

Informe final proyecto de investigación 2022

Dirección General de Investigación –DIGI-

Programa Universitario de Investigación en Ciencias Básicas

(nombre del programa universitario de investigación de la Digi)

Identificación de flavonoides y evaluación del rendimiento de extracción de aceite esencial/hidrolato por arrastre de vapor, en cáscara de cardamomo.

nombre del proyecto de investigación

4.8.15.078

Partida presupuestaria

DES4CU-2022

código del proyecto de investigación

Centro Universitario del Norte, Instituto de Investigación y Tecnología de Ingeniería CUNOR, ITIC

unidad académica o centro no adscrito a unidad académica avaladora

Karen Elizabeth Vásquez Villeda (Coordinadora)

Analucía Paz Coy (Auxiliar de investigación)

nombre del coordinador del proyecto y equipo de investigación contratado por Digi

Cobán, Alta Verapaz, 09-02-2023

lugar y fecha de presentación del informe final dd/mm/año

Autoridades

Dra. Alice Burgos Paniagua

Directora General de Investigación

Ing. Agr. MARN Julio Rufino Salazar

Coordinador General de Programas

Ing. Agr. MARN Julio Rufino Salazar

Coordinador Programa Universitario de Investigación en Ciencias Básicas

Autores

Máster Karen Elizabeth Vásquez Villeda

Coordinadora

Analucía Paz Coy

Auxiliar de investigación II

Universidad de San Carlos de Guatemala, Dirección General de Investigación (Digi), 2022. El contenido de este informe de investigación es responsabilidad exclusiva de sus autores.

Esta investigación fue cofinanciada con recursos del Fondo de Investigación de la Digi de la Universidad de San Carlos de Guatemala a través de la partida presupuestaria DES4CU-2022 en el Programa Universitario de Investigación en Ciencias Básicas.

Los autores son responsables del contenido, de las condiciones éticas y legales de la investigación desarrollada.



Universidad de San Carlos de Guatemala
Dirección General de Investigación



1 Índice general (incluir índice de tablas y figuras)

1	Índice general (incluir índice de tablas y figuras)	3
2	Resumen y palabras claves	7
3	Introducción	8
4	Planteamiento del problema	9
5	Delimitación en tiempo y espacio	10
5.1	Delimitación en tiempo	10
5.2	Delimitación espacial	10
6	Marco teórico	11
6.1	Aceites esenciales	11
6.2	Cardamomo	12
6.3	Elettaria Cardamomum	13
6.4	Hidrolatos	14
6.5	Flavonoides	14
6.6	Prueba de Shinoda	15
7	Estado del arte	16
8	Objetivos (generales y específicos aprobados en la propuesta)	17
8.1	General	17
8.2	Específicos	17

9	Hipótesis (si aplica)	17
9.1	<u>Hipótesis nula</u>	17
9.2	<u>Hipótesis alternativa</u>	17
10	Materiales y métodos (enfoque, métodos, recolección de información, técnicas e instrumentos, procesamiento y análisis de la información)	18
10.1	<u>Enfoque de la investigación</u>	18
10.2	<u>Método</u>	18
10.3	<u>Recolección de información</u>	23
10.4	<u>Técnicas e instrumentos</u>	29
10.5	<u>Operacionalización de las variables o unidades de análisis</u>	30
10.6	<u>Procesamiento y análisis de la información</u>	32
11	<u>Resultados y discusión</u>	40
11.1	<u>Resultados</u>	40
11.2	Discusión de resultados	42
11.3	<u>Conclusiones</u>	44
12	Referencias	44
13	Apéndice	51
14	Aspectos éticos y legales (si aplica)	53
15	Vinculación	53
16	Estrategia de difusión, divulgación y protección intelectual	53
17	Aporte de la propuesta de investigación a los ODS:	54
18	Orden de pago final (incluir únicamente al personal con contrato vigente)	54
19	Declaración del Coordinador(a) del proyecto de investigación	54
20	Aval del Director(a) del instituto, centro o departamento de investigación o Coordinador de investigación del centro regional universitario	55

Índice de tablas

<u>Tabla 1: Compuestos químicos presentes en semilla de cardamomo, utilizando extracción por fluidos supercríticos.</u>	13
<u>Tabla 2: Selección de muestras para determinar cantidad de cáscara obtenida.</u>	19
<u>Tabla 3: Porcentajes obtenidos de la selección de muestras.</u>	19
<u>Tabla 4: Muestras de cáscara para determinar el porcentaje de humedad.</u>	20
<u>Tabla 5: Parámetros establecidos para el horneado de la cáscara de cardamomo.</u>	20
<u>Tabla 6: Parámetros establecidos para el trabajo en el equipo de extracción.</u>	21
<u>Tabla 7: Parámetros Establecidos para la Detección de Flavonoides.</u>	22
<u>Tabla 8: Análisis de varianza.</u>	23
<u>Tabla 9: Tratamientos a realizar con dos factores.</u>	24
<u>Tabla 10: Factores aplicados a cada repetición en el horno con T1.</u>	24
<u>Tabla 11: Información obtenida de las repeticiones en el equipo de extracción a T1.</u>	25
<u>Tabla 12: Factores aplicados a cada repetición en el horno con T2.</u>	26
<u>Tabla 13: Información Obtenida de las Repeticiones en el Equipo de Extracción a T2.</u>	27
<u>Tabla 14: Prueba de extracción de aceite con pergamino.</u>	27
<u>Tabla 15: Pruebas realizadas con cáscara para determinar la presencia de flavonoides.</u>	28
<u>Tabla 16: Técnicas e instrumentos utilizados en proceso de extracción de aceite esencial y flavonoides de cáscara de cardamomo.</u>	29
<u>Tabla 17: Operacionalización de las variables o unidades de análisis.</u>	30
<u>Tabla 18: Resultados del índice de refracción y la densidad del hidrolato obtenido con T1.</u>	34
<u>Tabla 19: Resultados del índice de refracción y densidad del hidrolato obtenido con T2.</u>	35
<u>Tabla 20: Resumen de análisis de los resultados de extracción de Hidrolato con T1 y T2.</u>	37
<u>Tabla 21: Análisis de varianza de los resultados de extracción de Hidrolato con T1 y T2.</u>	37
<u>Tabla 22: Valores para prueba de Tukey para hidrolato de T1 y T2</u>	38
<u>Tabla 23: Prueba de Tukey para hidrolato de T1 y T2</u>	38
<u>Tabla 24: Resumen de análisis de los resultados de extracción de Aceite con T1 y T2.</u>	39

Tabla 25: Análisis de varianza de los resultados de extracción de Aceite con T1 y T2.	39
Tabla 26: Porcentajes de hidrolato y aceite obtenido con T1 y T2.	40
Tabla 27: Resultados de cromatografía de gases para muestras de aceite.	41

Índice de figuras

Figura 1 : Estructura química de monoterpenos.	11
Figura 2: Estructura química de terpenos.	12
Figura 3: Cáscara de cardamomo.	12
Figura 4: Estructuras de moléculas aromáticas presentes en hidrolatos.	14
Figura 5: Estructura General de Flavonoides.	15
Figura 6: Prueba de Shinoda.	16
Figura 7: Esquema del proceso para obtención de aceite esencial y flavonoides en cáscara de cardamomo.	18
Figura 8: Muestra CC Obtenida durante el Ensayo de Shinoda.	28
Figura 9: Comportamiento del tiempo de residencia con cáscara a T1 y T2.	32
Figura 10: Comportamiento de el Volumen de Hidrolato con Cáscara a T1 y T2.	33
Figura 11: Comportamiento de volumen de aceite con cáscara a T1 y T2.	33
Figura 12: Gráfica de Índice de refracción para las Repeticiones de T1 y T2.	35
Figura 13: Gráfica de Densidad para las Repeticiones de T1 y T2.	36
Figura 14: Identificación de flavonoides en cáscara de cardamomo.	42
Figura 15: Proceso de extracción de aceite esencial e hidrolato.	51
Figura 16: Medición de índice de refracción.	51
Figura 17: Desarrollo de ensayo de Shinoda.	52
Figura 18: Muestras de aceite analizadas por cromatografía de gases.	53

2 Resumen

Se han realizado investigaciones para convertir los residuos en opciones alternativas de materia prima. Guatemala se encuentra entre los mayores productores de cardamomo a nivel mundial y sus residuos al producir cardamomo en oro son del 46.15% en peso seco. El principal producto que se obtiene del cardamomo es el aceite esencial, que se utiliza en industrias farmacéuticas porque contiene fitonutrientes y vitaminas que actúan como antioxidantes; industrias alimenticias por su aroma y sabor. Es por ello que, se ve la importancia de determinar si es posible obtener aceite esencial e hidrolato con las mismas características o similares de la cáscara de cardamomo, controlando la temperatura de secado para que estas propiedades puedan ser aprovechadas.

En la investigación se utilizó diseño experimental con dos temperaturas y 10 réplicas cada una, los parámetros seleccionados fueron: cantidad de cáscara, tiempo de residencia, temperatura de extracción, tiempo de horneado, temperatura de horneado y componentes químicos de aceite. Los resultados experimentales se analizaron por medio de análisis de varianza usando un 95% de confianza. Para el análisis de componentes químicos presentes en aceite esencial extraído de cáscara, se utilizó metodología de inyección directa por cromatografía de gases con detector de masas utilizando 1 μ L de fase oleosa. Se determinó que hay presencia de aceite esencial y la temperatura óptima de extracción es de 90°C con un tiempo de residencia de 1.8 horas. Se determinó presencia de flavonoides por medio del ensayo de Shinoda. Los componentes químicos encontrados en mayor cantidad fueron α -terpenil-acetato y 1,8-Cineol.

Palabras claves: parámetros, cáscara, Shinoda, secado, industrias.

Abstract and keyword

Research has been done to convert waste into alternative raw material options. Guatemala is among the largest cardamom producers worldwide. The residues obtained when acquiring cardamom

in gold are 46.15% in dry weight. The main product obtained from cardamom is the essential oil, which is highly valued in pharmaceutical industries because it contains phytonutrients and vitamins that act as antioxidants; food industries for its aroma and flavor. That is why it is important to determine if it is possible to obtain essential oil and hydrosol with the same or similar characteristics of the cardamom shell, controlling the drying temperature so that these properties can be used.

In the investigation, an experimental design was used with two temperatures and 10 replicates each, the selected parameters were: amount of shell, residence time, extraction temperature, baking time, baking temperature and chemical components of oil. The experimental results were analyzed by means of analysis of variance using 95% confidence. For the analysis of chemical components present in essential oil extracted from the shell, direct injection methodology was used by gas chromatography with a mass detector using 1 μ L of oily phase. It was determined that there is the presence of essential oil and the optimum extraction temperature is 90°C with a residence time of 1.8 hours. The presence of flavonoids was determined by means of the Shinoda assay. The chemical components found in greater quantity were α -terpenyl-acetate and 1,8-Cineole

Key words: parameters, shell, Shinoda, drying, industries.

3 Introducción

El cardamomo se estableció como el tercer producto más importante de las exportaciones guatemaltecas, desplazando al café y azúcar (Diario de Centroamérica, 2020). La exportación de cardamomo se realiza en oro, pergamino y en cerezo. Debido a la alta demanda del producto, se está generando grandes cantidades de cáscara al exportar cardamomo en oro; dicho residuo no es aprovechado y se desea buscar alternativas que permitan encontrarle un uso adecuado a este desecho.

En las fincas cardamomeras ubicadas en la región de Alta Verapaz, utilizan secadores artesanales sin tener control de temperaturas de secado, lo cual puede ocasionar la volatilización de componentes químicos hacia la cáscara de cardamomo; reduciendo de esta forma, la cantidad y calidad de aceite esencial obtenido de cardamomo en oro. Según Wang y colaboradores (2021) “las muestras secadas a menos de 55°C tienen mayor rendimiento de aceite y al usar temperaturas de 85°C en adelante, tienen un bajo rendimiento de aceite” (p. 97). Es por ello que, se ve la importancia

de determinar si es posible obtener aceite esencial e hidrolato con las mismas características o similares de la cáscara de cardamomo, controlando la temperatura de secado para que estas propiedades puedan ser aprovechadas.

Existen diferentes métodos de extracción de aceite esencial entre ellos: enfleurage, extracción con solventes, extracción por prensado, hidrodestilación, extracción por arrastre con vapor, extracción por fluidos supercríticos (Véliz-Jaime et al., 2019). Para extraer aceite esencial de la cáscara se utilizó el método de arrastre por vapor debido a la pureza y calidad del aceite que puede obtenerse con este método. Se utilizaron dos temperaturas y tiempo de residencia en caldera para determinar los parámetros óptimos para mayor rendimiento en extracción. La calidad del hidrolato extraído de la cáscara de cardamomo se determinó por medio de índice de refracción y densidad; mientras que la calidad del aceite esencial se determinó con el análisis de cromatografía de gases-masas para caracterizar y cuantificar compuestos químicos. Para identificar flavonoides en cáscara de cardamomo se utilizó el ensayo de Shinoda.

La presente investigación tuvo como objetivo principal determinar que la cáscara de cardamomo posee aceite esencial, hidrolato y flavonoides. La extracción de aceite esencial de pergamino es de los más cotizados en la industria cosmética, alimenticia y farmacéutica, debido a los compuestos bioactivos que son potenciales antioxidantes y antibacterianos (Abdullah et al., 2021). Los aceites esenciales obtenidos de pergamino de cardamomo tienen beneficios antivirales, anticancerígenos, antidiabéticos, antiinflamatorios, gastroprotectoras entre otros (Ashokkumar et al., 2019).

4 Planteamiento del problema

Tomando en cuenta que el cardamomo es de los mayores productos de exportación de Guatemala a tal punto que, la exportación de cardamomo en Guatemala registró un crecimiento del 75.4% durante el año 2020 en comparación con el año 2019 (Diario de Centroamérica, 2021, p. 10); y que el departamento de Alta Verapaz es de los mayores productores de cardamomo en el país, se identifica la importancia de desarrollar una investigación en relación a este producto.

Durante el proceso de la preparación del pergamino para la exportación, que consiste principalmente en la separación de pergamino, oro y cáscara de cardamomo, los productores consideran la cáscara como un residuo y generalmente se desecha ya que no tiene un fin comercial,

por esta razón buscan una solución para aprovechar el residuo obtenido durante el proceso; pues se sabe que “se obtiene un 46.15% de peso en cáscara al adquirir pergamino” (Vásquez et al., 2020, p. 2). Debido a que el cardamomo es un producto muy valioso en la industria alimenticia, cosmética y farmacéutica, y se obtiene bastante residuo del proceso del pergamino, se requiere determinar si en la cáscara de cardamomo obtenida después del proceso aún contiene porcentaje de aceite esencial que puede ser extraído; así mismo, determinar el porcentaje de hidrolato que se puede adquirir, esto con el fin de aprovechar el residuo y convertirlo en insumos para otras industrias. También se identificará si la cáscara de cardamomo posee flavonoides y así poder tener otra alternativa de reutilización para este residuo.

En la actualidad, se enfocan en la extracción de aceite esencial de pergamino de cardamomo por distintos métodos; sin embargo, no hay información sobre extracciones o algún proceso que se realice con la cáscara después del proceso de obtención de pergamino. Por ello, se pretende realizar extracciones a la cáscara de cardamomo para determinar si esta tiene alguna utilidad que pueda ser aprovechada.

Para determinar la calidad de aceite esencial e hidrolato extraído de la cáscara de cardamomo previamente secada a distintas temperaturas, se realizará un análisis fisicoquímico y se comparará el resultado con los valores obtenidos de la extracción de pergamino de cardamomo para comparar las propiedades que estos tengan.

5 Delimitación en tiempo y espacio

1.9 Delimitación en tiempo

La investigación inició en el mes de abril de 2022 y culminó en el mes de diciembre del mismo año.

5.9 Delimitación espacial

La cáscara de cardamomo que se utilizó en la investigación, se obtuvo de beneficios de cardamomo ubicados en Cobán, Alta Verapaz. Así mismo, las actividades acordes a la investigación se realizaron en las instalaciones del Instituto de Investigación y Tecnología de Ingeniería CUNOR y Laboratorio de INLASA Guatemala.

6 Marco teórico

1.9 Aceites esenciales

“Son fracciones líquidas volátiles, que generalmente son mezclas homogéneas de hasta 100 compuestos químicos orgánicos” (Briones-Sornoza & Guerrero-Intriago, 2019, p. 15). Los aceites esenciales son muy utilizados en la industria de alimentos, industria cosmética e industria farmacéutica; debido a las propiedades fisicoquímicas que posee como aroma, antioxidantes, etc.

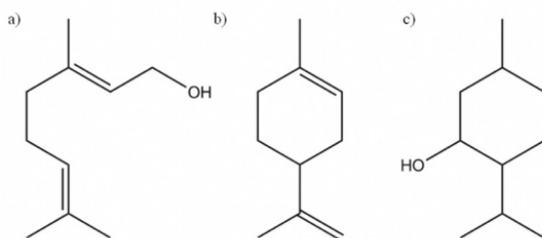
Calvachea, Rodríguez y Troyaa (2018) especifican que “las composiciones de aceites esenciales abarcan dos grandes grupos, el primero, que se encuentra constituido por compuestos no terpenoides y el segundo grupo formado por compuestos terpénicos” (p. 205).

Los terpenos tienen “amplia actividad bacteriana, antifúngica y antiprotosoaria. Estos compuestos son los responsables de dar el aroma característico de las plantas” (Pérez-Palma et al., 2019, p. 2.).

En las Figuras 1 y 2, se encuentran las estructuras de monoterpenos.

Figura 1

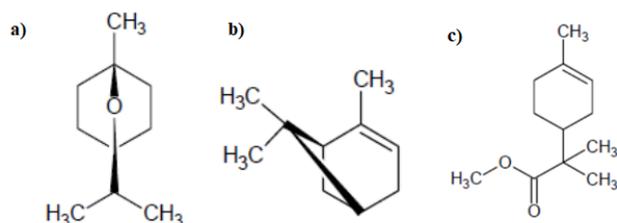
Figura 1 : Estructura química de monoterpenos.



Nota. a) Geraniol, b) Limoneno, c) Mentol. Fuente (Pérez-Palma et al., 2019, p. 6).

Figura 2

Figura 2: Estructura química de terpenos.



Nota. a) Eucaliptol, b) α -pineno, c) α -terpinilo. Fuente (Espina, 2014, p. 26).

6.9 Cardamomo

“El cardamomo es una gran monocotiledónea herbácea rizomatosa, perenne, perteneciente a la familia Zingiberaceae” (Ravindran, 2002, p.1). El cardamomo es cultivado en diversas regiones que tienen bosques siempre verdes húmedos, entre los países que lo cultivan se encuentra Guatemala.

El cardamomo comercial es el fruto maduro seco (cápsulas) y es lo que se encuentra dentro de la cáscara y es la mayor fuente del aroma y las propiedades químicas que este contiene.

Figura 3

Figura 3: Proceso de obtención de cáscara de cardamomo



Nota. La imagen fue tomada en Instituto de Investigación y Tecnología de Ingeniería CUNOR.

6.3 *Elettaria cardamomum*

Pertenece al género *Elettaria* y la especie *cardamomum* (Maton). “El nombre del género se deriva de la raíz tamil *Elettari*, que significa semillas de cardamomo”(Ravindran, 2002, p.1).

Es una planta que se consiste en un grupo de tallos, dentro de los cuales hay tallos productivos que no llegan a crecer más de 1 m y en ellos se producen las llamadas cerezas, que es donde se encuentra la semilla y luego del secado se convierte en pergamino. “El fruto es una cápsula de aproximadamente 8.5 mm de diámetro y adentro contiene entre 15 a 20 semillas” (De Paz, 2009; Deulofeu, 2006). En la Tabla 1, se incluye un listado de los compuestos químicos que se encuentran en la semilla de esta variedad de cardamomo.

Tabla 1

Tabla 1: Compuestos químicos presentes en semilla de cardamomo, utilizando extracción por fluidos supercríticos.

Extracción por fluidos supercríticos		
Aceite esencial de Cardamomo		
Compuestos químicos		
n-nonane	limonene	terpin-4-ol
tricyclene	1,8-cineole	m- α -terpineol
α -pinene	(E)- β -ocimene	α -terpineol
sabinene	γ -terpinene	linalyl acetate
β -pinene	cis-sabinene hydrate	geranial
myrcene	terpinolene	α -terpenyl acetate
n-octanal	ρ -cymenene	geranyl acetate
α -phellandrene	linalool	(E)-nerolidol
α -terpinene	cis-pmenth-2-en-1-ol	triacontane
ρ -cymene	ρ -mentha-1,5-dien-8-ol	tetratriacontane

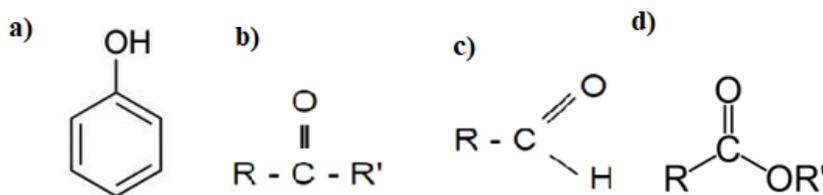
Nota. Adaptado de “1,8-cineol-rich cardamom seed (*Elettaria cardamomum*) extracts using green technologies and conventional extractions: Process analysis, phytochemical characterization, and food application, 2015, p. 1983.

6.10 Hidrolatos

Se puede indicar que los hidrolatos se obtienen a partir de realizar extracciones de aceites esenciales por arrastre de vapor. Los hidrolatos presentan actividad antioxidante (Belabbes et al., 2017, p. 1). La mayoría de las moléculas aromáticas del hidrolato poseen propiedades antisépticas, antioxidantes, regeneradoras y tonificantes. Entre las moléculas más comunes se encuentran los fenoles, alcoholes, cetonas, aldehídos, terpénicos, óxidos, aromáticos, ésteres, etc.

Figura 4

Figura 4: Estructuras de moléculas aromáticas presentes en hidrolatos.



Nota. a) Fenol, b) cetona, c) aldehído, d) éster. Fuente (Timberlake, p. 478.)

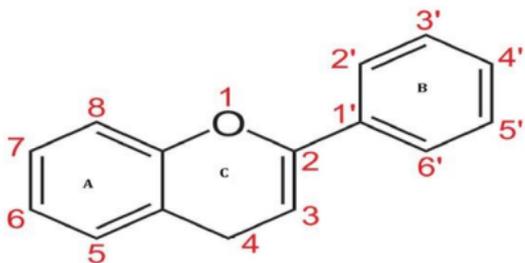
6.11 Flavonoides

Son nutrientes que se encuentran presentes en las verduras, frutas o vegetales que consumimos, ellos principalmente se encargan de brindar los colores que poseen cada uno de estos alimentos, en la Figura 5 se muestra la estructura general de estos compuestos. En relación a la salud humana, el consumo de estos nutrientes trae beneficios al sistema inmunológico aportando antioxidantes con propiedades antiinflamatorias; además de estar relacionados a la prevención del cáncer y de enfermedades cardiovasculares. “Son compuestos fenólicos presentes ampliamente en la naturaleza y son responsables del buen funcionamiento de las plantas y cuyos beneficios para la salud humana han sido bien reconocidos en varios estudios” (Soto, 2015, p. 106).

Guevara-Fefer y colaboradores (2017) especifican que “los flavonoides son compuestos de naturaleza fenólica y se caracterizan por su fuerte actividad antioxidante, propiedad importante que se aprovecha de las plantas para proteger a los organismos de los radicales libres” (p. 187).

Figura 5

Figura 5: Estructura General de Flavonoides.



Nota. 15 átomos de carbono con dos anillos de benceno unidos por una cadena lineal de tres carbonos. Fuente (Pacheco, Peraza & Pinto, 2021, p. 109).

Cromatografía de gases-masas: es una técnica que combina la capacidad de separación que presenta la cromatografía de gases con la sensibilidad y capacidad selectiva del detector de masas. Es una técnica indicada para la separación de compuestos orgánicos volátiles y semivolátiles (Montiel & Ramírez, 2017,).

6.12 Prueba de Shinoda

Para la identificación de flavonoides en los extractos, existen varios métodos que pueden aplicarse, por ejemplo, de carácter cualitativo se cuenta con el ensayo de Shinoda o cromatografía de capa delgada. También existe una prueba de análisis cuantitativo que es por espectrofotometría UV-V. De los tres métodos mencionados anteriormente, los cualitativos son los más sencillos de realizar permitiendo detectar la presencia de los flavonoides al darse una reacción de coloración. Considerando lo anterior y la disponibilidad de lo necesario en el laboratorio, se determinó utilizar el ensayo de Shinoda.

El ensayo de Shinoda se puede indicar que es una prueba cualitativa que permite determinar presencia de flavonoides en un extracto. “En soluciones acuosas o alcohólicas esta prueba toma un color rojizo, indicando la presencia de flavonoides” (Monedero, 2016). Es generalmente utilizado

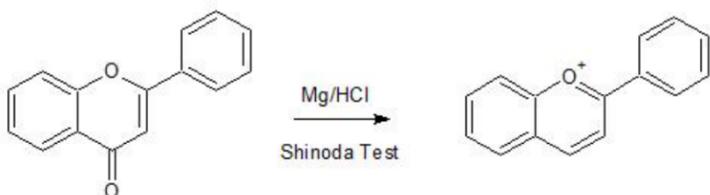
con extractos vegetales permitiendo detectar los flavonoides con el cambio de color, si existe una coloración amarilla, anaranjada o roja es porque el ensayo es positivo, lo que indica que si hay flavonoides presentes.

Se establecieron los siguientes pasos para poder desarrollar este ensayo:

- Preparar el extracto dejando reposar el sólido (en este caso la cáscara) con etanol al 99% por 30 minutos.
- Filtrar para obtener el extracto.
- Colocar en un tubo de ensayo 3 ml del extracto.
- Agregar 2 cintas de magnesio al tubo de ensayo
- Agregar 1 ml de HCL concentrado al tubo de ensayo y dejar reposar 5 minutos.
- Por último, agregar 1 ml de alcohol amílico al tubo de ensayo y esperar a ver si existe una reacción de coloración.

Figura 6

Figura 6: Prueba de Shinoda.



Nota. el color anaranjado-rojo y precipitado es indicador de que la prueba de Shinoda es positiva (Leyva-Acuña y colaboradores, 2020, p. 104).

7 Estado del arte

En los últimos años se han realizado investigaciones sobre extracciones de aceite esencial y flavonoides en distintas cáscaras, buscando el mejor método para obtener mayor rendimiento de extracción de aceites esenciales ricos en componentes químicos de monoterpenos, fenólicos, otros. En el año 2020 realizaron un estudio de extracción de compuestos fenólicos de cáscara de Sacha Inchi, en el cual demostraron que la “cáscara es una fuente prometedora de compuestos naturales fenólicos” (Sanchez-Reinoso et al., 2020, p. 1-43), usando el método de extracción asistida por

microondas. En el año 2021 se realizó estudio usando distintos métodos de extracción de aceite en cardamomo grande o negro, tales como: acuosa, maceración en frío, extracción continua en Soxhlet, en el cual determinaron “que el cardamomo grande es una buena fuente de todos los constituyentes bioactivos, así como de fenol y flavonoides” (Kanthlal y colaboradores, 2021, p. 34), También en la industria de cacao se realizó evaluación sobre la cinética de extracción de flavonoles totales, mediante extracción líquida presurizada, donde determinaron que “la extracción de flavonoles mejoró al aumentar la temperatura y el tiempo de extracción” (Okiyama et al., 2018, p. 20-29), encontrando de ésta forma un modelo de optimización en extracción sólido-líquido. En el año 2022 realizaron proceso de extracción de aceite a cardamomo de Java que pertenece a la familia Zingiberaceae, en la cual compararon los efectos de los diferentes métodos de extracción, entre ellos: extracción asistida por microondas, asistidas por ultrasonido, en donde determinaron que “el aceite contenía un alto contenido de fenoles y flavonoides al usar el método de extracción asistida por microondas”(Waras y colaboradores, 2022, p. 2). Otro estudio importante es “Comparación de aceite esencial de hinojo (*Foeniculum vulgare* Miller) extraído mediante métodos de arrastre a vapor y soxhlet” (Aguilar & Huaraca, 2020, p. 43-47) donde se determinó que el mejor método para extracción de aceite de esta semilla fue soxhlet. También se realizó investigación de extracción de aceite de semilla *Paeonia lactiflora*, donde se usó método de extracción con fluido supercrítico, determinando que “los aceites extraídos contenían alto contenido de flavonoides y polifenoles” (Nie et al., 2020).

8 Objetivos (generales y específicos aprobados en la propuesta)

1.9 General

Determinación del rendimiento de extracción de hidrolato, aceite esencial e identificación de flavonoides presentes en cáscara de cardamomo.

8.9 Específicos

1. Determinar el porcentaje de hidrolato y aceite esencial que posee la cáscara de cardamomo.
2. Identificar y cuantificar parámetros fisicoquímicos de aceite esencial extraído de cáscara de cardamomo.

3. Identificar la presencia de flavonoides en cáscara de cardamomo.
4. Establecer condiciones óptimas para mayor rendimiento de extracción de hidrolato y aceite esencial.

9 Hipótesis (si aplica)

1.9 Hipótesis nula

La cáscara de cardamomo no posee ningún porcentaje de aceite esencial ni hidrolato; y tampoco flavonoides.

9.9 Hipótesis alternativa

La cáscara de cardamomo posee aceite esencial, hidrolato y flavonoides.

10 Materiales y métodos (enfoque, métodos, recolección de información, técnicas e instrumentos, procesamiento y análisis de la información)

1.9 Enfoque de la investigación

El enfoque de la investigación fue cuantitativo, se considera cuantitativo por la obtención de valores para cada una de las extracciones. El tipo de investigación fue experimental porque se controlaron las variables independientes.

10.9 Método

Para el desarrollo de esta investigación, se tienen establecidos una serie de pasos que permitirán cumplir los objetivos planteados. Inicialmente se preparó la cáscara de cardamomo que se utilizó para la extracción, seguido de la extracción de aceite e hidrolato y almacenamiento de la muestra de cada una de las repeticiones, se determinó la calidad del hidrolato para cada repetición, se prepararon las muestras para el análisis por cromatografía gaseosa y por último se realizó el método para la detección de flavonoides en el extracto de la cáscara de cardamomo.

En la Figura 7, se muestra un esquema de los pasos, que más adelante se describe el proceso que se realiza en cada uno.

Figura 7

Figura 7: Esquema del proceso para obtención de aceite esencial y flavonoides en cáscara de cardamomo.



Preparación de muestra: la materia prima fue previamente seleccionada y se procedió a tomar tres muestras para determinar el porcentaje de humedad en la cáscara y la cantidad de cáscara útil obtenida de una libra del costal. Luego de la selección, se procedió a secar la cáscara por 24 h, este proceso se realizó con dos temperaturas, la primera a 70°C y la segunda a 90°C. Se utilizó la cáscara recién salida del horno en el equipo de extracción.

Tabla 2

Tabla 2: Selección de muestras para determinar cantidad de cáscara obtenida.

Muestra	Masa total (g)	Masa de cáscara	Masa de basura	Desperdicio (g)
---------	----------------	-----------------	----------------	-----------------

Informe final proyecto de investigación 2022

Dirección General de Investigación –DIGI-

		(g)	(g)	
1	481.51	338.95	134.65	7.91
2	453.59	298.42	147.92	7.25
3	478.53	320.22	151.97	6.34

Nota. la masa de cáscara es la cáscara útil obtenida en cada muestra.

Tabla 3

Tabla 3: Porcentajes obtenidos de la selección de muestras.

Muestra	% de cáscara	% de basura	% de desperdicio
1	70.39	27.96	1.64
2	65.79	32.61	1.6
3	66.92	31.76	1.32

Nota. el % de cáscara es la cáscara útil obtenida.

Tabla 4

Tabla 4: Muestras de cáscara para determinar el porcentaje de humedad.

Muestra	Masa de cáscara (g)	Tiempo de horneado (hora)	Masa de agua (g)	% de humedad en cáscara
1	100	24	11.62	11.62
2	100	24	11.34	11.34
3	100	24	11.27	11.27

Nota. en la cuarta columna titulada se indican los gramos que perdió la cáscara al ser horneada, que corresponde a la masa de agua presente y el porcentaje de humedad. Para estas muestras únicamente se horneó la cáscara a una temperatura de 90°C.

Teniendo en cuenta la información anterior, los tratamientos a realizar y la capacidad de los equipos de trabajo, tanto del horno como el equipo de extracción, se establecieron los siguientes parámetros para el horneado de la cáscara de cardamomo.

Tabla 5

Tabla 5: Parámetros establecidos para el horneado de la cáscara de cardamomo.

	Temperatura horno (°C)	Tiempo de horneado (hora)	Masa de cáscara (g)
T1	70	24	250
T2	90	24	250

Nota. T = temperatura del horno, la masa de la cáscara es la capacidad del equipo de extracción.

Extracción de aceite esencial: se utilizó un equipo de extracción por arrastre de vapor marca Fygmay, cámara de vidrio de borosilicato de 3 litros de capacidad con manto calefactor y refrigerante con selector de hidrolato y aceite esencial. El equipo permitió controlar la temperatura y el tiempo de trabajo. Se utilizaba la cáscara recién salida del horno y se trabajó a la temperatura máxima la extracción. Los procedimientos se realizaron en las instalaciones del Instituto de Investigación y Tecnología de Ingeniería CUNOR. En la Tabla 5 se muestran los parámetros establecidos para la extracción con el equipo.

Tabla 6

Tabla 6: Parámetros establecidos para el trabajo en el equipo de extracción.

Tiempo de calentamiento (min)	Cantidad de agua (ml)	Agua que se consume (ml)	Masa de cáscara utilizada (g)
35	1200	400	250

Nota. se establece la cantidad de agua que se consume ya que está indicado en el equipo de extracción. Estos parámetros fueron aplicados a todos los trabajos de extracción, con la cáscara horneada a las temperaturas establecidas.

Almacenamiento de muestra: al finalizar el proceso de extracción, se procedió a medir el volumen total obtenido y se depositó en un embudo de decantación para separar el hidrolato del aceite. Luego, se almacenó una muestra de 50 ml de hidrolato por repetición y el aceite de cada repetición se acumuló en un mismo recipiente para la muestra total de aceite. Los procedimientos se realizaron en las instalaciones del Instituto de Investigación y Tecnología de Ingeniería CUNOR.

Determinación de calidad de hidrolato: se utilizó un refractómetro digital de HANNA Instruments para medir el índice de refracción del hidrolato. La densidad del hidrolato se obtuvo mediante un picnómetro de la marca LMS. Estas actividades fueron realizadas en las instalaciones del Instituto de Investigación y Tecnología de Ingeniería CUNOR.

Composición y cuantificación química del aceite esencial: las muestras de aceite esencial fueron analizadas por cromatografía gaseosa en el laboratorio privado INLASA, S.A. La cromatografía de gases es una técnica de separación que permite el análisis de compuestos volátiles en una mezcla. “Utiliza como fase móvil un gas inerte que arrastra los diferentes componentes de la muestra a través de la columna cromatográfica donde son separados por la combinación de diversos procesos” (Balears, 2023). Los parámetros químicos a evaluar fueron α -pineno, β -felandreno, β -pineno, 1,8-Cineol, 3-Careno, α -terpenil-acetato, 2,6-octadienal-3,7-dimetil, 1-benzociclohepteno.

Detección de flavonoides: la extracción se realizó directamente de la cáscara de cardamomo, se utilizó el método del ensayo de Shinoda para determinar la presencia de flavonoides.

Este método consistió en los siguientes pasos:

- Se depositó una muestra de 10 g de cáscara de cardamomo, 10 g de cardamomo del que se extrajo aceite y 6.36 g de cardamomo puro en 3 beakers, una muestra por beacker.
- Se agregaron 30 ml de etanol al 99% a cada beacker y se dejó reposar por 30 minutos.
- Luego se filtró la solución y se depositaron 3 ml de cada muestra en tubos de ensayo, una muestra en cada tubo.
- A cada tubo de ensayo se le agregó 1 ml de HCL concentrado y 2 piezas de magnesio. Se dejó reposar 5 minutos y se agregaron 1 ml de alcohol amílico a cada tubo.
- Se esperó para ver el cambio de coloración en cada tubo.

Tabla 7

Tabla 7: Parámetros Establecidos para la Detección de Flavonoides.

Muestra de cáscara (g)	Muestra de oro (g)	Etanol al 99% (ml)	Tiempo de reposo (min)
------------------------	--------------------	--------------------	------------------------

CC	10	--	30	30
CP	--	6.36	30	30
CE	--	10	30	30

Nota. CC= cáscara de cardamomo, CP= cardamomo puro y CE= cardamomo con extracción. Para el caso de CP y CE, se utilizó oro, es decir, la semilla de cardamomo contenida dentro de la cáscara.

10.10 Recolección de información

Se obtuvo materia prima de una finca cardamomera ubicada en Cobán, Alta Verapaz. Los criterios de inclusión: se utilizó cáscara de cardamomo obtenida en el proceso de descolado; y exclusión: la cáscara no debe estar húmeda. Los elementos necesarios fueron: cáscara de cardamomo, flujo de corriente de agua a temperatura ambiente, temperatura de extracción, tiempo de residencia, reactivos; los análisis se realizaron en el Instituto de Investigación y Tecnología de Ingeniería CUNOR; así mismo también en el Centro de Investigación de Materiales Avanzados S.C.

Diseño experimental: se utilizó un modelo factorial de 2 factores y 2 niveles en diseño completamente al azar con tres repeticiones. El modelo estadístico es el siguiente:

Ecuación (1)

Donde:

μ = es la media global de cada tratamiento

τ_i = relativo al tratamiento i

ϵ_{ijk} = el término de error.

Tabla 8

Tabla 8: Análisis de varianza.

FV	SC	GL	CM	F ₀	Valor-p
Tratamientos	$SC_{TRAT} = \sum_{i=1}^k \frac{Y_{i\cdot}^2}{n_i} - \frac{Y_{\cdot\cdot}^2}{N}$	k - 1	$CM_{TRAT} = \frac{SC_{TRAT}}{k-1}$	$\frac{CM_{TRAT}}{CM_E}$	P(F > F ₀)
Error	$SC_E = SC_T - SC_{TRAT}$	N - k	$CM_E = \frac{SC_E}{N-k}$		
Total	$SC_T = \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^{n_i} Y_{ij}^2 - \frac{Y_{\cdot\cdot}^2}{N}$	N - 1			

Nota. Información obtenida de diseño de experimentos de un factor, Álvarez (2023).

Como para el análisis de varianza y para los resultados utilizaremos los valores promedios de las repeticiones, se obtuvo también la desviación estándar de estos valores con la siguiente ecuación:

Ecuación (2)

Donde:

S = desviación estándar

Σ = suma de

x_i = valor de un conjunto de datos

\bar{x} = media del conjunto de datos

N = número de datos

De acuerdo al modelo, se realizaron 2 grupos con diversas repeticiones cada uno, debido a que era necesario realizar muchas repeticiones con cada temperatura para obtener una cantidad considerable de aceite para el análisis de los parámetros químicos por cromatografía de gases-masas por método interno.

Tabla 9

Tabla 9: Tratamientos a realizar con dos factores.

	T	T
t	T1*t	T2*t

Nota. T = temperatura a la que se horneó la cáscara de cardamomo con las temperaturas establecidas anteriormente en la Tabla 6; t = tiempo de residencia, el factor t es dado por el equipo de extracción según el consumo de agua.

Al tener ya establecidos los parámetros y tratamientos a realizar, se procedió a trabajar con cada una de las temperaturas varias repeticiones para obtener las muestras de aceite e hidrolato.

Tabla 10

Tabla 10: Factores aplicados a cada repetición en el horno con T1.

No.	Temperatura horno (°C)	Tiempo de horneado (hora)	Masa de cáscara (g)
1	70	24	250
2	70	24	250
3	70	24	250
4	70	24	250
5	70	24	250
6	70	24	250
7	70	24	250
8	70	24	250
9	70	24	250
10	70	24	250

Nota. con la T1 se trabajaron 10 repeticiones, aplicando los parámetros establecidos anteriormente en la Tabla 5.

Tabla 11*Tabla 11: Información obtenida de las repeticiones en el equipo de extracción a T1.*

No.	Cantidad de agua (ml)	Agua que se consume (ml)	Masa de cáscara (g)	Tiempo de residencia (min)	Volumen de hidrolato (ml)	Volumen de aceite (ml)
1	1200	400	250	110	289	2.2
2	1200	400	250	110	290	3.2
3	1200	400	250	105	298	1.5
4	1200	400	250	106	276	1.8
5	1200	400	250	107	304	1.6
6	1200	400	250	106	253	2.2
7	1200	400	250	106	272	1.4
8	1200	400	250	111	280	1.6

Informe final proyecto de investigación 2022

Dirección General de Investigación –DIGI-

9	1200	400	250	110	296	1.4
10	1200	400	250	112	272	2.8

Nota. el tiempo de residencia es la suma del tiempo de calentamiento del equipo (35 min) y el tiempo de extracción. El volumen de hidrolato y aceite es lo que se obtiene del agua que se consume, sin embargo, el volumen de aceite aún contiene hidrolato.

Tabla 12

Tabla 12: Factores aplicados a cada repetición en el horno con T2.

No.	Temperatura horno (°C)	Tiempo de horneado (hora)	Masa de cáscara (g)
1	90	24	250
2	90	24	250
3	90	24	250
4	90	24	250
5	90	24	250
6	90	24	250
7	90	24	250
8	90	24	250
9	90	24	250
10	90	24	250

Nota. se realizaron 10 repeticiones con la T2, aplicando los parámetros establecidos en la Tabla 5.

Tabla 13

Tabla 13: Información Obtenida de las Repeticiones en el Equipo de Extracción a T2.

No.	Cantidad de agua (ml)	Agua que se consume (ml)	Masa de cáscara (g)	Tiempo de residencia (min)	Volumen de hidrolato (ml)	Volumen de aceite (ml)
1	1200	400	250	111	272	2
2	1200	400	250	110	274	1.2
3	1200	400	250	108	282	2
4	1200	400	250	107	254	1.6
5	1200	400	250	114	276	1.4
6	1200	400	250	110	272	1.8
7	1200	400	250	114	270	1.5
8	1200	400	250	109	253	1.6
9	1200	400	250	108	278	1
10	1200	400	250	109	273	1.2

Nota. el tiempo de residencia es la suma del tiempo de calentamiento del equipo (35 min) y el tiempo de extracción. El volumen de hidrolato y aceite es lo que se obtiene del agua que se consume, sin embargo, el volumen de aceite aún contiene hidrolato.

Se realizó una única extracción con pergamino para tener una muestra con la cual comparar la cantidad de aceite y los componentes presentes con las extracciones utilizando cáscara. El pergamino utilizado fue secado durante 1 hora a 90°C y luego se trituro. Se utilizó una masa pequeña de pergamino y una menor cantidad de agua, por la misma razón el tiempo de residencia fue menos que las repeticiones con cáscara. Las cantidades utilizadas se presentan en la Tabla 14.

Tabla 14

Tabla 14: Prueba de extracción de aceite con pergamino.

No.	Cantidad de agua (ml)	Agua que se consume (ml)	Masa de cardamomo (g)	Tiempo de residencia (min)	Volumen de hidrolato (ml)	Volumen de aceite (ml)
1	1200	250	64.7	73	133	2

Nota. el volumen de aceite obtenido no contenía hidrolato. El tiempo de residencia es la suma del tiempo de calentamiento del equipo (35 min) y el tiempo de extracción

Tabla 15

Tabla 15: Pruebas realizadas con cáscara para determinar la presencia de flavonoides.

Muestra	Volumen	Piezas de magnesio 99.9%	HCL concentrado	Tiempo de reposo 2 (min)	Alcohol amílico
CC	3 ml	2	1 ml	5	1 ml
CP	3 ml	2	1 ml	5	1 ml
CE	3 ml	2	1 ml	5	1 ml

Nota. CC= cáscara de cardamomo, CP= cardamomo puro y CE= cardamomo con extracción. Se realizaron diversas pruebas para comparación de resultados.

En la Tabla 14 se muestran los reactivos y cantidades que fueron utilizadas para realizar el ensayo de Shinoda en cada una de las muestras disponibles. Al agregar las piezas de magnesio a la solución de la muestra junto con el HCL concentrado, se presentó un comportamiento burbujeante violento en cada uno de los tubos de ensayo. Al agregar el último reactivo, en el tubo de ensayo CC se observó cómo se dividía en dos fases la solución tornándose la fase superior de color amarillo transparente como se muestra en la Figura 8.

Figura 8

Figura 8: Muestra CC Obtenida durante el Ensayo de Shinoda.



Nota. la muestra CC fue la enfocada en la cáscara de cardamomo para determinar la presencia de flavonoides.

Además, al observar bajo luz ultravioleta el tubo de ensayo de la muestra CC, la fase superior presentaba un color amarillo fluorescente.

10.11 Técnicas e instrumentos

Se utilizaron hojas de control que contienen los parámetros establecidos para cada tratamiento, temperatura de secado de cáscara, tiempo de secado de cáscara, cantidad de cáscara de cardamomo agregada a la caldera del equipo, tiempo de residencia de la cáscara en caldera, volumen de hidrolato, volumen de aceite esencial, índice de refracción, densidad del hidrolato y colores en determinación de flavonoides.

Tabla 16

Tabla 16: Técnicas e instrumentos utilizados en proceso de extracción de aceite esencial y flavonoides de cáscara de cardamomo.

Fase	Actividad	Procedimiento /técnica	Herramientas /instrumentos
Identificación de objeto de estudio	Conceptualización del problema, formulación de estado de arte y diseño de instrumentos	Revisión bibliográfica	Revistas indizadas
Recopilación de información	Identificación de datos y objeto	Revisión bibliográfica, trabajo de campo, recolección de datos	Revistas indizadas, hojas de recolección de datos
Interpretación	Procesamiento de datos	Medición de variables, análisis referentes teóricos	Tabulaciones y gráficas
Análisis de información	Relación de datos	Análisis de datos cuantitativos	Análisis gráficos y estadísticos, Infostat, Excel
Síntesis y conclusiones	Producción de informe	Escritura, redacción, compilación	Documento teórico

Nota. El análisis estadístico se encuentra detallado en la sección de investigación cuantitativa.

10.12 Operacionalización de las variables o unidades de análisis

En Tabla 16, se muestran las variables e indicadores que se evaluaron en extracción de aceite esencial y flavonoides de cáscara de cardamomo.

Tabla 17

Tabla 17: Operacionalización de las variables o unidades de análisis.

Objetivos específicos	Variables o unidades de análisis que serán consideradas	Forma en que se medirán, clasificarán o cualificarán
Determinar el porcentaje de hidrolato y aceite esencial que posee cáscara de cardamomo	Volumen de aceite esencial	<p>Medición: Se utilizará probeta y pipeta serológica. El equipo será extractor por arrastre de vapor automatizado.</p> <p>Clasificación:</p> <p>Cuantitativa continua, intervalo.</p>
	Volumen de hidrolato	
Identificar y cuantificar parámetros fisicoquímicos de aceite esencial extraído de cáscara de cardamomo	Índice de refracción	<p>Medición: Se utilizará técnica analítica de cromatografía de gases (GC) (%p/p). Se utilizará refractómetro digital y picnómetro.</p> <p>Clasificación:</p> <p>Cuantitativa continua, intervalo</p>
	Densidad	
	1,8-Cineol	
	α -terpenil-acetato	
	3-careno	
	α -pineno	
	β -felandreno	
Identificar presencia de flavonoides	1-benzociclohepteno	<p>Medición: Se realizará</p>
	β -pineno	
	Colorimetría	

en cáscara de cardamomo

ensayo de Shinoda y se observará el cambio de color.

Clasificación:

Cualitativa, nominal.

Establecer condiciones óptimas para mayor rendimiento de extracción de aceite esencial

Medición: Se utilizarán sensores de medición (°C) y cronómetro (min).

Temperatura de extracción y tiempo de residencia

Clasificación:

Cuantitativa continua, intervalo.

Nota. Las condiciones serán claves para determinar si es viable la extracción de aceite esencial en cáscara de cardamomo.

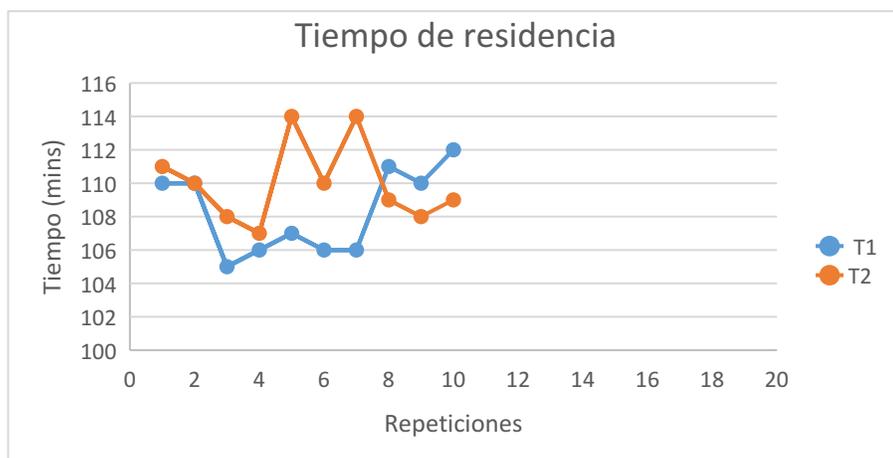
10.13 Procesamiento y análisis de la información

Como se explicó en el apartado del diseño estadístico, la investigación fue experimental cuantitativa y cualitativa, se realizaron en total 2 tratamientos donde se variaba la temperatura, el primer tratamiento fue con $T_1 = 70^{\circ}\text{C}$ con 10 repeticiones y el segundo tratamiento fue con $T_2=90^{\circ}\text{C}$ con 10 repeticiones. Se añadieron gráficos que muestran el comportamiento de los resultados obtenidos en cada una de las repeticiones en ambas temperaturas.

Se utilizó el análisis de varianza y prueba de Tukey para validar las hipótesis y de acuerdo a los resultados del análisis de cromatografía de gases se determinó qué tratamiento es el más idóneo para aumentar el rendimiento de extracción de aceite esencial de la máscara de cardamomo y se manejó un nivel de significancia del 5%.

Figura 9

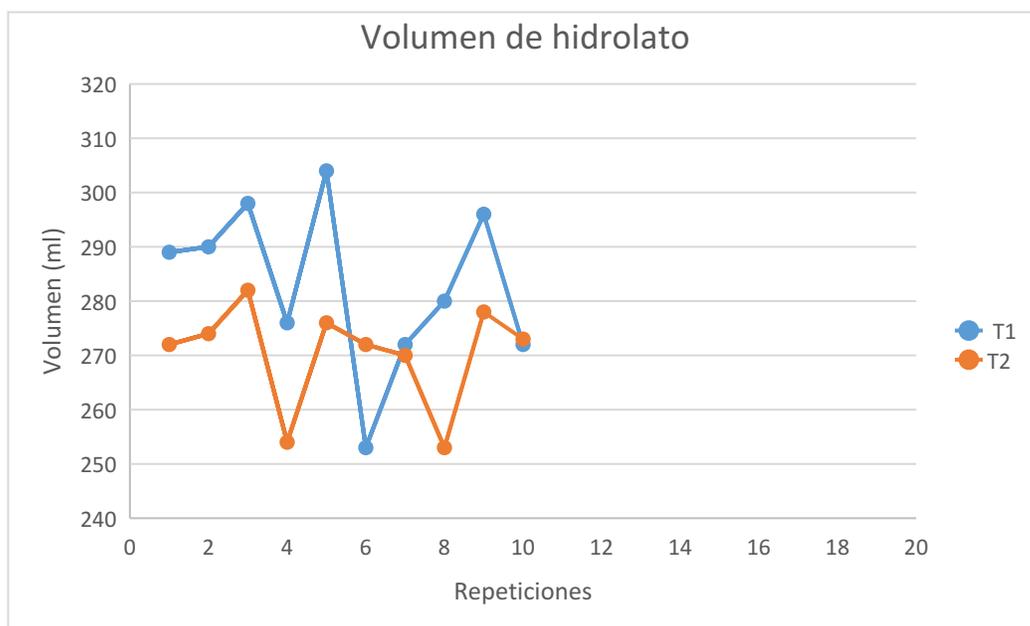
Figura 9: Comportamiento del tiempo de residencia con cáscara a T1 y T2.



Nota. se utilizaron los datos contenidos en Tabla 11 para las repeticiones con T1 y Tabla 13 para repeticiones T2.

Figura 10

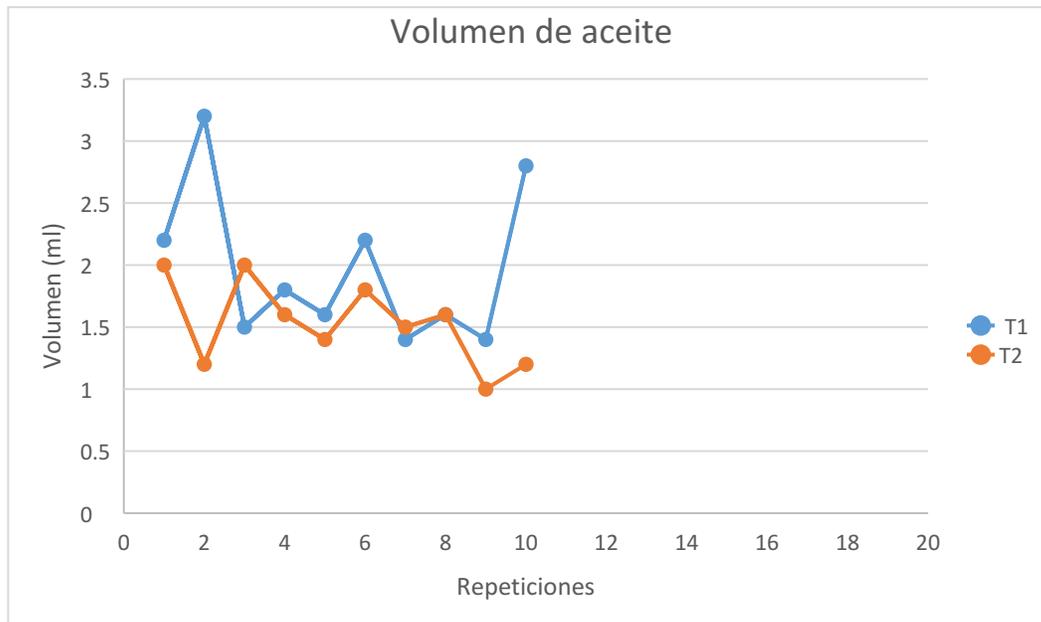
Figura 10: Comportamiento de el Volumen de Hidrolato con Cáscara a T1 y T2.



Nota. se utilizaron los datos contenidos en Tabla 11 para las repeticiones con T1 y Tabla 13 para repeticiones T2.

Figura 11

Figura 11: Comportamiento de volumen de aceite con cáscara a T1 y T2.



Nota. se utilizaron los datos contenidos en Tabla 11 para las repeticiones con T1 y Tabla 13 para repeticiones T2.

Como parte de la información obtenida en cada una de las repeticiones realizadas para T1 y T2, se incluye en la Tabla 17 la información del índice de refracción de hidrolato y la densidad calculada para las muestras de T1. Para el caso de T2, en la Tabla 18 se muestran los mismos valores para sus repeticiones.

Tabla 18

Tabla 18: Resultados del índice de refracción y la densidad del hidrolato obtenido con T1.

No.	Muestra de hidrolato (ml)	Índice de refracción de hidrolato	Densidad del hidrolato (g/ml)
1	50	1.3328	0.994
2	50	1.3327	0.994
3	50	1.3327	0.994
4	50	1.3329	0.995
5	50	1.3328	0.995
6	50	1.3328	0.995
7	50	1.3328	0.995
8	50	1.3326	0.994
9	50	1.3330	0.995
10	50	1.3330	0.995

Nota. estos cálculos fueron obtenidos de la muestra de 50 ml que se almacenó de hidrolato de cada repetición con T1.

Tabla 19*Tabla 19: Resultados del índice de refracción y densidad del hidrolato obtenido con T2.*

No.	Muestra de hidrolato (ml)	Índice de refracción de hidrolato	Densidad del hidrolato (g/ml)
1	50	1.3329	0.995
2	50	1.3328	0.995
3	50	1.3328	0.9945
4	50	1.3329	0.995
5	50	1.3327	0.995
6	50	1.3330	0.995
7	50	1.3330	0.995
8	50	1.3329	0.995
9	50	1.3330	0.996

10

50

1.3329

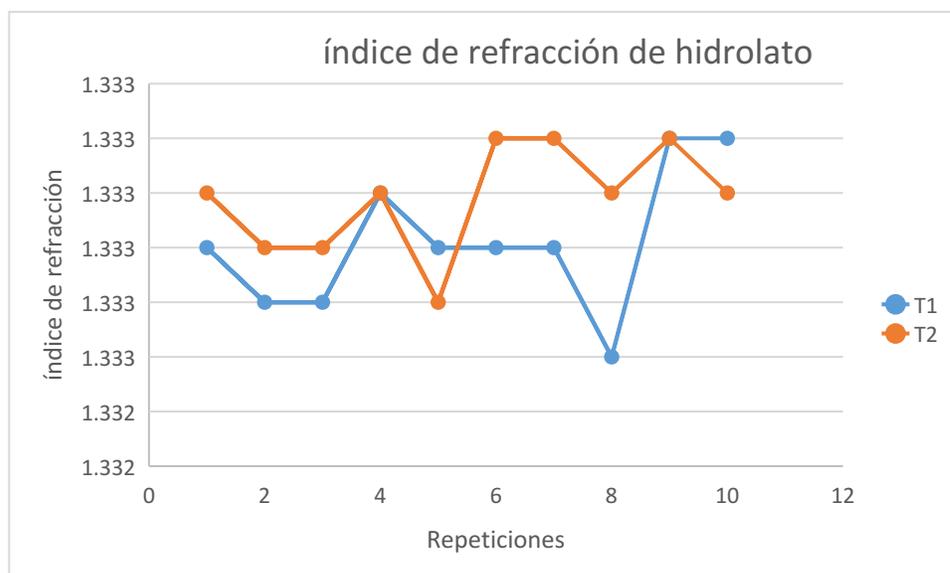
0.995

Nota. estos cálculos fueron obtenidos de la muestra de 50 ml que se almacenó de hidrolato de cada repetición con T2.

En la Figura 12 se presenta la gráfica del índice de refracción para T1 y T2; y en la Figura 13 se muestra el comportamiento gráfico de los valores obtenidos para densidad con T1 y T2.

Figura 12

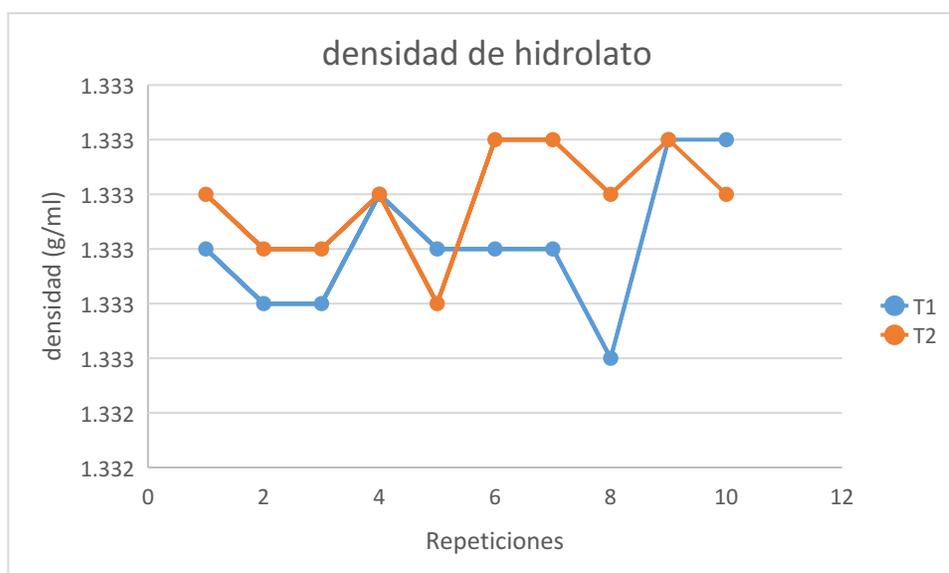
Figura 12: Gráfica de Índice de refracción para las Repeticiones de T1 y T2.



Nota. se utilizaron los valores del índice de refracción del hidrolato en Tabla 16 para T1 y en Tabla 18 para T2.

Figura 13

Figura 13: Gráfica de Densidad para las Repeticiones de T1 y T2.



Nota. se utilizaron los valores de densidad del hidrolato en Tabla 16 para T1 y en Tabla 18 para T2.

Con la información de Tabla 11 y 13, se realizó el análisis de varianza y prueba de Tukey para los resultados obtenidos de hidrolato con T1 y T2, teniendo como tasa de error 0.05 (alpha) que equivale a tener un nivel de confianza del 95%. Si el valor alpha resulta mayor al valor de la probabilidad (valor P), se descarta la hipótesis nula que determina que no hay hidrolato en la cáscara de cardamomo, se acepta la hipótesis alternativa y se procede a realizar la prueba de Tukey para determinar la diferencia entre T1 y T2.

En las Tablas 19 y 20 se muestran los resultados para el análisis de varianza y en las Tablas 21 y 22 los resultados para la prueba de Tukey.

Tabla 20: Resumen de análisis de los resultados de extracción de Hidrolato con T1 y T2.

Grupos	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza
No.	10	2830	283	235.56
cantidad de agua (ml)	10	2704	270.4	91.16

Nota. análisis de varianza obtenido de Excel utilizando valores de la columna 6 de las Tablas 11 y 13.

Tabla 21

Tabla 21: Análisis de varianza de los resultados de extracción de Hidrolato con T1 y T2.

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	793.8	1	793.8	4.8593388	0.04075034	4.4138734
Dentro de los grupos	2940.4	18	163.35555	7		2
Total	3734.2	19	6			

Nota. análisis de varianza obtenido de Excel utilizando valores de la columna 6 de las Tablas 11 y 13.

Tabla 22

Tabla 22: Valores para prueba de Tukey para hidrolato de T1 y T2

Grupos	Promedio	Cuenta	ss	df	q-crit
Volumen de hidrolato T1	283	10	2120		
Volumen de hidrolato T2	270.4	10	820.4		
		20	2940.4	18	2.971

Nota. análisis de varianza obtenido de Excel utilizando valores de la columna 6 de las Tablas 11 y 13.

Tabla 23

Tabla 23: Prueba de Tukey para hidrolato de T1 y T2

Grupo 1	Grupo 2	Promedio	std err	q-stat	menor	mayor	Valor P	Promedio crítico	Cohen d
Volumen de hidrolato T1	Volumen de hidrolato T2	12.6	4.0417268	3.227479	0.59	24.61	0.04075034	12.01	0.98583354

Nota. análisis de varianza obtenido de Excel utilizando valores de la columna 6 de las Tablas 11 y 13.

Luego se procedió a realizar el mismo análisis de varianza y prueba de Tukey para los resultados en Tabla 11 y 13 de la columna 7 de volumen de aceite con T1 y T2, para este caso también se usó como valor alpha 0.05. Si el valor alpha resulta mayor al valor de la probabilidad, se descarta la hipótesis nula que determina que no hay aceite en la cáscara de cardamomo, se acepta la

hipótesis alternativa y se procede a realizar la prueba de Tukey para determinar la diferencia en los grupos T1 y T2.

En las Tablas 23 y 24 se muestran los resultados para el análisis de varianza.

Tabla 24

Tabla 24: Resumen de análisis de los resultados de extracción de Aceite con T1 y T2.

Grupos	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza
Volumen de aceite T1	10	19.7	1.97	0.38677778
Volumen de aceite T2	10	15.3	1.53	0.11566667

Nota. análisis de varianza obtenido de Excel utilizando valores de la columna 7 de las Tablas 11 y 13.

Tabla 25

Tabla 25: Análisis de varianza de los resultados de extracción de Aceite con T1 y T2.

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	0.968	1	0.968	3.8531623	0.06529571	4.4138734
				2		2

Dentro de los grupos	4.522	18	0.2512222	2
Total	5.49	19		

Nota. análisis de varianza obtenido de Excel utilizando valores de la columna 7 de las Tablas 11 y 13.

11 Resultados y discusión

1.9 Resultados

Como anteriormente en las Tablas 11 y 13 se presentaron los valores de las repeticiones para cada temperatura, en la Tabla 26 se presenta un valor promedio y el porcentaje de rendimiento de los resultados para T1 y T2 respecto a hidrolato y aceite; donde se determinó que la cantidad de hidrolato obtenido fue mayor al aceite esencial en ambos tratamientos, dando a conocer que si hay aceite presente en cáscara de cardamomo.

Tabla 26

Tabla 26: Porcentajes de hidrolato y aceite obtenido con T1 y T2.

	Promedio obtenido (mL)	Desviación estándar	% de rendimiento	% de agua que queda en la cáscara
Hidrolato T1	283	14.56	70.75	28.76
Aceite T1	1.97	0.59	0.49	
Hidrolato T2	270.4	9.06	67.6	32.02
Aceite T2	1.53	0.32	0.38	

Nota. La cantidad de hidrolato y aceite esencial es del promedio de corridas realizadas en cada tratamiento.

Para comparar los componentes encontrados en las muestras de aceite obtenidas con T1 y T2, se presentan en la Tabla 27 los resultados obtenidos de acuerdo al análisis de cromatografía de gases que se realizó a cada una. También, se analizó una muestra de aceite obtenido con pergamino (semilla) para comparar los resultados de los aceites. Se determinó que al usar temperatura de 90°C de secado, se volatilizaron más componentes químicos y al usar temperatura de 70°C no fueron detectados.

Tabla 27

Tabla 27: Resultados de cromatografía de gases para muestras de aceite.

Compuesto	Método	Fecha de análisis	% Relativo en muestra		
			Aceite con semilla	Aceite T1 = 70°C	Aceite T2 = 90°C
α -pineno			4.4%	ND	ND
β -felandreno			ND	ND	ND
β -pineno			10.9%	ND	ND
1,8-Cineol			21.8%	ND	38.9%
3-careno	GC-MS	18/11/2022	ND	ND	ND
α -terpenil-acetato			21.8%	ND	61.1%
2,6-octadienal-3,7-dimetil			ND	ND	ND
1-benzociclohepteno			ND	ND	ND

Nota. Resultados obtenidos del análisis de las muestras de aceite para identificar componentes presentes en los aceites a T1 y T2 en el laboratorio INLASA, S.A.

Figura 14

Figura 14: Identificación de flavonoides en cáscaras



Nota. Se utilizó ensayo de Shinoda. El resultado fue positivo.

11.9 Discusión de resultados

De acuerdo a la experimentación y cada una de las repeticiones, se pudo observar que, si es posible obtener aceite esencial de cardamomo de la cáscara residual obtenida del proceso de secado, sin embargo, la cantidad extraída es muy pequeña. El método utilizado para extracción de aceite esencial fue por medio de arrastre de vapor, usando temperaturas de secado de cáscara de 70° y 90°C y tiempos de extracción de 110 min. El valor promedio de aceite obtenido para T1 fue de 1.97 mL, con una desviación estándar de 0.59 y un rendimiento de extracción de 0.49%; para el caso de T2 se tiene un promedio de aceite obtenido de 1.53 con una desviación estándar de 0.32 y un porcentaje de rendimiento de 0.38%. Según Saleh y colaboradores (2022) “el porcentaje de rendimiento de extracción de aceite de semilla es de 5%” (p. 3); basados en esta afirmación, comparamos que la diferencia con los resultados de nuestra investigación es de 4.51% con el porcentaje de rendimiento de T1 y 4.62% con el porcentaje de rendimiento de T2. Considerando que se trata de la extracción de cáscara y no semilla, se considera que los contrastes en los porcentajes de rendimiento son

coherentes, ya que se trata de un residuo y no el producto del cardamomo. También Espina (2014) determinó que “la cantidad de aceite esencial extraído de cardamomo de primera calidad usando 50.06 g de muestra fue de 1.87 mL” (p. 65).

El método utilizado para cuantificación de componentes químicos fue inyección directa para detección por cromatografía de gases con detector de masas, utilizando un volumen de inyectado de 1 μ L. Los componentes químicos presentes en aceite esencial extraído de cáscara de cardamomo fueron 1,8-Cineol en un 38.9% y 61.1% de α -terpenil-acetato para T2, lo cual es muy favorable porque según Noumi y colaboradores (2018) determinaron que “los principales compuestos presentes en aceite esencial de cardamomo verde fueron de 55.4% 1,8-Cineol y 28.6% α -terpenil-acetato” (p. 2). Al comparar los valores obtenidos se observa que el porcentaje del monoterpeno cineol es alto, esto debido a que el equipo utilizado para extraer aceite llegó a temperaturas de 200°C y el punto de ebullición del cineol es de 177°C; sin embargo, para el α -terpenil-acetato fue más reducido debido a que el punto de ebullición es de 219°C, al encontrar estos compuestos químicos presentes en cáscara nos indica que las temperaturas de secado utilizadas en las fincas de cardamomo son elevadas volatizando monoterpenos los cuales se adhieren en la cáscara.

Las cantidades de hidrolato obtenidas durante el proceso de extracción fueron significativas en comparación con el aceite esencial, teniendo para T1 un promedio de 283 ml, con desviación estándar de 14.56 y porcentaje de rendimiento de 70.75%; y para el caso de T2 fue un promedio de 270.4 ml, con desviación estándar de 9.06 y porcentaje de rendimiento de 67.70%. El hidrolato era transparente y presentaba un aroma no fuerte que duraba dos semanas, en comparación del obtenido con semilla que tenía una coloración casi blanca, era un aroma fuerte y se conservó más de un mes. Tomando en cuenta el porcentaje de rendimiento de semilla con el aceite, se concluye que es válido el promedio de hidrolato o agua floral obtenido ya que es lo que más se obtiene durante el proceso de extracción. Según Villada-Ramírez (2017) el “índice de refracción de aceite de cardamomo es de 1.48 \pm 0.05 y su densidad de 0.93 g/mL \pm 0.05” y los valores para hidrolato fueron 1.33 para índice de refracción y 0.994 g/mL densidad, lo cual indicó que el hidrolato no poseía componentes monoterpénicos.

Para identificar flavonoides en cáscara de cardamomo se utilizó el ensayo de Shinoda, al momento de realizar reacción se observó un cambio de color amarillo fluorescente en la solución, lo cual corresponde a lo indicado por Bonilla, Varón y Garzón (2014) que al momento de realizar

ensayo de Shinoda si se torna de una “coloración amarilla, naranja o rojo, hay evidencia positiva de flavonas” (p. 38). (Ver figura 14).

El análisis estadístico ANOVA indicó en el caso del hidrolato el rechazo de la hipótesis nula al obtener el valor de probabilidad menor al de alpha, siendo de $0.04075034 < 0.05$ lo que significa la aceptación de la hipótesis alternativa que afirma la presencia de hidrolato en la cáscara de cardamomo y al aceptar esta hipótesis se realizó la prueba de Tukey para determinar si hay diferencias entre ambos grupos (T1 y T2), donde se comparó el Valor P con alpha y se obtuvo también la diferencia de $0.04075034 < 0.05$, lo que muestra que hay una diferencia en el volumen de hidrolato obtenido por ambos grupos.

Luego se procedió a realizar el análisis ANOVA para el aceite obtenido con T1 y T2 aplicando el mismo valor de alpha para aceptar o rechazar la hipótesis nula. En este caso se obtuvo que el valor de la probabilidad era mayor a alpha siendo un resultado de $0.06529571 > 0.05$, lo que indica de acuerdo a la teoría que se acepta la hipótesis nula y no es necesario realizar la prueba de Tukey.

11.10 Conclusiones

Con los resultados obtenidos, se determinó experimentalmente que existe aceite esencial en el residuo, pero es mínimo, por lo que el análisis ANOVA aplicado a los grupos de T1 y T2 acepta la hipótesis nula que indica que no hay presencia de aceite en la cáscara, ya que las muestras obtenidas fueron muy pequeñas como para rechazar esta hipótesis.

En el caso del hidrolato, de acuerdo al análisis ANOVA se rechazó la hipótesis nula y se aceptó la hipótesis alternativa que indica que, si hay presencia de hidrolato en el residuo y que además hay diferencia entre lo obtenido por T1 y T2, esto puede verse en las cantidades promedio, donde el promedio de T1 es mayor al de T2.

Según los resultados en Tabla 27 de la cromatografía de gases en las muestras de aceite, para obtener un mayor porcentaje de los componentes químicos presentes en el aceite de la cáscara de cardamomo, es necesario manejar temperaturas de 90°C en el proceso de horneado de la cáscara.

Con el desarrollo del ensayo de Shinoda, pudo comprobarse la presencia de flavonoides en la cáscara de cardamomo al obtener una coloración amarilla en la muestra con extracto obtenido específicamente de la cáscara.

12 Referencias

- Abdullah, Asghar, A., Algburi, A., Huang, Q., Ahmad, T. Zhong, H., Javed, H., Ermakov, A., & Chikindas, M. (2021). Anti-biofilm Potential of *Elletaria cardamomum* essential oil against *Escherichia coli* O157:H7 and *Salmonella typhimurium* JSG 1748. *Frontiers in Microbiology*, 12(1), 1-10. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2021.620227>
- Aguilar, J., Taípe, F., & Huaraca, R. (2020). Comparación de aceite esencial de hinojo (*Foeniculum vulgare Miller*) extraído mediante métodos de arrastre a vapor y soxhlet. *Journal of Agro-Industry Sciences*, 2(3), 43-47. <http://dx.doi.org/10.17268/JAIS>
- Álvarez, H. (2022). Diseño de experimentos y regresión. Recuperado de https://www.academia.utp.ac.pa/sites/default/files/docente/51/2c_analisis_de_varianza_de_disenos_experimentales-analisis_de_varianza.pdf
- Anbuchelvi, M. (2020). Import and export of small cardamom in India. *International Journal of Arts, Science and Humanities*, 7(1), 97-111. DOI: <https://doi.org/10.34293/sijash.v7i1.561>
- Ashokkumar, K., Murugan, M., Dhanya, M., & Warkentin, T. (2019). Botany, traditional uses, phytochemistry and biological activities of cardamom (*Elettaria cardamomum* L.

Maton. *Journal of Ethnopharmacology*, 246(1), 1-40.

<https://doi.org/10.1016/j.jep.2019.112244>

Balears, U. D. L. I. (2023, 1 febrero). *Cromatografía de gases*. <https://set.uib.es/Instruments-i-equipos-dels-Serveis-Cientificotecnics/Area-de-cromatografia/Cromatografia-de-gases.cid108074>

BBC News Mundo. (2019, 14 agosto). *Qué son los flavonoides, por qué son buenos y en qué alimentos los puedes encontrar*. <https://www.bbc.com/mundo/noticias-49347782>

Belabbes, R., Amine, M., Djabou, N., Ilias, F., Tabti B., Costa, J., & Muselli, A. (2017). Chemical variability, antioxidant and antifungal activities of essential oils and hydrosol extract of *Calendula arvensis* L. from western Algeria. *Chemistry & Biodiversity*, 14(5), 1-32. <https://doi.org/10.1002/cbdv.201600482>

Bonilla, N., Varón, F., & Garzón, L. (2014). Extracción de pigmentos colorantes tipo flavonoides, Flor de Pomo (*Syzygium jambos*) zona verde del IEAR, Florencia Caquetá. *Amazonia Investiga*, 3(5), 34-42. <https://amazoniainvestiga.info/index.php/amazonia/article/view/669/629>

Briones-Sornoza, H., & Guerrero-Intriago, D. (2019). Extracción de aceites esenciales de mandarina (*Citrus reticulata*) y Palo Santo (*Bursera graveolens*) por el método de arrastre de vapor. *Revista Científica Ingeniar: Ingeniería, Tecnología e Investigación*, 2(3), 14-23. <https://doi.org/10.46296/ig.v2i3.0007>

- Calvachea, E., Rodríguez, R., & Troya, J. (2018). Determinación de propiedades térmicas de aceites esenciales. *Congreso de Ciencia y Tecnología*, 13(1), 205-207. <http://dx.doi.org/10.24133/cctespe.v13i1.736>
- Diario de Centroamérica (10 de diciembre de 2020). Cardamomo, tercer producto de exportación, p. 5. https://issuu.com/dca/docs/edici_n_impresa_jueves_10122020
- Diario de Centroamérica. (24 de febrero de 2021). Ventas de Cardamomo crecieron un 75.4%. p. 10. https://issuu.com/dca/docs/edici_n_impresa_mi_rcoles_24022021
- Espina, S. (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* [Tesis de licenciatura]. Universidad de San Carlos de Guatemala.
- Ghosh, S., Bhattacharjee, P., & Das, S. (2015). 1,8-cineol-rich Cardamom seed (*Elettaria cardamomum*) Extracts using green technologies and conventional extractions: Process analysis, phytochemical characterization, and food application. *Separation Science and Technology*, 50(1), 1974-1985.
- Guevara-Fefer, P., Muñoz-Ocotero, V., Llanos-Romero, R., Zúñiga-Ruiz, B., Cárdenas-Vázquez, R., Contreras-Jiménez, J., & Ocampo-Bautista, F. (2017). Flavonoides de trece especies del género *Bursea* con potencial antioxidante. *Polibotánica*, 44(1), 185-193. <http://dx.doi.org/10.18387/polibotanica.44.14>

Interpretar los resultados clave para la ANOVA de un solo factor - Minitab. (s. f.). (C) Minitab,

LLC. All rights Reserved. 2023. [https://support.minitab.com/es-mx/minitab/21/help-and-](https://support.minitab.com/es-mx/minitab/21/help-and-how-to/statistical-modeling/anova/how-to/one-way-anova/interpret-the-results/key-results/)

[how-to/statistical-modeling/anova/how-to/one-way-anova/interpret-the-results/key-results/](https://support.minitab.com/es-mx/minitab/21/help-and-how-to/statistical-modeling/anova/how-to/one-way-anova/interpret-the-results/key-results/)

Kanthal, S., Jipnomon, J., Bindhu, P., Vijayakum, M., Rema, A., & Uma, P. (2021).

Assessment of phytochemical, total phenol, flavonoid content and in vitro antioxidant property of large cardamom extracts. *Indian Drugs*, 58(10), 34-41.

[https://www.researchgate.net/profile/Kanthlal-S-](https://www.researchgate.net/profile/Kanthlal-S-K/publication/357181274_ASSESSMENT_OF_PHYTOCHEMICALS_TOTAL_PHENOL_FLAVONOID_CONTENT_AND_IN_VITRO_ANTIOXIDANT_PROPERTY_OF_LARGE_CARDAMOM_EXTRACTS/links/629f24ae55273755ebda7dce/ASSESSMENT-OF-PHYTOCHEMICALS-TOTAL-PHENOL-FLAVONOID-CONTENT-AND-IN-VITRO-ANTIOXIDANT-PROPERTY-OF-LARGE-CARDAMOM-EXTRACTS.pdf)

[K/publication/357181274_ASSESSMENT_OF_PHYTOCHEMICALS_TOTAL_PHE-](https://www.researchgate.net/profile/Kanthlal-S-K/publication/357181274_ASSESSMENT_OF_PHYTOCHEMICALS_TOTAL_PHENOL_FLAVONOID_CONTENT_AND_IN_VITRO_ANTIOXIDANT_PROPERTY_OF_LARGE_CARDAMOM_EXTRACTS/links/629f24ae55273755ebda7dce/ASSESSMENT-OF-PHYTOCHEMICALS-TOTAL-PHENOL-FLAVONOID-CONTENT-AND-IN-VITRO-ANTIOXIDANT-PROPERTY-OF-LARGE-CARDAMOM-EXTRACTS.pdf)

[NOL_FLAVONOID_CONTENT_AND_IN_VITRO_ANTIOXIDANT_PROPERTY-](https://www.researchgate.net/profile/Kanthlal-S-K/publication/357181274_ASSESSMENT_OF_PHYTOCHEMICALS_TOTAL_PHENOL_FLAVONOID_CONTENT_AND_IN_VITRO_ANTIOXIDANT_PROPERTY_OF_LARGE_CARDAMOM_EXTRACTS/links/629f24ae55273755ebda7dce/ASSESSMENT-OF-PHYTOCHEMICALS-TOTAL-PHENOL-FLAVONOID-CONTENT-AND-IN-VITRO-ANTIOXIDANT-PROPERTY-OF-LARGE-CARDAMOM-EXTRACTS.pdf)

[OF_LARGE_CARDAMOM_EXTRACTS/links/629f24ae55273755ebda7dce/ASSESS-](https://www.researchgate.net/profile/Kanthlal-S-K/publication/357181274_ASSESSMENT_OF_PHYTOCHEMICALS_TOTAL_PHENOL_FLAVONOID_CONTENT_AND_IN_VITRO_ANTIOXIDANT_PROPERTY_OF_LARGE_CARDAMOM_EXTRACTS/links/629f24ae55273755ebda7dce/ASSESSMENT-OF-PHYTOCHEMICALS-TOTAL-PHENOL-FLAVONOID-CONTENT-AND-IN-VITRO-ANTIOXIDANT-PROPERTY-OF-LARGE-CARDAMOM-EXTRACTS.pdf)

[MENT-OF-PHYTOCHEMICALS-TOTAL-PHENOL-FLAVONOID-CONTENT-](https://www.researchgate.net/profile/Kanthlal-S-K/publication/357181274_ASSESSMENT_OF_PHYTOCHEMICALS_TOTAL_PHENOL_FLAVONOID_CONTENT_AND_IN_VITRO_ANTIOXIDANT_PROPERTY_OF_LARGE_CARDAMOM_EXTRACTS/links/629f24ae55273755ebda7dce/ASSESSMENT-OF-PHYTOCHEMICALS-TOTAL-PHENOL-FLAVONOID-CONTENT-AND-IN-VITRO-ANTIOXIDANT-PROPERTY-OF-LARGE-CARDAMOM-EXTRACTS.pdf)

[AND-IN-VITRO-ANTIOXIDANT-PROPERTY-OF-LARGE-CARDAMOM-](https://www.researchgate.net/profile/Kanthlal-S-K/publication/357181274_ASSESSMENT_OF_PHYTOCHEMICALS_TOTAL_PHENOL_FLAVONOID_CONTENT_AND_IN_VITRO_ANTIOXIDANT_PROPERTY_OF_LARGE_CARDAMOM_EXTRACTS/links/629f24ae55273755ebda7dce/ASSESSMENT-OF-PHYTOCHEMICALS-TOTAL-PHENOL-FLAVONOID-CONTENT-AND-IN-VITRO-ANTIOXIDANT-PROPERTY-OF-LARGE-CARDAMOM-EXTRACTS.pdf)

[EXTRACTS.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Kanthlal-S-K/publication/357181274_ASSESSMENT_OF_PHYTOCHEMICALS_TOTAL_PHENOL_FLAVONOID_CONTENT_AND_IN_VITRO_ANTIOXIDANT_PROPERTY_OF_LARGE_CARDAMOM_EXTRACTS/links/629f24ae55273755ebda7dce/ASSESSMENT-OF-PHYTOCHEMICALS-TOTAL-PHENOL-FLAVONOID-CONTENT-AND-IN-VITRO-ANTIOXIDANT-PROPERTY-OF-LARGE-CARDAMOM-EXTRACTS.pdf)

Leyva-Acuña, M., Quintana-Obregón, E., Soto-Landeros, F., Baez-Parra, K., Montes-Ávila, J.,

& Angulo-Escalante, M. (2020). Actividad antifúngica de alcaloides del extracto

metanólico de *Jatropha platyphylla* contra *Aspergillus parasiticus*. *Revista de Ciencias*

Biológicas y de la Salud, 12(1), 100-107. <https://doi.org/10.18633/biotecnia.v22i3.1216>

Lock, O., Cabello, I., & Doroteo, V. H. (2006, 1 diciembre). *Práctica VI.6 análisis de*

flavonoides en plantas. [https://old.iupac.org/publications/cd/medicinal_chemistry/Practica-](https://old.iupac.org/publications/cd/medicinal_chemistry/Practica-VI-6.pdf)

[VI-6.pdf](https://old.iupac.org/publications/cd/medicinal_chemistry/Practica-VI-6.pdf)

Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación (2014). Perfil Comercial Cardamomo.

Proyecto

AdA-Integración.

Guatemala.

<https://www.maga.gob.gt/download/Perfil%20cardamomo.pdf>

Monedero, J. (2016). Identificación y caracterización de flavonoides por espectrometría de masas en melazas residuales de un ingenio azucarero [Tesis de licenciatura].

Universidad ICESI, Santiago de Cali.

Montiel, P., & Ramírez, A. (2017). Estudio preliminar del método de extracción y detección de HAPs utilizando arena de Ottawa. *Congreso Nacional de Geoquímica, vol. 23.* (pp. 154-173). San Luis Potosí, México. ISSN-Latindex 2310-2799.

Nie, R., Zhang, Y., Zhang, H., Jin, Q., Wu, G., & Wang, X. (2020). Effect of different processing methods on physicochemical properties, chemical compositions and in vitro antioxidant activities of *Paeonia lactiflora* Pall seed oils. *Food Chemistry, 332*(1), 1-28.

<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.127408>

No. 41 especial cardamomo. (2018). *Revista de La Universidad Del Valle de Guatemala, 41*, 4,

9. [https://www.uvg.edu.gt/wp-content/uploads/REVISTA-CIENTIFICA-UVG-No.-41-](https://www.uvg.edu.gt/wp-content/uploads/REVISTA-CIENTIFICA-UVG-No.-41-Cardamomo-completa.pdf)

[Cardamomo-completa.pdf](https://www.uvg.edu.gt/wp-content/uploads/REVISTA-CIENTIFICA-UVG-No.-41-Cardamomo-completa.pdf)

Noumi, E.; Snoussi, M.; Alreshidi, M.M.; Rekha, P.-D.; Saptami, K.; Caputo, L.; De Martino,

L.; Souza, L.F.; Msaada, K.; Mancini, E.; Flamini, G.; Al-sieni, A.; De Feo, V. (2018).

Chemical and Biological Evaluation of Essential Oils from Cardamom

Species. *Molecules, 23*(1), 2818. <https://doi.org/10.3390/molecules23112818>

- Okiyama, D., Soares, I., Cuevas, M., Crevelin, E., Moraes, L., Melo, M., Oliveira, A., & Rodriguez, C. (2018). Pressurized liquid extraction of flavanols and alkaloids from cocoa bean Shell using etanol as solvent. *Food Research International*, 114(1), 20-29. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2018.07.055>
- Pacheco, F., Peraza, M. & Pinto, I. (2021). Flavonoides: micronutrientes con amplia actividad biológica. *Revista de la Facultad de Medicina*, 44(1), 108-126.
- Pérez-Palma, L., Andrade-Ochoa, S., Levario-Gómez, A., Cantú-Solís, E., Sánchez-Aldana, D., Nevárez-Moorillón, V., & Loya-Loya, M. (2019). Evaluación de la propiedad antimicrobiana y antiadherente del sulfato de cobre (Cu₂SO₄) y monoterpenos sobre *Lactobacillus acidophilus* y *Streptococcus mutans*. *Multidisciplinary Scientific Journal*, 29(1), 1-14. <http://doi.org/10.15174/au.2019.2118>
- Saleh, E. S., Al- Thbity, S., & Gobouri, A. (2022). Impact of Extraction Methods on The Chemical Composition and Biological Activity of Small Cardamom Essential Oils. *Egyptian Journal of Chemistry*, (), -. [doi: 10.21608/ejchem.2022.130386.5801](https://doi.org/10.21608/ejchem.2022.130386.5801)
- Sánchez-Reinoso, Z., Mora-Adames, W., Fuenmayor, C., Darghan-Contreras, A., Gardana, C., & Gutiérrez, L. (2020). Microwave-assisted extraction of phenolic compounds from Sacha Inchi Shell: Optimization, physicochemical properties and evaluation of their antioxidant activity. *Chemical Engineering and Processing-Process Intensification*, 153(1), 1-46. <https://doi.org/10.1016/j.cep.2020.107922>

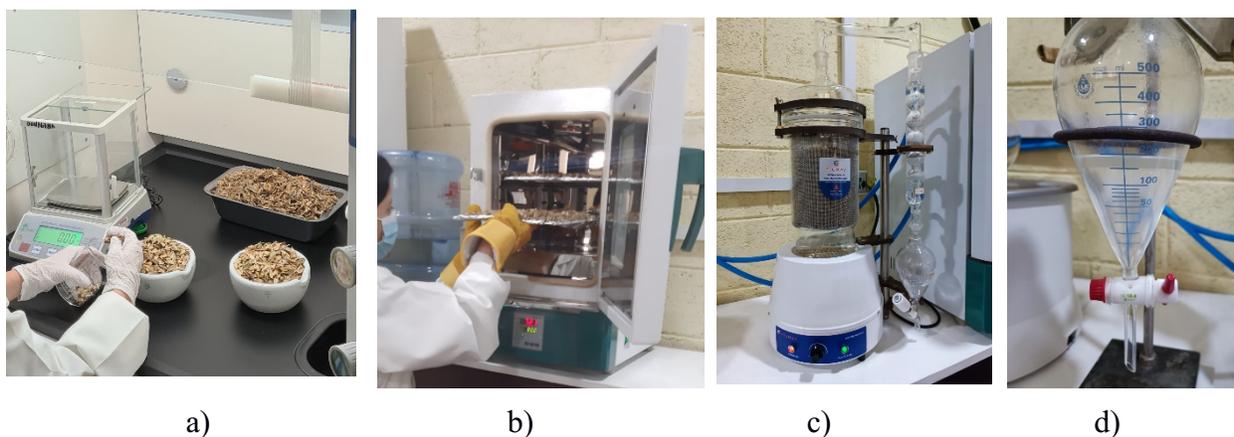
- Soto, M. (2015). Estudio fitoquímico y cuantificación de flavonoides totales de las hojas de *Piper peltatum* L. y *Piper aduncum* L. procedente de la región Amazonas. *Revista in Crescendo. Institucional*, 6(1), 105-116. [DOI:10.21895/incres.2015.v6n1.04](https://doi.org/10.21895/incres.2015.v6n1.04)
- Timberlake, K. (2013). *Química general, orgánica y biológica* (4ª. ed.). México: Pearson
- Vásquez, K., Herrera, W., & Sierra, E. (2020). Características fisicoquímicas de carbón activado obtenido de cáscara de cardamomo. [Informe inédito]. Universidad, Dirección General de Investigación -DIGI-.
- Véliz-Jaime, M., González-Díaz, C., & Martínez-Despaigne, Y. (2019). Evaluación técnica y económica del proyecto de obtención de aceites esenciales. *Tecnología Química*, 39(1), 207-220. [http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2224-61852019000100207&lng=es&tlng=es.](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2224-61852019000100207&lng=es&tlng=es)
- Villada-Ramírez, M., Millán, L., Peláez, C., Arroyave, C., González, M., & Gil, M. (2017). Caracterización del aceite microencapsulado de cardamomo (*Elettaria cardamomum*) extraído por fluidos supercríticos a escala semi-industrial. *Brazilian Journal of Food Technology*, 20(1), 1-14. <https://www.scielo.br/j/bjft/a/LyPd9BjCFhwWVdTvZmfNZyc/?format=pdf&lang=es>
- Wang, J., Li, Y., Lu, Q., Hu, Q., Liu, P., Yang, Y., Li, G., Xie, H., & Tang, H. (2021). Drying temperature affects essential oil yield and composition of black cardamom (*Amomum tsao-ko*), 168(1), 1-10. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2021.113580>
- Waras, N., Rhma, A., Nurul, I., Rini, A., Boglárka, A., Fadillah, S., Endre, K., & Made, A. (2022). Effects of Methods and Durations of Extraction on Total Flavonoid and

Phenolic Contents and Antioxidant Activity of Java Cardamom (*Amomum compactum* Soland Ex Maton) Fruit. *Journal Plants*, 11(1). https://mdpi-res.com/d_attachment/plants/plants-11-02221/article_deploy/plants-11-02221-v3.pdf?version=1661838569

13 Apéndice

Figura 15

Figura 15: Proceso de extracción de aceite esencial e hidrolato.



Nota. a) pesar la cáscara, b) hornear la cáscara, c) preparación del equipo para la extracción, d) separación del aceite e hidrolato.

Figura 16

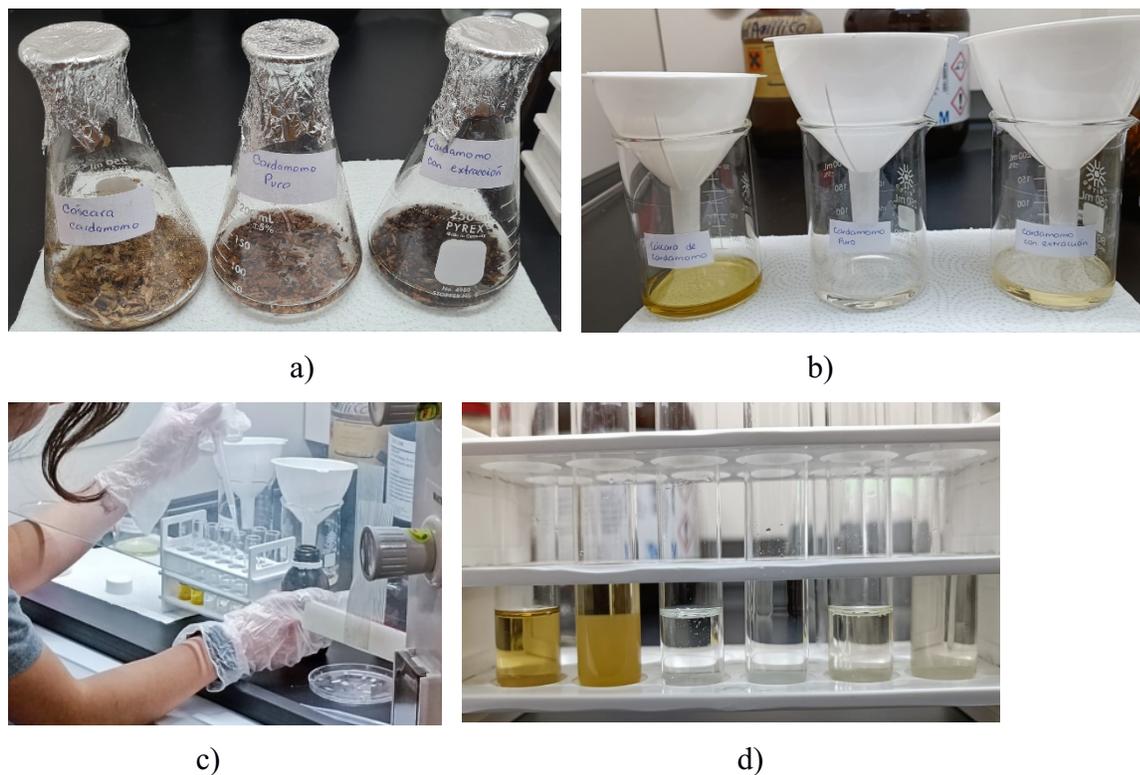
Figura 16: Medición de índice de refracción.



Nota. se utilizaron las muestras almacenadas de hidrolato y un refractómetro digital.

Figura 17

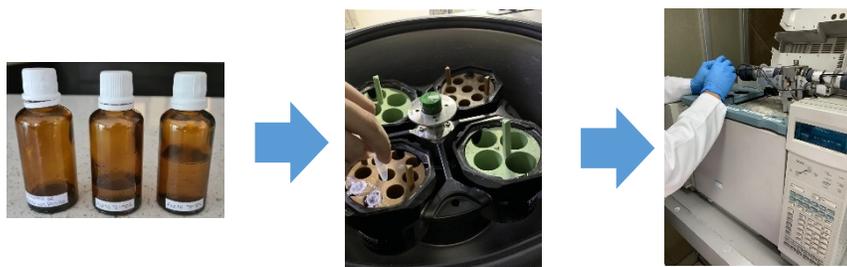
Figura 17: Desarrollo de ensayo de Shinoda.



Nota. a) cáscara con etanol, b) filtración de solución, c) desarrollo de ensayos de shinoda, d) tubos de ensayo con muestras CC, CP y CE.

Figura 18

Figura 18: Muestras de aceite analizadas por cromatografía de gases.



Nota. Esquema del proceso para analizar componentes químicos en aceite

14 Aspectos éticos y legales (si aplica)

No aplica a la investigación.

15 Vinculación

Asociación de Cardamomeros de Guatemala, la vinculación se realizaría para la difusión y divulgación de resultados.

16 Estrategia de difusión, divulgación y protección intelectual

Para la estrategia de difusión, divulgación y protección intelectual de los resultados de esta investigación, se tiene contemplado que sea de 3 formas:

1. Se realizará un manuscrito científico que será publicado en la revista indexada de Ciencia, Tecnología y Salud de la Universidad de San Carlos de Guatemala.
2. Se publicarán los resultados en el sitio web del Instituto de Investigación y Tecnología de Ingeniería CUNOR.
3. Se realizará una presentación de resultados ante la Asociación de Cardamomeros de Guatemala, ubicada en Cobán, Alta Verapaz.

Para la protección intelectual de la investigación, se realizarán los procesos indicados por la Dirección General de Investigación -DIGI-.

17 Aporte de la propuesta de investigación a los ODS:

La investigación contribuye a los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) enfocado a Industria, innovación e infraestructura; debido a que presenta una forma de aprovechar un residuo obtenido de un proceso industrial, el cual aún contiene propiedades químicas de gran interés, las cuales pueden ser utilizadas como materia prima en otro tipo de industria como alimentos, fragancias, etc.

18 Orden de pago final (incluir únicamente al personal con contrato vigente)

	Categoría	Registro de	Procede	
--	-----------	-------------	---------	--

Informe final proyecto de investigación 2022

Dirección General de Investigación –DIGI-

Nombres y apellidos	(investigador /auxiliar)	personal	pago de mes (Sí / No)	Firma

19 Declaración del Coordinador(a) del proyecto de investigación

El Coordinador de proyecto de investigación con base en el *Reglamento para el desarrollo de los proyectos de investigación financiados por medio del Fondo de Investigación*, artículos 13 y 20, deja constancia que el personal contratado para el proyecto de investigación que coordina ha cumplido a satisfacción con la entrega de informes individuales por lo que es procedente hacer efectivo el pago correspondiente.

Nombre del coordinador del proyecto de investiga Inga. Karen Elizabeth Vásquez Villeda	
Fecha: 09/02/2023	

Informe final proyecto de investigación 2022

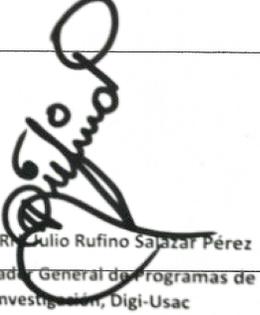
Dirección General de Investigación –DIGI-

20 Aval del Director(a) del instituto, centro o departamento de investigación o Coordinador de investigación del centro regional universitario

De conformidad con el artículo 13 y 19 del *Reglamento para el desarrollo de los proyectos de investigación financiados por medio del Fondo de Investigación* otorgo el aval al presente informe mensual de las actividades realizadas en el proyecto *Identificación de flavonoides y evaluación del rendimiento de extracción de aceite esencial/hidrolato por arrastre de vapor, en cáscara de cardamomo* en mi calidad de Director del Centro Universitario del Norte, mismo que ha sido revisado y cumple su ejecución de acuerdo a lo planificado.

<p>Lic. Erwín Gonzalo Eskenasy Morales Director de Centro Universitario del Norte</p>	
<p>Fecha: 09/02/2023</p>	

21 Visado de la Dirección General de Investigación

<p>Vo.Bo. Ing. Agr. MARN Julio Rufino Salazar Programa Universitario de Investigación en Ciencias Básicas</p>	
<p>Fecha: 09/02/2023</p>	

Informe final proyecto de investigación 2022

Dirección General de Investigación –DIGI-

Vo.Bo. Ing. Agr. MARN Julio Rufino Salazar Programa Universitario de Investigación en Ciencias Básicas	
---	--

Fecha: 09/02/2023



Ref. 15-D-058-2023
Cobán, A.V. 09 de febrero del 2023

Dra. Alice Burgos Paniagua
Dirección General de Investigación
Universidad de San Carlos de Guatemala
Presente

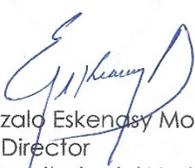
Respetable Doctora Burgos:

Con un cordial saludo me dirijo a usted para hacer entrega en versión impresa y electrónica del informe final del proyecto de investigación titulado "Identificación de flavonoides y evaluación del rendimiento de extracción de aceite esencial/hidrolato por arrastre de vapor, en cáscara de cardamomo", código DES4CU-2022, coordinado por la Inga. Karen Elizabeth Vásquez Villeda.

Sin otro particular, me suscribo de usted.

Atentamente.

ID Y ENSEÑAN A TODOS


Lic. Erwin Gonzalo Eskensy Morales
Director
Centro Universitario del Norte



c.c. archivo