénea, cuando está lista, los operarios la cargan a la bloquera, que luego de bajar el nivel, la ponen a funcionar para elaborar cuatro bloques, este proceso tarda de 55 a 85 segundos, es decir; 17.5 segundos en promedio, para producir un bloque, luego los bloques son llevados al área de curado.

### Costo de producción unitario del bloque de concreto de 15 x 20 x 40 cm

La materia prima, suministros y la mano de obra (MO), utilizados para la manufactura de 1,100 bloques diarios, 24,200 mensuales (producción de 22 días al mes), así como sus respectivos costos.

En la siguiente tabla se muestra el desglose del costo de producción por unidad.

**Tabla 1**

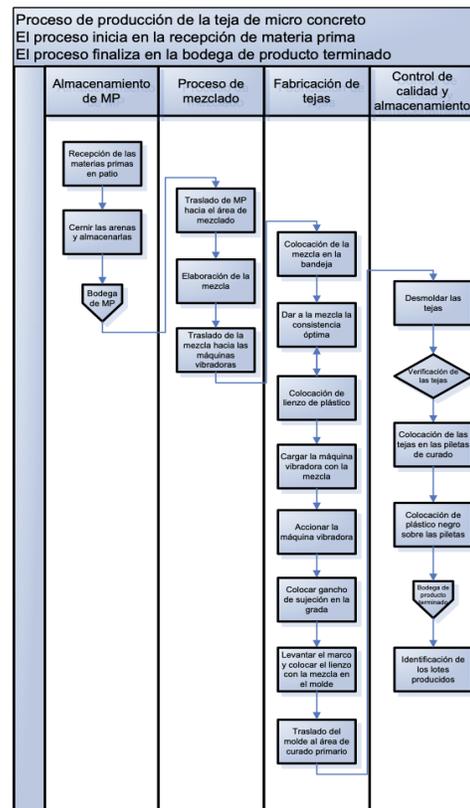
Costo de producción unitario de bloques de concreto

Materiales + MO para fabricar 1,100 bloques diarios (24,200 mensuales)				
Descripción	Costo (Q)	Cantidad requerida para 1,100 bloques	Costo de materiales y MO (Q)	Costo unitario (Q)
Arena poma m <sup>3</sup>	90.00	10	900.00	0.82
Arena selecto m <sup>3</sup>	72.50	2.9	210.25	0.19
Cemento qq	66.90	21	1,404.90	1.28
Agua mensual	250.00		250.00	0.01
Energía eléctrica mensual	400.00		400.00	0.017
Mano de obra mensual	11,820.00		11,820.00	0.49
<b>TOTAL</b>				<b>2.81</b>

Nota. Garza ( 2 011)

**Figura 2**

Diagrama de flujo de proceso de producción de tejas de micro concreto



Nota. Garza ( 2 011)

**Tabla 2**

*Costo de producción unitario de tejas de micronecro*

Materiales + MO para fabricar 600 tejas diarias (13,200 mensuales)				
Descripción	Costo (Q)	Cantidad requerida para 600 tejas	Costo de materiales y MO (Q)	Costo unitario (Q)
Arena de río m <sup>3</sup>	70.00	0.80	56.00	0.09
Arena de mina m <sup>3</sup>	120.00	0.40	48.00	0.08
Cemento qq	66.90	9.7	648.00	1.08
Alambre galvanizado	7.00	1.5	10.5	0.018
Agua mensual	250.00		250.00	0.019
Energía eléctrica mensual	70.00		70.00	0.005
Mano de obra mensual	18,000.00		18,000.00	1.36
<b>TOTAL</b>				<b>2.65</b>

Nota. Garza (2 011)

## Resultados y Discusión

- Se determinó que, en la situación sin proyecto, la planta de producción operaba en un terreno ocupado en calidad de préstamo, en donde la producción de bloques era de 1,100 unidades de 15 x 20 x 40 cm y 600 tejas de micro concreto diariamente.
- Se determinó que, en la situación con proyecto, se incrementaría la producción de los materiales de construcción en un 25 %, en el segundo año de operación, además, la planta de producción funcionaría bajo la razón comercial de una cooperativa de producción.
- Se determinó que el proceso de producción de bloques de 15 x 20 x 40 cm, da inicio con el cernido de las arenas, utilizando una malla de ½ pulgada y palas. El proceso concluye con la identificación del producto terminado; le toma de 55 a 85 segundos elaborar 4 bloques a la vez, 17.5 segundos por bloque.

- Se determinó que el proceso de producción de las tejas de micro concreto, inicia con el cernido de las arenas, a través de una malla de ¼ de pulgada, luego, se mezclan los materiales hasta conseguir un color gris homogéneo, a la mezcla se le agrega agua conforme es requerida, por los operarios de las máquinas vibradoras.
- Se determinó que, el costo de producción unitario de bloques de concreto fue de Q2.81, y el costo de producción unitario de las tejas de micro concreto fue de Q2.65.

## Conclusiones

- La situación sin proyecto se conoce así, porque determina la situación actual de la organización, la cual se mencionó que fue creada con el fin de proveer materiales de construcción a un proyecto de viviendas dirigido por un organismo internacional.
- La situación con proyecto es, la etapa en que la organización es intervenida, en este caso, porque el proyecto tenía una vigencia de dos años, por lo que la organización tendría que operar a partir de ese momento con recursos y razón comercial propios, por tal motivo, se decidió que sería transformada en una cooperativa de producción.
- Es necesario considerar que, la planta de producción nació a raíz de la puesta en marcha del proyecto de vivienda, financiado en su totalidad por el organismo internacional Arquitectos Sin Fronteras, por tal razón, el proceso de producción de los materiales de construcción: bloques de concreto de 15 x 20 x 40 cm y tejas de micro concreto, fue operado con personas que, en su mayoría no contaban con la suficiente experiencia para operar equipos de producción, especialmente las máquinas vibradoras, que fueron operadas exclusivamente por mujeres de las comunidades beneficiarias.

4. De acuerdo con los registros sobre las compras de insumos y suministros realizados, por el organismo internacional, para la fabricación de los materiales de construcción, estos fueron adquiridos a precios altos, especialmente porque los comercios se encontraban a gran distancia entre la planta de producción y la cabecera departamental de Retalhuleu.

## Recomendaciones

1. La situación sin proyecto, de la organización reflejó el estado en que se encontraba la planta de producción durante su operación, por lo que es importante documentar dicho estado, para saber con exactitud con qué se cuenta para trabajar.
2. Es importante mencionar, que la situación con proyecto es el estado de la organización con intervención para su mejora, por lo que se recomienda que dicho proceso culmine satisfactoriamente, es decir; que pase de ser una planta de producción a una cooperativa de producción, para satisfacción de todas las comunidades beneficiadas.
3. Es conveniente aprovechar la oportunidad de iniciar con un proyecto, como la planta de producción de materiales de construcción del programa Oxlajuj TZ'ikin, con financiamiento extranjero para la adquisición de maquinaria, equipo, instalaciones y materias primas, para la fabricación de productos que, beneficiarán a las comunidades del Municipio de Champerico, Retalhuleu.
4. Con la puesta en marcha de la nueva razón comercial, Cooperativa de Producción, de la organización, sus miembros podrán hacer negocios directamente con los proveedores, que se espera sean los mismos accionistas de la cooperativa, de esa manera, las utilidades quedarán en poder de sus miembros.

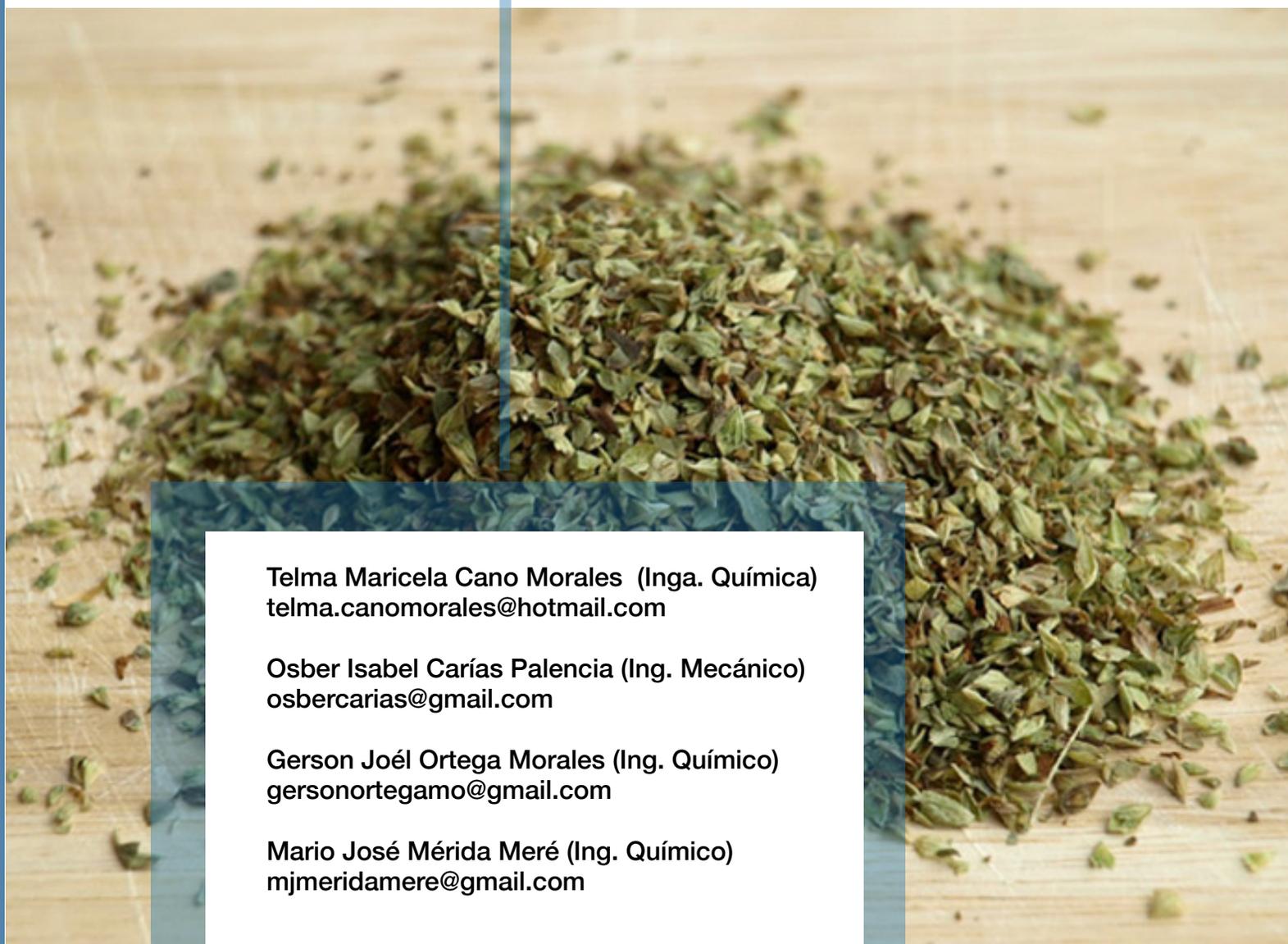
## Referencias bibliográficas

- Garza, S. M. (2011). Estudio de pre-factibilidad para el plan de mejora de una planta de producción y venta de materiales de construcción en el Municipio de Champerico, Retalhuleu, Guatemala. Universidad de San Carlos de Guatemala.
- Herrarte, C. A. (1996). Formación y capacitación de recursos humanos en la empresa cooperativa (Región Metropolitana). Universidad de San Carlos de Guatemala.
- Meléndez, M., Espinosa, O., Rhyner, K., & Noboa, M. (2004). Un techo que cubre al mundo: la teja de microconcreto. EcoSur.
- Sagastume, R. M. (2006). Estudio de factibilidad para el incremento de la productividad de bloques de concreto en una fábrica situada en el Municipio de San Miguel Petapa, Departamento de Guatemala. Universidad de San Carlos de Guatemala.
- Sampedro, J. L. (2002). El mercado y la globalización. Barcelona: Destino.
- Solloy, K. M. (2009). Estudio de factibilidad para la fabricación y comercialización de piso, utilizando maderas nacionales. Universidad de San Carlos de Guatemala.

## Saulo Moisés Méndez Garza

Maestro en formulación y evaluación de proyectos, Ingeniero Industrial, profesor investigador de la Sección de Ecomateriales del Centro de Investigaciones de Ingeniería, Miembro del Sistema Nacional de Ciencia y Tecnología SYNCYT. Facultad de Ingeniería Universidad de San Carlos de Guatemala.

**Evaluación** del potencial conservante de extractos de orégano (*Lippia graveolens HBK*), procedentes del corredor seco de Guatemala como biopelículas comestibles en embutidos



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

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

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

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

# Evaluación del potencial conservante de extractos de orégano (*Lippia graveolens HBK*), procedentes del corredor seco de Guatemala como biopelículas comestibles en embutidos

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

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

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

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

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

## Resumen

El presente artículo tiene la finalidad de comunicar sobre la evaluación del potencial conservante de los extractos de orégano (*Lippia graveolens HBK*): aceite esencial, oleoresina, extracto fluido y extracto seco, empleados como principios activos en la formulación y elaboración de biopelículas comestibles, las cuales fueron aplicadas a embutidos. La obtención de los extractos se realizó mediante destilación de arrastre con vapor directo, para el aceite esencial y extracción sólido-líquido utilizando etanol como solvente para oleoresina, extracto fluido y extracto seco. La composición química de los extractos se determinó mediante Cromatografía Gaseosa Acoplada a Espectrometría de Masas. Los componentes mayoritarios identificados fueron: linalol,  $\gamma$ -terpineno, fitol y cariofileno. Los cuales manifestaron actividad biológica frente a los tres grupos de microorganismos estudiados: *Escherichia coli*, *Salmonella sp* y *Listeria monocytógenes aureus*. El extracto seco utilizado como principio activo en la formulación de las biopelículas aplicadas a embutidos, cumplió satisfactoriamente con los requerimientos del Reglamento Técnico Centroamericano -RTCA-.

**Palabras clave:** conservante, actividad antimicrobiana, aditivo alimentario, biopelículas comestibles, aceite esencial.

## Abstract

The purpose of this article is to inform about the evaluation of the preservative potential of oregano extracts (*Lippia graveolens HBK*): essential oil, oleoresin, fluid extract and dry extract, used as active ingredients in the formulation and production of edible biofilms, which were applied a sausage. The extracts were obtained by direct steam distillation for essential oil and solid-liquid extraction using ethanol as solvent for oleoresin, fluid extract and dry extract. The chemical composition of the extracts will be extended by Gas Chromatography Coupled to Mass Spectrometry. The main components identified were: linalool,  $\gamma$ -terpinene, phytol and caryophyllene, which showed biological activity against the three groups of microorganisms studied: *Escherichia coli*, *Salmonella sp* and *Listeria monocytógenes aureus*. The dry extract used as active ingredient in the formulation of biofilms applied to sausages satisfactorily complied with the requirements of the Central American Technical Regulation -RTCA-.

**Keywords:** preservative, antimicrobial activity, food additive, edible biofilms, essential oil.

## Introducción

El tema central de este trabajo es la conservación de alimentos, específicamente la investigación sobre los conservantes naturales obtenidos del orégano (*Lippia graveolens HBK*).

El trabajo se realizó debido a la necesidad de encontrar soluciones efectivas para conservar los alimentos y prevenir pérdidas económicas significativas en la industria alimentaria. Además, se buscó abordar el riesgo para la salud de los consumidores, que puede derivar del deterioro de los alimentos causado por microorganismos. El trabajo se enfocó en la evaluación de los extractos obtenidos del orégano, incluyendo el aceite esencial, oleorresina, extracto fluido y extracto seco. Estos extractos se utilizaron en películas comestibles y se aplicarán en la elaboración de embutidos, como chorizos y longanizas. La investigación tuvo como objetivo, determinar cuál de estos extractos tiene la mejor capacidad conservante en embutidos.

El método empleado se basó en la evaluación de los extractos de orégano y su aplicación en la producción de embutidos para evaluar su efectividad como conservantes. Este proceso incluye pruebas de bioconservación, análisis microbiológicos y caracterización fisicoquímica de los extractos obtenidos, así como la comparación de los resultados obtenidos con diferentes extractos.

## Desarrollo del estudio

El artículo presenta resultados de la investigación que tuvo como objetivo, la extracción de aceite esencial, oleorresina, extracto fluido y seco utilizando como materia prima, orégano (*Lippia graveolens HBK*), y su aplicación como agentes conservantes en la formulación de un recubrimiento comestible aplicado a embutidos (chorizos y longanizas). La metodología del proceso extractivo, parte de la obtención del aceite esencial utilizando la técnica de arrastre directo con vapor en una marmita de acero inoxidable y vapor vivo de caldera. Por otro lado, a escala laboratorio se utilizó el método de hidrodestilación con el aparato de extracción Neoclevenger.

La oleorresina se obtuvo por medio de la extracción sólido-líquido, con alcohol etílico como solvente extractivo y maceración dinámica a nivel laboratorio y planta piloto. Para los extractos seco y fluido se estableció una relación extracto-solvente 1:1 y 1:4 respectivamente, que se ajustó a través de la operación de destilación a presión reducida con el equipo de rotaevaporación.

La materia prima de orégano (*Lippia graveolens HBK*), se adquirió en el Municipio de Río Hondo, Zacapa, Guatemala y la parte experimental de la investigación se llevó a cabo en la Universidad de San Carlos de Guatemala. La deshidratación y molienda de la materia prima, así como la obtención y caracterización fisicoquímica del aceite esencial, oleorresina, extracto fluido y extracto seco de orégano (*Lippia graveolens HBK*), se realizó en el Laboratorio de Investigación de Extractos Vegetales (LIEVVE) de la Sección de Química Industrial del Centro de Investigaciones de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala.

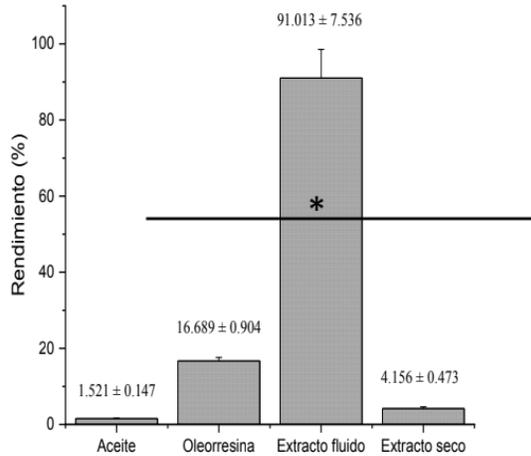
La composición química del aceite esencial, oleorresina, extracto fluido y extracto seco se obtuvo por Cromatografía de Gases Acoplada a Espectrometría de Masas CG-MS. El proceso de aplicación de los extractos de orégano (*Lippia graveolens HBK*), en embutidos (chorizo y longaniza) se realizó en las instalaciones de la Finca La Esperanza, ubicada en Tecpán, Chimaltenango. En cuanto a la elaboración de las biopelículas comestibles, se aplicó cada extracto a 1000 ppm, con tres réplicas para un total de 36 biopelículas comestibles, las cuales se estudiaron in vitro con la inoculación de 3 microorganismos. Posteriormente, se realizó un análisis microbiológico a los embutidos (chorizo y longaniza), que fueron revestidos con las biopelículas, en cumplimiento de la Norma COGUANOR NGO 34125 "Carne y productos cárnicos".

Con los datos obtenidos se realizó una prueba post hoc de Tukey, para comparar las medias individuales del análisis de varianza y así determinar cómo influyen cada biopelícula en el desarrollo microbiológico.

## Resultados

**Tabla I**

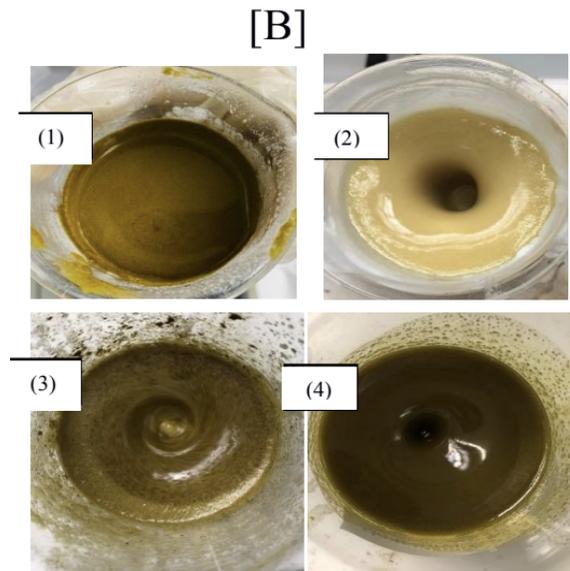
Rendimiento porcentual de extractos de orégano (*Lippia graveolens* HBK) obtenidos a escala planta piloto



Nota. Datos experimentales LIEXVE CII, USAC

**Figura 1**

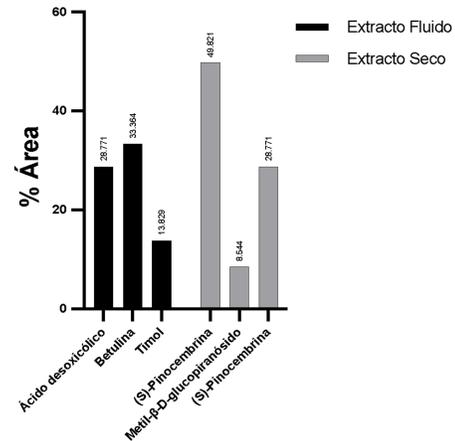
Extractos obtenidos de orégano (*Lippia graveolens* HBK) a escala planta piloto



Nota. Datos experimentales LIEXVE CII, USAC [A]: Aceite esencial, [B]: oleoresina, [C]: extracto seco y [D]: extracto fluido, elaboración propia 2023

**Figura 2**

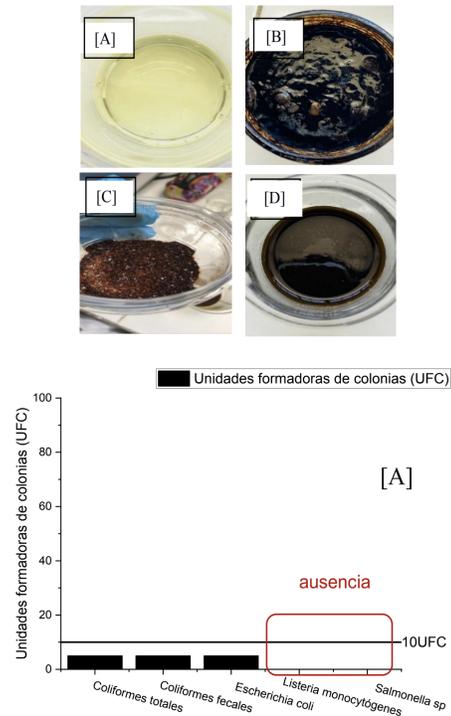
Moléculas mayoritarias en extractos de orégano (*Lippia graveolens* HBK) obtenidos a escala planta piloto



Nota. El componente (S)-Pinocembrina se encuentra presente en dos réplicas del extracto seco, elaboración propia 2023

**Figura 3**

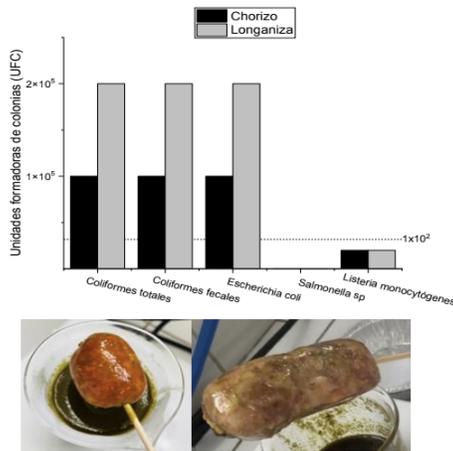
Análisis microbiológico de las biopelículas



Nota. Recuadro en rojo indica que no presentan límites según RTCA 8.3. [A] Análisis microbiológico de las biopelículas formuladas con oleoresina [B] (1), aceite esencial [B] (2), extracto fluido [B] (3), y extracto seco [B] (4), de orégano (*Lippia graveolens* HBK) como principios activos en la elaboración de biopelícula comestible. Datos experimentales LIEXVE- CII, USAC, elaboración propia 2023

**Figura 4**

Análisis microbiológico de las biopelículas formuladas con oleorresina de orégano (*Lippia graveolens HBK*)



**Nota.** Recuadro punteado en azul indica que no presentan límites según RTCA 8.3, Chorizo (izquierda) y Longaniza (derecha) recubiertas con la biopelícula formulada con oleorresina de orégano (*Lippia graveolens HBK*), elaboración propia 2023

## Discusión de la investigación

En la Figura 1 se muestran los extractos obtenidos, el aceite esencial presenta una apariencia amarillenta [1] mientras que la oleorresina [2] consistencia semisólida con cuerpo y poco fluida en comparación con el aceite esencial. El extracto seco [3], muestra apariencia cristalina con tonalidad marrón y el extracto fluido [4] por otro lado, es ligeramente marrón y con mayor fluidez.

La composición química de los extractos está constituida de la base estructural del isopreno: monoterpenos, sesquiterpenos, triterpenos y derivados de esteroides. En la Figura 2, se muestran los componentes mayoritarios para los diferentes tipos de extractos: betulina, timol, ácido desoxicólico, (S)-pinocembrina y metil-β-D-glucopiranosido.

Se formularon biopelículas comestibles utilizando extractos de orégano (*Lippia graveolens HBK*): aceite esencial, oleorresina, extracto fluido y extracto seco, para determinar su efecto preservante basado en la capacidad antimicrobiana de tres diferentes tipos de microorganismos: *Escherichia coli*, *Salmonella sp* y *Listeria monocytogenes aureus*.

Además, se realizó la caracterización de cada tipo de extracto, así como su evaluación antimicrobiana in vitro como biopelícula.

La resistencia a la formación de colonia de bacterias sobre la superficie de los embutidos, al aplicar la biopelícula formulada con extractos de orégano (*Lippia graveolens HBK*), reside en los componentes químicos mayoritarios (Bandoni, 2003). Sin embargo, se determinó que para la *Escherichia coli*, las cargas Unidades Formadoras de Colonias, UFC, se encontraron fuera de los límites permitidos por el Reglamento Técnico Centroamericano, RTCA, el cual es indicativo de contaminación bacteriana en la superficie del producto cárnico, a causa de las bacterias Gram positivas, como la *Listeria monocytogenes aureus*, las cuales son más susceptibles que las Gram negativas (*E. coli* y *Salmonella sp.*), a los compuestos antimicrobianos de aceites esenciales como los compuestos fenólicos, aldehídos, cetonas y terpenos (Hernández et al., 2011). En términos generales, la diferencia consiste en que la pared celular de las bacterias Gram negativas, es más delgada que las de las Gram positivas. Por otra parte, las Gram negativas contienen una membrana externa con un alto porcentaje de lípidos (García et al., 2004). La presencia de esta segunda membrana protege a la pared celular (Benson, 1997). La pared celular es esencial para mantener la integridad de la célula (García, 2005). También se encontró que todos los extractos: aceites esenciales, oleorresina, extracto fluido y extracto seco exhibieron actividad biológica, este último manifestó un mayor efecto antimicrobiano.

Esto se debe probablemente al elevado contenido de (S)-Pinocembrina (PC), uno de los flavonoides más importantes aislados de miel y propóleos (Ahn et al. 2009). En un estudio realizado en el 2009 por el mismo autor, afirma que la PC tuvo un efecto inhibitorio leve en la formación de tubos, y muy pocos efectos inhibidores en la proliferación celular. Saad et al. (2015), asegura que la PC posee actividad antiinflamatoria, antimicrobiana y antioxidante. También, Ayoola et al. (2008), afirma que compuestos como el cariofileno (sesquiterpeno), poseen propiedades antimicrobianas.

Por otro lado, los aspectos físicos y visuales de los embutidos, indican una reducida pérdida de humedad al formular la membrana con un contenido del 0 al 0,6 % de cera de abeja, lo que mejora las características organolépticas del producto cárnico (Romero y Estrada, 2011). Adicionalmente, la biopelícula al tratarse de lípidos, en combinación con hidrocoloides (polisacáridos y proteínas), aportan resistencia al vapor de agua y crean una buena cohesión estructural, de integridad y duración de la película (Ancos, Begoña, Gonzales-Peña & Sánchez-Moreno, 2015).

## Conclusiones

1. El rendimiento extractivo del aceite esencial, oleoresina, extracto fluido y extracto seco de orégano fueron:  $1.521 \pm 0.147$  %,  $16.689 \pm 0.904$  %,  $91.013 \pm 7.536$  % y  $4.156 \pm 0.473$  %, respectivamente.
2. Los componentes químicos mayoritarios obtenidos de los extractos de orégano fueron betulina, timol, ácido desoxicólico, (S)-pinocembrina y metil- $\beta$ -D-glucopiranosido.
3. El extracto seco fue el que presentó un mayor poder antimicrobiano in vitro y al ser aplicado como biopelícula en chorizo y longaniza, cumple satisfactoriamente con lo establecido por el Reglamento Técnico Centroamericano.
4. Los aspectos físicos y visuales de los embutidos, con la formulación empleada, mejoran significativamente las características organolépticas de los productos cárnicos.

## Recomendaciones

1. Evaluar la capacidad de adherencia de la biopelícula formulada, con los extractos de orégano en la superficie externa de los embutidos.

2. Evaluar el tiempo de degradabilidad del efecto de las biopelículas en embutidos.

## Referencias bibliográficas

- Ancos, Begoña, Gonzales-Peña Diana & Sánchez-Moreno, C. (2015). Uso de películas/recubrimientos comestibles en los productos de IV y V gama. *Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha*, 16(1), 8–17.  
<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=81339864002>
- Ayoola, G.A., Lawore, F.M., Adelowotan, T., Aibinu, I.E., Adenipekun E., Coker H.A.B. y Odugbemi, T. O. (2008). Chemical analysis and antimicrobial activity of the essential oil of *Syzygium aromaticum* (clove). *African Journal of Microbiology Research* 2, 162-166.
- Bandoni, A. L. (2003). Los recursos vegetales aromáticos en Latinoamérica. Su aprovechamiento industrial para la producción de aromas y sabores. <https://doi.org/10.3/JQUERY-UI.JS>
- Benson, S. A. (1997). *Ultrastructure of bacteria, Principles of medical biology: microbiology*. Elsevier Applied Science Publisher. London, England.
- García, M. A., Pinotti, A., Martino, M. N. y Zaritzky, N. E. (2004). Characterization of composite hydrocolloid films. *Carbohydrate Polymers* 56, 339-345.
- Hernández, L., González, A., Gutierrez, N., Muñoz, L., & Quintero, A. (2011). Estudio de la actividad antibacteriana de películas elaboradas con quitosano a diferentes pesos moleculares incorporando aceites esenciales y extractos de especias como agentes antimicrobianos. *Revista Mexicana de Ingeniería Química*, 10(3).
- Romero Bonivento, L. Estrada Berrocal, Y. (2011). Elaboración de una película comestible a base de colágeno incorporado con nisina como

agente antimicrobiano para reducir la pérdida de humedad y oxidación de las grasas en filetes de carne de cerdo en refrigeración. <https://doi.org/10.1/JQUERY.MIN.JS>

Saad, M. A., Abdel Salam, R. M., Kenawy, S. A. & Attia, A. S. Pinocebrin attenuates hippocampal inflammation, oxidative perturbations, and apoptosis in a rat model of global cerebral ischemia reperfusion. *Pharmacol. Rep.*, 67(1):115-22, 2015.

### *Agradecimientos*

Los autores de este trabajo agradecen al Centro de Investigaciones de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, también a Agro Servicios JAME y a Distribuidora de Alimentos Doña Lucy, así como a los auxiliares de investigación: Br. Juan Pablo López Cano y Br. Emilio Javier Paiz Barco

### **Telma Maricela Cano Morales**

Ingeniera Química, Directora del Centro de Investigaciones de Ingeniería, -LIEXVE, Profesora Titular X de los cursos de Química General 1 y 2.

### **Mario José Mérida Meré**

Ingeniero Químico, Coordinador del Laboratorio de Investigación de Extractos Vegetales -LIEXVE-, Profesor Investigador, Titular Escuela de Ingeniería Química, Docente de los cursos Extracciones Industriales, Seminario de Investigación de Ingeniería Química e Ingeniería Ambiental.

### **Gerson Joel Ortega Morales**

Ingeniero Químico, Especialista en Investigación, Profesor Investigador -LIEXVE-, Profesor Investigador Escuela de Ingeniería Química, 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, USAC.

**Identificación** de microplásticos en sal común  
proveniente de salinas ubicadas en la costa  
del Pacífico de Guatemala



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

César Alfonso García Guerra (Ing. Químico)  
checha1gar@yahoo.com

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

# Identificación de microplásticos

## en sal común proveniente de salinas ubicadas en la costa del Pacífico de Guatemala

**Ingrid Lorena Benítez Pacheco**

(MSc. Ciencia y Tecnología del Medio Ambiente)

licdabenitez@gmail.com

**César Alfonso García Guerra (Ing. Químico)**

chechalgar@yahoo.com

**Ana Luisa Isabel Droege Romero (Inga. Química)**

ana.droege@gmail.com

Laboratorio Físicoquímico -LAFIQ

Sección de Química Industrial

Centro de Investigaciones de Ingeniería - Facultad de Ingeniería

### Resumen

La presencia de microplásticos ha sido confirmada en varios productos del mar, en reportes anteriores. En este estudio se identificaron microplásticos (MPs), en la sal común de cuatro salinas de la costa del Pacífico de Guatemala, proveniente de dos procesos de producción: por bombeo de agua de mar (BAM), y por bombeo de manto freático saturado (BMF). Las partículas retenidas se cuantificaron y clasificaron de acuerdo con su forma por estereoscopia, mientras que, la composición química, se determinó por espectroscopía infrarroja de transformada de Fourier (FTIR). En ambos procesos se confirmó la presencia de micropartículas contaminantes, encontrándose polietileno y tereftalato de polietileno. El proceso BAM contó con una mayor abundancia, con 733 - 911 partículas/kg, y las fibras fueron la forma de partícula predominante en ambos procesos (97,0 % en el proceso BAM).

**Palabras clave:** contaminación plástica, contaminantes emergentes, Centroamérica, FTIR

### Abstract

The presence of microplastics has been confirmed in several seafood products in previous research articles. In this study, microplastics (MPs) were identified in common salt from four salt mines on the Pacific coast of Guatemala, from two production processes: by pumping of seawater (BAM) and by pumping saturated groundwater (BMF). The retained particles were quantified and classified by stereoscopy according to their shape, while the chemical composition was determined by Fourier transform infrared spectroscopy (FTIR). In both processes, the presence of contaminating microparticles was confirmed, and within the particles polyethylene and polyethylene terephthalate was found. The BAM process had a higher abundance of particles in the range of 733 - 911 particles/kg, and fibers were the predominant particle form in both processes (97,0% in the BAM process).

**Keywords:** plastic contamination, emerging contaminants, Central America, FTIR

## Introducción

Los plásticos son materiales poco biodegradables, que se acumulan en el medio ambiente si no recibe un tratamiento adecuado como desechos, sin embargo, siguen siendo una opción popular para hacer instrumentos y empaques. Los plásticos que llegan al océano se dispersan por las corrientes marinas y se reúnen en ciertas áreas del océano, como en la Isla de Plástico, en el Océano Pacífico (Lebreton et al., 2018), o en las costas terrestres (Zhang, 2017). En estos ecosistemas marinos, la luz ultravioleta y la abrasión provocan una disminución de tamaño (Andrady, 2011), dando lugar a los microplásticos.

Los microplásticos, fueron definidos por Thompson et al. (2004), como fragmentos de plástico con una dimensión característica menor de 5 mm. Debido a que no cuentan con valor nutricional, ya que pueden absorber sustancias perjudiciales, su presencia en los ecosistemas causa daño a la vida marina, que los confunde por comida (Joint Group of Experts on the Scientific Aspects of Marine Environmental Protection, 2015). Se han convertido en un contaminante emergente de importancia y la metodología existente para su monitoreo y análisis, se ha recopilado en manuales de procedimientos ambientales (Masura et al., 2015).

Los microplásticos pueden entrar a las vías alimenticias humanas. Esto fue explorado por Yang y colaboradores (2015), al identificar por primera vez la contaminación de microplásticos en sal común, distribuida en supermercados de China. Otras investigaciones en sal común son las de Gündoğdu (2018), en Turquía; e Iñiguez et al. (2017), en España. Posteriormente, Selvam et al. (2018), elaboraron un estudio donde establecieron la cantidad y características de los microplásticos ubicados en las piscinas de evaporación de las salinas.

En Guatemala, la sal común se produce artesanalmente. Cada proceso se diferencia según la fuente del agua utilizada: por bombeo de agua de mar (BAM), o por bombeo de manto freático (BMF). En el país se han realizado ciertas investigaciones, describiendo y cuantificando microplásticos en ecosistemas locales, tales como en las aguas superficiales del Lago de Atitlán (López-Xalín 2019), y la Playa el Quetzalito (Mazariegos-Ortiz et al. 2020). Asimismo, a lo largo de las playas del Pacífico guatemalteco, se ha identificado contaminación por microplásticos (Mazariegos-Ortiz et al. 2021). A partir de esto, la sal está en riesgo de ser un foco de contaminación para la dieta humana. Por lo tanto, esta investigación tuvo como objetivo, determinar la abundancia de microplásticos en la sal común colectada en la costa del Pacífico de Guatemala.

## Objetivos

1. Verificar la presencia de microplásticos en sal común, provenientes de las salinas del Pacífico guatemalteco.
2. Cuantificar la cantidad de microplásticos en la sal común, provenientes de salinas ubicadas en la costa del Pacífico guatemalteco.
3. Clasificar los microplásticos obtenidos, según su morfología y abundancia.
4. Identificar la composición química de los microplásticos aislados, mediante espectroscopia infrarroja con transformada de Fourier (FTIR).

## Metodología

Las muestras de sal común se recolectaron en los apilamientos de las salinas, ubicadas en la costa del Departamento de Escuintla. Se clasificó cada salina por proceso BAM o BMF. (Figura 1)

**Figura 1**

*Pila de sal común de la Costa del Pacífico guatemalteco, Escuintla*



**Nota.** La figura representa una pila de sal por proceso BAM.

En la preparación de la muestra, se eliminaron residuos gruesos visibles, tales como piedras o pedazos de madera. Seguidamente, la muestra de sal se secó en un horno de convección a 100°C por dos horas. Se pesó una muestra de 250 g de la sal seca y se introdujo a una botella de vidrio. Posteriormente, se realizó una digestión orgánica, agregando 100 mL de peróxido de hidrógeno al 50 %, completando el volumen a 1 L, con agua desmineralizada.

La sal fue disuelta y agitada por medio de un agitador magnético por 24 horas a 120 rpm y a temperatura ambiente, dentro de la botella sin sellar. Al completar la digestión, la solución se dejó sedimentar por una hora.

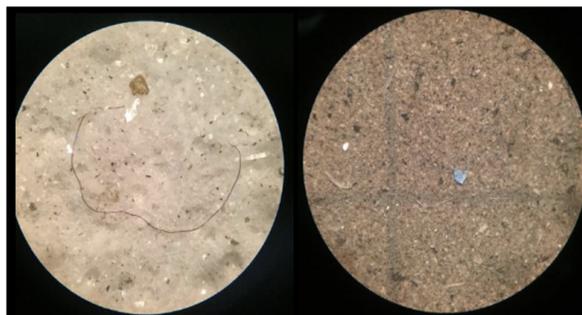
La solución digerida, se hizo pasar por dos filtros consecutivamente: papel cualitativo Whatman (tamaño de poro de 11  $\mu\text{m}$ ), y una membrana de nitrato de celulosa (tamaño de poro de 0.45  $\mu\text{m}$ ). Cada filtro fue colocado en un plato de Petri cubierto y se dejó secar.

Los filtros y membranas fueron observados en un estereoscopio bajo una magnificación 40X. (Figura No. 2). Se contaron las partículas retenidas observadas sobre los filtros y se clasificaron según su forma en cuatro categorías: fibras, fragmentos amorfos, filmes y pellets.

El total de partículas de una muestra se tomó como la adición de los contenidos retenidos por ambos filtros utilizados.

**Figura 2**

*Observación de muestras con estereoscopio 40X*



**Nota.** Presencia de micropartículas en forma de fibras y pellets en muestra de sal común aisladas.

Ciertas partículas seleccionadas por sus características morfológicas fueron fotografiadas, y de estas fueron seleccionadas las partículas a las que se les realizó el análisis FTIR. Estas partículas con apariencia plástica se separaron del filtro por medio de una pinza y se colocaron dentro de un vial de vidrio.

Para el análisis FTIR, cada partícula se colocó sobre el lente del instrumento y se ajustó el brazo de presión hasta asegurarlo. El espectro se generó en el rango de 4000 a 600  $\text{cm}^{-1}$  en 20 barridos y en una resolución de 4  $\text{cm}^{-1}$ . Los espectros experimentales, fueron sometidos a una búsqueda espectral en la base de datos KnowItAll Spectroscopy de Wiley (Wiley Science Solutions, 2021), la cual evalúa un Índice de Calidad del Espectro (HQI, por sus siglas en inglés), para indicar el porcentaje de coincidencia. Para aceptar un resultado de la búsqueda, se siguieron las condiciones propuestas por Woodall (2014). Se aceptaron valores de HQI mayores al 70 % y se rechazaron los HQI menores al 60 %. Para coincidencias entre el 60 - 70 %, se consideró cada caso por separado.

## Resultados

Como parte de los resultados, en la Figura 3, se muestran las abundancias y distribución de microplásticos encon-

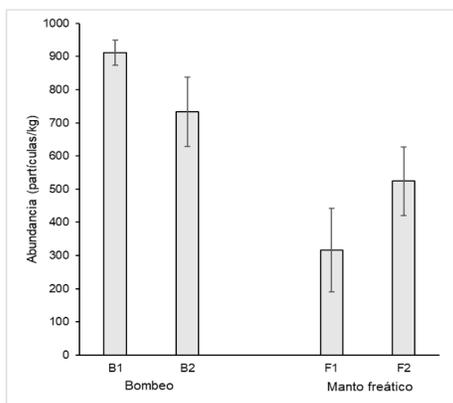
trados para las salinas estudiadas, correspondiente a las costas del Pacífico guatemalteco.

Al comparar la cantidad de microplásticos encontrados, en la Figura 4 se puede observar la distribución, en cuanto a la morfología de los diferentes materiales caracterizados, de acuerdo al medio de extracción utilizado en las costas del Pacífico guatemalteco.

Se procedió a analizar cada una de las muestras aisladas y utilizando la técnica FTIR, se determinaron los materiales que se encuentran en la Tabla 1, identificándose en su mayoría 3 tipos de plástico y 2 compuestos orgánicos.

**Figura 3**

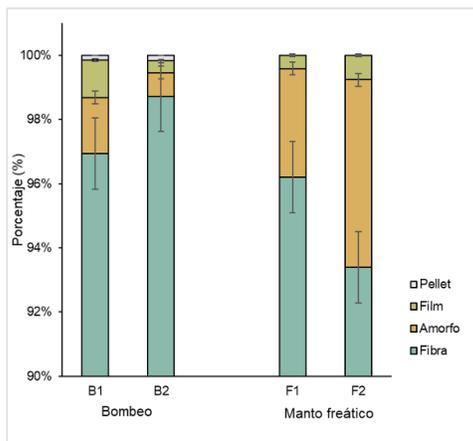
Abundancia de microplásticos en las muestras de sal recolectadas



Fuente. elaboración propia

**Figura 4**

Morfología de los microplásticos descritos



Fuente. elaboración propia

**Tabla 1**

Materiales identificados por FTIR en partículas seleccionadas

Material	Porcentaje de coincidencia (HQI)
<b>Plásticos</b>	
Poliestireno	89,00
	82,50
Tereftalato de polietileno	93,30
Polietileno	89,41
	92,19
<b>Orgánico</b>	
Fibra Vegetal	88,35
Pegamento Vegetal	93,64

Nota. Búsqueda espectral realizada a partir de la base de datos de Wiley System Solutions.

## Discusión

En la Figura 3 se presentan las abundancias por kilogramo de sal seca, para las cuatro salinas estudiadas. La abundancia se encontró en un rango de 733 - 911 partículas/kg para las salinas con proceso BAM, y de 316 - 524 partículas/kg en la sal del proceso BMF. A un nivel de confianza del 95 %, la abundancia de MPs entre ambos procesos, mostró una diferencia significativa. Estas abundancias de la costa guatemalteca son mayores a las reportadas en los estudios previos de sales marinas, como en China, con 550 - 681 partículas/kg (Yang et al., 2015); España, con 50-280 partículas/kg (Iñiguez et al., 2017); y Turquía, con 16-84 partículas/kg (Gündoğdu, 2018).

Considerando que la ingesta diaria recomendada de sal común es de 5 g (Organización Mundial de la Salud, 2020), del límite superior de abundancia encontrado, se estima que un guatemalteco consume respectivamente hasta 1663 y 957 partículas plásticas por año.

En la Figura 4, se observa que las partículas fibrosas predominaron con un contenido promedio de 97,0 % en las salinas BAM y de 94,8 % en las salinas BMF. En cambio, se encontraron pellets solamente en muestras BAM en un 0,12 %. El hecho de que las fibras hayan sido

el tipo de partícula predominante se ha relacionado con la contaminación por redes de pesca abandonadas en el mar (Lebreton et al., 2018; Woodall et al., 2014), y como tal, se consideran como microplásticos secundarios, al derivar de un objeto plástico de mayor tamaño (Andrady, 2006).

Mientras que, no es posible determinar el origen exacto de cada partícula observada, que se haya verificado la contaminación en las playas cercanas, (Mazariegos-Ortíz et al. 2021), sugiere que la contaminación puede provenir del agua de mar que se relaciona con cada proceso. En la Tabla 1, se encuentran las sustancias identificadas en las partículas analizadas por FTIR y su porcentaje de coincidencia de la búsqueda espectral. En general, se tuvo poliestireno (89,00 % y 82,5 %), tereftalato de polietileno (93,3 % y 89,41 %), y polietileno (92,19 %). Las sustancias de origen orgánico identificadas incluyeron fibras vegetales (88,35 %), y un pegamento vegetal (93,64 %). Por tanto, un 71,5 % de las partículas analizadas en FTIR, se relacionaron con materiales de naturaleza plástica.

## Conclusiones

1. La abundancia de microplásticos en el proceso de bombeo de agua, es significativamente mayor al proceso de bombeo del manto freático en un nivel de confianza del 95 %.
2. La forma de partículas predominante para ambos bombeos fue el tipo fibras. Las fibras consistieron en promedio al 97,0 % de las partículas para el proceso de bombeo de agua de mar y un 94,8 % en el proceso de bombeo del manto freático.
3. Los compuestos plásticos encontrados, constituyeron el 71,5 % de las partículas analizadas por FTIR, y consistieron en polietileno, politereftalato de etileno y poliestireno.

## Recomendaciones

1. Medir las emisiones de microplásticos en los ríos, que desembocan en la costa del Pacífico guatemalteco.
2. Implementar tratamientos de agua para la remoción de microplásticos del agua salada, previo a su concentración en las piscinas de evaporación.
3. Determinar los mecanismos de degradación de macroplásticos de distintos materiales desechados en Guatemala.

## Referencias bibliográficas

- Andrady, A. L. (2011). Microplastics in the marine environment. *Marine Pollution Bulletin*, 62(8), <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2011.05.030>
- u, S. (2018). Contamination of table salts from Turkey with Gündoğd microplastics. *Food Additives & Contaminants*, 35(5), 1006-1014. <https://doi.org/10.1080/19440049.2018.1447694>.
- Iñiguez M. E., Conesa, J. A. y Fullana, A. (2017). Microplastics in Spanish table salt. *Scientific Reports*, 7(1), 1-7. <https://doi.org/10.1038/s41598-017-09128-x>
- Joint Group of Experts on the Scientific Aspects of Marine Environmental Protection. (2015). Sources, fate and effects of microplastics in the marine environment: a global assessment (Report & Study No. 93, Part 2) International <http://www.gesamp.org/publications/reports-and-studies-no-90>
- Lebreton, L., Slat, B., Ferrari, F., Sainte-Rose, B., Aitken, J., Marthouse, R., Hajbane, S., Cunsolo, A., Schwarz, A., Leivier, A., Noble, K., Debeljak, P., Maral, H., Schoeneich-Argent, R. y Reisser, J. (2018). Evidence that the Great Pacific Garbage Patch is rapidly accumulating plastic. *Scientific Reports*, 8(1), 1-15. <https://doi.org/10.1038/s41598-018-22939-w>.

- López-Xalín, N. A. (2019). Contaminación por microplásticos en la superficie del Lago Atitlán, Sololá (Tesis de licenciatura). Universidad del Valle de Guatemala.  
<https://koha.uvg.edu.gt/cgi-bin/koha/opac-detail.pl?biblionumber=66803>
- Masura, J., Baker, J., Foster, G. y Arthur, C. (2015). Laboratory methods for the analysis of microplastics in the marine environment: recommendations for quantifying synthetic particles in waters and sediments (NOAA Technical Memorandum NOS-OR&R-48). National Oceanic and Atmospheric Administration, Valle de Guatemala.  
<https://repository.library.noaa.gov/view/noaa/10296>.
- Mazariegos-Ortiz, C., de los Ángeles Rosales, M., Carrillo-Ovalle, L., Cardoso, R. P., Muniz, M. C. y Dos Anjos, R. M. (2020). First evidence of microplastic pollution in the El Quetzalito sand beach of the Guatemalan Caribbean. *Marine Pollution Bulletin*, 156, 111220.  
<https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2020.111220>
- Mazariegos-Ortiz, C., García-Arroyave, L., Marroquín-Mora, C. y Mendizábal, A. L. (2021). Contaminación por microplásticos en playas del Pacífico de Guatemala: abundancia y características. *Ciencia, Tecnología y Salud*, 8(2), 260-268.  
<https://doi.org/10.36829/63CTS.v8i2.904>
- Organización Mundial de la Salud. (2020). Salt intake.  
<https://www.who.int/data/gho/indicator-metadata-registry/imr-details/3082..>
- Selvam, S., Manisha, A., Venkatramanan, S., Chung, S. Y., Paramasivam, C. R. y Singaraja, C. (2020). Microplastic presence in commercial marine sea salts: A baseline study along Tuticorin Coastal salt pan stations, Gulf of Mannar, South India. *Marine Pollution Bulletin*, 150, 110675.  
<https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2019.110675>
- Thompson, R. C., Olsen, Y., Mitchell, R. P., Davis, A., Rowland, S. J., John, A. W., McGonnible, D. y Russell, A. E. (2004). Lost at sea: where is all the plastic? *Science*, 304(5672), 838.  
<https://doi.org/10.1126/science.1094559>.
- Wiley Science Solutions. (2021). IR Spectral Databases (IR, FT-IR, ATR). Base de datos espectral IR [Software de computadora].  
<https://sciencesolutions.wiley.com/spectral-data-bases/>.
- Woodall, L. C., Sanchez-Vidal, A., Canals, M., Paterson, G. L., Coppock, R., Sleight, V., Calafat, A., Rogers, A. D., Narayanaswamy, B. E. y Thompson, R. C. (2014). The deep sea is a major sink for microplastic debris. *Royal Society Open Science*, 1(4), 140317.  
<https://doi.org/10.1098/rsos.140317>
- Yang, D., Shi, H., Li, L., Li, J., Jabeen, K. y Kolandhasamy, P. (2015). Microplastic pollution in table salts from China. *Environmental Science & Technology*, 49(22), 13622-13627.  
<https://doi.org/10.1021/acs.est.5b03163>
- Zhang, H. (2017). Transport of microplastics in coastal seas. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 199, 74-86.  
<https://doi.org/10.1016/j.ecss.2017.09.032>.

## *Agradecimientos*

La presente investigación se realizó con el apoyo del Laboratorio de Análisis Físicoquímicos –LAFIQ- del Centro de Investigaciones de Ingeniería, Facultad de Ingeniería, USAC y la Dirección General de Investigación DIGI-USAC.

### **Ingrid Lorena Benítez Pacheco**

MSc. en Ciencia y Tecnología del Medio Ambiente, licenciada en Química, 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.

### **César Alfonso García Guerra**

Ingeniero Químico con experiencia en proyectos de investigación en temas de ciencia de los materiales, innovación educativa, residuos agro-industriales y su aprovechamiento. Asesor de más de 100 tesis a nivel de pregrado en Ingeniería Química en diversas áreas del campo de la Ingeniería Química.

### **Ana Luisa Isabel Droege Romero**

Ingeniera química, Investigadora auxiliar en dos proyectos de investigación sobre microplásticos, ambos financiados por la Dirección General de Investigación DIGI. 2019 y 2022.

**Evaluación** de la actividad antimicrobiana de extractos obtenidos de la okra (*Abelmoschus Esculentus L. Moench*), cultivada en Guatemala y su aplicación en productos cosméticos



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

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

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

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

# Evaluación de la actividad antimicrobiana de extractos obtenidos de la okra (*Abelmoschus Esculentus L. Moench*) cultivada en Guatemala y su aplicación en productos cosméticos

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

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

## Resumen

El propósito de este artículo es presentar los resultados de la evaluación de los métodos extractivos de la okra (*Abelmoschus esculentus L. Moench*), de sus hojas, flores y semillas, utilizando Maceración Dinámica y Soxhlet. Los extractos obtenidos fueron caracterizados fisicoquímicamente, incluyendo el aceite fijo de semilla, concreto de flores y oleoresina de hojas; se aplicaron en dos tipos de cosméticos: jabón de tocador y jabón en gel. Se realizó un análisis microbiológico de los extractos y sus aplicaciones bajo el RTCA 71.03.45:07. Los rendimientos extractivos promedio obtenidos para el aceite fijo, fue: 22.89 % con Soxhlet y 20.46 % con maceración dinámica. Los rendimientos extractivos promedio para el concreto de flores fue: 10.64 % con Soxhlet y 9.64 % con maceración dinámica, mientras que para la oleoresina de hojas fue: 12.36 % con Soxhlet y 11.26 % con maceración dinámica. Se encontraron diferentes compuestos en los extractos según el método extractivo utilizado. El concreto de flores contenía propil mercaptano, (11E,14E)-icosa-11,14-dienoato de metilo, fluoximesterona y ácido oleico principalmente. Los aceites fijos de semilla contenían principalmente palmítico, esteárico, oleico y linoleico. En el caso de la oleoresina de hojas, los compuestos mayoritarios fueron ácido caroteno y ácido linoleico etil éster. Los extractos y sus aplicaciones cumplieron exitosamente con el análisis microbiológico bajo el RTCA 71.03.45:07, inhibiendo el crecimiento de bacterias gram negativas y gram positivas; como *Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus* y *Pseudomonas aeruginosa*, entre otras.

**Palabras clave:** okra, aceite fijo, oleoresina, concreto de flores, RTCA 71.03.45:07, análisis microbiológico, cosméticos.

## Abstract

The purpose of this article is to present the results of the evaluation of extractive methods of okra (*Abelmoschus esculentus L. Moench*) from its leaves, flowers and seeds using dynamic maceration and Soxhlet. The extracts obtained were characterized physicochemically, including fixed seed oil, flower concrete and leaf oleoresin, and were applied in two types of cosmetics: toilet soap and gel soap. A microbiological analysis of the extracts and their applications was carried out under RTCA 71.03.45:07.

Regarding the average extractive yields, for the fixed oil, Soxhlet yield was 22.89 % and Maceration yield was 20.46 %. For the concrete of flowers, the average extractive yields were Soxhlet yield of 10.64 % and Maceration yield of 9.64 %. Finally, for the oleoresin of leaves, the following average extractive yields were obtained: Soxhlet yield of 12.36 % and maceration yield of 11.26 %. The chemical composition of the extracts analyzed by each extractive method reflected compounds for the concrete of flowers such as Propyl mercaptan, (11E,14E) - icoso - 11, 14-dienoate of methyl, Fluoxymesterone, and oleic acid mainly. For fixed seed oils, it was found mainly palmistic, stearic, oleic, and linoleic. In the case of the oleoresin of leaves, the major compounds were  $\beta$ -carotene and ethyl linoleate.

The microbiological analysis of the extracts and their applications under the RTCA 71.03.45:07 successfully inhibited the growth of gram-negative and gram-positive bacteria such as *Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus*, and *Pseudomonas aeruginosa*, among others.

**Keywords:** okra, fixed oil, oleoresin, flower concrete, RTCA 71.03.45:07, microbiological analysis, cosmetics.

## Introducción

La vida del ser humano gira en torno a la interacción con el ambiente que lo rodea. Esta interacción lo expone a un mundo microscópico, que incluye agentes patógenos, que alteran el correcto funcionamiento del organismo, enfermándolo. Debido a esto, el ser humano se encuentra en una lucha constante, donde el sistema inmune responde a cada uno de esos ataques, de los cuales buena parte repele (Bandoni, 2002). Sin embargo, debido a la existencia de patógenos resistentes, el ser humano buscó la manera de encontrar mecanismos externos, que le ayudaran a prevenir la invasión de estos.

Esta necesidad lo llevó a descubrir y formular los llamados sanitizantes, mayormente conocidos como desinfectantes, logrando de esta manera la forma de reducir la carga microbiana, hasta un nivel en el cual inactivará su funcionamiento, lo cual en muchos casos ha provocado un alto número de muertes (Guzmán et al, 2015). Según estudios realizados por el Ministerio de Salud de Guatemala en 2015, la diarrea causada por la mala limpieza de superficies o alimentos, permanece entre las primeras 10 causas de morbilidad y mortalidad a nivel del país (MSPAS, 2015).

Un cosmético sanitizante, se emplea para destruir los microorganismos o inhibir su desarrollo en un 99.9 %, además de actuar sobre agentes patógenos, como los virus. Existe una gama de sanitizantes en fases sólidas, líquidas, gaseosas y coloidales, que también se pueden clasificar por el rango de acción contra ciertas familias de microorganismos y agentes patógenos. Este artículo presenta los resultados de la evaluación del efecto antibacterial de los extractos obtenidos de la okra (*Abelmoschus esculentus L. Moench*), que incluyen: aceite esencial, aceite fijo y oleorresina (De Carvalho et al., 2011). Se evalúa su rendimiento extractivo, perfil fitoquímico, capacidad antimicrobiana y su aplicación en productos cosméticos como jabón de tocador y jabón en gel, con el objetivo de obtener un producto sanitizante a base de extractos vegetales. Se aprovecha el potencial de la planta Okra y se le da un valor añadido, más allá de su uso como producto comestible y de exportación.

## Discusión del estudio

La investigación tuvo como objetivo, evaluar la actividad antimicrobiana de extractos obtenidos a partir de las hojas, flores y semillas de la okra (*Abelmoschus esculentus L. Moench*), cultivada en Guatemala y su aplicación en productos cosméticos. El proceso se realizó mediante el método de maceración dinámica con reflujo, para obtener aceite fijo de la semilla de okra, además de utilizar el equipo de Soxhlet para obtener oleorresina, a partir de las hojas de okra. Para obtener el concreto de flores, se emplearon ambos métodos. Se tomaron muestras de cada extracto obtenido de la okra y se aplicaron en productos cosméticos. Se tomaron muestras de jabón de tocador y jabón en gel para llevar a cabo un control de calidad, siguiendo la Norma RTCA 71.03.45:07.

La recolección de datos se realizó in situ en el laboratorio del Instituto Tecnológico Guatemala Sur (ITUGS). La materia prima okra (*Abelmoschus esculentus L. Moench*), se obtuvo de la plantación de un agricultor local en el Municipio de Estanzuela, Zacapa, Guatemala, y la parte experimental de la investigación se llevó a cabo en la Universidad de San Carlos de Guatemala.

La deshidratación, molienda de la materia prima y la obtención, y caracterización fisicoquímica del concreto de flores, oleorresina y aceite fijo de okra (*Abelmoschus esculentus L. Moench*), se llevó a cabo en el Laboratorio de Investigación de Extractos Vegetales (LIEXVE).

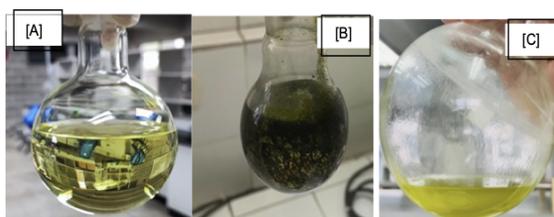
La composición química del aceite fijo, oleorresina y concreto de flores de okra, se determinó mediante cromatografía de gases, acoplada a espectrometría de masas (CG-MS). Además, se aplicaron muestras de los extractos en productos cosméticos en la empresa Zaromas, y se llevó a cabo un control de calidad en jabones microbiológicos, en el Laboratorio de Toxicología de la Facultad de Farmacia de la Universidad de San Carlos de Guatemala.

Con los datos obtenidos, se realizó una prueba post hoc de Tukey para comparar las medias individuales en el análisis de varianza y así determinar cómo influye cada extracto en la actividad antimicrobiana cuando se aplican.

## Resultados

**Figura 1**

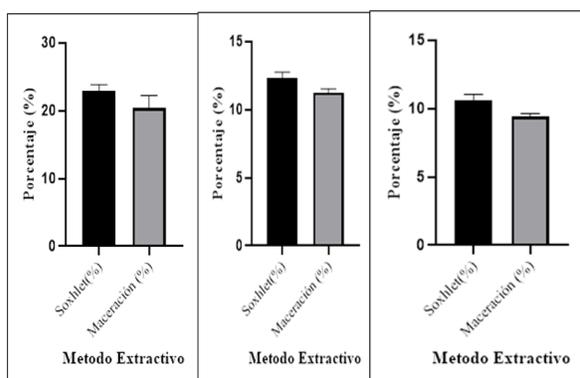
Extractos obtenidos de okra (*Abelmoschus esculentus L. Moench*) utilizando Soxhlet y Maceración Dinámica



Nota. [A]: Aceite Fijo, [B]: Oleorresina Hojas, [C]: Concreto flores, elaboración propia 2023

**Figura 2**

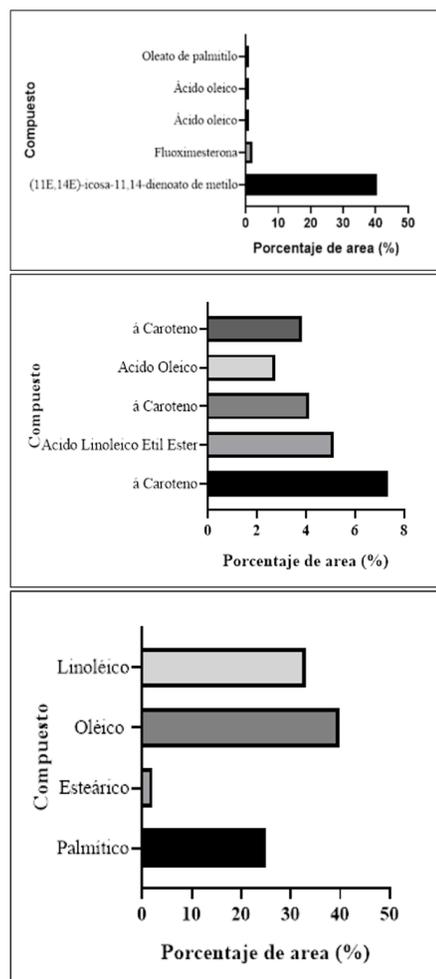
Rendimientos extractivos promedios de los extractos de okra (*Abelmoschus esculentus L. Moench*) utilizando Soxhlet y Maceración Dinámica



Nota. aceite fijo (izquierda), oleorresina hojas (Centro), concreto flores(derecha), elaboración propia 2023.

**Figura 3**

Composición química de los extractos de okra (*Abelmoschus esculentus L. Moench*), utilizando el método extractivo Soxhlet



Nota. Concreto flores (superior), oleorresina flores (media), aceite fijo(inferior), elaboración propia 2023.

**Tabla 1**

*Análisis microbiológico de los cosméticos elaborados*

Análisis	Resultado	Dimensional	RTCA 71.03.45:07
Escherichia coli	Ausencia	Sin dimensionales	Ausencia
Staphylococcus aureus	Ausencia	Sin dimensionales	Ausencia
Pseudomonas aeruginosa	Ausencia	Sin dimensionales	Ausencia

Nota. Elaboración propia, 2023.

**Figura 4**

Productos cosméticos elaborados



Nota. Elaboración propia, 2023

## Discusión de la investigación

En la Figura 1 se muestran los extractos obtenidos. El aceite fijo de okra presenta una apariencia amarillenta [A], mientras que la oleorresina de las hojas [B], tiene una consistencia semisólida con cuerpo y es menos fluida en comparación con el aceite fijo. El concreto [C], muestra una apariencia con matices amarillos, debido a la presencia de flavonoides en las flores, con una consistencia fluida (Henández et al., 2011).

En cuanto a la evaluación de los métodos empleados, para extraer los productos derivados de los segmentos de la planta (hojas, flores y semillas), se determinó que existe una diferencia estadísticamente significativa en el extracto obtenido de las flores. El concreto de las flores mostró un mayor rendimiento extractivo (10.64 %), utilizando el método Soxhlet, lo que sugiere que es el apropiado para conseguir mejores resultados (De Carvalho et al., 2011). Del mismo modo, las oleorresinas de las hojas, mostraron una diferencia estadísticamente significativa para los

métodos utilizados en su extracción. En este caso, el método que proporcionó mejores resultados fue Soxhlet, con un 12.36 %.

Por otro lado, los métodos utilizados para extraer el aceite fijo de las semillas de okra, no mostraron una diferencia estadísticamente significativa, lo que indica que tanto el método extractivo Soxhlet (22.89 %), como la Maceración Dinámica (20.46 %), son buenas alternativas para extraerlo.

Los resultados mostrados en la Figura 3, indican la composición química del concreto de las flores, obtenido con el método de extracción Soxhlet. El gráfico muestra un elevado contenido de (11E,14E)-icosa-11,14-dienoato de metilo, en comparación con los otros componentes detectados, que son fluoximesterona, ácido oleico, y oleato de palmitilo, siendo estos últimos ácidos grasos.

El primero es un éster metílico, constituido por una estructura molecular lineal de 22 átomos de carbono, con dos enlaces dobles conjugados en las posiciones 11 y 14. Es un líquido transparente e incoloro con un aroma frutal característico.

Además, se detectó la fluoximesterona, la cual se describe como un compuesto perteneciente al grupo de los esteroides, químicamente constituido por un grupo funcional, cetona en el carbono 3 y un grupo fluoro. Es un compuesto inodoro, al igual que el resto de los ácidos grasos. Esto sugiere que el aroma característico de las flores, proviene del primer componente mencionado.

En la Tabla I, se presentan los resultados satisfactorios de los extractos aplicados en la formulación de dos productos cosméticos (jabón de tocador y jabón en gel). Estos resultados indicaron la ausencia de espectro microbiano, conforme a lo establecido por la RTCA 71.03.45:07, lo que demuestra la efectividad de los extractos de okra y valida la hipótesis del presente estudio de investigación.

Con estos resultados, se puede garantizar el uso de estos cosméticos como una alternativa biodegradable y de bioseguridad, en cumplimiento de las buenas prácticas de higiene, para evitar la contaminación bacteriana.

## Conclusiones

1. La composición química de la okra varía según la parte de la planta que se utilice. Los extractos de las semillas contienen ácidos grasos insaturados, mientras que los extractos de las hojas son ricos en compuestos fenólicos y flavonoides. Los extractos de las flores contienen una alta concentración de alcaloides y proteínas.
2. El método Soxhlet fue el más efectivo para extraer los productos de las flores y hojas de la planta. El concreto de las flores mostró una mayor concentración de alcaloides (15.2 mg/g), utilizando el método Soxhlet, mientras que las oleorresinas de las hojas mostraron una concentración de compuestos fenólicos de 12.7 mg/g, utilizando el mismo método.
3. Los métodos extractivos Soxhlet y maceración dinámica, son igualmente efectivos para extraer el aceite fijo de las semillas de okra. Ambos métodos mostraron una composición química similar en cuanto a la presencia de ácidos grasos insaturados, con un 57.2 % para Soxhlet y un 56.8 % para maceración dinámica.
4. Los extractos de okra son efectivos y seguros para ser utilizados en la formulación de productos cosméticos. Los resultados indican la ausencia de espectro microbiano, establecido por la RTCA 71.03.45:07 en los extractos de okra utilizados en la formulación de jabones de tocador y jabones en gel, lo que indica su efectividad y validez en cumplimiento de las buenas prácticas de higiene para evitar la contaminación bacteriana.

## Recomendaciones

1. Considerar análisis adicionales para comprender mejor las propiedades químicas y beneficios potenciales de los componentes individuales, detectados en los extractos de okra, especialmente el éster metílico (11E,14E)-icosa-11,14-dienoato de metilo. Esto podría proporcionar información valiosa para explorar aplicaciones específicas en la industria cosmética u otras áreas.
2. Realizar estudios de estabilidad a largo plazo en los productos cosméticos formulados con los extractos de okra, especialmente en relación con los cambios en el aroma y la eficacia antimicrobiana con el tiempo. Esto ayudaría a asegurar que los productos mantengan su calidad y propiedades beneficiosas durante su vida útil, lo que respaldaría su posicionamiento como alternativas sostenibles y seguras en el mercado cosmético.

## Referencias bibliográficas

- Bandoni, A. (2002). Los recursos vegetales aromáticos en Latinoamérica: su aprovechamiento industrial para la producción de aromas y sabores. <http://www.herbotecnia.com.ar/c-public-034-Recursos-Vegetales-Arnaldo-Bandoni.htm>
- De Carvalho, C. C. C. R., Cruz, P. A., Da Fonseca, M. M. R., & Xavier-Filho, L. (2011). Antibacterial properties of the extract of *Abelmoschus esculentus*. *Biotechnology and Bioprocess Engineering*, <https://doi.org/10.1007/S12257-011-0050-6>/METRICS
- Guzmán, L. E., Acevedo, D., Romero, L., & Estrada, J. (2015). Elaboración de una película comestible a base de colágeno incorporado con Nisina como agente antimicrobiano. *Información Tecnológica*, 26(3), 17–24.

Henández, O. L., Gonzales, G. A., Guatiérrez, M. N., Muñoz, C. L. N., & Quintero, R. A. (2011).

Estudio de la actividad antibacteriana de películas elaboradas con quitosano a diferentes pesos moleculares incorporando aceites esenciales y extractos de especias como agentes antimicrobianos. *Revista Mexicana de Ingeniería Química*. 10(3), 455-463.

MSPAS (2015, September). Informe Anual Situación de las enfermedades transmisibles y no transmisibles prioritarias de vigilancia epidemiológica.

<https://epidemiologia.mspas.gob.gt/informacion/vigilancia-epidemiologica/no-transmisibles>

Nagesh Malji, N. (2019). Formulation of antibacterial soap by using Okra seed extract. *International Journal of Research in Engineering, Science and Management*, 2(2019).

[https://www.ijresm.com/Vol.2\\_2019/Vol2\\_Iss4\\_April19/IJRESM\\_V2\\_I4\\_172.pdf](https://www.ijresm.com/Vol.2_2019/Vol2_Iss4_April19/IJRESM_V2_I4_172.pdf)

Pereira, N. de P., & Dourado, D. (2017). The profile of Brazilian agriculture as source of raw material to obtain organic cosmetics. *Journal of Pharmacy & Pharmacognosy Research*, 5(3), 165–166. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=496053943003>

## *Agradecimientos*

Los autores de este trabajo, agradecen al Centro de Investigaciones de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, también a Zaromas y a Grupo Hame.

### **Mario José Mérida Meré**

Ingeniero Químico, Coordinador del Laboratorio de Investigación de Extractos Vegetales -LIEXVE-, Profesor Investigador Titular Escuela de Ingeniería Química, Docente de los cursos Extracciones Industriales, Seminario de Investigación de Ingeniería Química e Ingeniería Ambiental.

### **Telma Maricela Cano Morales**

Ingeniera Química, directora del Centro de Investigaciones de Ingeniería, -LIEXVE, Profesora Titular X de los cursos de Química general 1 y 2.

### **Gerson Joel Ortega Morales**

Ingeniero Químico, Especialista en Investigación, Profesor Investigador -LIEXVE-, Profesor Investigador Escuela de Ingeniería Química, 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, USAC.

**Evaluación** del rendimiento extractivo y efecto conservante del aceite esencial de canela (*Cinnamomum zeylanicum Blume*) aplicado en aderezo de fresa



Ana Lucía García Juárez (Inga. Química)  
analugarcia0@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

# Evaluación de rendimiento extractivo y efecto conservante del aceite esencial de canela (*Cinnamomum zeylanicum Blume*) aplicado en aderezo de fresa

Ana Lucía García Juárez (Inga. Química)  
analugarcia0@gmail.com

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

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

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

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

## Resumen

El presente trabajo abordó el estudio del rendimiento extractivo del aceite esencial de canela (*Cinnamomum zeylanicum Blume*), y su aplicación en la conservación de un aderezo de fresa. La extracción del aceite esencial se realizó directamente de la corteza, procedente de dos diferentes altitudes, mediante un proceso denominado hidrodestilación, el cual fue desarrollado a escala laboratorio. Se llevó a cabo la caracterización fisicoquímica del aceite esencial y se evaluó su contenido de cinamaldehído. Asimismo, se evaluó la propiedad antimicrobiana, aplicando el aceite esencial a un aderezo de fresa, determinando la concentración óptima para su efecto preservante. Los resultados reportaron que la actividad microbiana en el aderezo de fresa fue afectada por la aplicación de una concentración, específica del aceite esencial, inhibiendo el crecimiento de microorganismos patógenos. El rendimiento extractivo no estuvo condicionado por la altitud de procedencia.

**Palabras clave:** canela, aceite esencial, antimicrobiano, hidrodestilación, cinamaldehído.

## Abstract

The present investigation addressed the study of the extractive efficiency of the essential oil of cinnamon (*Cinnamomum zeylanicum Blume*) and its application as preservative in a strawberry dressing. The extraction of the essential oil was made directly from the bark from two different altitudes through a process called hydrodistillation, which was developed on a laboratory. The physicochemical characterization of the essential oil was carried out and its cinnamaldehyde content was evaluated too. Likewise, the antimicrobial property was evaluated, applying the essential oil to a strawberry dressing, determining the optimal concentration for its preservative effect. The results reported that the microbial activity in the strawberry dressing was affected by the application of a specific concentration of essential oil, inhibiting the growth of pathogenic microorganisms. The extractive yield was not conditioned by the altitude of origin.

**Keywords:** cinnamon, essential oil, antimicrobial, hydrodistillation, cinnamaldehyde.

## Introducción

Los aceites esenciales se definen como las porciones líquidas volátiles, responsables de la característica aromática de las plantas, constituyendo mezclas complejas de hasta más de 100 componentes (Universidad de Antioquia, 2001). Se han estudiado ampliamente las propiedades que poseen los aceites esenciales para su aplicación en las diferentes industrias, como la alimentaria, cosmética, farmacéutica, medicinal, entre otras. Una de estas propiedades es el efecto bactericida que poseen, siendo muy utilizados en la conservación de productos alimenticios (Usano-Aleman et al., 2014). En diversos estudios se han realizado evaluaciones acerca del poder de inhibición de los aceites esenciales, hacia la actividad microbiana. En el Departamento de Investigación y Posgrado en Alimentos de la Universidad de Sonora, México, se buscó una alternativa natural para examinar el efecto microbiano de la bacteria *Clavibacter michiganensis*, estudio donde se evaluó en pruebas preliminares la actividad antimicrobiana de 19 aceites esenciales, de los cuales únicamente 6 fueron seleccionados por presentar mayor efecto bactericida; dentro de los que se encuentra el aceite esencial de canela (*Cinnamomum zeylanicum Blume*) (Borboa Flores, 2009).

Por ser una alternativa natural, el uso de aceites esenciales como conservantes de alimentos, ha cobrado mayor interés como una solución a la problemática del uso de preservantes químicos, los cuales se consideran causantes de severos daños a la salud humana.

Los alimentos están expuestos a variedad de microorganismos patógenos, responsables de muchas enfermedades, lo cual es un tema de envergadura mundial. Adicionalmente, el aceite de hoja de canela (AHC) es reconocido por su aroma y propiedades medicinales, y como un producto GRAS (generally recognized as safe), por la FDA (Food and Drug Administration, USA), lo cual es importante al contemplar su uso como un aditivo alimentario (Silva-Espinoza et al., 2013). Por lo tanto, el objetivo de este estudio radica en la evaluación de la propiedad antimicrobiana del aceite esencial de canela (*Cinnamomum zeylanicum Blume*),

obtenido de la corteza de canela, procedente de dos distintas altitudes, proponiendo la evaluación del rendimiento extractivo a diferentes tiempos de extracción, con base a su altitud de procedencia, utilizando el método de Hidrodestilación; en un equipo denominado *Neoclevenger*.

También se planteó la caracterización fisicoquímica, del aceite esencial extraído de las dos muestras de corteza, a través de la determinación de su densidad a temperatura ambiente. Para la evaluación del contenido de cinamaldehído en el aceite esencial y la identificación de componentes activos con base a su altitud de origen, se utilizó la técnica de Cromatografía de gases con acoplamiento a espectrometría de masas (GC-MS), con el cual la identificación de los constituyentes se basó en la comparación de sus espectros de masa, con respecto a los encontrados en la base de datos del sistema CG-MS llamado NIST 98 (Silva-Espinoza et al., 2013). La evaluación de la acción antimicrobiana del aceite esencial, con base a su altitud de procedencia, se llevó a cabo aplicando distintas concentraciones del aceite esencial en un aderezo de fresa. Estudios precedentes demostraron que los aceites esenciales de clavo de olor (*Syzygium aromaticum*), y canela (*Cinnamomum zeylanicum Blume*), a concentraciones de 0.05, 0.10 y 0.20 inhiben el crecimiento de microorganismos fúngicos. Los efectos reportados, pueden estar relacionados con la presencia de eugenol y cinamaldehído en los aceites esenciales, que actúan directamente sobre la membrana bacteriana (Montero-Recalde et al., 2017).

## Metodología

El estudio de la capacidad conservante que posee el aceite esencial de canela (*Cinnamomum zeylanicum Blume*), se desarrolló con la obtención de dos muestras de corteza de canela de la especie en referencia, cada una recolectada en una ubicación altitudinal específica, siendo la primera, del Municipio de San Martín Jilotepeque, del Departamento de Chimaltenango, correspondiendo a una altitud de 1755 metros sobre el nivel del mar (msnm). La segunda muestra fue recolectada en el Municipio de San Antonio Suchitepéquez, del Departamento de Suchitepéquez, con una altitud de 359 msnm.

La extracción del aceite esencial se realizó por medio de la técnica de arrastre con vapor, proceso de separación por el cual, mediante el uso de vapor de agua, se vaporizan los componentes volátiles de la materia vegetal, recuperándose la fase oleosa por condensación, habiéndose evaluado como un primer objetivo el rendimiento de la extracción del aceite esencial a distintos períodos de extracción (60, 90 y 120 minutos), en función de su altitud de procedencia, considerando lo que indica (Vargas Aguilar, 2018), que los factores ambientales, la época de recolección del material, contenido de humedad del material y lugar de procedencia; son factores que tienen alta influencia en el rendimiento de la extracción de aceites esenciales de canela (*Cinnamomum zeylanicum Blume*).

La evaluación del contenido de cinamaldehído del aceite esencial, también fue objeto de análisis, bajo la premisa que el componente mayoritario presente en las muestras de canela (*Cinnamomum zeylanicum Blume*), es, cinamaldehído (Benavides et al., 2016), de la misma forma el análisis del contenido de este componente, se determinó para cada muestra de corteza tomada.

Se propuso la caracterización fisicoquímica del aceite esencial, midiendo su densidad utilizando un picnómetro, técnica que permitió determinar el peso que posee el aceite en función de la condición del tiempo de extracción y el lugar de origen del material vegetal.

La evaluación de la propiedad antimicrobiana del aceite esencial, como finalidad del estudio, cobró un evidente interés para la propuesta de una alternativa natural y sostenible a los preservantes químicos de alto consumo global. Los aceites esenciales obtenidos de las plantas, han mostrado tener propiedades además de antimicrobianas, también antioxidantes, antiparasitarias, antiinflamatorias, antidiarreicas y antimicóticas (Montero-Recalde et al., 2017).

La propiedad antimicrobiana del aceite esencial se estableció con su aplicación a distintas concentraciones (0, 0.5, 0.75 y 1 % en peso), a un aderezo de fresa preparado artesanalmente, midiendo la carga microbiana en el aderezo a 0, 4, 9 y 14 días después de aplicado, tomando en consideración el lugar de procedencia.

Un dato importante en el proceso de indagación de la actividad antimicrobiana del aceite esencial es la concentración óptima de aplicación, para lo cual se llevó a cabo una apreciación microbiológica por medio de la técnica de Número Más Probable (NMP/g). La Concentración Mínima Inhibidora (CMI), es la medida de la sensibilidad de una bacteria a un antibiótico o sustancia con capacidad antimicrobiana. Es la mínima cantidad de antimicrobiano que es capaz de impedir el crecimiento de un microorganismo en condiciones normalizadas (Vega & Belén, 2019).

## Resultados y discusión de la investigación

El objetivo general de esta investigación, radicó en examinar el rendimiento extractivo y el efecto conservante del aceite esencial de canela (*Cinnamomum zeylanicum Blume*), en su aplicación a un aderezo de fresa.

**Tabla 1**

*Rendimiento extractivo del aceite esencial de canela (Cinnamomum zeylanicum Blume) obtenido de la corteza proveniente de dos altitudes distintas aplicando diferentes tiempos de extracción.*

Altitud	Tiempo de extracción (min)	Rendimiento extractivo (%)	$\pm\sigma$
1755 ms.n.m	60	0,7695	0,0892
	90	0,9772	0,1230
	120	13,664	0,0576
359 ms.n.m	60	0,6892	0,0345
	90	0,7861	0,0676
	120	12,110	0,2404

**Nota.** Elaboración propia, Laboratorio de Investigación de Extractos Vegetales-LIEXVE-, CII/USAC.

La Tabla 1 describe el rendimiento del proceso extractivo del aceite esencial, respecto al tiempo de extracción y la altitud de origen de la corteza de canela, correspondiendo al primer objetivo planteado en el estudio, registrando la mejor eficiencia de extracción para la muestra ubicada a 1755 m s. n. m. en un tiempo de extracción de 120 minutos, no obstante, para este mismo tiempo de extracción, la muestra localizada a 359 m s. n. m., también obtuvo su valor más alto en rendimiento. Por lo que se infiere que, el factor de altitud de procedencia no tiene influencia en el rendimiento de obtención del aceite esencial.

**Tabla 2**

*Contenido de cinamaldehído del aceite esencial de canela (Cinnamomum zeylanicum Blume) obtenido de la corteza proveniente de 2 altitudes distintas aplicando diferen testiempos de extracción*

Altitud	Tiempo de extracción (min)	Contenido de Cinamaldehído (%)
1755 ms.n.m	60	82,13
	90	85,66
	120	75,39
359 ms.n.m	60	72,58
	90	63,35
	120	81,02

**Nota.** Elaboración propia, Laboratorio de Investigación de Extractos Vegetales-LIEXVE-, CII/USAC.

La Tabla 2, detalla los porcentajes del contenido de cinamaldehído en el aceite esencial de canela, en función del tiempo de extracción y la altitud de origen de la corteza. Este análisis se concibió como el segundo objetivo de la investigación. Los resultados obtenidos en este análisis, no demuestran una influencia en los factores de tiempo de extracción del aceite y altitud de

origen en el contenido de cinamaldehído del aceite esencial, por otra parte, si corroboran observaciones realizadas por otros estudios, en donde se determinó que el componente con el pico más alto en el cromatograma resultante es el cinamaldehído con un porcentaje del 87,65 % (Vega & Belén, 2019). El tercer objetivo abordó la caracterización fisicoquímica del aceite esencial de canela, los resultados se observan en la Tabla 3, precisando los valores de la densidad medida por medio de un picnómetro, demostrando que no existe diferencia significativa entre la densidad del aceite esencial y el tiempo de extracción a diferencia de la altitud de procedencia, ya que la densidad de la muestra de San Antonio Suchitepéquez, que corresponde a una altitud de 359 m s. n. m., si difiere con la del Municipio de San Martín Jilotepeque ubicada a 1755 m s. n. m.

**Tabla 3**

*Caracterización fisicoquímica del aceite esencial de canela (Cinnamomum zeylanicum Blume) analizando su densidad por medio de picnómetro en función del tiempo de extracción y su altitud de procedencia*

Altitud	Tiempo de extracción (min)	Densidad (g/ml)	$\pm\sigma$
1755 ms.n.m	60	10,656	0,0400
	90	11,106	0,1194
	120	11,467	0,1102
359 ms.n.m	60	0,9472	0,0551
	90	0,9806	0,1022
	120	10,239	0,0048

**Nota.** Elaboración propia, Laboratorio de Investigación de Extractos Vegetales-LIEXVE-, CII/USAC.

**Tabla 4.**

*Efecto antimicrobiano del aceite esencial de canela (Cinnamomum zeylanicum Blume) obtenido de la corteza proveniente de dos altitudes distintas evaluando las UFC/g a diferentes concentraciones de aplicación del aceite esencial en un aderezo de fresa.*

Altitud	Tiempo (días)	Concentración (%)			
		0	0,5	0,75	1
1755 ms.n.m	0	$8 \times 10^4$	$1 \times 10^4$	$2 \times 10^3$	$6 \times 10^2$
	4	$3 \times 10^4$	$1 \times 10^3$	$1 \times 10^3$	$1 \times 10^2$
	9	$2 \times 10^5$	<10	$1 \times 10^2$	$1 \times 10^2$
	14	$8 \times 10^4$	$2 \times 10^2$	$1 \times 10^3$	<10
359 ms.n.m	0	$8 \times 10^4$	$1 \times 10^4$	$2 \times 10^3$	$3 \times 10^3$
	4	$3 \times 10^4$	$1 \times 10^4$	<10	<10
	9	$2 \times 10^5$	<10	$1 \times 10^2$	<10
	14	$8 \times 10^4$	$1 \times 10^4$	$1 \times 10^2$	<10

**Nota.** Elaboración propia, Laboratorio de Análisis Físicoquímico y Microbiológico-LAFYM-USAC.

Como objetivos finales, se propuso la evaluación de la carga microbiana en un aderezo de fresa preparado artesanalmente y la determinación de la concentración óptima del aceite esencial de canela, respectivamente, agregando al aderezo el aceite esencial de canela a distintas concentraciones (0, 0.5, 0.75 y 1 % en peso), los resultados se muestran en la tabla 4, donde los factores considerados para este análisis fueron; el tiempo (en días), de contacto del aceite esencial y el aderezo de fresa, la concentración del aceite esencial y la localización altitudinal de las muestras en cuestión. Se determinó que el efecto microbiano se ve inhibido por la concentración más alta de aceite esencial, en este caso del 1 %, independientemente de los días de contacto entre el aceite esencial y el aderezo, sin embargo, sí existe una diferencia significativa respecto a la altitud de procedencia, mostrándose más efectivo el aceite esencial extraído de la corteza de canela del Municipio de San Antonio Suchitepéquez, localizado a 359 m s. n. m.

**Figura 1**

Árbol canelo y corteza de canela.



**Nota.** García Juárez et al., 2021)

**Figura 2**

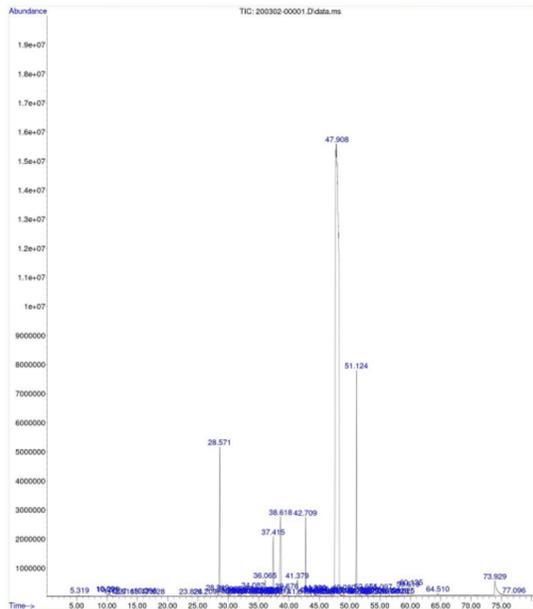
Sistema de hidrodestilación Neoclevenger



**Nota.** García Juárez et al., 2021)

**Figura 3**

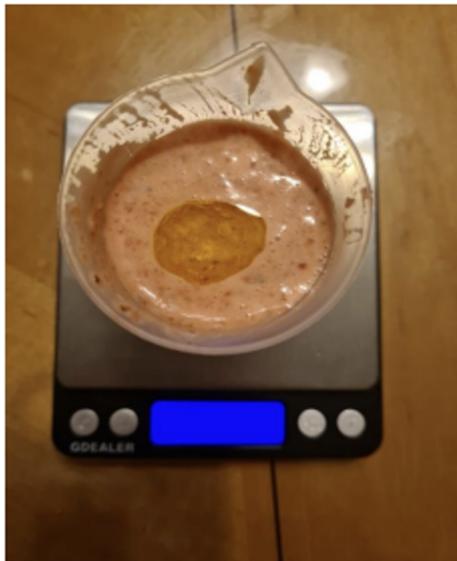
Cromatograma del aceite esencial de canela proveniente del Municipio de San Martín Jilotepeque (1 755 ms.n.m.) para un tiempo de extracción de 120 minutos



Nota. Laboratorio de Instrumentación Química Avanzada, UVG

**Figura 4**

Aderezo de fresa con la adición del aceite esencial de canela (*Cinnamomum zeylanicum Blume*)



Nota. García Juárez et al., 2021)

## Conclusiones

1. Se observó una diferencia significativa en el rendimiento extractivo del aceite esencial de canela (*Cinnamomum zeylanicum Blume*), en función del tiempo de extracción y no se observó para la altitud de procedencia.
2. Los contenidos de cinamaldehído del aceite esencial de canela (*Cinnamomum zeylanicum Blume*), no mostraron diferencia significativa respecto al tiempo de extracción y tampoco para la altitud de procedencia de la corteza.
3. El componente mayoritario del aceite esencial de canela (*Cinnamomum zeylanicum Blume*), fue el cinamaldehído, representando más del 72 % de su composición para ambas muestras de corteza analizadas, sin representar una variación significativa respecto al tiempo de extracción.
4. No se encontró variación significativa en la densidad del aceite esencial de canela (*Cinnamomum zeylanicum Blume*), en función del tiempo de extracción, mientras que sí se encontró con base en la altitud de procedencia.
5. La concentración de aplicación del aceite esencial de canela (*Cinnamomum zeylanicum Blume*), al aderezo de fresa representó una variable de consideración para la evaluación de la carga microbiana, constatando que a mayor concentración, mayor efecto inhibitorio de dicha carga, sin presentar una diferencia significativa; el tiempo de extracción del aceite esencial pero sí para la altitud de origen.

## Recomendaciones

1. Evaluar el efecto antimicrobiano del aceite esencial de canela (*Cinnamomum zeylanicum Blume*), en otros productos alimenticios para determinar su potencial inhibitorio de la actividad microbiana, en otros medios afectos al crecimiento de microorganismos nocivos.

## Referencias bibliográficas

- Benavides, O. L., Arturo, D., & Villegas, C. (2016). Cuantificación de cinamaldehído y rendimiento en aceite esencial de canela comercial obtenido por hidrodestilación asistida con microonda. *Vitae*, 23(1), S640-S642
- Borboa Flores, J. (2009). Detección e incidencia de *clavibacter michiganensis* subespecie *michiganensis* en *lycopersicon esculentum* mill. en el estado de Sonora, México y evaluación del efecto bactericida de aceites esenciales. [Tesis doctoral, Universidad Autónoma de Baja California]. Archivo digital. <https://hdl.handle.net/20.500.12930/1681>
- García Juárez, A. L., Cano Morales, T. M., & Mérida Meré, M. J. (2021). Evaluación del rendimiento y efecto conservante del aceite esencial de canela (*cinnamomum zeylanicum blume*) extraído de la corteza proveniente de diferentes altitudes utilizando el método de hidrodestilación a escala laboratorio y la aplicación en un aderezo de fresa. [Tesis de pregrado, Universidad de San Carlos de Guatemala]. Archivo digital. <http://www.repositorio.usac.edu.gt/id/eprint/16479>
- Montero-Recalde, M., Jessica Revelo, I., Avilés-Esquivel, D., Edgar Valle, V., & Guevara-Freire, D. (2017). Antimicrobial effect of cinnamon essential oil (*Cinnamomum zeylanicum*) on salmonella strains. *Revista de Investigaciones Veterinarias Del Perú*, 28(4), 987–993. <https://doi.org/10.15381/rivep.v28i4.13890>
- Silva-Espinoza, B. A., Ortega-Ramírez, L. A., González-Aguilar, G. A., Olivas, I., Ayala-Zavala, J. F., & Científico, A. (2013). Protección antifúngica y enriquecimiento antioxidante de fresa con aceite esencial de hoja de canela. *Revista Fitotécnica Mexicana*, 36(3), 217-224. Universidad de Antioquia. (2001). Aceites esenciales. (2001) Aceites esenciales. (2001) <https://www.academia.edu/32548617>
- Usano-Aleman, J., Palá-Paúl, J., & Díaz, S. (2014). Aceites esenciales: conceptos básicos y actividad antibacteriana. *Reduca (Biología)*. *Serie Botánica*, 7(2), 60–70.
- Vargas Aguilar, M. L. (2018). Análisis de rendimiento de las hojas de *cinnamomum zeylanicum*, (canela) en la extracción de aceite esencial por arrastre con vapor, provenientes de dos zonas de Ucayali. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Ucayali]. Repositorio institucional.
- Vega, V., & Belén, M. (2019). Evaluación microbiológica de aceite esencial canela y clavo de olor en la conservación de carne molida de res tipo hamburguesa. [Tesis de maestría, Universidad Técnica de Machala]. Archivo digital <http://repositorio.utmachala.edu.ec/handle/48000/14107>

## Agradecimientos

La autoría del presente artículo reconoce el invaluable aporte de Telma Maricela Cano Morales y Mario José Mérida Meré, profesionales de la Ingeniería Química, egresados de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, poniendo a disposición su experiencia y conocimiento para el asesoramiento del estudio realizado. Asimismo, extiende el agradecimiento al Laboratorio de Investigación de Extractos Vegetales -LIEV- de la Sección de Química Industrial del Centro de Investigaciones de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, por su valioso apoyo en aprestamiento de sus instalaciones y recursos para la ejecución de la fase experimental. De igual forma, la gratitud meritoria trasciende al Laboratorio de Instrumentación de Química Avanzada, de la Universidad del Valle de Guatemala y al Laboratorio de Análisis Físicoquímicos y Microbiológicos de la Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia de la Universidad de San Carlos de Guatemala.

### **Telma Maricela Cano Morales**

Ingeniera Química, Directora del Centro de Investigaciones de Ingeniería, CII/USAC, Profesora titular X de los cursos de Química General 1 y 2.

### **Mario José Mérida Meré**

Ingeniero Químico, Coordinador del Laboratorio de Investigación de Extractos Vegetales -LIEXVE- CII - USAC, Profesor Investigador Titular Escuela de Ingeniería Química, Docente de los cursos Extracciones Industriales, Seminario de Investigación de Ingeniería Química e Ingeniería Ambiental.

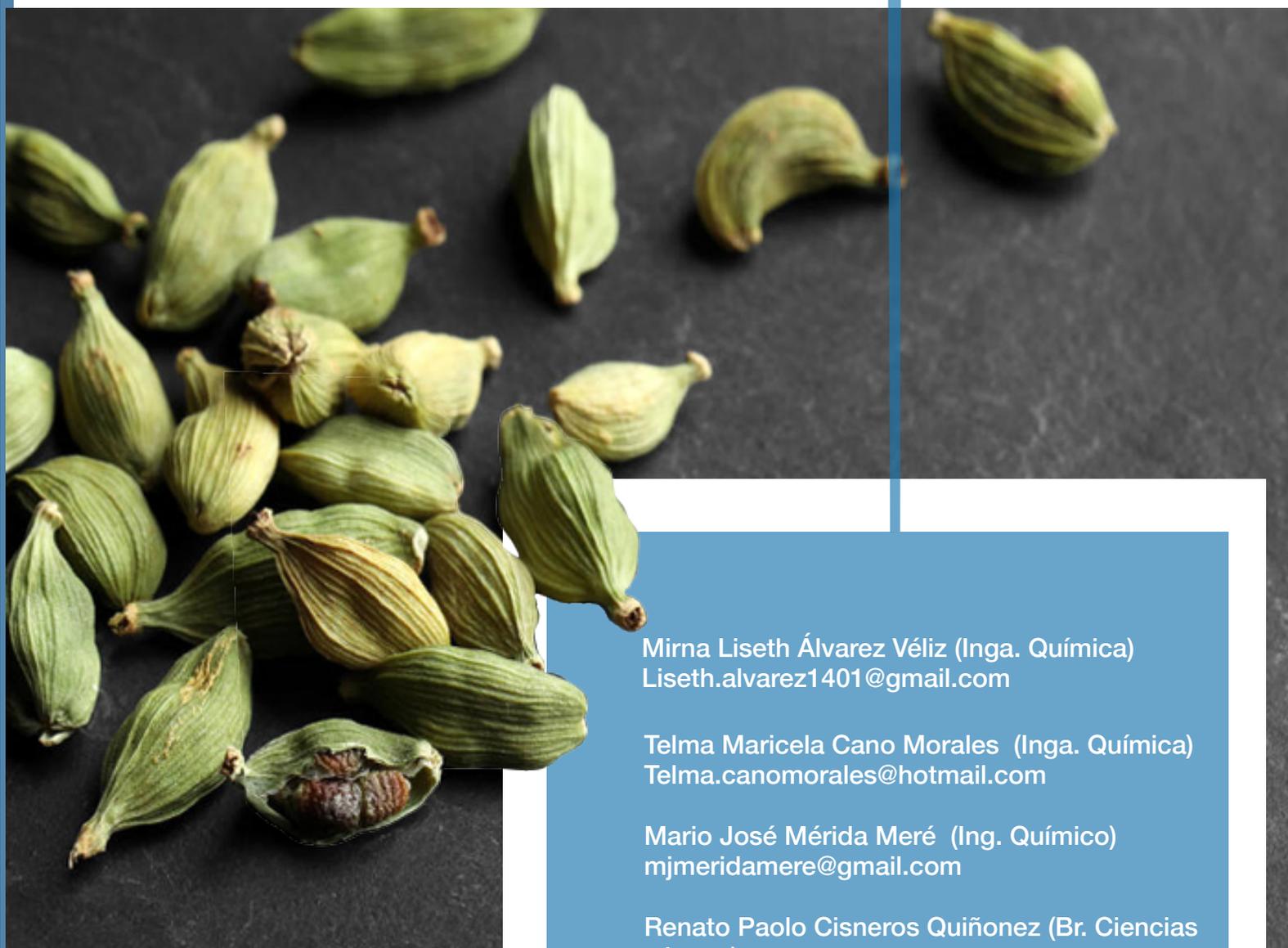
### **Ana Lucía García Juárez**

Estudiante de la carrera de Ingeniería Química de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala.

### **Claudia Elisa Castellanos Jurado**

Ingeniera Química, Investigadora DIGI/USAC y Laboratorio de Investigación de Extractos Vegetales -LIEXVE-

**Evaluación** y caracterización fisicoquímica del aceite esencial extraído del cardamomo (*Elettaria cardamomun* L. Matton), a nivel laboratorio y planta piloto



Mirna Liseth Álvarez Véliz (Inga. Química)  
Liseth.alvarez1401@gmail.com

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

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

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

# Evaluación y caracterización fisicoquímica del aceite esencial extraído del cardamomo (*Elettaria cardamomun* L. Matton), a nivel laboratorio y planta piloto

Mirna Liseth Alvarez Véliz (Inga. Química)  
Liseth.alvarez14101@gmail.com

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

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

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

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

## Resumen

La presente investigación tiene como objetivo la evaluación del rendimiento extractivo y caracterización fisicoquímica del aceite esencial de cardamomo de tercera calidad y la cascarilla, proveniente de Quiché y Alta Verapaz. Se realizó mediante el método de hidrodestilación a nivel laboratorio, utilizando agua desmineralizada a una temperatura de 94° C y por arrastre con vapor a nivel planta piloto.

Como resultados de la investigación, se determinó que existe diferencia significativa del rendimiento extractivo másico en función de la calidad del cardamomo y el nivel de extracción, obteniendo mayor rendimiento a nivel laboratorio. Por otro lado, se determinó a nivel planta piloto, que existe una diferencia significativa en el rendimiento de extracción en función de su procedencia. A partir de dichos análisis estadísticos, se determinó que el valor del rendimiento extractivo del cardamomo, proveniente de Quiché, es mayor al proveniente de Alta Verapaz.

Se cuantificó el contenido de 1,8-cineol (a nivel planta piloto), obteniendo un porcentaje mayor en la materia prima proveniente de Quiché respecto a los demás. Sin embargo, a partir del método GC-MS, se confirmó que no importa el método, el contenido es igual.

**Palabras clave:** cardamomo, aceite esencial, rendimiento extractivo, hidrodestilación, eucaliptol.

## Abstract

The objective of the research was to evaluate the extractive performance and physicochemical characterization of the third-quality cardamom essential oil and husk, from Quiché and Alta Verapaz. The study was conducted using the hydrodistillation method at the laboratory level, using demineralized water at a temperature of 94° C and by steam distillation at the pilot plant level.

The results of the study showed that there is a significant difference in the mass extractive yield depending on the quality of the cardamom and the level of extraction, with a higher yield obtained at the laboratory level. Additionally, it was determined at the pilot plant level that there is a significant difference in extraction yield depending on the origin of the cardamom. From these statistical analyses, it was determined that the extractive yield value of cardamom from Quiché is higher than that from Alta Verapaz.

The content of 1,8-cineol was quantified at the pilot plant level, with a higher percentage obtained in the raw material from Quiché compared to the others. However, the GC-MS method confirmed that the content is the same regardless of the method used.

**Keywords:** cardamom, essential oil, extractive yield, hydrodistillation, eucalyptol.

## Introducción

Actualmente la cantidad de aceites esenciales que se conoce, asciende a más de doscientos ejemplares. El valor comercial de estos es significativamente alto, por los altos costos de extracción. Se ha identificado alrededor de cuatrocientos elementos, que componen los aceites esenciales tales como: terpenos, alcoholes libres, ésteres, aldehídos, cetonas, fenoles y ácidos libres en pequeñas cantidades (Gil & Sáez, 2000).

El cardamomo (*Elettaria cardamomum L. Matton*), es muy versátil acorde a sus usos como el mezclado de café, repostería, cosméticos y para aromatizar licores. La producción mundial de cardamomo pequeño y grande fue aproximadamente de 70,000 TMs en 2006, con Guatemala e India representando el 45 y 21 % de la producción mundial respectivamente (Ayala & Murillo, 2015). A menudo los aceites esenciales consisten en mezclas de productos químicos, en su mayoría constituidos por terpenos. Son productos obtenidos de materias primas naturales, empleando el método de destilación por arrastre de vapor (Espina, 2014).

La calidad de los aceites esenciales varía en función de la variedad de la planta, condiciones de cultivo, época de recolección, parte cosechada de la planta, manejo del material vegetal, métodos de extracción, entre otros.

En esta investigación se evaluó el rendimiento extractivo másico; a partir del método de hidrodestilación a nivel laboratorio y por arrastre de vapor a nivel planta piloto. De la misma manera, se cuantificó el contenido de 1,8-cineol por medio del método de Cromatografía Gaseosa con Acoplamiento a Espectrometría de Masas (GC-MS) y la caracterización fisicoquímica evaluando la densidad, índice de refracción y solubilidad en etanol del aceite esencial de cardamomo, en función de su procedencia y su calidad.

## Metodología

En la literatura se reporta un rendimiento de extracción de aceite esencial de cardamomo del 5 %, empleando el método de arrastre de vapor a nivel planta piloto.

Adicionalmente, se caracterizó el aceite esencial de cardamomo con base en la gravedad específica, índice de refracción, solubilidad en etanol. Asimismo, se cuantificó el contenido de eucaliptol del aceite a partir de una cromatografía GC-MS (Gil, 2000). De igual manera, en un estudio de investigación realizado en la Universidad de San Carlos de Guatemala, señala que no hay diferencia significativa en el rendimiento de extracción másico de aceite esencial, con base a tres calidades en función del tiempo de extracción, a escala laboratorio.

También, indica que el tiempo de extracción del aceite esencial de cardamomo, empleando el método de hidrodestilación a escala laboratorio, no infiere en la caracterización fisicoquímica del mismo.

Y finalmente, el componente mayoritario en el aceite esencial de cardamomo es el eucaliptol (Espina, 2014). La importancia de este estudio radica en descartar el tiempo de extracción como variable independiente y experimentar a nivel laboratorio y planta piloto.

La parte experimental del trabajo de investigación, se llevó a cabo en las instalaciones del Laboratorio de Investigaciones de Extractos Vegetales (liexve), Sección de Química Industrial, Centro de Investigaciones de Ingeniería, Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala. Asimismo, el cardamomo (*Elettaria cardamomum L. Matton*), de tercera calidad y la cascarilla, se recolectó como subproducto del beneficiado del cardamomo, proveniente de los departamentos de Alta Verapaz y Quiché.

La presente investigación tuvo como objetivo la extracción del aceite esencial a partir del cardamomo (*Elettaria cardamomum L. Matton*), y así determinar el rendimiento de extracción, caracterizar fisicoquímico-fisicoquímicamente el aceite esencial, y cuantificar el contenido de 1,8-cineol a partir del método de Cromatografía Gaseosa, con Acoplamiento a Espectrometría de Masas (GC-MS), en función de su lugar de procedencia y la calidad del material vegetal.

La metodología del proceso de extracción del aceite esencial consistió en la lixiviación, aplicando la técnica de hidrodestilación a nivel laboratorio, utilizando agua desmineralizada a una temperatura de 94° C y por arrastre con vapor a nivel planta piloto.

La técnica de hidrodestilación se realizó empleando un Neoclevenger y la extracción por arrastre de vapor de agua con una marmita.

La caracterización fisicoquímica, consistió en la determinación de la densidad (empleando un picnómetro), el índice de refracción (empleando un refractómetro "Fisher Scientific") y solubilidad en etanol al 95 %.

Para la obtención del aceite esencial se realizó 3 lotes de extracción por parte de la planta, por cada nivel y por cada departamento. Esto se efectuó con la finalidad de determinar las propiedades fisicoquímicas y la composición de cada extracto, teniendo un total de 24 muestras de aceite esencial.

Con los datos recopilados, se realizaron análisis estadísticos para determinar si las variables independientes establecidas influyeron en el rendimiento de extracción, la composición química y la caracterización fisicoquímica.

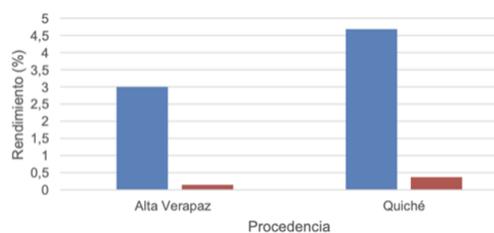
## Resultados y discusión de la investigación

Se realizó un análisis estadístico para verificar si existe diferencia significativa entre el rendimiento extractivo másico, la calidad del cardamomo y el nivel de extracción. Se puede decir; que para un F calculado a un 95 % de confianza, existe diferencia significativa del rendimiento extractivo másico, en función de la calidad del cardamomo y también existe diferencia significativa en el nivel de extracción del cardamomo.

Lo que quiere decir; que el rendimiento extractivo másico se ve afectado por ambos factores, la calidad del cardamomo y el nivel de extracción, como se puede observar en las Figuras 1 y 2.

**Figura 1**

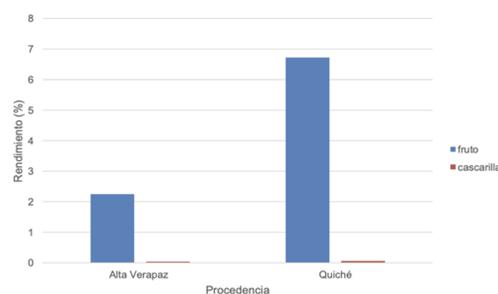
*Rendimiento extractivo del aceite esencial, a nivel laboratorio*



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

**Figura 2**

*Rendimiento extractivo del aceite esencial, a nivel planta piloto*



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

Para el nivel planta piloto se muestran los valores medios del rendimiento extractivo, con su respectiva procedencia, en la cual los valores difieren significativamente entre ellos. Demostrando que la cascarilla contiene un porcentaje menor de aceite esencial en ambos métodos de extracción.

A nivel laboratorio se observa la diferencia del rendimiento extractivo, en este, el cardamomo pergamino de Quiché tiene mayor rendimiento, al igual que su cascarilla. Esto se debe a que la planta de cardamomo se desarrolla mejor en climas fríos; con una temperatura óptima entre los 18 °C y los 22 °C, lo que normalmente se obtiene a alturas entre 800 y 1300 msnm, por lo que el Departamento de Quiché es el óptimo para su obtención. Por otro lado, los valores medios de los porcentajes de extracción del aceite esencial a nivel planta piloto, en este, el rendimiento extractivo de cardamomo pergamino procedente de Alta Verapaz, es mucho menor que el cardamomo pergamino procedente de Quiché, y difieren significativamente entre ellos.

Se obtuvo mayores rendimientos a nivel laboratorio para la cascarilla, este era el comportamiento esperado, debido a que en el nivel planta piloto hay una mayor cantidad de variables de operación, que afectan el rendimiento de la extracción.

Existe diferencia significativa en la densidad del aceite esencial de cascarilla a nivel laboratorio, en función de la región de procedencia, siendo este, el mismo comportamiento para el aceite esencial del cardamomo pergamino. No existe diferencia significativa en la densidad del aceite esencial de cascarilla a nivel planta piloto, en función de la región de procedencia, como se puede observar en la Tabla 1.

**Tabla 1**

*Densidad del aceite esencial de cardamomo pergamino de tercera calidad y cascarilla (Elettaria cardamomum L. Matton) a nivel laboratorio y planta piloto*

Nivel	Departamento	Parte de la planta	Densidad (g/mL)
Laboratorio	Alta Verapaz	Fruto	0.922 ± 2.65E-03
		Cascarilla	0.836 ± 0.0225
	Quiché	Fruto	0.922 ± 0.6280
		Cascarilla	0.925 ± 0.0340
Planta piloto	Alta Verapaz	Fruto	0.924 ± 0.0190
		Cascarilla	0.882 ± 0.0250
	Quiché	Fruto	0.813 ± 0.0088
		Cascarilla	0.980 ± 0.0191

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

La densidad del aceite esencial de cascarilla proveniente de Alta Verapaz, tanto en nivel laboratorio como nivel planta piloto, tiene una densidad menor en comparación a los demás aceites esenciales, el índice de refracción en el vacío es la unidad y a medida que el material es menos denso, el valor del índice aumenta. Asimismo, la solubilidad del cardamomo pergamino a nivel laboratorio, procedente de Alta Verapaz, indica la capacidad que el aceite esencial tiene para disolverse, en este estudio, en etanol al 95 %. El aceite esencial de cardamomo pergamino procedente de Quiché, cuenta con mayor solubilidad en etanol al 95 %, como se puede observar en la Tabla 2.

**Tabla 2**

*Solubilidad en etanol del aceite esencial de cardamomo pergamino de tercera calidad y cascarilla (Elettaria cardamomum L. Matton) a nivel laboratorio y planta piloto*

Nivel	Departamento	Parte de la planta	Solubilidad (mL/mL)
Laboratorio	Alta Verapaz	Fruto	0,2006 ± 0,0663
		Cascarilla	-
	Quiché	Fruto	-
		Cascarilla	-
Planta piloto	Alta Verapaz	Fruto	0.2736 ± 0.0244
		Cascarilla	0,2004 ± 0,0072
	Quiché	Fruto	0,4786 ± 0,1974
		Cascarilla	-

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

Así mismo, en la Tabla 3, se puede apreciar los valores del índice de refracción. Este, es un valor que relaciona la velocidad de la luz en el vacío y la velocidad en el medio dado, a nivel laboratorio, el aceite esencial de cascarilla proveniente de Alta Verapaz, cuenta con mayor índice de refracción.

**Tabla 3**

*Índice de refracción del aceite esencial de cardamomo pergamino de tercera calidad y cascarilla (Elettaria cardamomum L. Matton) a nivel laboratorio y planta piloto*

Nivel	Departamento	Parte de la planta	Índice de refracción (adimensional)
Laboratorio	Alta Verapaz	Fruto	1,473 ± 2,540E - 05
		Cascarilla	1,506 ± 5,764E - 04
	Quiché	Fruto	1,426 ± 0,00145
		Cascarilla	1,477 ± 2,540E - 05
Planta piloto	Alta Verapaz	Fruto	1,4719 ± 6,05E - 04
		Cascarilla	1,504 ± 2,540E - 05
	Quiché	Fruto	1,425 ± 0,00234
		Cascarilla	1,504 ± 5,080E - 05

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

El 1,8-cineol es uno de los compuestos mayoritarios del aceite esencial de cardamomo, se le atribuye distintas aplicaciones, la más conocida está ser un descongestionante y expectorante en contra de infecciones respiratorias. Se evaluó el contenido de 1,8-cineol (eucaliptol), en el aceite esencial de cardamomo, realizando una GC-MS, que permitió conocer la composición química de cada aceite esencial obtenido, de esta manera se obtuvo un cromatograma que es el resultado de la descomposición química, para distintos tiempos de retención, para la detección en el espectro de masa a través de picos y realizar una cuantificación por integración de áreas, y el mayor porcentaje de área, lo tendrá el compuesto mayoritario.

El aceite esencial de cascarilla proveniente de Alta Verapaz, a nivel laboratorio contiene un porcentaje mayor. Su olor característico es mucho más fuerte que el de las demás muestras de aceite esencial. El aceite esencial de cascarilla proveniente de Quiché, contiene un porcentaje mayor respecto a los demás, y su olor característico es mucho más perceptible en el ambiente.

La cromatografía de gases acoplada a espectrometría de masas, permite confirmar que no importa el método de extracción, el contenido será casi igual. En la Tabla 4 se puede apreciar los valores obtenidos del contenido de eucaliptol obtenidos.

**Tabla 3.**

*Contenido de 1,8-cineol (eucaliptol) en el aceite esencial de cardamomo (Elettaria cardamomum L. Matton) a nivel laboratorio y planta piloto*

Nivel	Departamento	Parte de la planta	Contenido (% área)
Laboratorio	Alta Verapaz	Fruto	18,49
		Cascarilla	20,08
	Quiché	Fruto	17,99
		Cascarilla	18,62
Planta piloto	Alta Verapaz	Fruto	16,88
		Cascarilla	19,92
	Quiché	Fruto	18,02
		Cascarilla	17,53

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

## Conclusiones

1. Se evaluó el rendimiento de extracción de aceite esencial en función del nivel de obtención, proveniente de Alta Verapaz y Quiché. Se proyectó que sí hay una diferencia significativa en el aceite esencial obtenido a nivel laboratorio y planta piloto.
2. Se determinó que sí existe diferencia significativa en el rendimiento de extracción másico del material vegetal proveniente de Alta Verapaz y Quiché, en función de la calidad del cardamomo: tercera calidad y cascarilla.
3. Existe una diferencia significativa en la caracterización fisicoquímica del aceite esencial de cardamomo, con base en el índice de refracción, solubilidad y densidad en función de la región de procedencia de la materia prima: Alta Verapaz y Quiché a nivel laboratorio y planta piloto.
4. Existe una diferencia significativa en la caracterización fisicoquímica del aceite esencial de cardamomo, con base en el índice de refracción, solubilidad y densidad en función de la región de procedencia de la materia prima: Alta Verapaz y Quiché a nivel laboratorio y planta piloto.
5. Se caracterizó fisicoquímicamente el aceite esencial de cardamomo con base en el índice de refracción, solubilidad y densidad, en función del tipo de subproducto del beneficiado del cardamomo: cardamomo de tercera calidad y cascarilla a nivel laboratorio y planta piloto. Reflejando, que sí existe diferencia significativa en la caracterización realizada, sin embargo, la densidad es una propiedad que no se ve afectada por la calidad de la materia prima.
6. El contenido de 1,8-cineol del aceite esencial de cardamomo, en función de la región de procedencia de la materia prima, la cual para Alta Verapaz es de 18,49 % en nivel laboratorio y 16,88 % en nivel planta

piloto, para Quiché es de 17,99 % en nivel laboratorio y 18,02 % en nivel planta piloto.

7. El eucaliptol contenido en el aceite esencial de cardamomo, en función del tipo de subproducto del beneficiado del cardamomo, cascarilla es de 20,08 % para nivel laboratorio y 19,92 % para nivel planta piloto procedente de Alta Verapaz y 18,62 % para nivel laboratorio y 17,53 % para nivel planta piloto procedente de Quiché.

## Recomendaciones

1. Desarrollar un estudio de investigación para la extracción de aceite esencial de cardamomo, obtenida a nivel laboratorio, utilizando materia prima sana y materia prima infestada con trips.
2. Realizar un estudio de investigación con extracciones de aceite esencial de cardamomo, oro a nivel laboratorio y nivel planta piloto, para realizar una comparación con este estudio.
3. Elaborar un estudio de investigación de extracción de aceite esencial de cardamomo, con el método de extracción con fluidos supercríticos.
4. Efectuar un estudio del aceite esencial de cardamomo, del primer corte con el segundo corte de la cosecha para ver la eficiencia en la extracción de aceite esencial que existe.
5. Hacer extracciones de aceite esencial de cardamomo, con trampa de hexano a nivel laboratorio para lograr una comparación con este estudio.

## Referencias bibliográficas

- Ayala, X., & Murillo, H. (2015). Procesamiento, caracterización y extracción del aceite esencial de cardamomo (*Elettaria Cardamomum*) Enfocado en la Industria [Universidad de Guayaquil]. <http://repositorio.ug.edu.ec/bitstream/redu g/18916/1/TESIS%20XIMENITA.pdf>
- Espina, M. (2014). Evaluación del rendimiento extractivo y caracterización fisicoquímica del aceite esencial de cardamomo (*Elettaria cardamomum L. Matton*) de primera, segunda y tercera calidad mediante el método de hidrodestilación a escala laboratorio [Universidad de San Carlos Guatemala]. [http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08\\_1434\\_Q.pdf](http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_1434_Q.pdf)
- Gil, E. (2000). Diseño y montaje de un equipo para la extracción de aceites esenciales, a escala piloto. Revista Facultad de Ingeniería - Universidad de Antioquia, 55–72.
- Gil, E., & Sáez, A. (2000). Obtención de aceite esencial de cardamomo. Revista Universidad EAFIT, 15–21. <https://publicaciones.eafit.edu.co/index.php/revista-universidad-eafit/article/view/1031>

## *Agradecimientos*

Los autores de este trabajo agradecen al Laboratorio de Investigación de Extractos Vegetales -LIEXVE-, de la Sección de Química Industrial del Centro de Investigaciones de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, también al Laboratorio de Investigación de Productos Naturales -LIPRONAT- y al Laboratorio de Análisis Físicoquímicos y Microbiológicos -LAFYM-, Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia, Universidad de San Carlos de Guatemala.

### **Mirna Liseth Álvarez Véliz**

Ingeniera Química de la Facultad de Ingeniería.

### **Telma Maricela Cano Morales**

Ingeniera Química, Directora del Centro de Investigaciones de Ingeniería, CII-USAC, Profesora titular X de los cursos de Química General 1 y 2.

### **Mario José Mérida Meré**

Ingeniero Químico, Coordinador del Laboratorio de Investigación de Extractos Vegetales - LIEXVE - CII - USAC, Profesor Investigador Titular Escuela de Ingeniería Química, Docente de los cursos Extracciones Industriales, Seminario de Investigación de Ingeniería Química e Ingeniería Ambiental.

### **Renato Paolo Cisneros Quiñónez**

Bachiller en Ciencias y Letras con orientación en Computación, Auxiliar de Investigación, Laboratorio de Investigación de Extractos Vegetales -LIEXVE-

*Universidad de San Carlos de Guatemala*  
Facultad de Ingeniería

Centro de Investigaciones de Ingeniería

**Comité Editorial CII**

correo electrónico: [comite.editorialcii@gmail.com](mailto:comite.editorialcii@gmail.com)

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

Campus Central zona 12, Código Postal 01012

Teléfono: (502) 2418-9121 y 2418-9115

Guatemala, Ciudad

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

Página electrónica: Centro de Investigaciones de Ingeniería

Edición

Centro de Investigaciones de Ingeniería

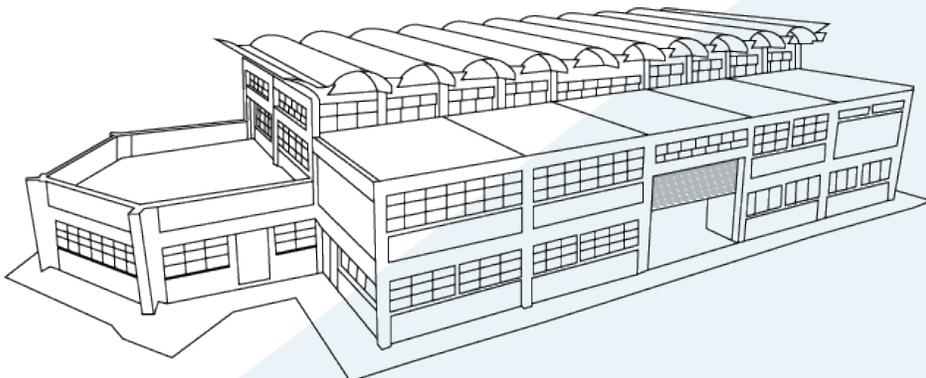
Diseño y Diagramación

Licenciada Mónica Paola Girón Castro CICON-CII

La Revista Científica Fortaleciendo la Investigación

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

Año MMXXIII



## 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 directamente 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 20, No. 1, 2023 ISSN 1993-3711 y en línea 1993-372X



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