

**Universidad de San Carlos de Guatemala
Dirección General de Investigación**

Programa Universitario de Investigación en Desarrollo Industrial

(nombre del programa universitario de investigación de la Digi)

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

nombre del proyecto de investigación

4.8.63.0.52

Partida presupuestaria

AP11-2022

código del proyecto de investigación

unidad académica o centro no adscrito a unidad académica avaladora

Ing.Qca. Telma Maricela Cano Morales

Ing. Qco. Mario José Mérida Meré

Ing.Qco. Gerson Joel Ortega Morales

Ing.Mec. Osber Isabel Carías Palencia

Br. Juan Pablo López Cano

Br. Emilio Javier Paiz Barco

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

Guatemala 28/03/2023

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

Contraportada

Autoridades

Dra. Alice Burgos Paniagua
Directora General de Investigación

Ing. Agr. MARN Julio Rufino Salazar
Coordinador General de Programas

Inga. Luiba María Cabrera de Villagrán
Coordinadora del Programa de Investigación en Desarrollo Industrial (PUIDI)

Autores

Inga.Qca. Telma Maricela Cano Morales
Coordinadora del Proyecto

Ing.Qco. Mario José Mérida Meré
Investigador

Ing.Qco. Gerson Joel Ortega Morales
Investigador

Ing.Mec. Osber Isabel Carías Palencia
Investigador

Br. Juan Pablo López Cano
Auxiliar de investigación II

Br. Emilio Javier Paiz Barco
Auxiliar de investigación I

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 4.8.63.0.52 con código AP 11 en el Programa Universitario de Investigación en Desarrollo Industrial.

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



INDICE GENERAL

1. Resumen y palabras claves	8
2. Introducción	10
3. Planteamiento del problema.....	11
4. Delimitación en tiempo y espacio.....	12
4.1. Delimitación en tiempo	12
4.2. Delimitación espacial	13
5. Marco teórico	14
6. Estado del arte.....	16
7. Objetivos	18
8. Hipótesis	18
9. Materiales y métodos (enfoque, métodos, recolección de información, técnicas e instrumentos, procesamiento y análisis de la información).....	19
9.1. Enfoque de la investigación.....	19
9.2. Método.....	19
9.3. Recolección de información	20
9.4. Técnicas e instrumentos.....	20
9.5. Operacionalización de las variables o unidades de análisis.....	22
9.6. Procesamiento y análisis de la información.....	23
10. Resultados y Discusión.....	24
10.1. Resultados.....	24
10.2. Discusión de resultados	45
11. Referencias.....	50
12. Apéndice	53
13. Vinculación.....	85
14. Estrategia de difusión, divulgación y protección intelectual	86
15. Aporte de la propuesta de investigación a los ODS:.....	86
16. Visado de la Dirección General de Investigación.....	88

INDICE DE TABLAS

Tabla 1 Delimitación espacio temporal.	12
Tabla 2 Coherencia de la propuesta de investigación	22
Tabla 3 Componentes mayoritarios obtenidos de cromatografía gaseosa del aceite esencial de romero (<i>Rosmarinus officinalis</i> L.).....	27
Tabla 4 Componentes mayoritarios obtenidos de cromatografía gaseosa del aceite esencial de orégano (<i>Origanum vulgare</i> L.)	27
Tabla 5 Componentes mayoritarios obtenidos de cromatografía gaseosa del aceite esencial de albahaca (<i>Ocimum basilicum</i> L.).....	27
Tabla 6 ANOVA para la comparación entre las muestras del espectro IR de la betaciclodextrina pura y del complejo betaciclodextrina-aceite esencial de orégano microencapsulado a 40°C.....	78
Tabla 7 ANOVA para la comparación entre las muestras del espectro IR de la betaciclodextrina pura y del complejo betaciclodextrina-aceite esencial de orégano microencapsulado a 50°C.....	81
Tabla 8 ANOVA para la comparación entre las muestras del espectro IR de la betaciclodextrina pura y del complejo betaciclodextrina-aceite esencial de orégano microencapsulado a 60°C.....	82
Tabla 9 ANOVA para la comparación entre las muestras del espectro IR de la betaciclodextrina pura y del complejo betaciclodextrina-aceite esencial de albahaca microencapsulado a 40°C.....	82
Tabla 10 ANOVA para la comparación entre las muestras del espectro IR de la betaciclodextrina pura y del complejo betaciclodextrina-aceite esencial de albahaca microencapsulado a 50°C.....	83
Tabla 11 ANOVA para la comparación entre las muestras del espectro IR de la betaciclodextrina pura y del complejo betaciclodextrina-aceite esencial de albahaca microencapsulado a 60°C.....	83
Tabla 12 ANOVA para la comparación entre las muestras del espectro IR de la betaciclodextrina pura y del complejo betaciclodextrina-aceite esencial de romero microencapsulado a 40°C	84
Tabla 13 ANOVA para la comparación entre las muestras del espectro IR de la betaciclodextrina pura y del complejo betaciclodextrina-aceite esencial de romero microencapsulado a 50°C	84
Tabla 14 ANOVA para la comparación entre las muestras del espectro IR de la betaciclodextrina pura y del complejo betaciclodextrina-aceite esencial de romero microencapsulado a 60°C	85

INDICE DE FIGURAS

Figura 1 Rendimiento porcentual promedio del extracto aceite esencial de orégano (<i>Origanum vulgare</i> L.), romero (<i>Rosmarinus officinalis</i> L.) y albahaca (<i>Ocimum basilicum</i> L.).	24
Figura 2 Potencial de hidrógeno promedio del extracto aceite esencial de orégano (<i>Origanum vulgare</i> L.), romero (<i>Rosmarinus officinalis</i> L.) y albahaca (<i>Ocimum basilicum</i> L.).	25
Figura 3 Densidad promedio del extracto aceite esencial de orégano (<i>Origanum vulgare</i> L.), romero (<i>Rosmarinus officinalis</i> L.) y albahaca (<i>Ocimum basilicum</i> L.).	25
Figura 4 Índice de refracción promedio del extracto aceite esencial de orégano (<i>Origanum vulgare</i> L.), romero (<i>Rosmarinus officinalis</i> L.) y albahaca (<i>Ocimum basilicum</i> L.).	26
Figura 5 Índice de refracción promedio del extracto aceite esencial de orégano (<i>Origanum vulgare</i> L.), romero (<i>Rosmarinus officinalis</i> L.) y albahaca (<i>Ocimum basilicum</i> L.).	26
Figura 6 Espectro IR de la β -ciclodextrina a pura.	28
Figura 7 Espectro IR de aceite esencial de orégano (<i>Origanum vulgare</i> L.) microencapsulado con β -ciclodextrina a 40 °C.	29
Figura 8 Espectro IR de aceite esencial de orégano (<i>Origanum vulgare</i> L.) microencapsulado con β -ciclodextrina a 50 °C.	30
Figura 9 Espectro IR de aceite esencial de orégano (<i>Origanum vulgare</i> L.) microencapsulado con β -ciclodextrina a 60 °C.	31
Figura 10 Espectro IR de aceite esencial de albahaca (<i>Ocimum basilicum</i> L.) microencapsulado con β -ciclodextrina a 40 °C.	32
Figura 11 Espectro IR de aceite esencial de albahaca (<i>Ocimum basilicum</i> L.) microencapsulado con β -ciclodextrina a 50 °C.	33
Figura 12 Espectro IR de aceite esencial de albahaca (<i>Ocimum basilicum</i> L.) microencapsulado con β -ciclodextrina a 60 °C.	34
Figura 13 Espectro IR de aceite esencial de romero (<i>Rosmarinus officinalis</i> L.) microencapsulado con β -ciclodextrina a 40 °C.	35
Figura 14 Espectro IR de aceite esencial de romero (<i>Rosmarinus officinalis</i> L.) microencapsulado con β -ciclodextrina a 50 °C.	36
Figura 15 Espectro IR de aceite esencial de romero (<i>Rosmarinus officinalis</i> L.) microencapsulado con β -ciclodextrina a 60 °C.	37
Figura 16 Espectro IR de aceite esencial de orégano (<i>Origanum vulgare</i> L.) microencapsulado con β -ciclodextrina en función de las tres temperaturas evaluadas.	38
Figura 17 Espectro IR de aceite esencial de albahaca (<i>Ocimum basilicum</i> L.) microencapsulado con β -ciclodextrina en función de las tres temperaturas evaluadas.	38
Figura 18 Espectro IR aceite esencial de romero (<i>Rosmarinus officinalis</i> L.) microencapsulado con β -ciclodextrina en función de las tres temperaturas evaluadas.	38
Figura 19 Espectro IR para las tres variedades de aceites esenciales microencapsulados con β -ciclodextrina a una temperatura de 40 °C.	39
Figura 20 Espectro IR para las tres variedades de aceites esenciales microencapsulados con β -ciclodextrina a una temperatura de 50 °C.	39
Figura 21 Espectro IR para las tres variedades de aceites esenciales microencapsulados con β -ciclodextrina a una temperatura de 60 °C.	39

Figura 22 Micrografía del complejo β -ciclodextrina y aceite esencial de romero (<i>Rosmarinus officinalis</i> L.) a 60 °C.....	40
Figura 23 Micrografía del complejo β -ciclodextrina y aceite esencial de romero (<i>Rosmarinus officinalis</i> L.) a 50 °C.....	40
Figura 24 Micrografía del complejo β -ciclodextrina y aceite esencial de romero (<i>Rosmarinus officinalis</i> L.) a 40 °C.....	41
Figura 25 Micrografía del complejo β -ciclodextrina y aceite esencial de Albahaca (<i>Ocimum basilicum</i> L.) a 40 °C	41
Figura 26 Micrografía del complejo β -ciclodextrina y aceite esencial de Albahaca (<i>Ocimum basilicum</i> L.) a 50 °C.	42
Figura 27 Micrografía del complejo β -ciclodextrina y aceite esencial de Albahaca (<i>Ocimum basilicum</i> L.) a 60 °C	42
Figura 28 Micrografía del complejo β -ciclodextrina y aceite esencial de orégano (<i>Origanum vulgare</i> L.) a 40 °C.....	43
Figura 29 Micrografía del complejo β -ciclodextrina a y aceite esencial de orégano (<i>Origanum vulgare</i> L.) a 50 °C.....	43
Figura 30 Micrografía del complejo β -ciclodextrina y aceite esencial de orégano (<i>Origanum vulgare</i> L.) a 60 °C	44
Figura 31 Micrografía de la β -ciclodextrina pura.....	44
Figura 32 Recepción de materia prima de orégano (<i>Origanum vulgare</i> L.), romero (<i>Rosmarinus officinalis</i> L.) y albahaca (<i>Ocimum basilicum</i> L.).....	53
Figura 33 Proceso de extracción de aceite esencial de orégano (<i>Origanum vulgare</i> L.), romero (<i>Rosmarinus officinalis</i> L.) y albahaca (<i>Ocimum basilicum</i> L.), realizado en finca Bosque Los Cimientos ubicado en Chilascó Baja Verapaz.....	53
Figura 34 Formulación de una microcápsula a base de β -ciclodextrina para los aceites esenciales de orégano (<i>Origanum vulgare</i> L.), romero (<i>Rosmarinus officinalis</i> L.) y albahaca (<i>Ocimum basilicum</i> L.), a distintas temperaturas.....	54
Figura 35 Entrega de aceites esenciales de orégano (<i>Origanum vulgare</i> L.), romero (<i>Rosmarinus officinalis</i> L.) y albahaca (<i>Ocimum basilicum</i> L.) al Centro de Información y Asesoría Toxicológica -CIAT- para realizar análisis de cromatografía gaseosa.....	55
Figura 36 Realización de ensayos de Espectro IR de la de β -ciclodextrina pura y de los microencapsulados de β -ciclodextrina con los aceites esenciales de orégano (<i>Origanum vulgare</i> L.), romero (<i>Rosmarinus officinalis</i> L.) y albahaca (<i>Ocimum basilicum</i> L.).....	56
Figura 37 Realización de ensayos de Microscopía Electronica de Barrido MEB para los microencapsulados de β -ciclodextrina con los aceites esenciales de orégano (<i>Origanum vulgare</i> L.), romero (<i>Rosmarinus officinalis</i> L.) y albahaca (<i>Ocimum basilicum</i> L.) en CETEC.....	57
Figura 38 Evaluación la actividad biocida del aceite esencial puro de orégano (<i>Origanum vulgare</i> L.), romero (<i>Rosmarinus officinalis</i> L.) y albahaca (<i>Ocimum basilicum</i> L.) y de las microcápsulas en larvas de <i>Aedes Aegypti</i>	57
Figura 39 Espectro IR de la betaCiclodextrina pura.....	58
Figura 40 Espectro IR de aceite esencial de orégano (<i>Origanum vulgare</i> L.) microencapsulado con β -ciclodextrina a 40 oC.....	59
Figura 41 Espectro IR de aceite esencial de orégano (<i>Origanum vulgare</i> L.) microencapsulado con β -ciclodextrina a 50 °C	60

Figura 42 Espectro IR de aceite esencial de orégano (<i>Origanum vulgare</i> L.) microencapsulado con β -ciclodextrina a 60 °C	62
Figura 43 Espectro IR de aceite esencial de albahaca (<i>Ocimum basilicum</i> L.) microencapsulado con β -ciclodextrina a 40 °C	63
Figura 44 Espectro IR de aceite esencial de albahaca (<i>Ocimum basilicum</i> L.) microencapsulado con β -ciclodextrina a 50 °C.....	65
Figura 45 Espectro IR de aceite esencial de albahaca (<i>Ocimum basilicum</i> L.) microencapsulado con β -ciclodextrina a 60 °C.	66
Figura 46 Espectro IR de aceite esencial de romero (<i>Rosmarinus officinalis</i> L.) microencapsulado con β -ciclodextrina a 40 °C.....	68
Figura 47 Espectro IR de aceite esencial de romero (<i>Rosmarinus officinalis</i> L.) microencapsulado con β -ciclodextrina a 50 °C.....	69
Figura 48 Espectro IR de aceite esencial de romero (<i>Rosmarinus officinalis</i> L.) microencapsulado con β -ciclodextrina a 60 oC	71
Figura 49 Espectro IR de aceite esencial de orégano (<i>Origanum vulgare</i> L.) microencapsulado con β -ciclodextrina en función de las tres temperaturas evaluadas.	72
Figura 50 Espectro IR de aceite esencial de albahaca (<i>Ocimum basilicum</i> L.) microencapsulado con β -ciclodextrina en función de las tres temperaturas evaluadas.	73
Figura 51 Espectro IR aceite esencial de romero (<i>Rosmarinus officinalis</i> L.) microencapsulado con β -ciclodextrina en función de las tres temperaturas evaluadas.	74
Figura 52 Espectro IR para las tres variedades de aceites esenciales microencapsulados con β -ciclodextrina a una temperatura de 40 °C.	75
Figura 53 Espectro IR para las tres variedades de aceites esenciales microencapsulados con β -ciclodextrina a una temperatura de 50 °C.	76
Figura 54 Espectro IR para las tres variedades de aceites esenciales microencapsulados con β -ciclodextrina a una temperatura de 60 °C.	77
Figura 55 Cromatograma del aceite esencial de orégano (<i>Origanum vulgare</i> L.).....	78
Figura 56 Cromatograma del aceite esencial de albahaca (<i>Ocimum basilicum</i> L.)	79
Figura 57 Cromatograma del aceite esencial de romero (<i>Rosmarinus officinalis</i> L.).....	80

1. Resumen y palabras claves

El proyecto de investigación tuvo como objetivo evaluar la capacidad biocida del aceite esencial microencapsulado de tres especies vegetales, Orégano (*Origanum vulgare* L.), Romero (*Rosmarinus officinalis* L.), y Albahaca (*Ocimum basilicum* L.), y su aplicación en la desinfección larvicida en cuerpos de agua. El proceso de extracción del aceite esencial se realizó a escala planta piloto mediante el método de arrastre con vapor directo y se llevó a cabo el análisis fisicoquímico para caracterizar los extractos obtenidos.

Debido a que los aceites esenciales son sustancias muy volátiles y sensibles en condiciones medioambientales, se propuso la formulación de una microcápsula biodegradable de β -Ciclodextrina para garantizar su estabilidad y actividad biocida larvicida. Se analizó el comportamiento de la encapsulación en función de la temperatura, que es uno de los factores más influyentes en la degradación de los aceites esenciales.

Se realizó la caracterización del encapsulamiento y se evaluó la actividad biocida del aceite esencial puro y microencapsulado en larvas. Los resultados mostraron que la microencapsulación de los aceites esenciales mejoró su estabilidad y capacidad larvicida. Además, se logró una alternativa de larvicida a los convencionales que se ha demostrado su poder contaminante en cuerpos de agua, lo que sentó un precedente eco amigable en el control de larvas. El proyecto de investigación logró cumplir con su objetivo primordial y obtener resultados prometedores para la desinfección larvicida en cuerpos de agua.

Palabras claves

β -Ciclodextrina, capacidad larvicida, aceite esencial, *Aedes aegypti*, microencapsulación.

Abstract and Keywords

The research project aimed to evaluate the biocidal capacity of microencapsulated essential oils from three plant species, Oregano (*Origanum vulgare* L.), Rosemary (*Rosmarinus officinalis* L.), and Basil (*Ocimum basilicum* L.), and their application in larvicidal disinfection in bodies of water. The essential oil extraction process was carried out at a pilot plant scale using the direct steam distillation method, and physicochemical analysis was performed to characterize the extracts obtained.

Due to the high volatility and sensitivity of essential oils to environmental conditions, the proposal was to formulate a biodegradable β -Cyclodextrin microcapsule to ensure their stability and larvicidal biocidal activity. The behavior of encapsulation was analyzed based on temperature, which is one of the most influential factors in the degradation of essential oils.

The encapsulation was characterized, and the biocidal activity of pure and microencapsulated essential oils in larvae was evaluated. The results showed that microencapsulation improved the stability and larvicidal capacity of the essential oils. In addition, an alternative larvicide to conventional ones that have been shown to be contaminating in bodies of water was achieved, setting an eco-friendly precedent in larva control. The research project successfully achieved its primary objective and obtained promising results for larvicidal disinfection in bodies of water.

Keywords

β -cyclodextrin, larvicidal capacity, essential oil, *Aedes aegypti*, microencapsulation.

2. Introducción

Las enfermedades transmitidas por mosquitos como el dengue, la Chikunguña, la fiebre amarilla y el Zika son preocupaciones cada vez mayores en la mayoría de las regiones tropicales y subtropicales. La fiebre del dengue es la más importante de estas enfermedades en todo el mundo. Una última estimación indica que alrededor de 390 millones de infecciones por dengue ocurren anualmente, lo que lleva a 96 millones (67 a 136 millones) de casos clínicos (Bhatt et al., 2013). En Guatemala ubicada en una región tropical es susceptible a que anualmente se pierdan muchas vidas debido a los diferentes brotes que se dan, los malos manejos de los saneamientos de cuerpos de agua haciendo énfasis en los estáticos que son los que mayormente son utilizados para actividades agrícolas como domésticas provocan continuas proliferaciones de vectores causantes de dichas enfermedades.

La calidad de agua tanto para consumo humano como animal debe de ser prioridad para prevenir todo tipo de enfermedades ya sea por agentes parasitarios o por la proliferación de vectores, pero también hay que tomar en consideración que dentro de los cuerpos acuáticos existen organismos cuyo ecosistema es exclusivamente dependiente del vital líquido, estos organismos acuáticos que son de beneficio para el ser humano como fuente de alimento (peces), o controladores de plagas naturales (ranas) se ven afectados cuando las personas en su afán de querer eliminar vectores u otros organismo bióticos causantes de enfermedades para sus animales o ellos mismos, agregan cantidades nocivas para organismos acuáticos benignos y con ello dañan al ecosistema entero y muchas veces la vida y diversidad en los cuerpos de agua. Se evaluaron los efectos de las formulaciones de larvicidas a base de DFB(Diflubenzuron) y TMP(Temefos) en branquias e hígados de *O. niloticus*(Una especie de pez) después de una exposición aguda en ausencia y presencia de sedimentos orgánicos, con el fin de investigar lesiones o alteraciones a nivel tisular. Ambos larvicidas indujeron alteraciones en las células branquiales y hepáticas, pero las TMP fueron más agresivas para el tejido hepático, lo que provocó necrosis celular.(Abe et al., 2019). No solamente está comprobado los daños realizados a especies acuáticas sino también a mamíferos que consuman aguas contaminadas con este tipo de larvicidas, en Guatemala desde 1983 uno de los larvicidas más utilizados es el Temefos.(Matsuo, n.d.)

La importancia de la presente propuesta de investigación es encontrar métodos alternativos del combate de vectores y otros organismos que son perjudiciales para la salud de la población guatemalteca, que sean amigables con los ecosistemas acuáticos y al mismo tiempo realicen una labor efectiva larvicida con una relevante cualidad biodegradable.

Los aceites esenciales son las fracciones líquidas volátiles que contienen las sustancias responsables del aroma de las plantas, son mezclas complejas de hasta 100 componentes, entre ellos: terpenoides, fenoles aromáticos, éteres, ésteres, aldehídos y cetonas que determinan el aroma característico de la planta (Bandoni, 2002; Sharapin, 2000). Dentro de esas sustancias complejas que poseen los aceites esenciales existen una variedad con efectos dentro de los cuales y para uso de la presente propuesta se resaltan los biocidas. Las plantas han sido utilizadas para el control de insectos durante largo tiempo (Jacobson, 1958; Wojciechowska et al., 2016). Además, dado que algunos insecticidas naturales son extractos vegetales y por tanto, son mezclas complejas de

compuestos, pueden exhibir sinergismos o interacciones potenciadoras, con diferentes modos de acción, y así disminuir la probabilidad de generar resistencia (Isman, 2006). Se realizó un listado de algunas especies vegetales cultivadas en Guatemala las cuales son Orégano (*Origanum vulgare* L.), Romero (*Rosmarinus officinalis* L.) y Albahaca (*Ocimum basilicum* L.) que se caracterizan por poseer compuestos dentro de sus aceites esenciales capaces de actuar sobre los organismos acuáticos causantes de vectores transmisores de enfermedades las cuales se estudiarán y se determinará su potencial biocida.

Los aceites esenciales son sustancias que se degradan fácilmente en condiciones medioambientales, la incidencia de la luz solar sobre los mismos o temperaturas altas pueden dañarle (Muñoz V. et al., 2014). Es por ello la importancia de encontrar mecanismos de encapsulamiento que ayuden cumplir ese cometido de protección y que al mismo tiempo pueda ser biodegradable, por lo que se considerará la β -Ciclodextrina como base principal de microencapsulación, ya que es una alternativa para realizar dicho proceso (Ros, 2010). Y se buscará formular el procedimiento de encapsulación para que sea referente en el país y se puedan generar líneas de producción de microcápsulas biocidas a base de aceites esenciales capaces de combatir vectores y agentes nocivos para la salud humana que tantas vidas cobran anualmente y proteger al mismo tiempo los cuerpos acuáticos y su biodiversidad en contra posición a las convencionales que son contaminantes y nocivas para la salud.

3. Planteamiento del problema

La tasa de mortalidad a nivel mundial debido a los vectores que propagan enfermedades como el dengue, zika, y Chikunguña conocido como *Aedes aegypti* y su fácil propagación en aguas estancadas crea en nuestro país anualmente brotes que en muchos de los casos derivan en muertes, el control de dichos vectores y la carente cultura de información del uso de los larvicidas causa que se contaminen cuerpos de agua con productos químicos nocivos para la diversidad de éstos.

Por lo que, la presente propuesta de investigación busca la formulación de un larvicida alternativo a los convencionales partiendo del estudio del aceite esencial de tres diferentes especies vegetales aromáticas, estudiando sus propiedades fisicoquímicas especialmente las biocidas y con ello llevar a cabo un proceso de encapsulamiento que cumpla con los parámetros necesarios de conservación de las propiedades de los aceites esenciales.

Se espera que, a través de la extracción y conservación de los aceites esenciales de las tres especies aromáticas, se pueda formular una alternativa larvicida a las convencionales químicas y se obtenga un producto final capaz de cumplir con las condiciones ambientales y ser biodegradable, así como no contaminante para otros organismos acuáticos que cohabitan en los cuerpos de agua donde también se desarrollan las larvas del mosquito *Aedes aegypti*.

4. Delimitación en tiempo y espacio

4.1. Delimitación en tiempo

El proyecto contó con una duración de 10 meses. Iniciando el 1 de febrero del 2022, y finalizando el 30 de noviembre del 2022.

Tabla 1

Delimitación espacio temporal.

Lugar	Proceso para desarrollar	Tiempo (meses)
Laboratorio De Investigación De Extractos Vegetales -LIEXVE-USAC/ Campus Central. Ceteq “Centro de Investigación y Desarrollo” Cementos Progreso	<ul style="list-style-type: none">La deshidratación, molienda de la materia prima y extracción de aceite esencial de las tres diferentes especies a estudiar realizándolo a escala laboratorio y planta piloto.Proceso de aplicación de extractos para la creación de microcápsulas	6
Centro de Información y Asesoría Toxicológica de Guatemala, CIAT-USAC Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia.	<ul style="list-style-type: none">La composición del aceite esencial obtenido se realizará por Cromatografía de gases con acoplamiento de espectrometría de masas CG-MS	2
<ul style="list-style-type: none">Finca Cruz, Sanarate El Progreso, GuatemalaBioinsecta	<ul style="list-style-type: none">Determinación del efecto biocida, recolección larvaria In situ en diferentes cuerpos de agua.	1
Centro de Investigaciones de Ingeniería, Facultad de Ingeniería USAC	<ul style="list-style-type: none">Elaboración del informe final del proyecto de investigación.Divulgación	1

Nota. Elaboración propia, 2021

4.2. Delimitación espacial

Se hizo uso de los distintos laboratorios y lugares establecidos en la Tabla 1 los cuales tenían como objetivo la extracción del aceite esencial (Laboratorio de Investigación de Extractos Vegetales, LIEXVE), como la caracterización de estos (Laboratorio de Química Analítica de la Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia USAC). Se realizó la determinación de las características estructurales de las microcápsulas a través de la Microscopía Electrónica de Barrido MEB, en el Centro de Investigación y Desarrollo de Cementos Progreso. Se realizó el ensayo de espectrofotometría infrarrojo IR se realizó en el Laboratorio de Química del Instituto de Investigaciones Químicas, Biológicas, Biomédicas y Biofísicas de la Universidad Mariano Gálvez. Se recolectaron larvas In Situ de los mismos (Finca Cruz, Sanarate El Progreso, Guatemala, Bioinsecta) y se aplicaron posteriormente las microcápsulas en el Bioterio “Bioinsecta” Altos de Fuentes, San Miguel, Petapa, Guatemala.

5. Marco teórico

- **Aceites Esenciales**

Los aceites esenciales son una mezcla de componentes orgánicos líquidos, volátiles, con propiedades lipofílicas que destacan por su acorde aromático.

Son sustancias biosintetizadas por las plantas como metabolitos secundarios y que pueden ser extraídas mediante procesos físicos como la destilación. Los Aceites esenciales desempeñan un rol muy importante en la protección de las plantas actuando como agentes antibacterianos, antivirales, antifúngicos e insecticidas (Palá Paúl, 2002).

- **Aceite esencial de Orégano (*Origanum vulgare* L.)**

La planta forma un pequeño arbusto achaparrado su uso principal es en el arte culinario, ya que sus hojas tanto secas como frescas, son muy aromáticas.

El aceite esencial presenta propiedades antiácricidas y insecticidas. Sus principales componentes son terpenos, monoterpenos y sesquiterpenos, que son los causantes principales de la mortalidad de los insectos, estos son carvacrol y p-cimeno (Rosado-solano et al., 2018).

- **Aceite esencial de Romero (*Rosmarinus officinalis* L.)**

Es un arbusto aromático. Con propiedades antimutagénicas y antimicrobianas.

El aceite esencial de romero se concentra mayoritariamente en las flores. Está constituido principalmente por monoterpenos oxigenados de los cuales resaltan: 1,8-cineol, borneol, alcanfor eucaliptol, α -pineno, verbenona y otros monoterpenoides.

El aceite esencial de romero es utilizado como agente antifúngico (Leyva et al., 2017).

- **Aceite esencial de Albahaca (*Ocimum basilicum* L.)**

Es una planta aromática de cultivo anual y tamaño medio perteneciente a la familia de las Labiadas. Está constituido principalmente por: linalol, estragol, timol y eugenol. Es un insecticida y controla polillas, áfidos, moscas, mosquitos además de ser acaricida. El linalol actúa sobre el sistema nervioso de los artrópodos, mientras que el estragol inhibe la enzima acetilcoesterasa en insectos (Nieves et al., 2010).

- **Microencapsulación de aceites esenciales**

Los aceites esenciales se microencapsulan con el objetivo de evitar su degradación bajo ciertas condiciones, por lo cual son protegidos de la reacción con otros compuestos presente en el medio, o para impedir que sufran reacciones de oxidación debido a la luz o al oxígeno. Una de las versatilidades que ofrece la encapsulación es la liberación gradual del principio activo (García, 2015). Su encapsulación del principio activo se consigue empleando materiales poliméricos (paredes) o películas de sacáridos como la β -Ciclodextrina (López Hernández, 2010).

- **Actividad Larvicida**

Un agente larvicida actúa por absorción a través de la cutícula, tracto respiratorio o por ingestión a través del tracto gastrointestinal. Una vez en el interior de la larva el tóxico alcanza el sitio de acción causando un efecto sistémico por difusión en los diferentes tejidos, lo que produce la muerte de la larva en minutos o en horas según la dosis que se utilice y la toxicidad del producto (Mesa Vanegas et al., 2017).

- ***Aedes aegypti***

Es una especie de mosquito originado en el cinturón tropical de África. En los últimos 30 años ha ocurrido un incremento de dengue, enfermedad transmitida por este vector, de la cual se estima anualmente decenas de millones de enfermos; muchos de ellos contraen la forma más severa, la fiebre hemorrágica del dengue, la cual es causa de hospitalización y muerte en numerosos países (Leyva et al., 2009).

6. Estado del arte

Aedes aegypti L. (Díptera: Culicidae), es un vector de los virus que provocan las enfermedades febriles Dengue, Chikunguña y Zika, que afectan a gran parte de la población en los países tropicales, en la región de las Américas son varios los estudios en cuanto a la susceptibilidad frente a los productos sintéticos utilizados para el control de este mosquito. El plaguicida que durante más tiempo se ha utilizado para el control de vectores, es el larvicida Temefos y sus niveles de resistencia ha sido documentado en diversos países de Latinoamérica (Aguilar et al., 2011). Los insecticidas químicos dentro de la lucha integrada para el control de vectores, en muchos casos se complementan con otros métodos de control como el físico, el biológico, las campañas educativas y la participación de la comunidad (Mesa Vanegas et al., 2017). Un método alternativo de control lo constituye la utilización de plantas, las cuales representan una fuente promisoría, segura y sostenible ecológicamente para el control vectorial (Simas et al., 2004).

Los aceites esenciales obtenidos del Orégano (*Origanum vulgare* L.), Romero (*Rosmarinus officinalis* L.) y Albahaca (*Ocimum basilicum* L.) destacan por sus numerosas actividades biológicas y organolépticas que los convierten en candidatos para ser usados como alternativas en el control de la plaga de *Aedes aegypti*. (Leyva et al., 2009). Sin embargo, a pesar de que los aceites esenciales ofrecen un sin número de versatilidades su empleo suele verse limitado por su alta volatilidad y tendencia a degradarse.

Es por ello que la microencapsulación es una estrategia válida para superar estos inconvenientes, (Matiz et al., 2015) un soporte que contenga en su interior el aceite esencial y que permita su liberación paulatinamente. Una alternativa de microencapsulación de aceite esencial es utilizando β -Ciclodextrina (Ros, 2010).

Las ciclodextrinas son oligosacáridos cíclicos derivados del almidón modificado enzimáticamente. Están formados por moléculas de D-glucosa unidas por enlaces α -(1,4).

Son nombradas con una letra griega que es función del número de unidades de glucosa (n): α -Ciclodextrina (n=6), β -Ciclodextrina (n=7), γ -Ciclodextrina (n=8), δ -Ciclodextrina (n=9). Entre ellas las más comunes son las α , β y γ , y desde 1998 la β -Ciclodextrina es considerada como

producto GRAS. La cavidad interna de la β -Ciclodextrina es hidrofóbica, y es ahí donde se hace la inclusión de los aceites esenciales, formándose un complejo aceite esencial + β -Ciclodextrina (microcápsula), la cual ofrece la protección a los compuestos encapsulados, los cuales pueden ser liberados controlando la humedad del ambiente. (Matos-Chamorro Alfredo; Quispe-Condori, Socrates; Quito-Vidal, Moisés Rosulo ; Beltrán-Cárdenas, 2010). Los aceites esenciales descritos anteriormente presentan actividades larvicidas *per se* sin embargo para su aplicación son requeridas condiciones de conservación de 4 °C y que estos se encuentren protegidos de la luz para posteriormente diluirlas con disolventes especiales (Muñoz V. et al., 2014).

Por consiguiente, esta propuesta de investigación tiene como objetivo implementar un medio de conservación integral del principio activo natural con actividad biocida de manera que pueda aumentar su tiempo de residencia en los cuerpos de agua y evitar la proliferación de las larvas del mosquito *aedes aegypti*. La parte innovadora de este proyecto es proveer un medio de conservación biodegradable al principio activo (aceite esencial) evaluando tres especies aromáticas para el saneamiento de aguas ya que en la literatura científica únicamente se reporta el uso de los aceites esenciales utilizando medios contaminantes y no biodegradables.

7. Objetivos

General

Evaluar la capacidad biocida del aceite esencial microencapsulado obtenido de tres plantas aromáticas y su aplicación en la desinfección de cuerpos de agua.

Específicos

1. Evaluar el rendimiento extractivo del aceite esencial de Orégano (*Origanum vulgare* L.), Romero (*Rosmarinus officinalis* L.) y Albahaca (*Ocimum basilicum* L.) a escala planta piloto.
2. Caracterizar fisicoquímicamente el aceite esencial de Orégano (*Origanum vulgare* L.), Romero (*Rosmarinus officinalis* L.) y Albahaca (*Ocimum basilicum* L.) a escala planta piloto.
3. Formular una cápsula a base de β -ciclodextrina para la inclusión de los aceites esenciales y caracterizarla por medio de microscopía electrónica de barrido -MEB-.
4. Evaluar la eficiencia de encapsulamiento de tres tipos de aceite esencial en función de la temperatura.
5. Caracterizar el grado de encapsulamiento de la β -ciclodextrina mediante la técnica de espectroscopia infrarroja FTIR y Espectrofotometría UV-VIS.
6. Evaluar la actividad biocida del aceite esencial puro en larvas de *Aedes aegypti* según metodología de la OMS, 1981.
7. Evaluar la actividad biocida del aceite microencapsulado en larvas de *Aedes aegypti* según metodología de la OMS, 1981.

Hipótesis

- El porcentaje de rendimiento extractivo del aceite esencial de las tres plantas aromáticas es superior al 2%.
- La eficiencia del encapsulamiento es afectada por la variación de la temperatura.
- El grado de encapsulamiento es dependiente del tipo de aceite esencial.
- La actividad biocida del aceite esencial es afectada por el encapsulamiento con β -ciclodextrina.
- La mejor actividad larvicida con una concentración letal media (CL50) es la del aceite esencial encapsulado con β -ciclodextrina.

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

8.1. Enfoque de la investigación

El Enfoque de esta investigación es cuantitativo. El efecto larvicida del aceite esencial puro y microencapsulado se obtuvieron cuantitativamente mediante el porcentaje de reducción siguiendo la metodología de la Organización Mundial de la Salud, Larvicidas, Bacterianos y Reguladores del Crecimiento de Insectos por sus siglas en inglés (IGRs). También, el tipo de aceite esencial y la temperatura fue determinado cuantitativamente, donde la variable respuesta es la eficiencia y el grado de encapsulación.

8.2. Método

Los métodos que se emplea en la propuesta de investigación se describen a continuación:

- Objetivo específico 1: se realiza la extracción y determinación del rendimiento del aceite esencial de Orégano (*Origanum vulgare* L.), Romero (*Rosmarinus officinalis* L.) y Albahaca (*Ocimum basilicum* L.) a escala planta piloto utilizando arrastre con vapor directo (Oscar Henry Santizo Lacayo, 2004).
- Objetivo específico 2: se caracterizan fisicoquímicamente el aceite esencial de Orégano (*Origanum vulgare* L.), Romero (*Rosmarinus officinalis* L.) y Albahaca (*Ocimum basilicum* L.) a escala planta piloto utilizando el procedimiento propuesto por Oscar Henry Santizo Lacayo, (2004), determinando la densidad, solubilidad en etanol, índice de refracción, viscosidad, pH y composición química mediante cromatografía gaseosa GC-MS.
- Objetivo específico 3: se elaboran las microcápsulas de β -ciclodextrina por precipitación con una solución etanol-agua (1:2), agitando a una temperatura de 55 °C, almacenando a 4 °C por 24 h. Separando por filtración y secado por convección a 60 °C el complejo precipitado (β -ciclodextrina + aceite esencial) (Matos-Chamorro Alfredo; Quispe-Condori, Socrates; Quito-Vidal, Moisés Rosulo ; Beltrán-Cárdenas, 2010). Caracterizar las microcápsulas mediante la técnica de microscopía electrónica de barrido. (Soares et al., 2017)
- Objetivo específico 4: La eficiencia de encapsulamiento de los tres tipos de aceite esencial en función de la temperatura se determina por medio de espectrofotometría de UV, con tres temperaturas: 313.15 K (40°C), 323.15 K (50°C) y 333.15 K (60°C) con relación molar Aceite Esencial: β -CicloDextrina de 1:1 (Restrepo et al., 2009).
- Objetivo 5: Se determina el grado de encapsulamiento de la β -ciclodextrina mediante la técnica de espectroscopia infrarroja FTIR y Espectrofotometría UV-VIS.

- Objetivo 6 y 7: Los bioensayos con las larvas *Aedes aegypti* utilizando los tres quimiotipos de aceites esenciales puros se desarrollan con un control y cuatro replicas, a las cuales se les añade 1 g de β -ciclodextrina con inclusión de aceite esencial a 99 mL de agua; al control, 1 mL de etanol en el mismo volumen. Para cada concentración ensayada se utilizan 25 larvas para cada frasco. Las dosificaciones se replican 3 veces. Los bioensayos se realizan según metodología de la OMS, 1981

8.3. Recolección de información

El objetivo de esta propuesta de investigación es la de evaluar la actividad biocida de tres quimiotipos de aceite esencial microencapsulados para la desinfección de cuerpos de agua entorno al mosquito *aedes aegypti*.

8.4. Técnicas e instrumentos

- Extracción de aceite esencial por arrastre con vapor a escala planta piloto

Para la extracción de aceite esencial de las tres variedades de plantas aromáticas preparar la materia prima con el tamaño de partícula y humedad como es referido en el estudio de Oscar Santizo (2004), utilizar 5 kg de materia prima y vapor vivo de una caldera pirotubular de 10 HP, además utilizar agua como fluido para condensar el aceite esencial y posteriormente decantar y determinar el porcentaje de rendimiento del aceite esencial.

- Elaboración de la microcápsula de aceite esencial con β -ciclodextrina

Las microcápsulas con β -ciclodextrina se preparan por el método de precipitación referenciado por Matos-Chamorro Alfredo; Quispe-Condori, Sócrates; Quito-Vidal, Moisés Rosulo ; Beltrán-Cárdenas, (2010). En una solución etanol-agua con relación (1:2) se disuelve 50 g de β -ciclodextrina agitando a una temperatura de 55 °C, posteriormente se añade una solución de aceite esencial con etanol (10 %m/V). La solución se almacena a 4 °C por 24 h. Finalmente se separa por filtración y secado por convección a 60 °C el complejo precipitado (β -ciclodextrina + aceite esencial).

- Eficiencia y grado de encapsulamiento

La eficiencia es la cantidad de aceite que queda encapsulado sobre la cantidad total de aceite esencial, la cual se determina por espectrofotometría de UV, respecto a la ecuación (1):

$$Ef \% = \left(\frac{A.E.En}{T A.E.} \right) 10^2 \quad (1)$$

Donde, $Ef\%$ es el porcentaje de eficiencia, A.E.En, es el aceite esencial encapsulado y T A.E. es el Total de Aceite Esencial.

En cuanto al grado de encapsulamiento, este es determinado por la caracterización por espectrofotometría UV-Vis y espectroscopía IR a la β -ciclodextrina libre y con la inclusión del aceite esencial en la que se verán reflejadas en las bandas o picos de absorción lo cual está en concordancia con la estructura química los compuestos (Soares et al., 2017).

- Bioensayos con larvas *aedes Aegypti*, aceite esencial.

Se utiliza un control y cuatro réplicas, a las cuales se les añade 1 g de aceite esencial a 99 mL de agua; al control, 1 mL de etanol en el mismo volumen. Para cada concentración ensayada se utilizan 25 larvas para cada frasco. Las dosificaciones son replicadas 3 veces. Los bioensayos se realizan según metodología de la OMS, 1981 (Leyva et al., 2009).

- Bioensayos con larvas *aedes Aegypti*, aceite esencial microencapsulado en β -ciclodextrina.

Se utiliza un control y cuatro replicas, a las cuales se les añade 1 g de aceite esencial encapsulado con β -ciclodextrina a 99 mL de agua; al control, 1 mL de etanol en el mismo volumen. Para cada concentración ensayada se utilizan 25 larvas para cada frasco. Las dosificaciones son replicadas 3 veces. Los bioensayos se realizan según metodología de la OMS, 1981 (Leyva et al., 2009).

8.5. Operacionalización de las variables o unidades de análisis

Tabla 2

Coherencia de la propuesta de investigación

Objetivos específicos	Métodos, técnicas, instrumentos	Resultados
Extracción y determinación del rendimiento del aceite esencial para tres variedades de plantas aromáticas a escala planta piloto.	Arrastre con vapor directo en planta piloto	Rendimiento de aceite esencial
Caracterización fisicoquímica del aceite esencial de tres variedades de plantas aromáticas	Cromatografía gaseosa GC-MS, propiedades fisicoquímicas	Densidad, solubilidad en etanol, índice de refracción, viscosidad, pH
Elaboración de microcápsulas con β -ciclodextrina y aceite esencial	Precipitometría (Matos-Chamorro Alfredo; Quispe-Condori, Sócrates; Quito-Vidal, Moisés Rosulo ; Beltrán-Cárdenas, 2010) Microscopía Electrónica de Barrido -MEB-	Microcápsula de (β -ciclodextrina + aceite esencial) características de la cápsula (parámetros)
Eficiencia de encapsulamiento de los tres quimiotipos de aceite esencial en función de la temperatura.	espectrofotometría de UV y Espectroscopía IR	% eficiencia de encapsulamiento
Bioensayos con larvas <i>Aedes aegypti</i> con aceite esencial	Bioensayos según metodología OMS, 1981 (Leyva et al., 2009)	Concentraciones letales finales probadas y mortalidades
Bioensayos con larvas <i>Aedes aegypti</i> con microcápsula de β -ciclodextrina + aceite esencial	Bioensayos según metodología OMS, 1981 (Leyva et al., 2009)	Concentraciones letales finales probadas y mortalidades

Nota. Elaboración propia, Laboratorio de Investigación de Extractos Vegetales -Liexve-

8.6. Procesamiento y análisis de la información

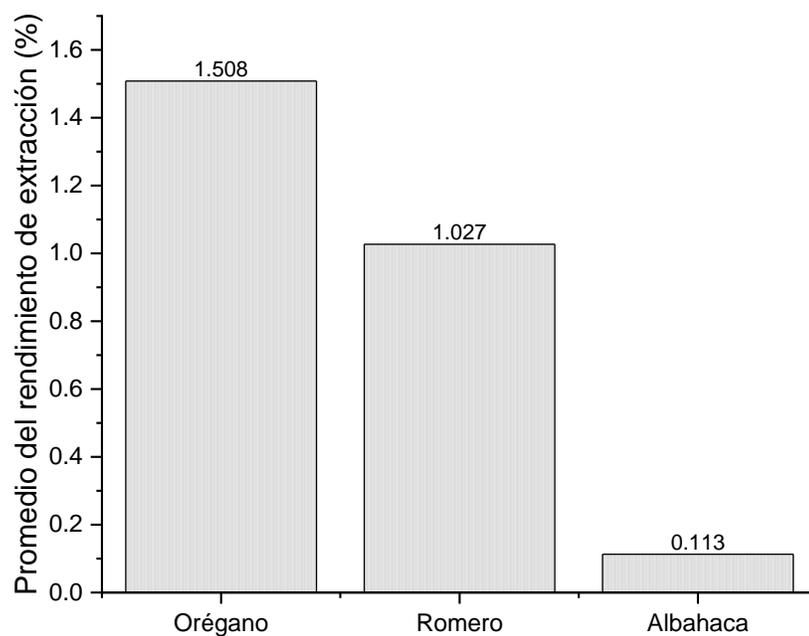
- Se realiza un diseño factorial 3^2 donde el error experimental se elimina por medio de la aleatorización de las muestras, donde las variables independientes son tres temperaturas y los tres diferentes quimiotipos, la variable respuesta es la eficiencia de encapsulación. Número de réplicas: 3. Cantidad de experimentos: 27 y 9 análisis sin inclusión de aceite esencial para un total de 36. Se aplica el mismo procedimiento y la misma cantidad experimental pero la variable respuesta será el grado de encapsulación.

9. Resultados y Discusión

9.1. Resultados

Figura 1

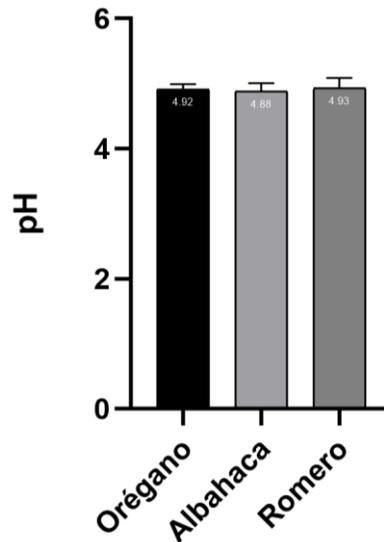
*Rendimiento porcentual promedio del extracto aceite esencial de orégano (*Origanum vulgare* L.), romero (*Rosmarinus officinalis* L.) y albahaca (*Ocimum basilicum* L.).*



Nota. Elaboración propia, Laboratorio de Investigación de Extractos Vegetales -Liexve-

Figura 2

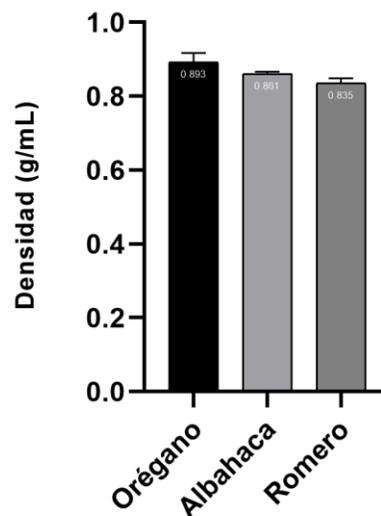
Potencial de hidrógeno promedio del extracto aceite esencial de orégano (*Origanum vulgare L.*), romero (*Rosmarinus officinalis L.*) y albahaca (*Ocimum basilicum L.*).



Nota. Elaboración propia, Laboratorio de Investigación de Extractos Vegetales -Liexve-

Figura 3

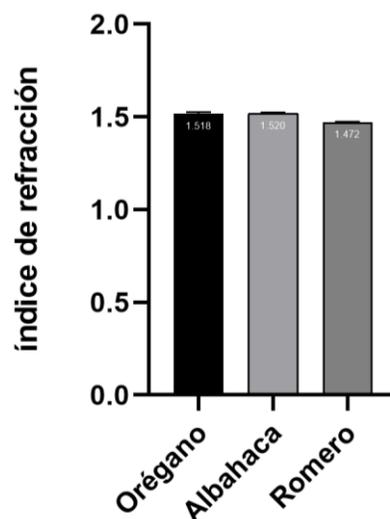
Densidad promedio del extracto aceite esencial de orégano (*Origanum vulgare L.*), romero (*Rosmarinus officinalis L.*) y albahaca (*Ocimum basilicum L.*)



Nota. Elaboración propia, Laboratorio de Investigación de Extractos Vegetales -Liexve-

Figura 4

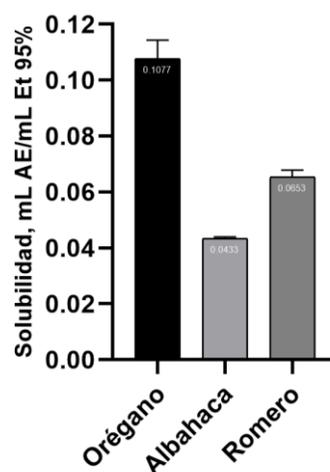
Índice de refracción promedio del extracto aceite esencial de orégano (*Origanum vulgare* L.), romero (*Rosmarinus officinalis* L.) y albahaca (*Ocimum basilicum* L.).



Nota. Elaboración propia, Laboratorio de Investigación de Extractos Vegetales -Liexve-

Figura 5

Índice de refracción promedio del extracto aceite esencial de orégano (*Origanum vulgare* L.), romero (*Rosmarinus officinalis* L.) y albahaca (*Ocimum basilicum* L.)



Nota. Elaboración propia, Laboratorio de Investigación de Extractos Vegetales -Liexve-

Tabla 3

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	20739-58-6
2	4.285	8.828	3-hexin-1-ol	1002-28-4
3	6.791	8.673	endo-2-Aminonorborno	31002-73-0
4	3.795	6.794	1,5-dimetilpirazol	694-31-5
5	3.67	6.546	4-Hidrazono-5-hidroxiimino-4,5,6,7-tetrahydrobenzofurazano	694-31-5

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

Tabla 4

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

No.	Tiempo de retención (min)	Área (%)	Componente Químico	Número CAS
1	4.355	4.531	1,8-Nonadiino	2396-65-8
2	4.695	2.254	1,7-Octadiino	871-84-1
3	3.365	1.450	2-metil-1-hexen-3-ino	23056-94-2
4	3.460	1.332	2-etnil-Biciclo[2.2.1]heptano	2146-39-6
5	4.535	1.148	1,3-Cicloheptadieno	4054-38-0

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

Tabla 5

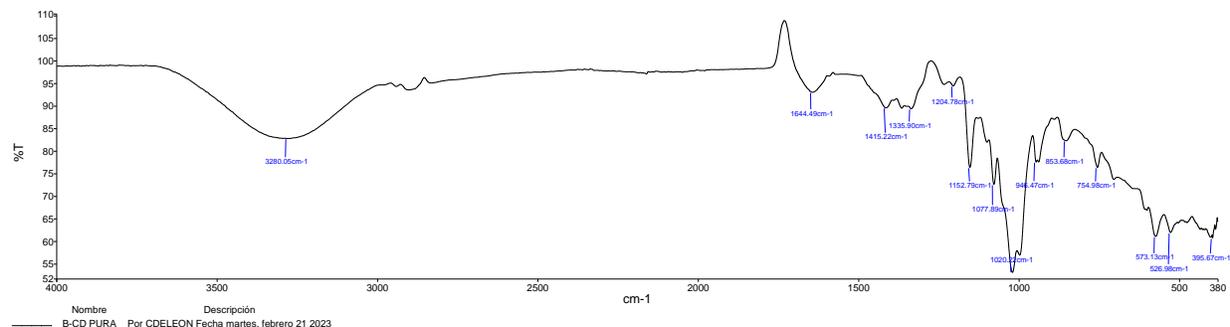
Componentes mayoritarios obtenidos de cromatografía gaseosa del aceite esencial de albahaca (Ocimum basilicum L.)

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-diazabiciclo[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-Trimetilbiciclo[3.1.1]hept-2-eno	7785-26-4

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

Figura 6

Espectro IR de la β-ciclodextrina a pura.

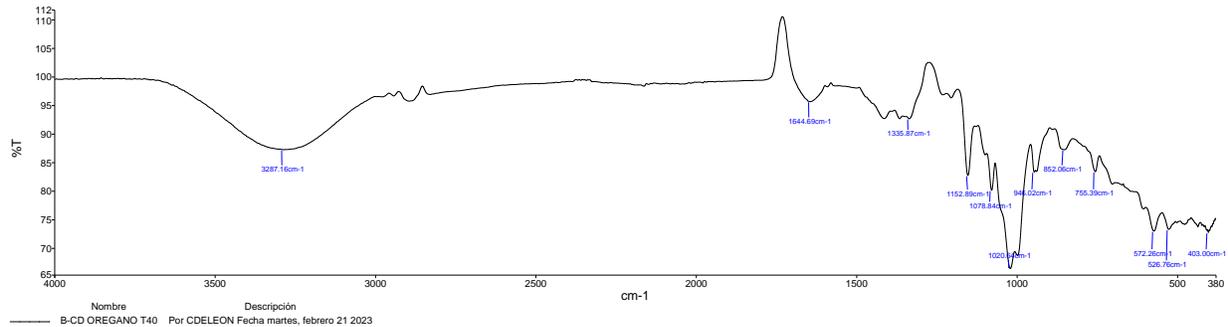


Número pico	X (cm-1)	Y (%T)
1	3280.05	82.84
2	1644.49	93.10
3	1415.22	89.66
4	1335.90	89.44
5	1204.78	94.51
6	1152.79	76.43
7	1077.89	72.68
8	1020.22	53.10
9	946.47	77.61
10	853.68	82.35
11	754.98	76.43
12	573.13	61.14
13	526.98	61.98
14	395.67	60.79

Nota. Datos proporcionados por el Instituto de Investigaciones I2QB3 UMG Labs

Figura 7

Espectro IR de aceite esencial de orégano (Origanum vulgare L.) microencapsulado con β -ciclodextrina a 40 °C

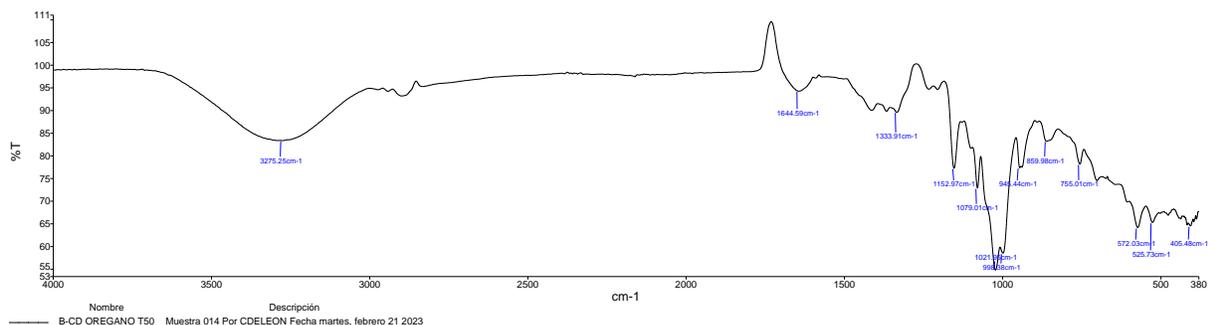


Número pico	X (cm-1)	Y (%T)
1	3287.16	87.28
2	1644.69	95.71
3	1335.87	92.70
4	1152.89	82.76
5	1078.84	80.16
6	1020.64	66.44
7	946.02	83.37
8	852.06	87.29
9	755.39	83.42
10	572.26	73.00
11	526.76	73.32
12	403.00	72.77

Nota. Datos proporcionados por el Instituto de Investigaciones I2QB3 UMG Labs

Figura 8

Espectro IR de aceite esencial de orégano (Origanum vulgare L.) microencapsulado con β -ciclodextrina a 50 °C

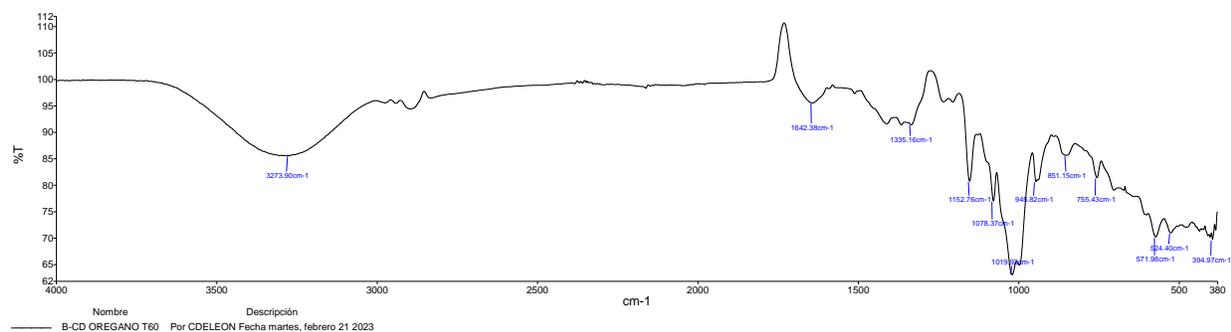


Número pico	X (cm-1)	Y (%T)
1	3275.25	83.39
2	1644.59	94.31
3	1333.91	89.63
4	1152.97	77.25
5	1079.01	72.89
6	1021.95	54.76
7	998.38	58.51
8	945.44	77.38
9	859.98	83.26
10	755.01	78.19
11	572.03	64.15
12	525.73	65.30
13	405.48	64.54

Nota. Datos proporcionados por el Instituto de Investigaciones I2QB3 UMG Labs

Figura 9

*Espectro IR de aceite esencial de orégano (*Origanum vulgare L.*) microencapsulado con β -ciclodextrina a 60 °C*

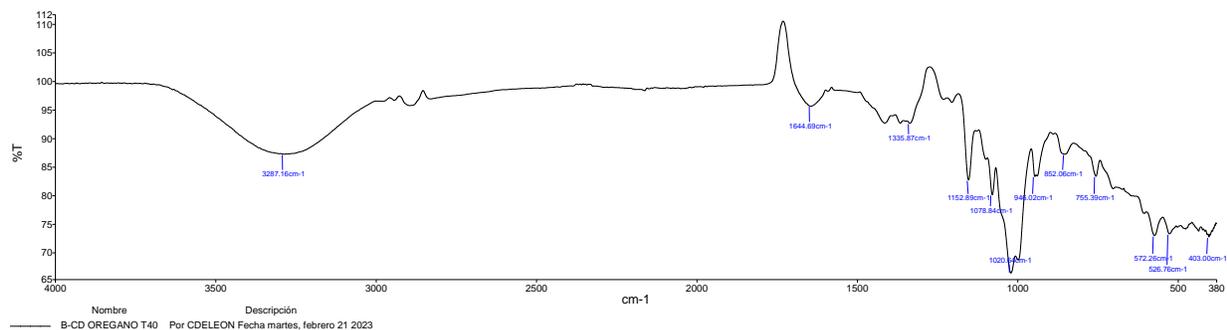


Número pico	X (cm-1)	Y (%T)
1	3273.90	85.59
2	1642.38	95.61
3	1335.16	91.44
4	1152.76	80.77
5	1078.37	77.01
6	1019.93	63.05
7	945.82	80.69
8	851.15	85.67
9	755.43	81.44
10	571.98	70.20
11	524.40	70.99
12	394.97	69.71

Nota. Datos proporcionados por el Instituto de Investigaciones I2QB3 UMG Labs

Figura 10

Espectro IR de aceite esencial de albahaca (Ocimum basilicum L.) microencapsulado con β -ciclodextrina a 40 °C

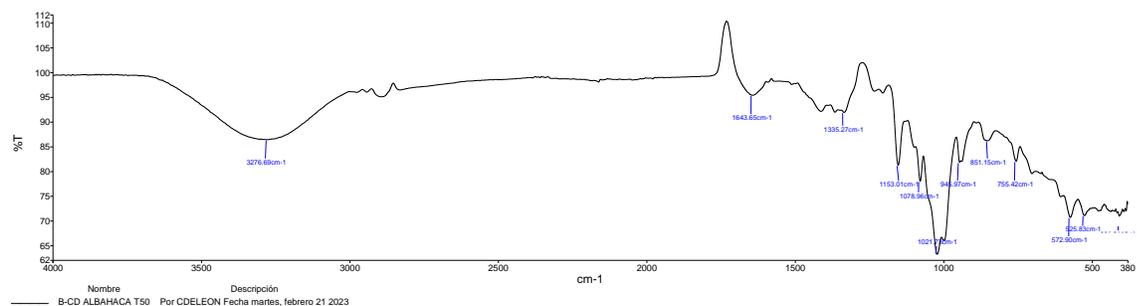


Número pico	X (cm-1)	Y (%T)
1	3287.16	87.28
2	1644.69	95.71
3	1335.87	92.70
4	1152.89	82.76
5	1078.84	80.16
6	1020.64	66.44
7	946.02	83.37
8	852.06	87.29
9	755.39	83.42
10	572.26	73.00
11	526.76	73.32
12	403.00	72.77

Nota. Datos proporcionados por el Instituto de Investigaciones I2QB3 UMG Labs

Figura 11

Espectro IR de aceite esencial de albahaca (Ocimum basilicum L.) microencapsulado con β -ciclodextrina a 50 °C

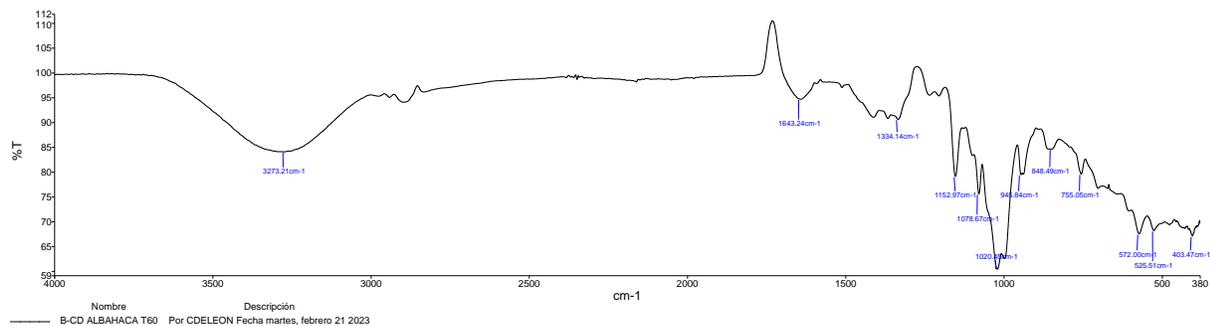


Número pico	X (cm-1)	Y (%T)
1	3287.16	87.28
2	1644.69	95.71
3	1335.87	92.70
4	1152.89	82.76
5	1078.84	80.16
6	1020.64	66.44
7	946.02	83.37
8	852.06	87.29
9	755.39	83.42
10	572.26	73.00
11	526.76	73.32
12	403.00	72.77

Nota. Datos proporcionados por el Instituto de Investigaciones I2QB3 UMG Labs

Figura 12

Espectro IR de aceite esencial de albahaca (Ocimum basilicum L.) microencapsulado con β -ciclodextrina a 60 °C

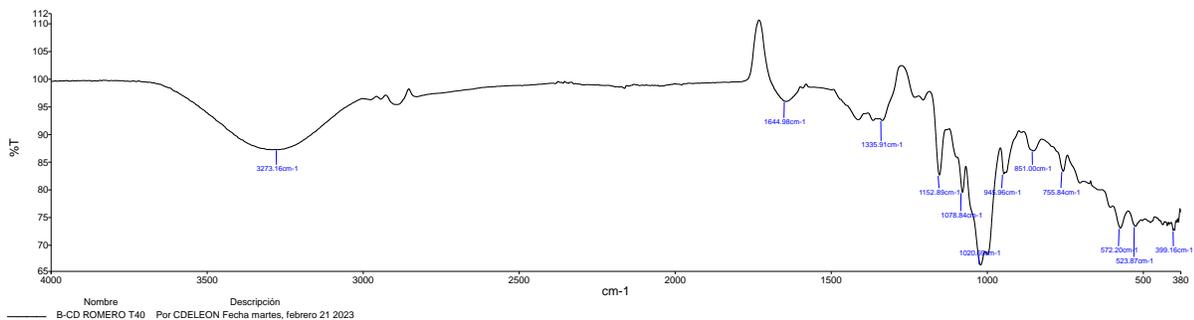


Número pico	X (cm-1)	Y (%T)
1	3287.16	87.28
2	1644.69	95.71
3	1335.87	92.70
4	1152.89	82.76
5	1078.84	80.16
6	1020.64	66.44
7	946.02	83.37
8	852.06	87.29
9	755.39	83.42
10	572.26	73.00
11	526.76	73.32
12	403.00	72.77

Nota. Datos proporcionados por el Instituto de Investigaciones I2QB3 UMG Labs

Figura 13

Espectro IR de aceite esencial de romero (Rosmarinus officinalis L.) microencapsulado con β -



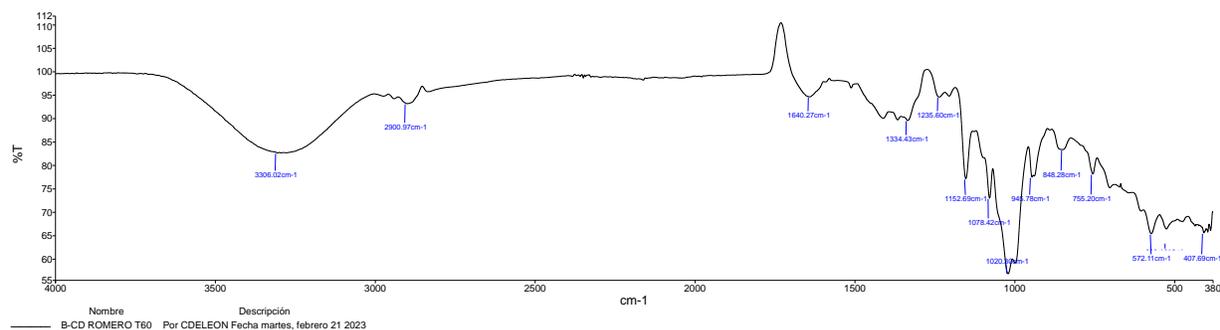
ciclodextrina a 40 °C

Número pico	X (cm-1)	Y (%T)
1	3273.16	87.27
2	1644.98	96.01
3	1335.91	92.56
4	1152.89	82.68
5	1078.84	79.56
6	1020.69	66.39
7	945.96	82.89
8	851.00	87.05
9	755.84	83.37
10	572.20	73.08
11	523.87	73.39
12	399.16	72.66

Nota. Datos proporcionados por el Instituto de Investigaciones I2QB3 UMG Labs

Figura 14

Espectro IR de aceite esencial de romero (Rosmarinus officinalis L.) microencapsulado con β -ciclodextrina a 50 °C

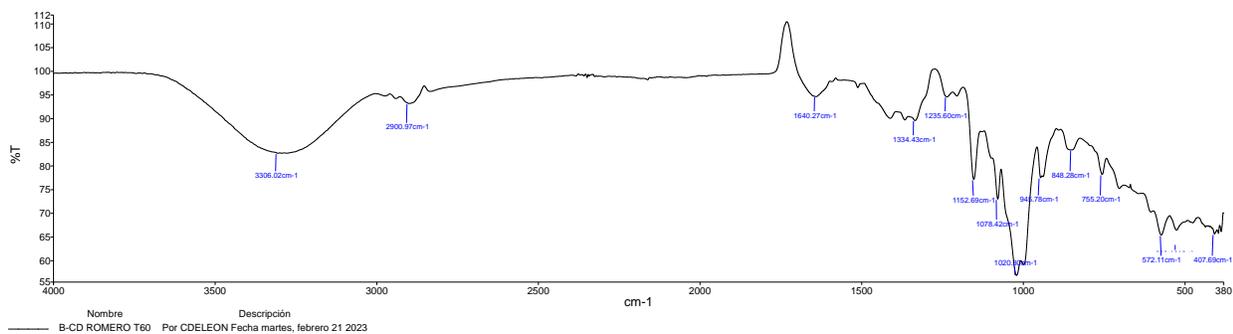


Número pico	X (cm-1)	Y (%T)
1	3278.74	85.30
2	1645.48	95.10
3	1334.77	91.08
4	1153.13	79.93
5	1079.10	76.01
6	1022.71	60.22
7	945.70	80.24
8	851.44	85.37
9	755.27	80.86
10	572.44	68.43
11	525.87	69.11
12	404.33	68.60

Nota. Datos proporcionados por el Instituto de Investigaciones I2QB3 UMG Labs

Figura 15

Espectro IR de aceite esencial de romero (Rosmarinus officinalis L.) microencapsulado con β -ciclodextrina a 60 °C

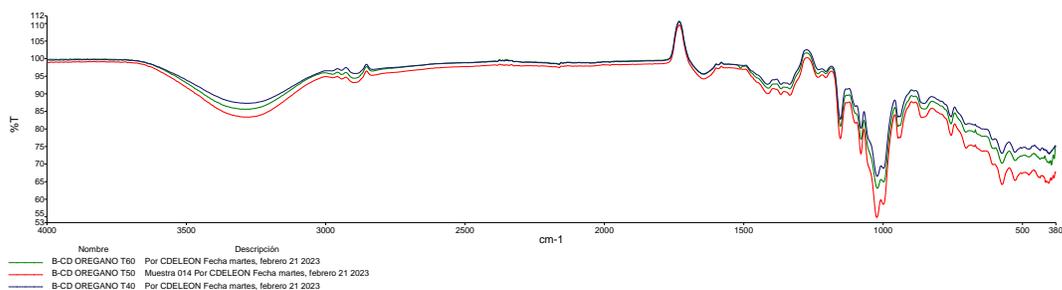


Número pico	X (cm-1)	Y (%T)
1	3306.02	82.69
2	2900.97	93.23
3	1640.27	94.70
4	1334.43	89.63
5	1235.60	94.65
6	1152.69	77.18
7	1078.42	73.01
8	1020.30	56.84
9	945.78	77.52
10	848.28	83.42
11	755.20	78.20
12	572.11	65.39
13	525.13	66.42
14	407.69	65.59

Nota. Datos proporcionados por el Instituto de Investigaciones I2QB3 UMG Labs

Figura 16

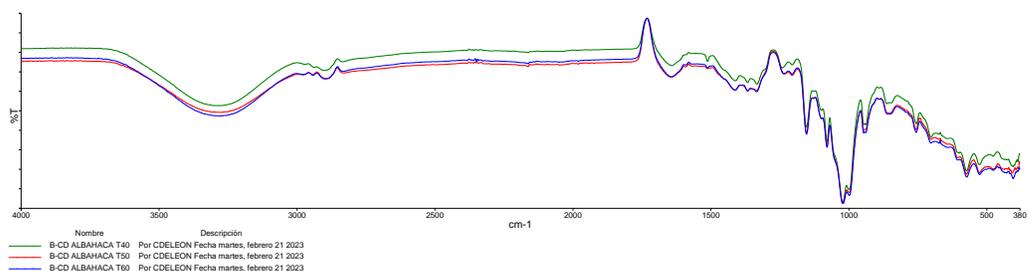
*Espectro IR de aceite esencial de orégano (*Origanum vulgare L.*) microencapsulado con β -ciclodextrina en función de las tres temperaturas evaluadas.*



Nota. Datos proporcionados por el Instituto de Investigaciones I2QB3 UMG Labs

Figura 17

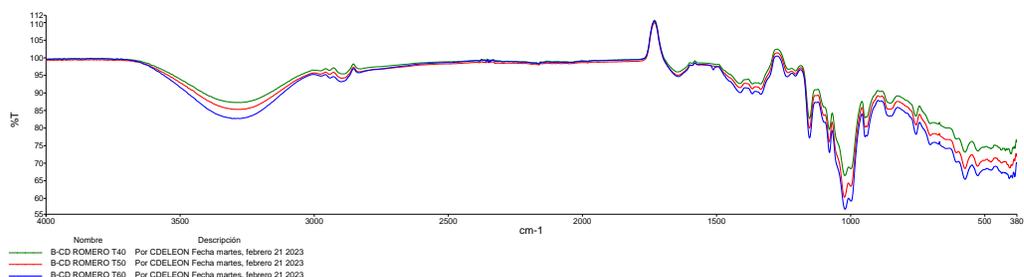
*Espectro IR de aceite esencial de albahaca (*Ocimum basilicum L.*) microencapsulado con β -ciclodextrina en función de las tres temperaturas evaluadas.*



Nota. Datos proporcionados por el Instituto de Investigaciones I2QB3 UMG Labs

Figura 18

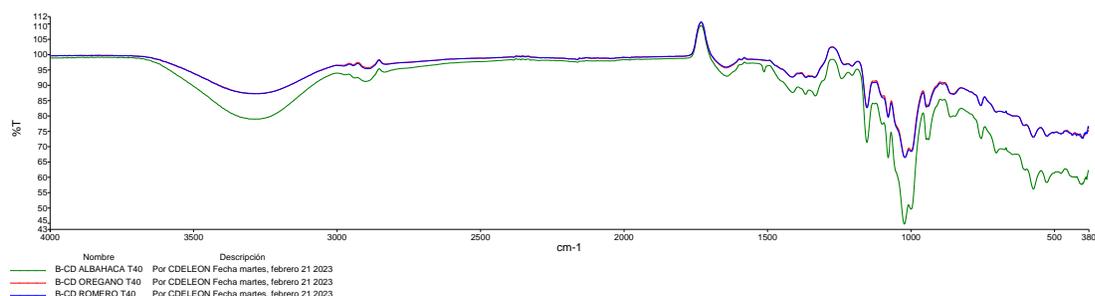
*Espectro IR aceite esencial de romero (*Rosmarinus officinalis L.*) microencapsulado con β -ciclodextrina en función de las tres temperaturas evaluadas*



Nota. Datos proporcionados por el Instituto de Investigaciones I2QB3 UMG Labs

Figura 19

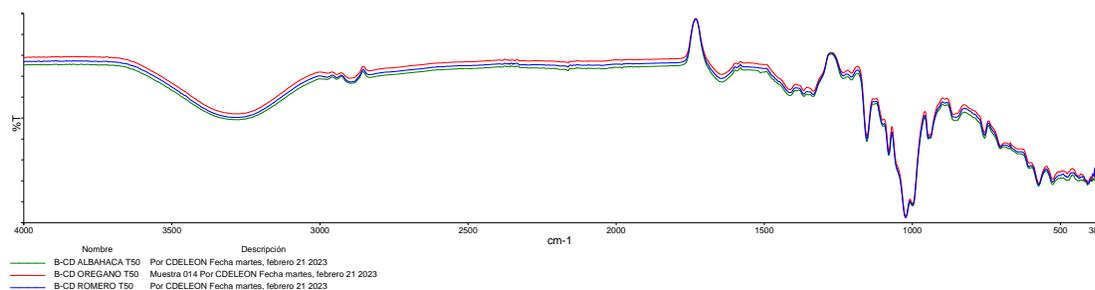
Espectro IR para las tres variedades de aceites esenciales microencapsulados con β -ciclodextrina a una temperatura de 40 °C.



Nota. Datos proporcionados por el Instituto de Investigaciones I2QB3 UMG Labs

Figura 20

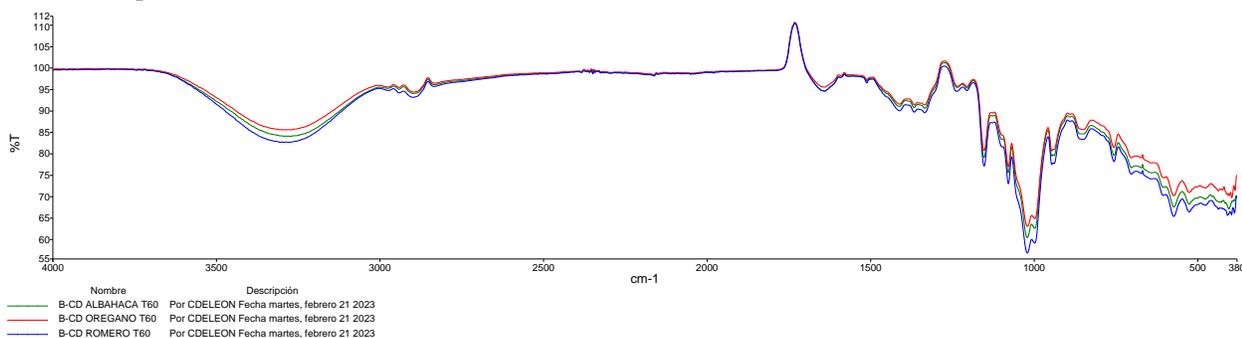
Espectro IR para las tres variedades de aceites esenciales microencapsulados con β -ciclodextrina a una temperatura de 50 °C.



Nota. Datos proporcionados por el Instituto de Investigaciones I2QB3 UMG Labs

Figura 21

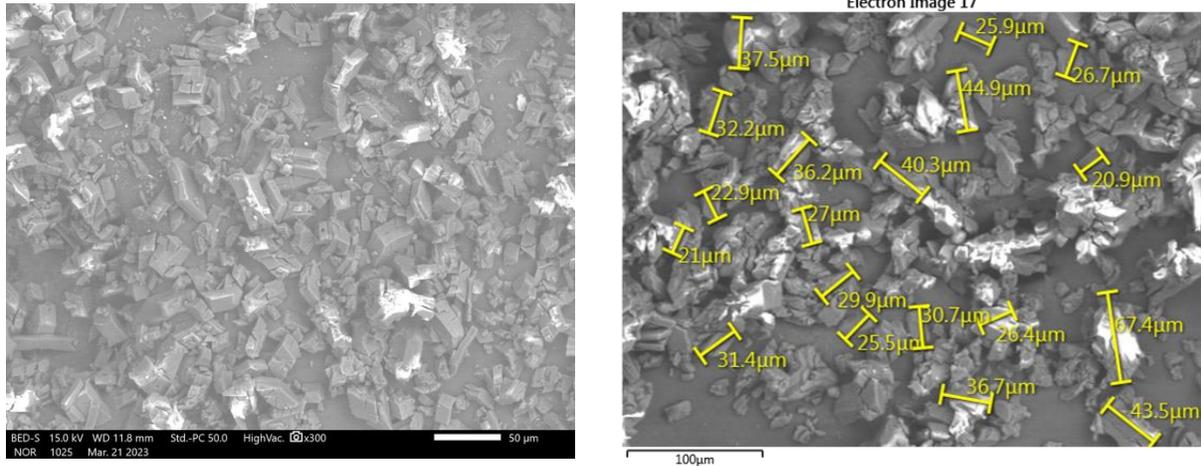
Espectro IR para las tres variedades de aceites esenciales microencapsulados con β -ciclodextrina a una temperatura de 60 °C.



Nota. Datos proporcionados por el Instituto de Investigaciones I2QB3 UMG Labs

Figura 22

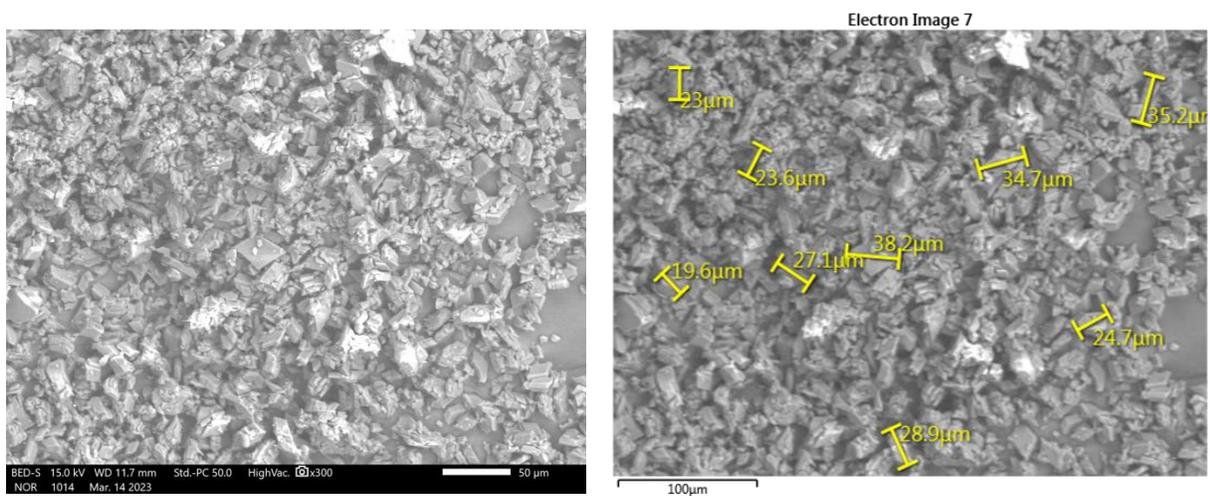
Micrografía del complejo β -ciclodextrina y aceite esencial de romero (*Rosmarinus officinalis* L.) a 60 °C.



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

Figura 23

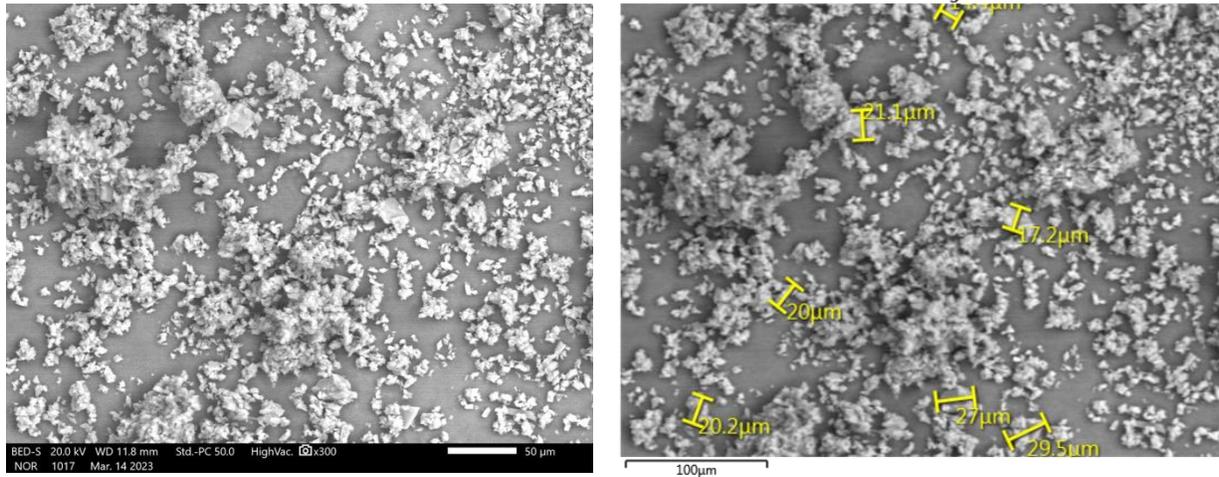
Micrografía del complejo β -ciclodextrina y aceite esencial de romero (*Rosmarinus officinalis* L.) a 50 °C.



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

Figura 24

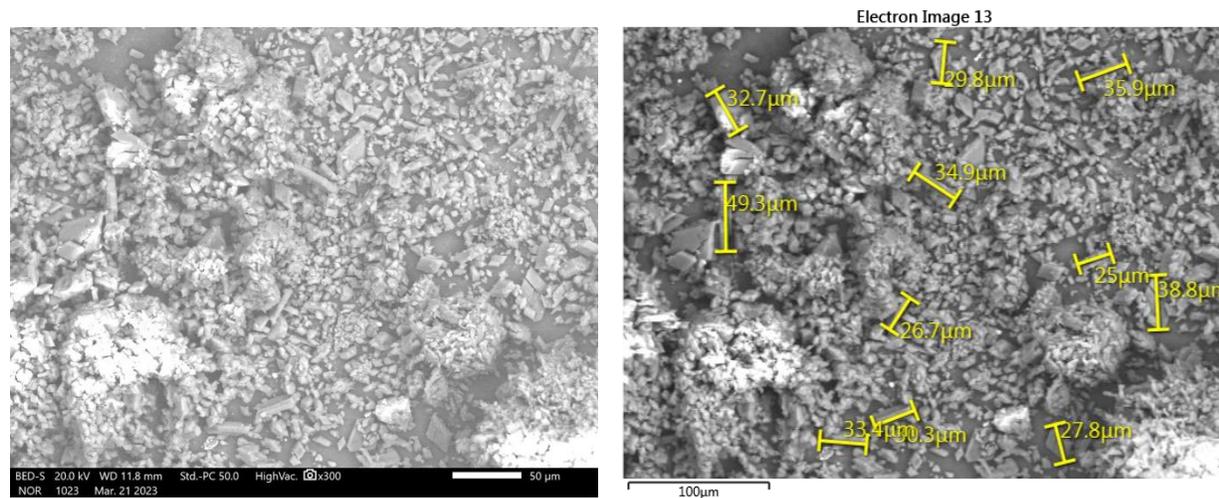
Micrografía del complejo β -ciclodextrina y aceite esencial de romero (*Rosmarinus officinalis* L.) a 40 °C.



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

Figura 25

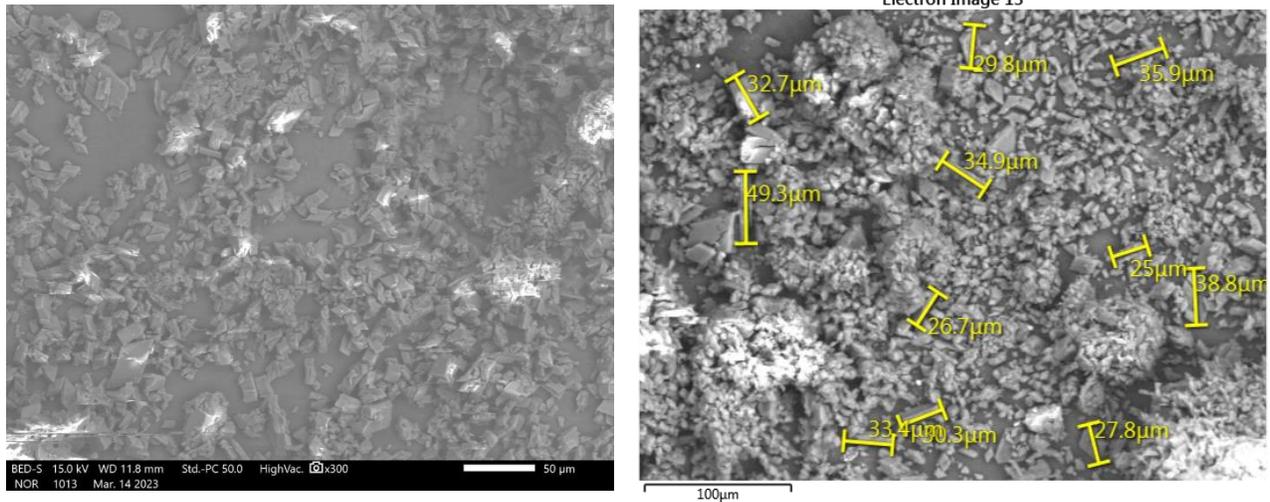
Micrografía del complejo β -ciclodextrina y aceite esencial de Albahaca (*Ocimum basilicum* L.) a 40 °C



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

Figura 26

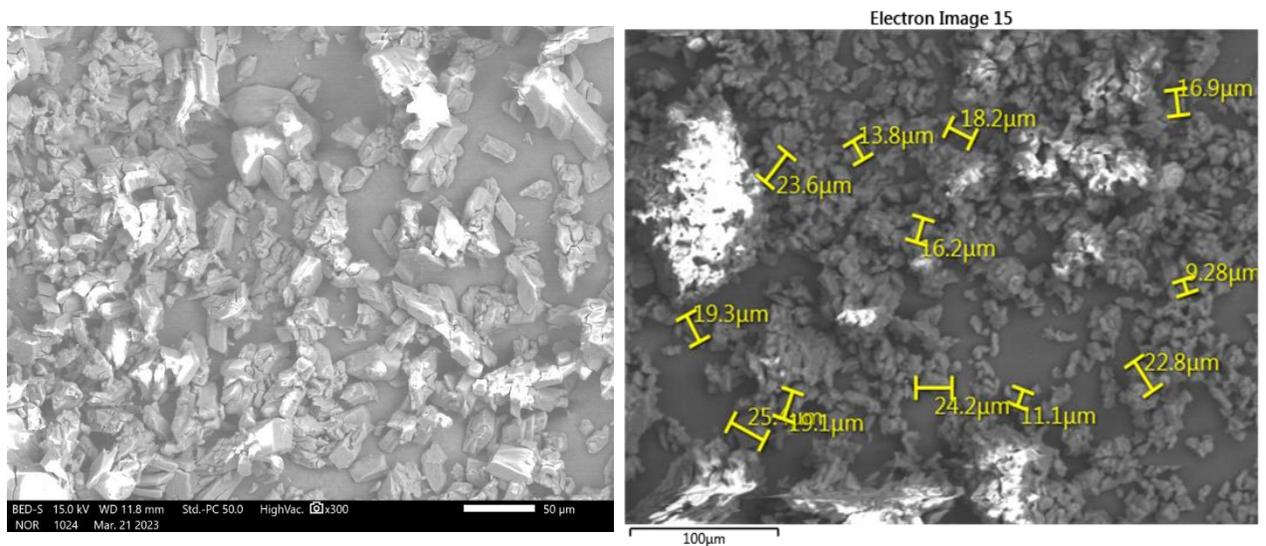
Micrografía del complejo β -ciclodextrina y aceite esencial de Albahaca (*Ocimum basilicum* L.) a 50 °C.



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

Figura 27

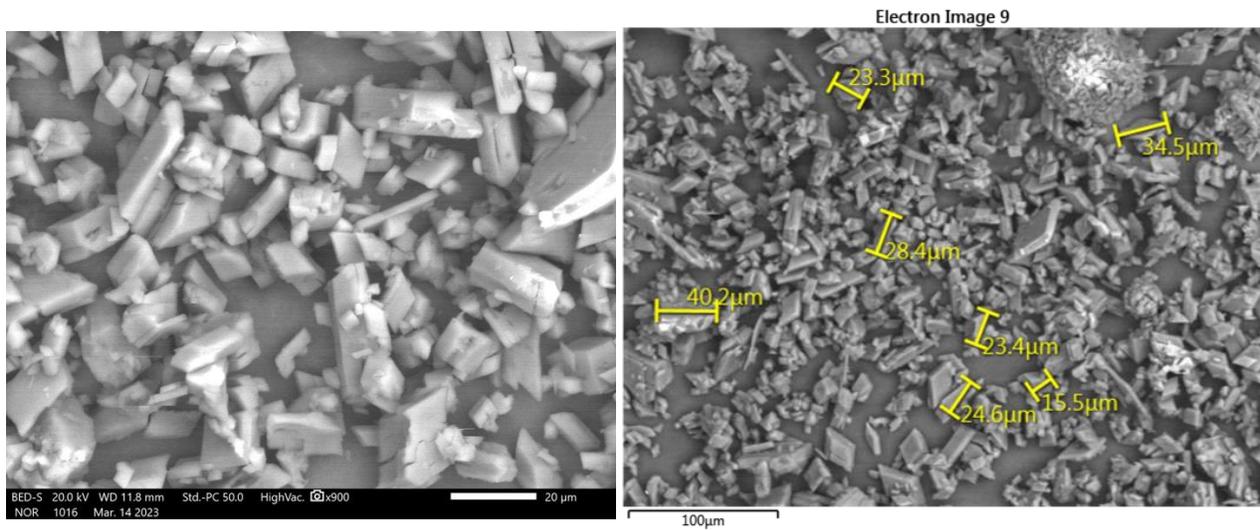
Micrografía del complejo β -ciclodextrina y aceite esencial de Albahaca (*Ocimum basilicum* L.) a 60 °C



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

Figura 28

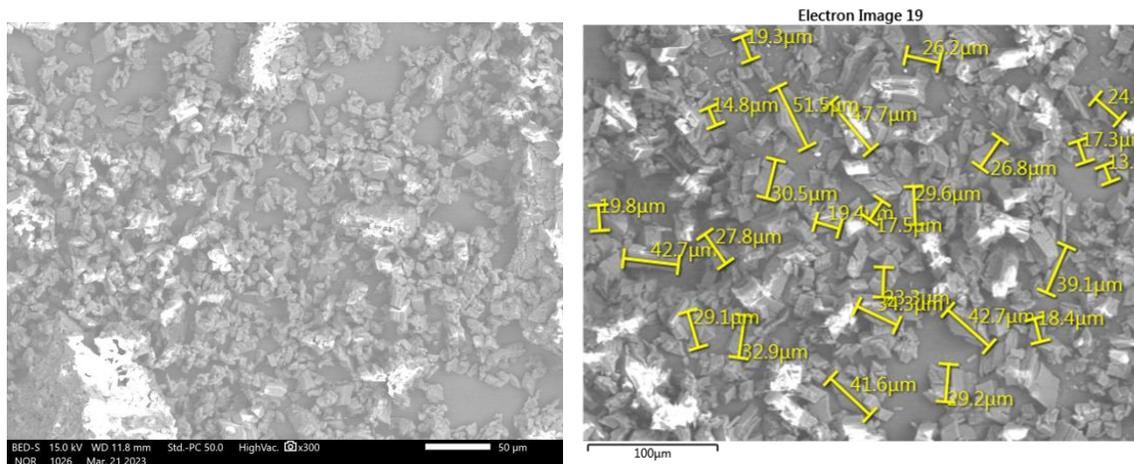
Micrografía del complejo β -ciclodextrina y aceite esencial de orégano (*Origanum vulgare* L.) a 40 °C.



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

Figura 29

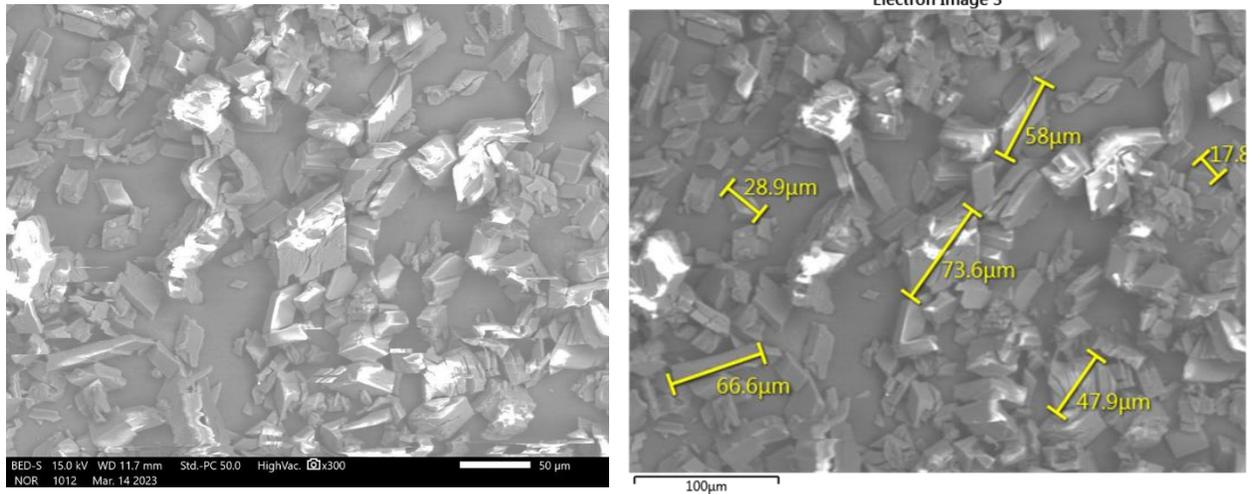
Micrografía del complejo β -ciclodextrina a y aceite esencial de orégano (*Origanum vulgare* L.) a 50 °C.



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

Figura 30

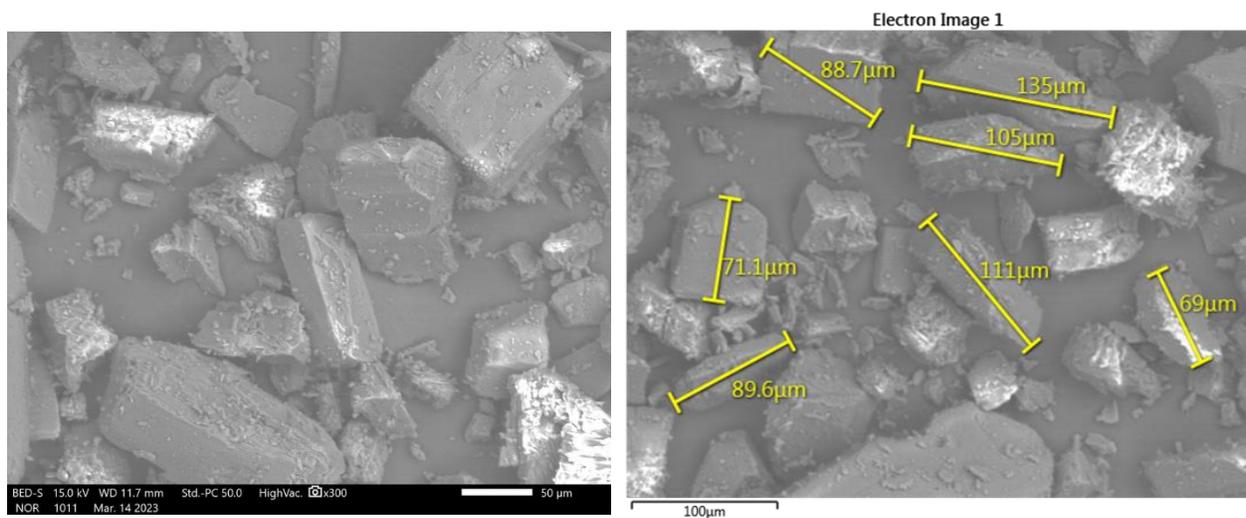
*Micrografía del complejo β -ciclodextrina y aceite esencial de orégano (*Origanum vulgare* L.) a 60 °C*



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

Figura 31

Micrografía de la β -ciclodextrina pura.



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

9.2. Discusión de resultados

La evaluación de la capacidad biocida del aceite esencial (AE) microencapsulado de Orégano, Romero y Albahaca y su aplicación en la desinfección larvicida en cuerpos de agua ha sido un tema central en la presente investigación. La extracción del AE se llevó a cabo utilizando el método de arrastre con vapor directo, seguido del análisis fisicoquímico para la caracterización de los extractos y conocer los compuestos químicos presentes en cada uno. La formulación de una microcápsula biodegradable de β -Ciclodextrina (β -CD) se propuso para garantizar la estabilidad y efectividad en su actividad larvicida. En este estudio, se realizó la caracterización del encapsulamiento y se evaluó su comportamiento en función de la temperatura, uno de los factores más influyentes en la degradación de los AE. Finalmente, se evaluó la actividad biocida del AE puro y microencapsulado en larvas, con el fin de ofrecer una alternativa eco amigable al control de larvas en cuerpos de agua.

En el gráfico 1, se muestra el promedio del rendimiento extractivo de las tres especies vegetales evaluadas, el orégano exhibió el mayor porcentaje de rendimiento en comparación al romero y albahaca, siendo estos 1,508, 1,027 y 0,113 % respectivamente. En cuanto a las propiedades fisicoquímicas, en el gráfico 3, se recogen los valores de las densidades promedio para los tres tipos de AE analizados, siendo estos 0.893, 0.861 y 0.835 para el orégano, romero y albahaca respectivamente. También, se determinó el índice de refracción que muestra una tendencia similar para las tres tipos de aceites, 1,518, 1,520 y 1,472 para el orégano, albahaca y romero respectivamente. Por último, se determinó la solubilidad de los aceites utilizando alcohol etílico al 95%, en el gráfico 5, se muestra una importante diferencia en la solubilización del aceite de orégano comparado con los otros homólogos.

En la tabla 3, se recopilan los componentes mayoritarios del AE de romero (*Rosmarinus officinalis* L.) obtenido por Cromatografía Gaseosa Acoplada a Espectrometría de Masas GC-MS. Los resultados indican que el 2-octin-1-ol es el componente mayoritario del AE de romero, con una proporción del 15,719% del área total del cromatograma. El siguiente componente mayoritario es el 3-hexin-1-ol, con una proporción del 8,828% del área total del cromatograma, seguido por el endo-2-Aminonorborno, con una proporción del 8,673% del área total del cromatograma. Los otros dos componentes, 1,5-dimetilpirazol y 4-Hidrazono-5-hidroxiimino-4,5,6,7-tetrahidrobenzofurazano, tienen proporciones del 6,794% y 6,546%, respectivamente, del área total del cromatograma.

De acuerdo con los resultados obtenidos y presentados en la tabla 4, el componente mayoritario del AE de orégano (*Origanum vulgare* L.) es el 1,8-Nonadiino, con una proporción del 4,531% del área total del cromatograma. Le sigue el 1,7-Octadiino, con una proporción del 2,254% del área total del cromatograma y el 2-metil-1-hexen-3-ino, con una proporción del 1,450% del área total del cromatograma. Los otros dos componentes detectados, 2-etenil-Biciclo[2.2.1]heptano y 1,3-Cicloheptadieno, tienen proporciones del 1,332% y 1,148%, respectivamente, del área total del cromatograma.

En cuanto a la composición química del AE de albahaca (*Ocinum basilicum* L.), en la tabla 5, se muestran los componentes mayoritarios. El componente más abundante corresponde a la 7-oxabicyclo[4.1.0]heptan-2-ona, que se presenta en dos picos con tiempos de retención de 4.93 y 6.061 minutos y un porcentaje de área del 6.961% y 3.014%, respectivamente. El tercer componente mayoritario es la Espiro {6,6-dimetil-2,3-diazabicyclo[3.1.0]hex-2-eno-4,1'-ciclopropano}, con un tiempo de retención de 4.085 minutos y un porcentaje de área del 2.495%. Los otros dos componentes mayoritarios son el 1,3,3-trimetilBicyclo[2.2.1]heptan-2-ol con un porcentaje de área del 2.242% y el (1S)-2,6,6-Trimetilbicyclo[3.1.1]hept-2-eno con un porcentaje de área del 1.207%.

Es importante destacar que la composición de los AE puede variar dependiendo de la región geográfica, la época del año, el método de extracción y otros factores. Cabe mencionar, que en el AE de romero, los componentes mayoritarios fueron el 2-octin-1-ol y el 3-hexin-1-ol. El 2-octin-1-ol ha demostrado tener propiedades antibacterianas y antifúngicas en estudios previos, lo que sugiere que el AE de romero podría tener un potencial efecto biocida contra bacterias y hongos. Por otro lado, el 3-hexin-1-ol se ha asociado con efectos antiparasitarios, lo que sugiere que también podría tener un efecto biocida contra algunos tipos de parásitos.

En el caso del AE de orégano, los componentes mayoritarios fueron el 1,8-Nonadiino y el 1,7-Octadiino. Estos compuestos se han relacionado con propiedades antibacterianas y antifúngicas en estudios previos, por lo que el AE de orégano podría tener un potencial efecto biocida contra bacterias y hongos. Por otro lado, en el AE de Albahaca, el componente mayoritario fue la 7-Oxabicyclo[4.1.0]heptan-2-ona, la cual ha sido relacionada con propiedades antimicrobianas en estudios previos. Por lo tanto, el AE de albahaca podría tener un potencial efecto biocida contra microorganismos.

En la lucha contra el mosquito *Aedes aegypti*, vector de enfermedades como Dengue, Chikunguña y Zika, se han empleado diversos métodos de control que incluyen el uso de insecticidas químicos, campañas educativas y la participación comunitaria. Sin embargo, la resistencia a los productos sintéticos ha sido documentada en varios países de Latinoamérica, lo que ha llevado a explorar alternativas más sostenibles y seguras para el control vectorial. Entre estas alternativas se encuentra la utilización de plantas y sus AE, que se destacan por sus numerosas actividades biológicas y organolépticas. Sin embargo, el empleo de AE se ve limitado por su alta volatilidad y tendencia a degradarse, por lo que la microencapsulación se ha propuesto como una estrategia válida para superar estos inconvenientes.

En este contexto, la β -CD se presenta como un soporte que contiene en su interior el AE y permite su liberación paulatina, ofreciendo protección a los compuestos encapsulados (Muñoz V. et al., 2014). Se trata de un oligosacárido cíclico derivado del almidón, que consiste en siete unidades de glucosa unidas por enlaces alfa-1,4. Su estructura molecular forma una cavidad hidrofóbica en su interior, lo que la hace ideal para la encapsulación de moléculas hidrofóbicas, como los AE (Matos-Chamorro Alfredo; Quispe-Condori, Socrates; Quito-Vidal, Moisés Rosulo ; Beltrán-Cárdenas, 2010). Para

validar y determinar si los componentes químicos de los tres tipos de AE quedaron encapsulados en los oligómeros, se realizó el análisis químico de Espectroscopía Infrarroja por Transformada de Fourier -FTIR-.

En la figura 6, se muestra el espectro de la β -CD pura (β -CDP) la cual revela los siguientes picos: un pico fuerte y ancho en 3280.05 cm^{-1} correspondiente al enlace O-H de los grupos hidroxilo, dos picos fuertes y estrechos en 1644.49 cm^{-1} y 1415.22 cm^{-1} que corresponden al enlace C=O de los grupos acetilo y aldehído, respectivamente, un pico fuerte en 1335.90 cm^{-1} correspondiente al enlace C-OH, un pico fuerte en 1204.78 cm^{-1} correspondiente al enlace C-O-C, y un pico fuerte en 853.68 cm^{-1} correspondiente al enlace C-C de los anillos de la beta-ciclodextrina. Además, se observan otros picos menores en 1152.79 cm^{-1} , 1077.89 cm^{-1} , 1020.22 cm^{-1} , 946.47 cm^{-1} , 754.98 cm^{-1} , 573.13 cm^{-1} , 526.98 cm^{-1} , y 395.67 cm^{-1} , los cuales corresponden a diferentes vibraciones de los enlaces químicos presentes en la molécula.

Tomando como base las características químicas de la β -CDP se realizó la comparación con el espectro IR del complejo AE de orégano- β -CD a 40 °C (figura 7), ambos espectros muestran picos de absorción similares en las regiones de 1644 cm^{-1} (pico 2), que indica la presencia de enlaces C=O, y 1335 cm^{-1} (pico 4), que indica la presencia de enlaces C-O. Sin embargo, se observan algunas diferencias entre los espectros, como en el pico 1, donde el complejo presenta una mayor intensidad de absorción, lo que sugiere una interacción más fuerte entre la β -CD y el orégano. Además, se pueden observar algunas diferencias en las intensidades de absorción de otros picos, lo que indica posibles cambios en la estructura de la β -CD debido a la formación del complejo con el orégano.

Según los resultados de la tabla ANOVA, el valor p obtenido (0.000) es menor que el nivel de significación (0.05), lo que indica que hay una diferencia significativa entre la β -CDP y el complejo de inclusión aceite esencial de orégano microencapsulado a 40 °C en cuanto a su espectro IR. También, la F estadística obtenida es alta (78.108), lo que refuerza la idea de que hay una diferencia significativa entre los dos grupos. Se puede afirmar que la inclusión del AE de orégano en la β -CD produce un cambio significativo en el espectro IR en comparación con la β -CDP.

Al comparar el espectro IR del complejo β -CD -AE de romero a 50 °C (β -CAR50) con la β -CDP se determinó que el valor de la estadística F de 250.32 con un valor p muy pequeño (menor que 0.05) indica que hay una diferencia significativa entre los espectros IR de la β -CDP y el complejo β -CD-AE de orégano a 50 grados celsius. Por lo tanto, la presencia del AE de orégano tiene un efecto significativo en el espectro IR del complejo.

Por otro lado, al comparar el complejo β -CD -AE de romero a 60 °C con la β -CDP en particular, se observa que en el espectro del complejo hay un aumento en la intensidad de las bandas de absorción en las regiones de 1415 cm^{-1} y 1335 cm^{-1} , que corresponden a las vibraciones de estiramiento de enlaces C-O-C y C-H, respectivamente. Esto sugiere que ha habido una interacción entre la betaciclodextrina y el AE de orégano, lo que podría estar relacionado con la formación de un complejo de inclusión. Además, se observan cambios en las intensidades de los picos en otras regiones, como

en los picos a 1204 cm⁻¹, 946 cm⁻¹ y 853 cm⁻¹, lo que sugiere que ha habido cambios en la estructura molecular de la betaciclodextrina al formar el complejo con el AE de orégano.

Según el análisis de varianza realizado, se encontró que hay una diferencia estadísticamente significativa entre los espectros IR de la β -CDP y el complejo de inclusión β -CD-AE de orégano a 60 grados Celsius. Esto sugiere que el AE de orégano ha sido encapsulado por la β -CD.

Realizando un análisis del FTIR del AE de albahaca (*Ocinum basilicum* L.) microencapsulado con β -CD a 40 °C y compararlo con el FTIR del β -CDP, se puede observar una similitud significativa en los picos en las posiciones 2 (1644.69 cm⁻¹) y 4 (1335.87 cm⁻¹). Sin embargo, el complejo muestra algunas diferencias en los picos en las posiciones 1, 3, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, y 12, lo que indica una posible interacción entre la β -CD y el AE de albahaca. El ANOVA muestra una diferencia estadísticamente significativa entre el espectro IR de β -CDP y el complejo β -CD-AE de albahaca a 40 °C. El valor de F estadística es alto y el valor p es menor a 0.001, lo que indica que la diferencia observada no se debe al azar.

Para el caso de la FTIR del complejo β -CD-AE de albahaca a 50 °C y compararlo con la FTIR de la β -CDP, se puede observar que el pico correspondiente a los grupos -OH aparece a una frecuencia ligeramente mayor en el espectro del complejo, sugiriendo una posible alteración en el enlace hidrógeno. Sin embargo, el pico correspondiente a los enlaces C=O se mantiene en una frecuencia similar en ambos espectros, lo que indica que la estructura del anillo de la β -CD no se ve afectada por la formación del complejo. El ANOVA indica que hay diferencias significativas entre los espectros de la β -CDP y el complejo con aceite de albahaca en la mayoría de las frecuencias analizadas. El p-valor es menor a 0.05, lo que sugiere que hay una alta probabilidad de que las diferencias observadas no se deban al azar.

Al comparar la FTIR del complejo β -CD-AE de albahaca a 60 °C con la FTIR de la β -CDP se observan similitudes en términos de los picos de absorción, lo que indica la presencia de grupos funcionales en ambas muestras. Sin embargo, la β -CDP tiene una mayor cantidad de picos de absorción, lo que sugiere una mayor complejidad molecular en esta muestra. Además, se observa que la intensidad relativa de los picos compartidos es mayor en la muestra de β -CDP que en la muestra de AE de albahaca microencapsulado con β -CD-AE de albahaca a 60 °C, lo que sugiere una mayor concentración de estos grupos funcionales en la β -CDP. El ANOVA indica que hay diferencias significativas entre los espectros IR del AE de albahaca microencapsulado con β -CD y la β -CDP. Los valores de F y p indican que la microencapsulación tiene un efecto significativo en los espectros IR.

Por otro lado, los espectros IR de la β -CDP y el complejo β -CD-AE de romero a 40 °C tienen diferencias en la cantidad y la intensidad de los picos observados. Ambos espectros tienen picos en los mismos rangos de longitud de onda, lo que sugiere que la β -CD forma un complejo con el AE de romero a 40 °C. Los picos más intensos en ambos espectros corresponden a las vibraciones de estiramiento de los grupos -OH, C=O y C-O-C. Además, el espectro del complejo tiene un pico adicional en 1152.89 cm⁻¹, que puede estar relacionado con la vibración de flexión del anillo de la β -

CD. El ANOVA indica que hay una diferencia significativa entre los espectros IR de la β -CDP y del complejo β -CD-AE de Romero a 40 grados Celsius ($p < 0.05$)

Para los espectros IR de la β -CDP y el complejo β -CD-AE de Romero a 50 °C, en la región de 1640-1650 cm^{-1} , la banda de absorción de la β -CDP es más intensa que la del complejo, lo que sugiere que hay menos interacción entre la β -CD y el AE de orégano en esta región. En la región de 1020-1050 cm^{-1} , la banda de absorción de la β -CDP es más baja que la del complejo, lo que indica que hay más interacción entre la β -CD y el AE de orégano en esta región. Estos resultados sugieren que la formación del complejo β -CDP -aceite esencial de orégano puede haber cambiado la interacción molecular y las propiedades espectroscópicas de la β -CD y del AE de orégano.

El análisis de varianza muestra que hay una diferencia estadísticamente significativa entre los valores Y (% T) de las muestras de β -CDP y del β -CD-AE de orégano. La variabilidad entre las muestras es significativa en relación con la variabilidad dentro de cada muestra.

Comparando los dos espectros FTIR para el complejo β -CD-AE de orégano encapsulado a 60 °C, se puede observar que hay diferencias significativas en las intensidades y ubicaciones de los picos de absorción. La β -CDP presenta un pico de absorción fuerte en 3280.05 cm^{-1} , mientras que el espectro de β -CD-AE de orégano a 60 °C no presenta un pico tan fuerte en esa ubicación, pero tiene un pico fuerte en 2900.97 cm^{-1} , lo que sugiere una interacción diferente entre las moléculas en comparación con la β -CDP. Además, hay diferencias en la intensidad y ubicación de otros picos de absorción.

Los valores de las micrografías de la β -CDP obtenidos por microscopía electrónica de barrido son consistentes con los reportados en la literatura (Irie & Uekama, 1999) lo que sugiere que la técnica de medición utilizada en este estudio es confiable y precisa. Además, se observa una reducción en los tamaños de las microcápsulas de los complejos de encapsulación de β -CD y AE en comparación con la β -CDP. Esta reducción en el tamaño se puede atribuir al proceso de precipitación utilizado para la síntesis de los complejos de encapsulación. La técnica de precipitación con una solución etanol-agua (1:2) a una temperatura de 55 °C puede llevar a la formación de partículas más pequeñas debido a la rápida formación de los complejos y la disminución de la solubilidad de la β -CD y del AE en la solución de etanol-agua. Además, el almacenamiento a 4 °C durante 24 horas y el secado por convección a 60 °C también pueden contribuir a la formación de partículas más pequeñas debido a la pérdida de agua en los complejos.

10. Referencias

- 1) 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>
- 2) 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>
- 3) 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). Annu Rev Entomol. <https://doi.org/10.1146/annurev.ento.51.110104.151146>
- 4) Nieves, E., Méndez, J. F., Lias, J., Rondón, M., & Briceño, B. (2010). Actividad repelente de aceites esenciales contra las picaduras de *Lutzomyia migonei* (Diptera: Psychodidae). *Revista de Biología Tropical*, 58(4), 1549–1560. <https://doi.org/10.15517/rbt.v58i4.5430>
- 5) Simas, N. K., Lima, E. D. C., Conceição, S. D. R., Kuster, R. M., De Oliveira Filho, A. M., & Lage, C. L. S. (2004). Produtos naturais para o controle da transmissão da dengue - Atividade larvicida de *Myroxylon balsamum* (óleo vermelho) e de terpenóides e fenilpropanóides. *Química Nova*, 27(1), 46–49. <https://doi.org/10.1590/s0100-40422004000100009>
- 6) Wojciechowska, M., Stepnowski, P., & Gołębiowski, M. (2016). The use of insecticides to control insect pests. In *ISJ* (Vol. 13, Issue 1). <https://doi.org/10.25431/1824-307X/ISJ.V13I1.210-220>

Aguilar, I. G., Leyva, R. F., & Pérez, E. H. (2011). Obtención de acetato de isoamilo a partir de aceites fusel. *Centro Azucar*, 38(2), 44–54. <https://biblat.unam.mx/hevila/Centroazucar/2011/vol38/no2/5.pdf>

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>

García, M. F. (2015). *Encapsulación de Aceites Esenciales Funcionales para su Aplicación en Agricultura*. 285. [https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/58990/FERR%C1NDIZ-Encapsulaci%F3n de aceites esenciales funcionales para su aplicaci%F3n en agricultura.pdf?sequence=1](https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/58990/FERR%C1NDIZ-Encapsulaci%F3n%20de%20aceites%20esenciales%20funcionales%20para%20su%20aplicaci%F3n%20en%20agricultura.pdf?sequence=1)

Irie, T., & Uekama, K. (1999). Cyclodextrins in peptide and protein delivery. In *Advanced Drug Delivery Reviews* (Vol. 36).

- 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). Annu Rev Entomol. <https://doi.org/10.1146/annurev.ento.51.110104.151146>
- Jacobson, M. 1958. Insecticides from plants: a review of literature, 1941-1953. United States Department of Agriculture. Agricultural Hand Book.
- Leyva, M., French, L., Pino, O., Montada, D., Morejón, G., & Marquetti Fernández, M. (2017). Plantas con actividad insecticida: una alternativa natural contra mosquitos. Estado actual de la temática en la región de las Americas. *Revista Biomédica*, 28(3), 137–178.
- Leyva, M., Marquetti, C., Tacoronte, J. E., Scull, R., Tiomno, O., Mesa, A., & Montada, D. (2009). aegypti (L.) (Diptera : Culicidae). *Medicina*, 20(1), 5–13.
- López Hernández, O. D. (2010). Microencapsulación de sustancias oleosas mediante secado por aspersión. *Revista Cubana de Farmacia*, 44(3), 381–389.
- Matiz, G., Fuentes, K., & León, G. (2015). Microencapsulación de aceite esencial de tomillo (*Thymus vulgaris*) en matrices poliméricas de almidón de ñame (*Dioscorea rotundata*) modificado. *Revista Colombiana de Ciencias Químico - Farmacéuticas*, 44(2), 189–207. http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0034-74182015000200005&lng=en&tlng=en
- Matos-Chamorro Alfredo; 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 β -ciclodextrina Aplicados en Cultivos Microbianos. *Ciencia y Tecnología de Alimentos*, 1, 18–24. <http://arbor.revistas.csic.es/index.php/arbor/article/viewArticle/1004>
- Matsuo, K. (n.d.). Aplicación de larvicida sólido de Temefos en el control de la oncocercosis en Guatemala. In *Boletín de la Oficina Sanitaria Panamericana (OSP)*;95(5),nov. 1983.
- Mesa Vanegas, A. M., Naranjo, J. P., Diez, A. F., Ocampo, O., & Monsalve, Z. (2017). Actividad antibacterial y larvicida sobre *Aedes aegypti* L. de extractos de *Ambrosia peruviana* Willd (Altamisa). *Revista Cubana de Plantas Medicinales*, 22(1), 1–11.
- Muñoz V., J. A., Staschenko, E., & Ocampo D., C. B. (2014). Actividad insecticida de aceites esenciales de plantas nativas contra *Aedes aegypti* (Diptera: Culicidae). *Revista Colombiana de Entomología*, 40(2), 198–202.
- Nieves, E., Méndez, J. F., Lias, J., Rondón, M., & Briceño, B. (2010). Actividad repelente de aceites esenciales contra las picaduras de *Lutzomyia migonei* (Diptera: Psychodidae). *Revista de Biología Tropical*, 58(4), 1549–1560. <https://doi.org/10.15517/rbt.v58i4.5430>

- Palá Paúl, J. (2002). *Contribución al conocimiento de los aceites esenciales del género “Eryngium” L.* <https://eprints.ucm.es/4593/1/T26240.pdf>
- Restrepo, J., Vinasco, L. E., Jaramillo, L. P., & Colmenares, A. J. (2009). Encapsulamiento de los aceites esenciales de citral (*cymbopogon citratus*) en β -ciclodextrinas usando CO 2 supercrítico Encapsulation of essential oil from citral (*cymbopogon citratus*) in β -ciclodextrines by using supercritical CO 2. *Red de Revistas Científicas de América Latina, El Caribe, España y Portuga*, 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.
- Rosado-solano, D. N., Restrepo-manrique, R., & Puerto-galvis, C. E. (2018). *Actividad larvicida de aceites esenciales y extractos de plantas colombianas frente a Culex quinquefasciatus (Díptera : Culicidae) Larvicidal activity of essential oils and extracts of colombian plants against Culex quinquefasciatus (Diptera : Culicida.* 15, 79–87.
- Sharapin Nikolai. (2000). *Fundamentos de Tecnología de Productos Fitoterapéuticos.* Bogotá: Convenio Andres Bello.

11. Apéndice

Figura 32

Recepción de materia prima de orégano (*Origanum vulgare L.*), romero (*Rosmarinus officinalis L.*) y albahaca (*Ocimum basilicum L.*).



Nota. Elaboración propia 2022.

Figura 33

Proceso de extracción de aceite esencial de orégano (*Origanum vulgare L.*), romero (*Rosmarinus officinalis L.*) y albahaca (*Ocimum basilicum L.*), realizado en finca Bosque Los Cimientos ubicado en Chilascó Baja Verapaz.

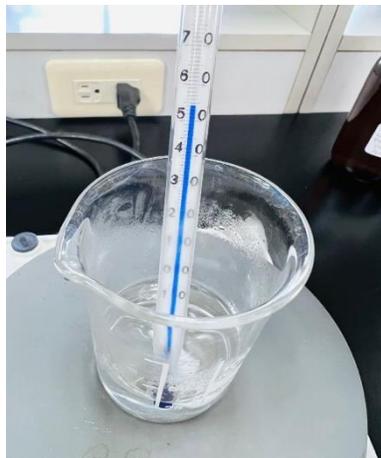
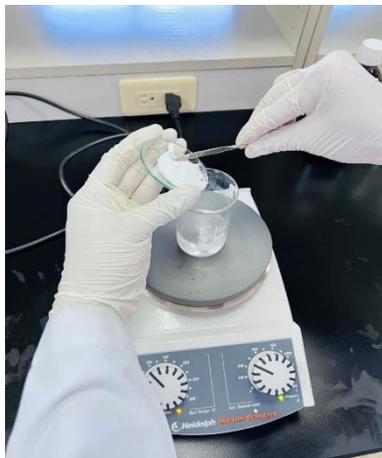




Nota. Elaboración propia 2022.

Figura 34

Formulación de una microcápsula a base de β -ciclodextrina para los aceites esenciales de orégano (*Origanum vulgare* L.), romero (*Rosmarinus officinalis* L.) y albahaca (*Ocimum basilicum* L.), a distintas temperaturas.





Nota. elaboración propia 2022.

Figura 35

Entrega de aceites esenciales de orégano (*Origanum vulgare L.*), romero (*Rosmarinus officinalis L.*) y albahaca (*Ocimum basilicum L.*) al Centro de Información y Asesoría Toxicológica -CIAT- para realizar análisis de cromatografía gaseosa.



Nota. Elaboración propia 2023.

Figura 36

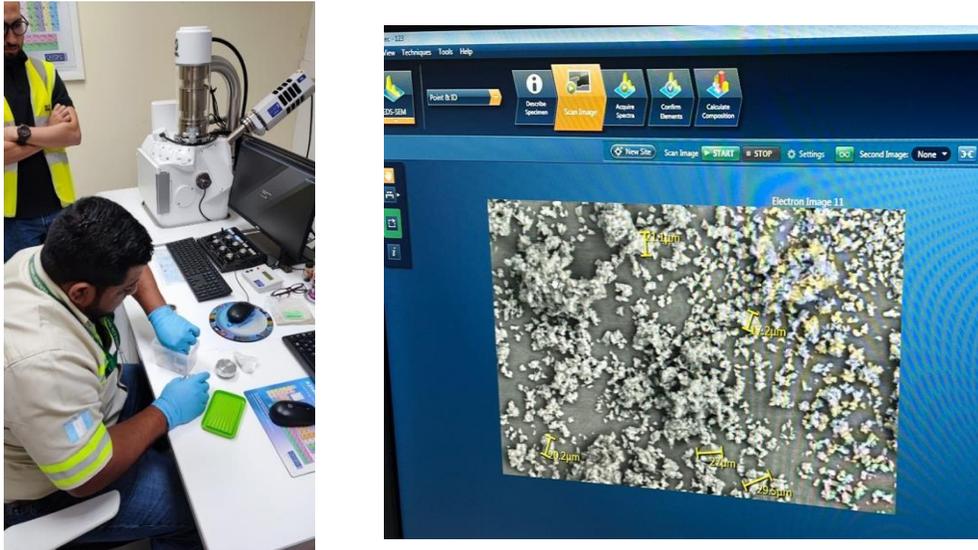
*Realización de ensayos de Espectro IR de la de β -ciclodextrina pura y de los micro-encapsulados de β -ciclodextrina con los aceites esenciales de orégano (*Origanum vulgare* L.), romero (*Rosmarinus officinalis* L.) y albahaca (*Ocimum basilicum* L.)*



Nota: Elaboración propia 2023.

Figura 37

Realización de ensayos de Microscopía Electronica de Barrido MEB para los micro-encapsulados de β -ciclodextrina con los aceites esenciales de orégano (*Origanum vulgare L.*), romero (*Rosmarinus officinalis L.*) y albahaca (*Ocimum basilicum L.*) en CETEC.



Nota. Elaboración propia 2023.

Figura 38

Evaluación la actividad biocida del aceite esencial puro de orégano (*Origanum vulgare L.*), romero (*Rosmarinus officinalis L.*) y albahaca (*Ocimum basilicum L.*) y de las microcápsulas en larvas de *Aedes Aegypti*



Nota. Elaboración propia 2023.

Informe final proyecto de investigación 2022

Dirección General de Investigación –DIGI-

Figura 39

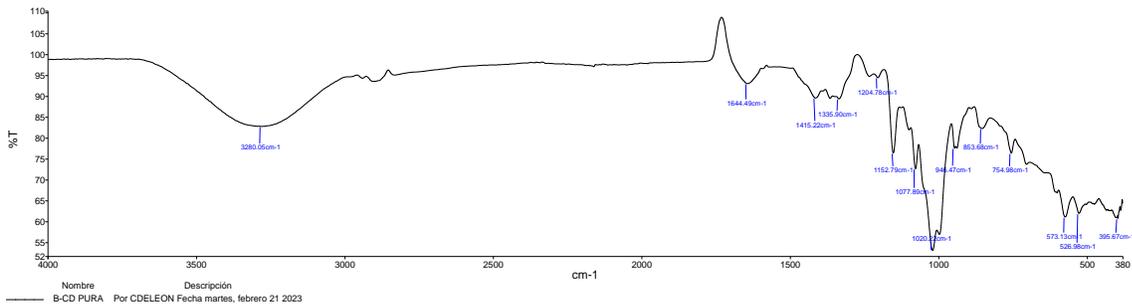
Espectro IR de la betaCiclodextrina pura.

Nombre del espectro	Cantidad de picos
B-CD PURA	14

B-CD PURA detalles:

Número pico	X (cm-1)	Y (%T)
1	3280.05	82.84
2	1644.49	93.10
3	1415.22	89.66
4	1335.90	89.44
5	1204.78	94.51
6	1152.79	76.43
7	1077.89	72.68
8	1020.22	53.10
9	946.47	77.61
10	853.68	82.35
11	754.98	76.43
12	573.13	61.14
13	526.98	61.98
14	395.67	60.79

B-CD PURA espectros:



Nota. Datos proporcionados por el Instituto de Investigaciones I2QB3 UMG Labs

Informe final proyecto de investigación 2022

Dirección General de Investigación –DIGI-

Figura 40

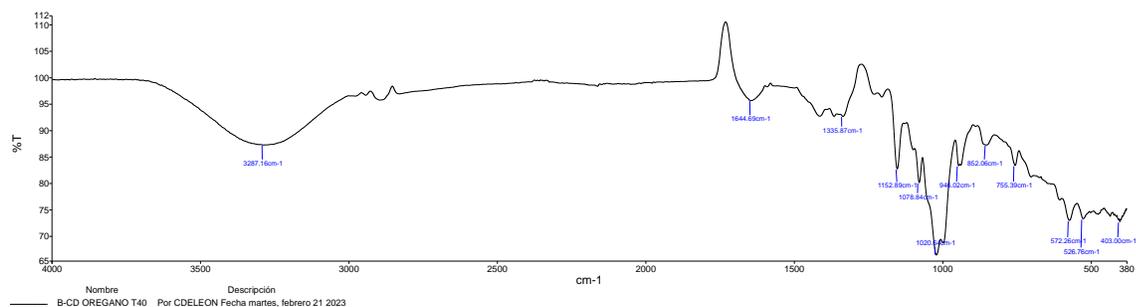
Espectro IR de aceite esencial de orégano (Origanum vulgare L.) microencapsulado con β -ciclodextrina a 40 oC

Nombre del espectro	Cantidad de picos
B-CD OREGANO T40	12

B-CD OREGANO T40 detalles:

Número pico	X (cm-1)	Y (%T)
1	3287.16	87.28
2	1644.69	95.71
3	1335.87	92.70
4	1152.89	82.76
5	1078.84	80.16
6	1020.64	66.44
7	946.02	83.37
8	852.06	87.29
9	755.39	83.42
10	572.26	73.00
11	526.76	73.32
12	403.00	72.77

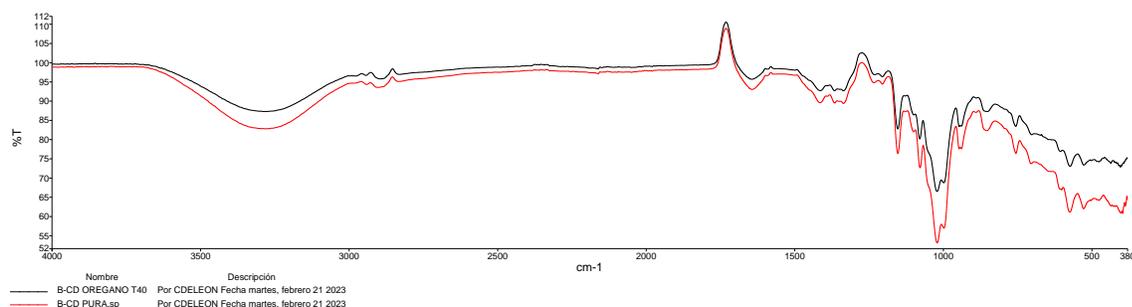
B-CD OREGANO T40 espectros:



B-CD OREGANO T40 detalles:

Índice	Nombre de la muestra	Mejor coincidencia	Correlación	Pasa/Falla
13	B-CD OREGANO T40	C:\pel_data\spectra\B-CD PURA.sp	0.978913	Falla

B-CD OREGANO T40 espectros:



Nota. Datos proporcionados por el Instituto de Investigaciones I2QB3 UMG Labs

Figura 41

Espectro IR de aceite esencial de orégano (Origanum vulgare L.) microencapsulado con β -ciclodextrina a 50 °C

Nombre del espectro	Cantidad de picos
B-CD OREGANO T50	13

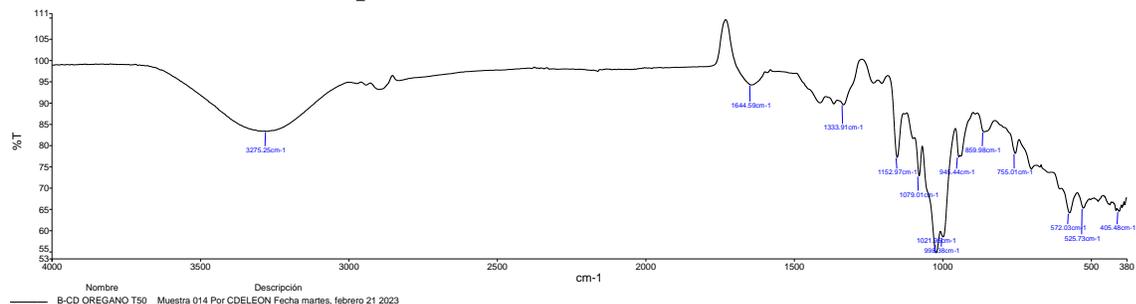
B-CD OREGANO T50 detalles:

Número pico	X (cm-1)	Y (%T)
1	3275.25	83.39
2	1644.59	94.31
3	1333.91	89.63
4	1152.97	77.25
5	1079.01	72.89
6	1021.95	54.76
7	998.38	58.51
8	945.44	77.38
9	859.98	83.26
10	755.01	78.19
11	572.03	64.15
12	525.73	65.30
13	405.48	64.54

Informe final proyecto de investigación 2022

Dirección General de Investigación –DIGI-

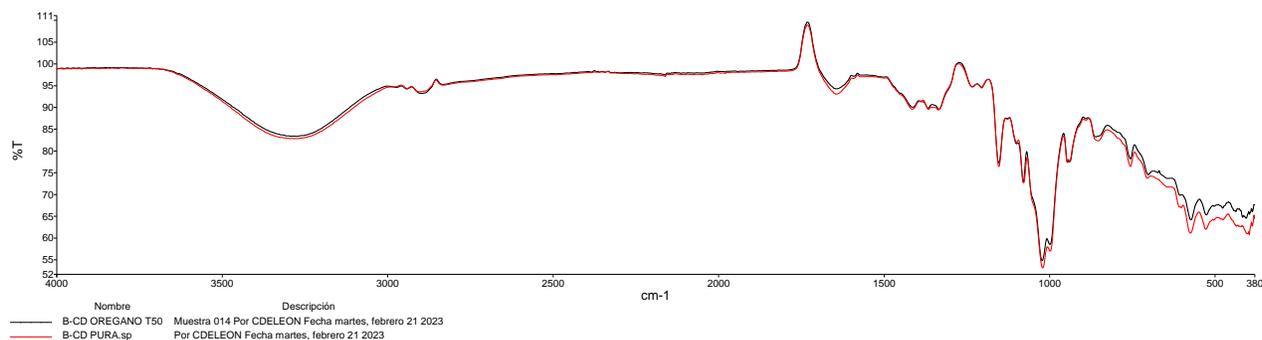
B-CD OREGANO T50 espectros:



B-CD OREGANO T50 detalles:

Índice	Nombre de la muestra	Mejor coincidencia	Correlación	Pasa/Falla
13	B-CD OREGANO T50	C:\pel_data\spectra\B-CD PURA.sp	0.990418	Pasa

B-CD OREGANO T50 espectros:



Nota. Datos proporcionados por el Instituto de Investigaciones I2QB3 UMG Labs

Figura 42

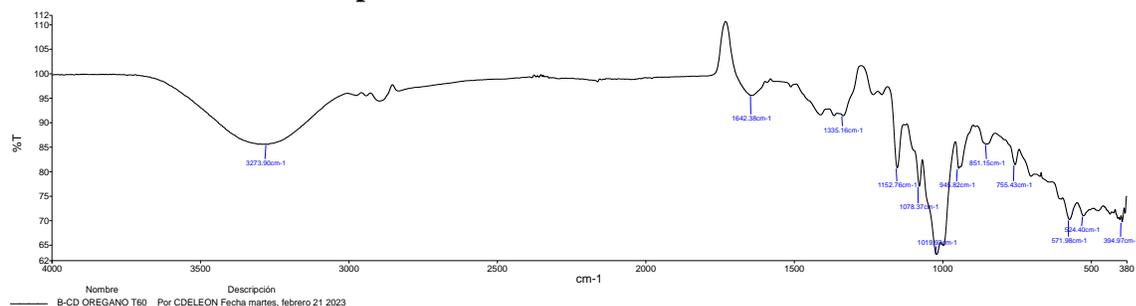
Espectro IR de aceite esencial de orégano (Origanum vulgare L.) microencapsulado con β -ciclodextrina a 60 °C

Nombre del espectro	Cantidad de picos
B-CD OREGANO T60	12

B-CD OREGANO T60 detalles:

Número pico	X (cm-1)	Y (%T)
1	3273.90	85.59
2	1642.38	95.61
3	1335.16	91.44
4	1152.76	80.77
5	1078.37	77.01
6	1019.93	63.05
7	945.82	80.69
8	851.15	85.67
9	755.43	81.44
10	571.98	70.20
11	524.40	70.99
12	394.97	69.71

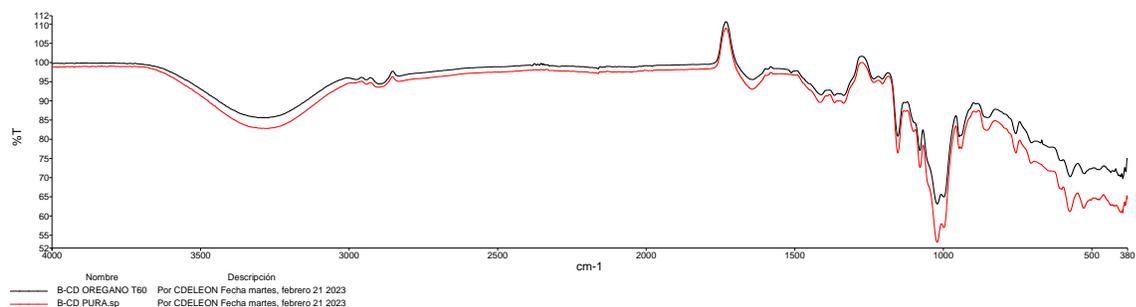
B-CD OREGANO T60 espectros:



B-CD OREGANO T60 detalles:

Índice	Nombre de la muestra	Mejor coincidencia	Correlación	Pasa/Falla
13	B-CD OREGANO T60	C:\pel_data\spectra\B-CD PURA.sp	0.97993	Falla

B-CD OREGANO T60 espectros:



Nota. Datos proporcionados por el Instituto de Investigaciones I2QB3 UMG Labs

Figura 43

Espectro IR de aceite esencial de albahaca (Ocimum basilicum L.) microencapsulado con β -ciclodextrina a 40 °C

Nombre del espectro	Cantidad de picos
B-CD ALBAHACA T40	17

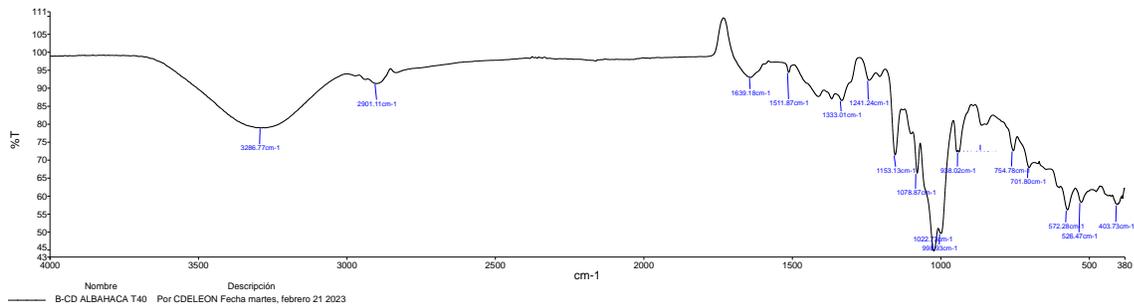
B-CD ALBAHACA T40 detalles:

Número pico	X (cm-1)	Y (%T)
1	3286.77	78.99
2	2901.11	91.33
3	1639.18	93.07
4	1511.87	94.45
5	1333.01	86.60
6	1241.24	92.26
7	1153.13	71.45
8	1078.87	66.38
9	1022.73	44.70
10	998.93	49.58
11	938.02	72.29
12	861.82	79.72
13	754.78	72.62
14	701.80	67.96
15	572.28	56.15
16	526.47	58.30
17	403.73	57.63

Informe final proyecto de investigación 2022

Dirección General de Investigación –DIGI-

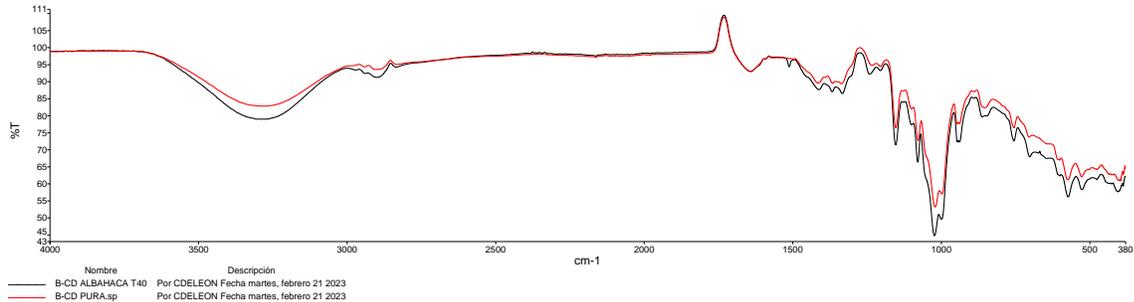
B-CD ALBAHACA T40 espectros:



B-CD ALBAHACA T40 detalles:

Índice	Nombre de la muestra	Mejor coincidencia	Correlación	Pasa/Falla
13	B-CD ALBAHACA T40	C:\pel_data\spectra\B-CD PURA.sp	0.977388	Falla

B-CD ALBAHACA T40 espectros:



Nota. Datos proporcionados por el Instituto de Investigaciones I2QB3 UMG Labs

Figura 44

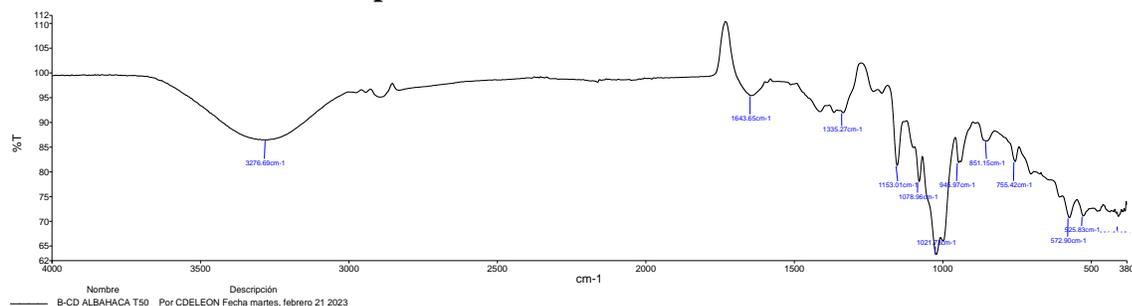
Espectro IR de aceite esencial de albahaca (Ocimum basilicum L.) microencapsulado con β -ciclodextrina a 50 °C

Nombre del espectro	Cantidad de picos
B-CD ALBAHACA T50	12

B-CD ALBAHACA T50 detalles:

Número pico	X (cm-1)	Y (%T)
1	3276.69	86.47
2	1643.65	95.45
3	1335.27	91.98
4	1153.01	81.30
5	1078.96	78.03
6	1021.73	63.25
7	945.97	81.87
8	851.15	86.25
9	755.42	82.09
10	572.90	70.72
11	525.83	71.09
12	407.81	70.97

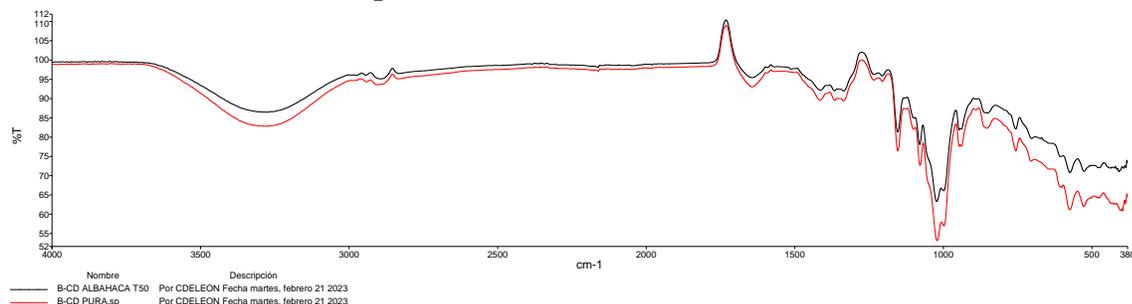
B-CD ALBAHACA T50 espectros:



B-CD ALBAHACA T50 detalles:

Índice	Nombre de la muestra	Mejor coincidencia	Correlación	Pasa/Falla
13	B-CD ALBAHACA T50	C:\pel_data\spectra\B-CD PURA.sp	0.983104	Pasa

B-CD ALBAHACA T50 espectros:



Nota. Datos proporcionados por el Instituto de Investigaciones I2QB3 UMG Labs

Figura 45

Espectro IR de aceite esencial de albahaca (Ocimum basilicum L.) microencapsulado con β -ciclodextrina a 60 °C.

Nombre del espectro	Cantidad de picos
B-CD ALBAHACA T60	12

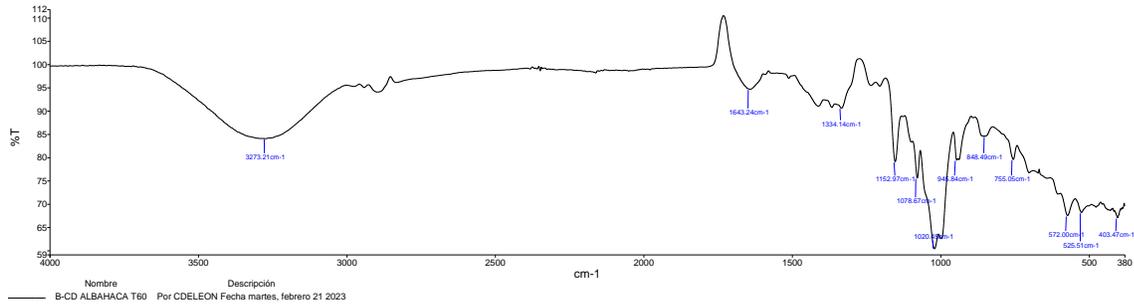
B-CD ALBAHACA T60 detalles:

Número pico	X (cm-1)	Y (%T)
1	3273.21	84.10
2	1643.24	94.74
3	1334.14	90.66
4	1152.97	79.14
5	1078.67	75.60
6	1020.45	60.38
7	945.84	79.48
8	848.49	84.65
9	755.05	79.62
10	572.00	67.53
11	525.51	68.20
12	403.47	67.08

Informe final proyecto de investigación 2022

Dirección General de Investigación –DIGI-

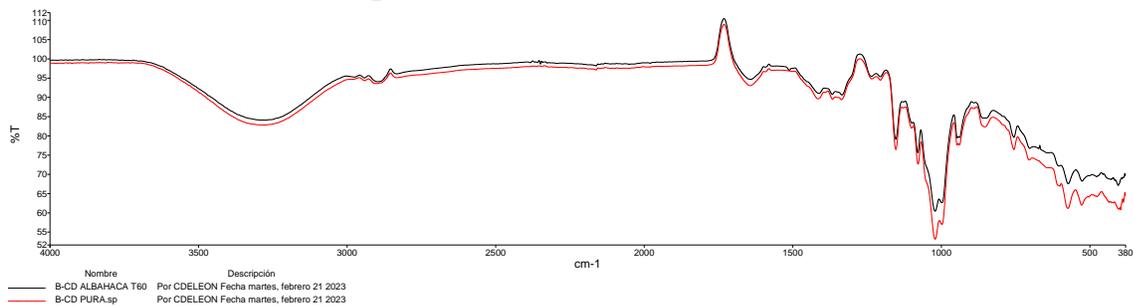
B-CD ALBAHACA T60 espectros:



B-CD ALBAHACA T60 detalles:

Índice	Nombre de la muestra	Mejor coincidencia	Correlación	Pasa/Falla
13	B-CD ALBAHACA T60	C:\pel_data\spectra\B-CD PURA.sp	0.986297	Pasa

B-CD ALBAHACA T60 espectros:



Nota. Datos proporcionados por el Instituto de Investigaciones I2QB3 UMG Labs

Informe final proyecto de investigación 2022

Dirección General de Investigación –DIGI-

Figura 46

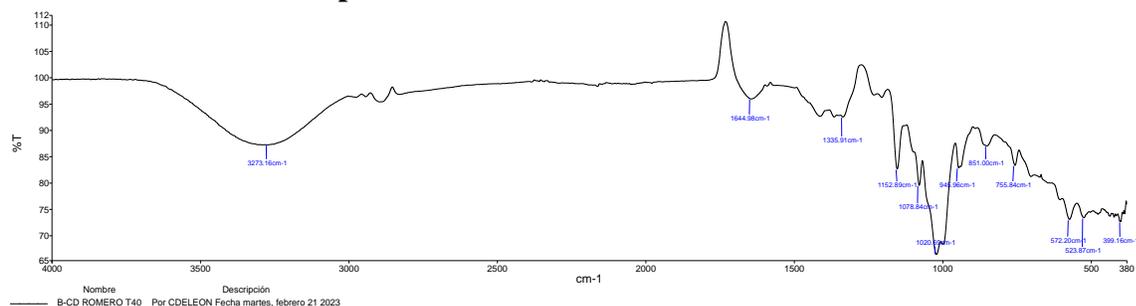
Espectro IR de aceite esencial de romero (Rosmarinus officinalis L.) microencapsulado con β -ciclodextrina a 40 °C.

Nombre del espectro	Cantidad de picos
B-CD ROMERO T40	12

B-CD ROMERO T40 detalles:

Número pico	X (cm-1)	Y (%T)
1	3273.16	87.27
2	1644.98	96.01
3	1335.91	92.56
4	1152.89	82.68
5	1078.84	79.56
6	1020.69	66.39
7	945.96	82.89
8	851.00	87.05
9	755.84	83.37
10	572.20	73.08
11	523.87	73.39
12	399.16	72.66

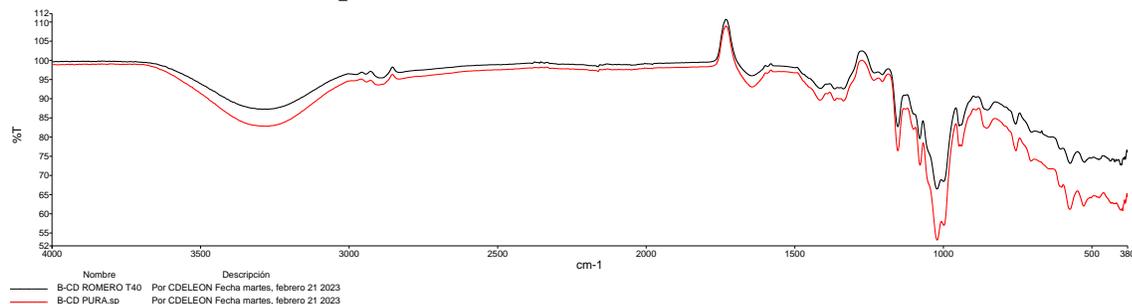
B-CD ROMERO T40 espectros:



B-CD ROMERO T40 detalles:

Índice	Nombre de la muestra	Mejor coincidencia	Correlación	Pasa/Falla
13	B-CD ROMERO T40	C:\pel_data\spectra\B-CD PURA.sp	0.97337	Falla

B-CD ROMERO T40 espectros:



Nota. Datos proporcionados por el Instituto de Investigaciones I2QB3 UMG Labs

Figura 47

Espectro IR de aceite esencial de romero (Rosmarinus officinalis L.) microencapsulado con β -ciclodextrina a 50 °C.

Nombre del espectro	Cantidad de picos
B-CD ROMERO T50	12

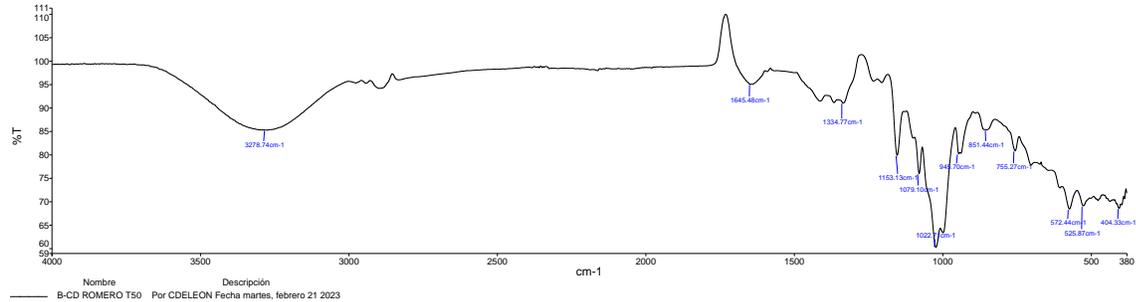
B-CD ROMERO T50 detalles:

Número pico	X (cm-1)	Y (%T)
1	3278.74	85.30
2	1645.48	95.10
3	1334.77	91.08
4	1153.13	79.93
5	1079.10	76.01
6	1022.71	60.22
7	945.70	80.24
8	851.44	85.37
9	755.27	80.86
10	572.44	68.43
11	525.87	69.11
12	404.33	68.60

Informe final proyecto de investigación 2022

Dirección General de Investigación –DIGI-

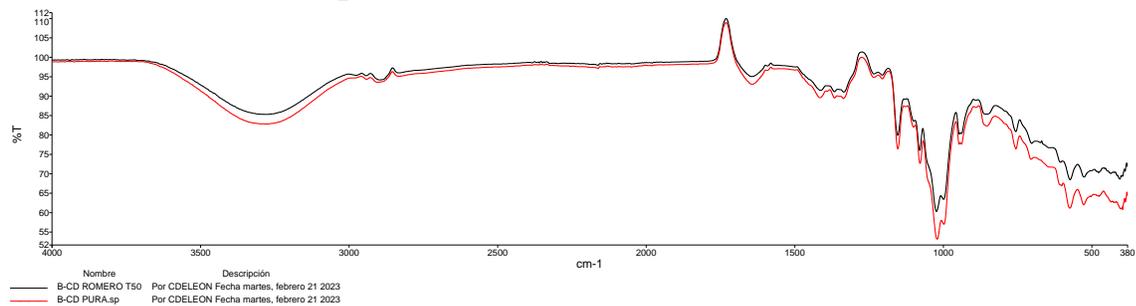
B-CD ROMERO T50 espectros:



B-CD ROMERO T50 detalles:

Índice	Nombre de la muestra	Mejor coincidencia	Correlación	Pasa/Falla
13	B-CD ROMERO T50	C:\pel_data\spectra\B-CD PURA.sp	0.98471	Pasa

B-CD ROMERO T50 espectros:



Nota. Datos proporcionados por el Instituto de Investigaciones I2QB3 UMG Labs

Informe final proyecto de investigación 2022

Dirección General de Investigación –DIGI-

Figura 48

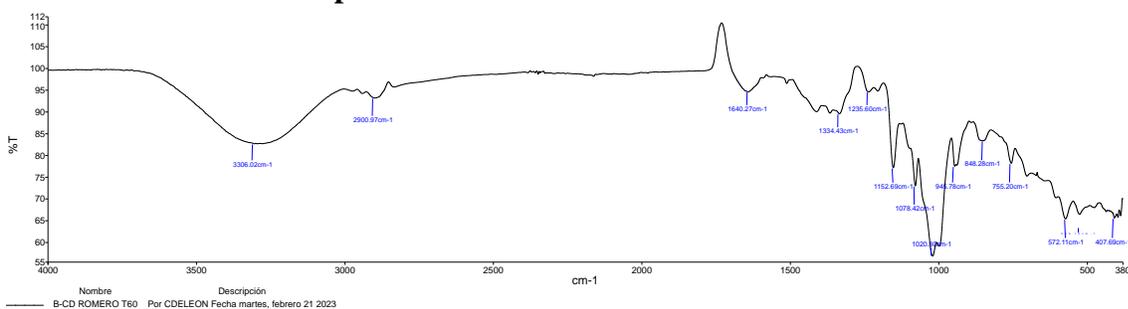
Espectro IR de aceite esencial de romero (Rosmarinus officinalis L.) microencapsulado con β -ciclodextrina a 60 oC

Nombre del espectro	Cantidad de picos
B-CD ROMERO T60	14

B-CD ROMERO T60 detalles:

Número pico	X (cm-1)	Y (%T)
1	3306.02	82.69
2	2900.97	93.23
3	1640.27	94.70
4	1334.43	89.63
5	1235.60	94.65
6	1152.69	77.18
7	1078.42	73.01
8	1020.30	56.84
9	945.78	77.52
10	848.28	83.42
11	755.20	78.20
12	572.11	65.39
13	525.13	66.42
14	407.69	65.59

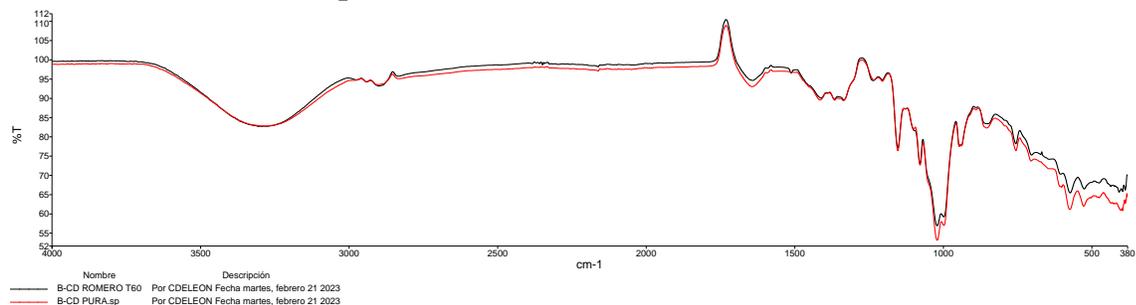
B-CD ROMERO T60 espectros:



B-CD ROMERO T60 detalles:

Índice	Nombre de la muestra	Mejor coincidencia	Correlación	Pasa/Falla
13	B-CD ROMERO T60	C:\pel_data\spectra\B-CD PURA.sp	0.987963	Pasa

B-CD ROMERO T60 espectros:

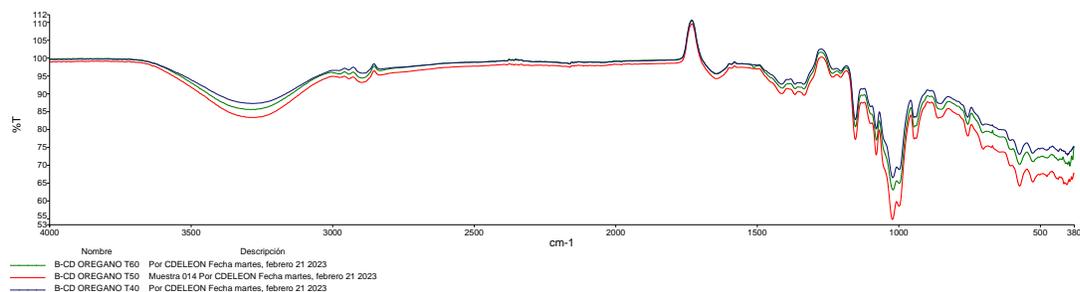


Nota. Datos proporcionados por el Instituto de Investigaciones I2QB3 UMG Labs

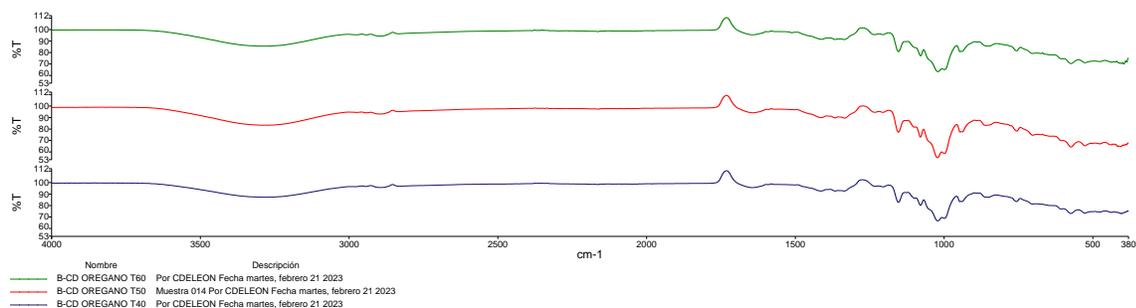
Figura 49

Espectro IR de aceite esencial de orégano (*Origanum vulgare L.*) microencapsulado con β -ciclodextrina en función de las tres temperaturas evaluadas.

Vista de muestras 1



Vista de muestras 1

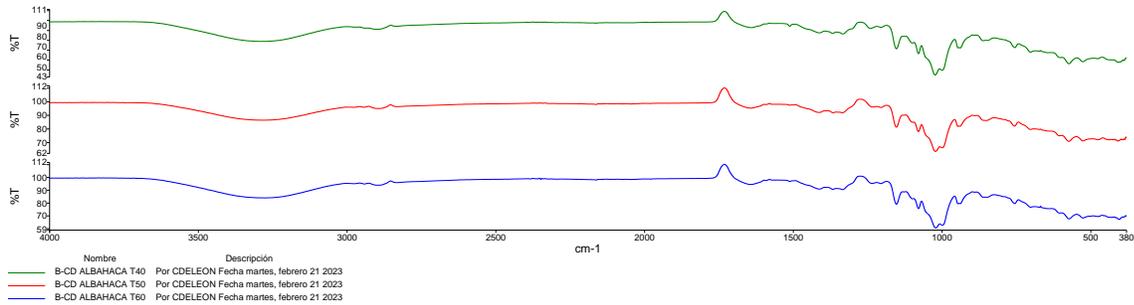


Nota. Datos proporcionados por el Instituto de Investigaciones I2QB3 UMG Labs

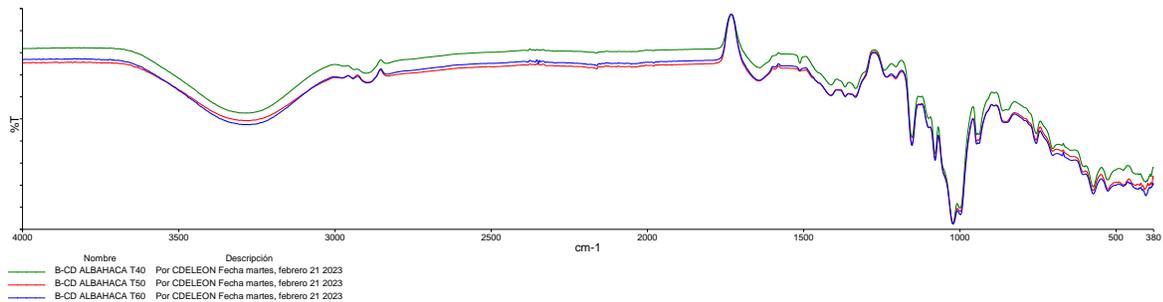
Figura 50

*Espectro IR de aceite esencial de albahaca (*Ocimum basilicum* L.) microencapsulado con β -ciclodextrina en función de las tres temperaturas evaluadas.*

Vista de muestras 1



Vista de muestras 1

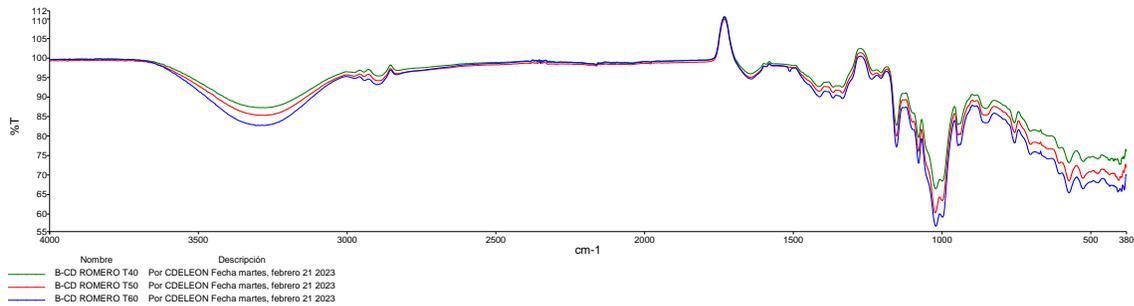


Nota. Datos proporcionados por el Instituto de Investigaciones I2QB3 UMG Labs

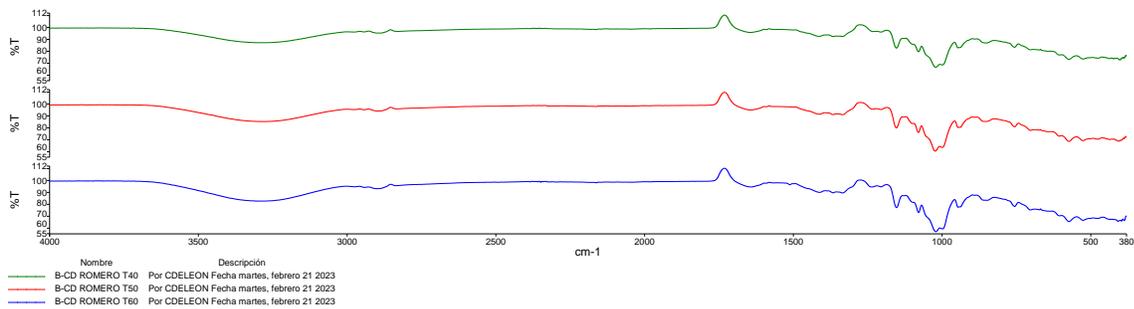
Figura 51

Espectro IR aceite esencial de romero (Rosmarinus officinalis L.) microencapsulado con β -ciclodextrina en función de las tres temperaturas evaluadas.

Vista de muestras 1



Vista de muestras 1

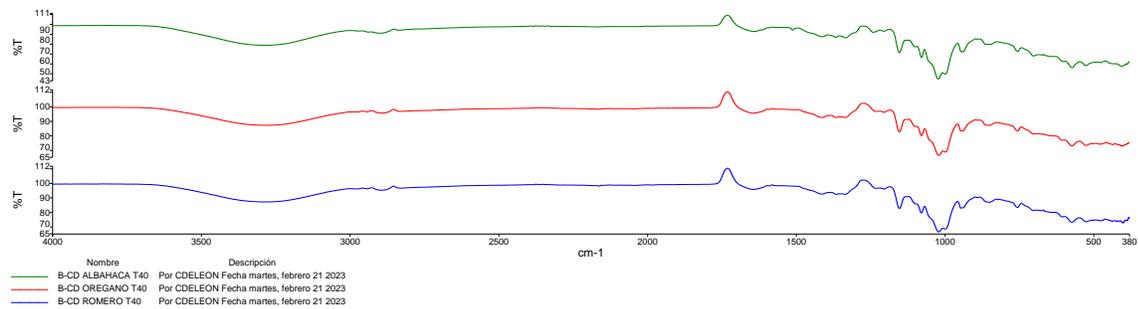


Nota. Datos proporcionados por el Instituto de Investigaciones I2QB3 UMG Labs

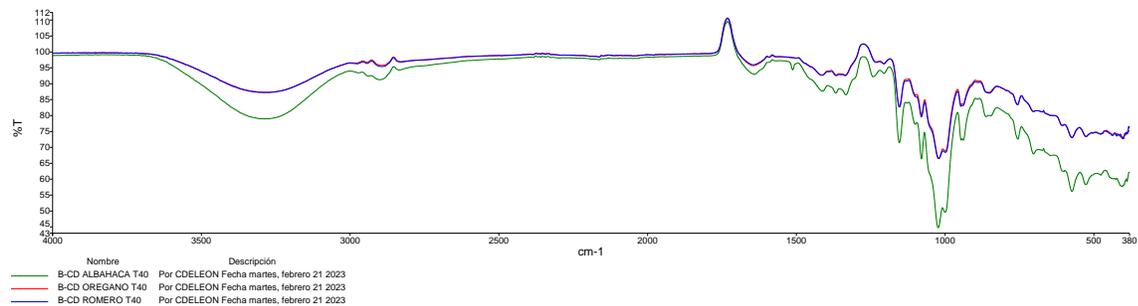
Figura 52

Espectro IR para las tres variedades de aceites esenciales microencapsulados con β -ciclodextrina a una temperatura de 40 °C.

Vista de muestras 1



Vista de muestras 1

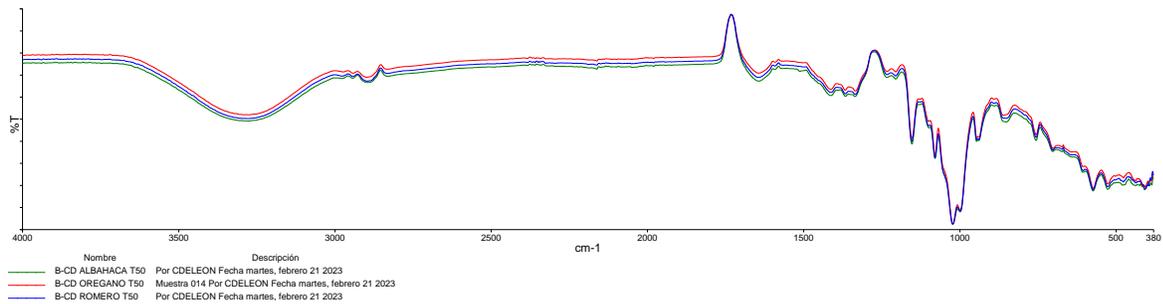


Nota. Datos proporcionados por el Instituto de Investigaciones I2QB3 UMG Labs

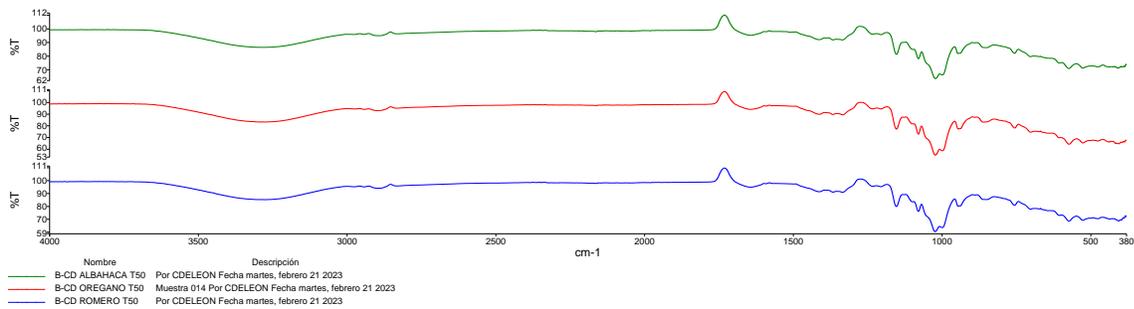
Figura 53

Espectro IR para las tres variedades de aceites esenciales microencapsulados con β -ciclodextrina a una temperatura de 50 °C.

Vista de muestras 1



Vista de muestras 1

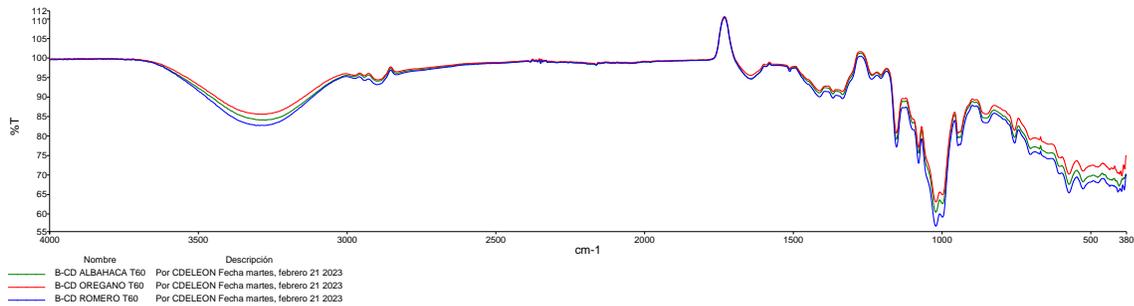


Nota. Datos proporcionados por el Instituto de Investigaciones I2QB3 UMG Labs

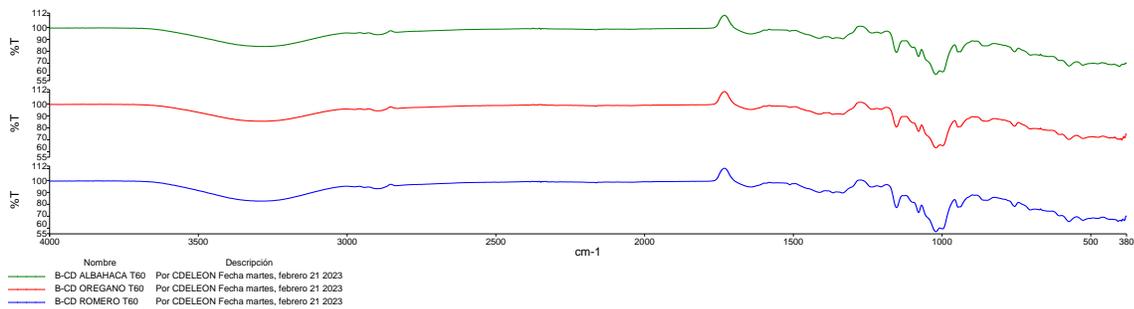
Figura 54

Espectro IR para las tres variedades de aceites esenciales microencapsulados con β -ciclodextrina a una temperatura de 60 °C.

Vista de muestras 1



Vista de muestras 1



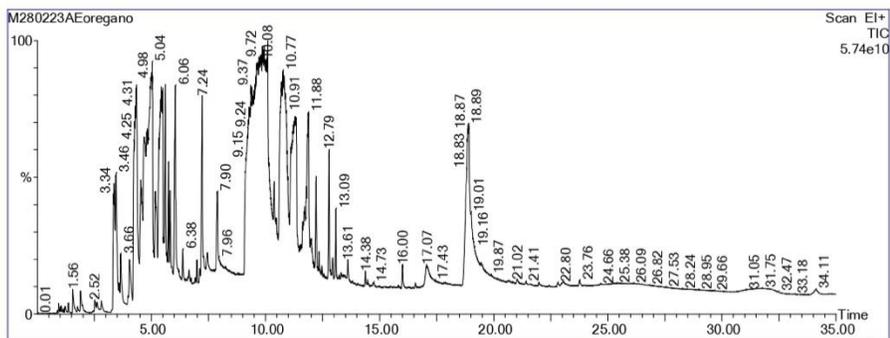
Nota. Datos proporcionados por el Instituto de Investigaciones I2QB3 UMG Labs

Figura 55

Cromatograma del aceite esencial de orégano (Origanum vulgare L.).

Departamento de Toxicología, CCQQ y Farmacia, USAC
Qualitative Report

File: C:\TurboMass\SEM\VOCS.PRO\Data\M280223AEoregano.raw Printed: 28-Feb-23 01:49 PM
 Acquired: 10-Feb-23 01:55:34 PM
 Description: M28.02.23 AEoregano Page 1 of 4
 GC/MS Method: GC: MS: Aceite esencial 29.EXP Vial Number: 105
 Sample ID: M19.01003DerivTHC



#	RT	Scan	Height	Area	Area %	Norm %
1	0.944	189	1,888,085,632	39,023,576.0	0.028	0.10
2	1.059	212	1,214,299,520	29,345,100.0	0.021	0.07
3	1.239	248	1,256,278,912	43,639,680.0	0.031	0.11
4	1.364	273	2,024,394,240	56,720,388.0	0.040	0.14
5	1.559	312	4,958,211,072	293,606,496.0	0.209	0.74
6	1.764	353	1,099,751,168	43,777,460.0	0.031	0.11
7	1.894	379	4,302,828,544	241,289,360.0	0.172	0.61
8	1.984	397	1,476,078,592	70,267,816.0	0.050	0.18
9	2.519	504	2,403,824,384	135,481,392.0	0.097	0.34
10	2.614	523	1,782,432,384	112,352,928.0	0.080	0.28
11	2.814	563	1,986,393,472	122,596,160.0	0.087	0.31
12	3.365	673	25,193,570,304	2,035,033,984.0	1.450	5.13
13	3.460	692	25,608,925,184	1,869,259,776.0	1.332	4.71
14	3.585	717	1,811,215,488	52,725,784.0	0.038	0.13
15	3.660	732	8,351,639,552	401,128,416.0	0.286	1.01
16	3.985	797	1,692,602,112	59,485,260.0	0.042	0.15
17	4.045	809	9,075,194,880	757,670,336.0	0.540	1.91
18	4.355	871	40,656,408,576	6,357,637,120.0	4.531	16.02
19	4.535	907	17,425,545,216	1,611,320,960.0	1.148	4.06
20	4.695	939	26,130,380,800	3,162,971,648.0	2.254	7.97

Inst() ACQUISITION PARAMETERS
 , Inj=°C, Volume=0 µL, Split=1, Carrier Gas=, Solvent Delay=0.00 min, Transfer Temp=230°C, Source Temp=230°C, Scan: 33
 to 100Da, Column

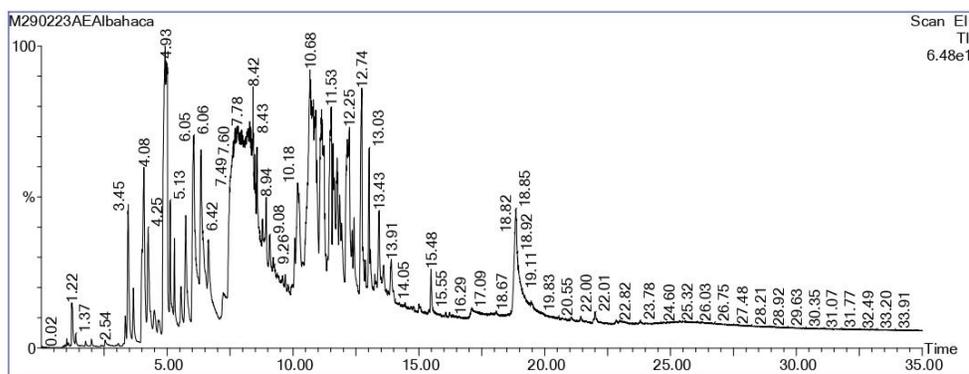
Nota. Laboratorio de Análisis Físicoquímico y Microbiológico -LAFYM-

Figura 56

Cromatograma del aceite esencial de albahaca (Ocimum basilicum L.)

Departamento de Toxicología, CCQQ y Farmacia, USAC Qualitative Report

File: C:\TurboMass\SEMIVOCS.PRO\Data\M290223AEAlbahaca.raw Printed: 28-Feb-23 01:44 PM
 Acquired: 14-Feb-23 09:39:25 AM
 Description: M29.02.23AEAlbahaca
 GC/MS Method: GC: MS: Aceite esencial 29.EXP Page 1 of 4
 Sample ID: M29.02.23AEAlbahaca Vial Number: 106



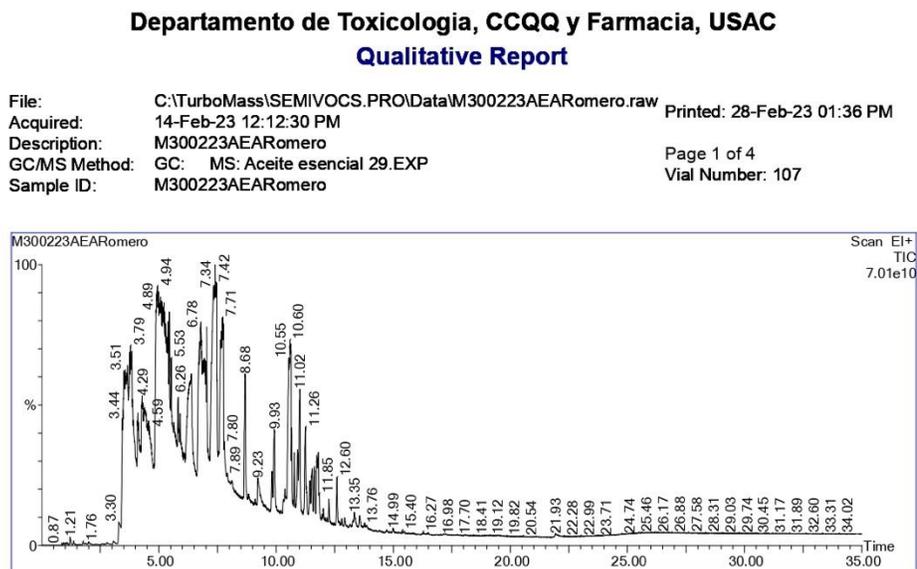
#	RT	Scan	Height	Area	Area %	Norm %
1	1.219	244	9,034,749,952	538,716,416.0	0.369	1.62
2	1.374	275	2,128,694,272	66,918,084.0	0.046	0.20
3	1.999	400	1,488,656,640	68,280,552.0	0.047	0.21
4	2.539	508	1,336,830,464	104,660,392.0	0.072	0.31
5	3.345	669	5,452,950,016	222,315,744.0	0.152	0.67
6	3.460	692	28,377,702,400	1,760,803,456.0	1.207	5.29
7	3.665	733	10,849,965,056	528,272,864.0	0.362	1.59
8	4.085	817	35,105,501,184	3,638,429,440.0	2.495	10.94
9	4.250	850	20,341,086,208	1,423,283,840.0	0.976	4.28
10	4.500	900	4,304,845,312	371,898,464.0	0.255	1.12
11	4.665	933	2,774,796,800	254,148,352.0	0.174	0.76
12	4.930	986	59,575,398,400	10,151,992,320.0	6.961	30.52
13	5.125	1025	23,640,408,064	750,363,456.0	0.515	2.26
14	5.295	1059	16,699,105,280	522,435,200.0	0.358	1.57
15	5.556	1111	8,174,125,056	516,830,560.0	0.354	1.55
16	5.746	1149	22,594,424,832	1,736,016,512.0	1.190	5.22
17	6.061	1212	37,486,960,640	4,395,835,904.0	3.014	13.22
18	6.356	1271	29,557,080,064	3,268,890,880.0	2.242	9.83
19	6.656	1331	13,030,259,712	1,135,702,656.0	0.779	3.41
20	6.826	1365	1,105,703,936	62,097,940.0	0.043	0.19

Inst() ACQUISITION PARAMETERS
 , Inj=°C, Volume=0 µL, Split=:1, Carrier Gas=, Solvent Delay=0.00 min, Transfer Temp=230°C, Source Temp=230°C, Scan: 33
 to 100Da, Column

Nota. Laboratorio de Análisis Físicoquímico y Microbiológico -LAFYM-

Figura 57

Cromatograma del aceite esencial de romero (Rosmarinus officinalis L.).



#	RT	Scan	Height	Area	Area %	Norm %
1	1.214	243	1,847,240,192	33,119,818.0	0.019	0.12
2	1.239	248	1,253,674,368	32,086,798.0	0.019	0.12
3	1.369	274	906,573,696	27,176,610.0	0.016	0.10
4	1.764	353	694,135,168	28,128,582.0	0.016	0.10
5	1.999	400	639,435,264	47,409,368.0	0.028	0.18
6	2.784	557	485,407,904	36,226,384.0	0.021	0.13
7	3.065	613	721,513,792	58,598,112.0	0.034	0.22
8	3.300	660	5,101,989,376	512,455,744.0	0.300	1.91
9	3.670	734	43,684,409,344	11,197,283,328.0	6.546	41.64
10	3.795	759	48,179,585,024	11,622,642,688.0	6.794	43.22
11	4.105	821	30,826,752,000	3,305,363,200.0	1.932	12.29
12	4.285	857	34,665,582,592	15,100,441,600.0	8.828	56.16
13	4.940	988	60,641,284,096	26,889,486,336.0	15.719	100.00
14	5.396	1079	50,903,715,840	4,052,728,320.0	2.369	15.07
15	5.451	1090	53,192,835,072	2,591,510,272.0	1.515	9.64
16	5.526	1105	41,488,916,480	6,702,503,936.0	3.918	24.93
17	5.821	1164	31,084,374,016	2,541,034,496.0	1.485	9.45
18	5.911	1182	26,822,426,624	4,443,165,184.0	2.597	16.52
19	6.391	1278	35,749,650,432	11,020,160,000.0	6.442	40.98
20	6.791	1358	47,751,151,616	14,835,740,672.0	8.673	55.17

Inst() ACQUISITION PARAMETERS
 , Inj=°C, Volume=0 µL, Split=1, Carrier Gas=, Solvent Delay=0.00 min, Transfer Temp=230°C, Source Temp=230°C, Scan: 33
 to 100Da, Column

Nota.

Laboratorio de Análisis Físicoquímico y Microbiológico -LAFYM-

Tabla 6

ANOVA para la comparación entre las muestras del espectro IR de la betaciclodextrina pura y del complejo betaciclodextrina-aceite esencial de orégano microencapsulado a 40°C.

Origen de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Media de cuadrados	F estadística	Valor p
Entre grupos	708.114	1	708.114	78.108	0.000
Dentro de grupos	611.694	23	26.603	-	-
Total	1319.808	24	-	-	-

Nota. Elaboración propia, 2023.

Tabla 7

ANOVA para la comparación entre las muestras del espectro IR de la betaciclodextrina pura y del complejo betaciclodextrina-aceite esencial de orégano microencapsulado a 50°C.

Origen de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Media de cuadrados	F estadística	Valor P
Tratamiento	5.041	1	5.041	69.291	<0.001
Error	0.702	22	0.032	-	-
Total	5.743	23	-	-	-

Nota. Elaboración propia, 2023.

Tabla 8

ANOVA para la comparación entre las muestras del espectro IR de la betaciclodextrina pura y del complejo betaciclodextrina-aceite esencial de orégano microencapsulado a 60°C.

Origen de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Media de cuadrados	F estadística	Valor P
Tratamiento	4246.553	1	4246.553	459.278	<0.001
Error	183.256	24	7.636		
Total	4429.810	25			

Nota: Elaboración propia, 2023.

Tabla 9

ANOVA para la comparación entre las muestras del espectro IR de la betaciclodextrina pura y del complejo betaciclodextrina-aceite esencial de albahaca microencapsulado a 40°C.

Origen de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Media de cuadrados	F estadística	Valor p
Tratamiento	526.92	1	526.92	102.45	< 0.001
Residual	86.59	24	3.61		
Total	613.51	25			

Nota. Elaboración propia, 2023.

Tabla 10

ANOVA para la comparación entre las muestras del espectro IR de la betaciclodextrina pura y del complejo betaciclodextrina-aceite esencial de albahaca microencapsulado a 50°C.

Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Media de cuadrados	Valor F	Valor p
Entre grupos	569.43	1	569.43	22.53	0.0004
Dentro de grupos	1295.50	24	53.98	-	-
Total	1864.93	25	-	-	-

Nota. Elaboración propia, 2023.

Tabla 11

ANOVA para la comparación entre las muestras del espectro IR de la betaciclodextrina pura y del complejo betaciclodextrina-aceite esencial de albahaca microencapsulado a 60°C

Fuente de variación	SS	gl	MS	F	Valor p
Muestra	541.58	1	541.58	27.2944	0.000435
Pico	252.45	13	19.42	0.9774	0.486949
Muestra:Pico	508.12	13	39.09	1.9671	0.037235
Residuals	220.06	16	13.75		
Total	1522.21	43			

Nota. Elaboración propia, 2023.

Tabla 12

ANOVA para la comparación entre las muestras del espectro IR de la betaciclodextrina pura y del complejo betaciclodextrina-aceite esencial de romero microencapsulado a 40°C

Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Media de cuadrados	Estadístico F	Valor p
Entre grupos	4,390.66	1	4,390.66	61.57	0.0001
Dentro de los grupos	619.05	24	25.79		
Total	5,009.71	25			

Nota. Elaboración propia, 2023.

Tabla 13

ANOVA para la comparación entre las muestras del espectro IR de la betaciclodextrina pura y del complejo betaciclodextrina-aceite esencial de romero microencapsulado a 50°C

Fuente de variación	SS	gl	MS	F	p-value
Entre muestras	311.8421	1	311.8421	29.522	0.0001
Dentro de muestras	669.2742	24	27.88642		
Total	981.1163	25			

Nota. Elaboración propia, 2023.

Tabla 14

ANOVA para la comparación entre las muestras del espectro IR de la betaciclodextrina pura y del complejo betaciclodextrina-aceite esencial de romero microencapsulado a 60°C

Fuente de variación	Suma de cuadrados (SC)	Grados de libertad (gl)	Media de cuadrados (MC)	Estadístico F	Valor p
Entre grupos	550.86	1	550.86	32.92	0.00003
Dentro de grupos	1138.69	26	43.79		
Total	1689.55	27			

Nota: Elaboración propia, 2023.

12. Vinculación

Nuestro agradecimiento al Centro de Investigación y Desarrollo -CETEC- de Cementos Progreso y a sus miembros por permitirnos como equipo de investigación el acceso a sus servicios técnicos y profesionales en su prestigiosa organización. Ha sido una experiencia enriquecedora trabajar junto a profesionales comprometidos y dedicados en su labor. Agradezco a José Luis Ortiz Peñate, Analista de laboratorio químico, al Ing. José Andrés Barillas Quezada, Asesor Técnico de CID-Cemento, al Ing. Roberto Andrés Díaz Duran, Gerente I&D-Cemento, al Ing. Elvis Geovanni García Román, Gerente del Centro de Investigación y Desarrollo -CETEC-, y al Lic. Luis Velásquez, Gerente del Centro de Investigación y Desarrollo, por su valiosa contribución y liderazgo en el proyecto de investigación. Espero podamos colaborar con ustedes en futuras iniciativas y proyectos.

También, queremos agradecer al Instituto De Investigaciones Químicas, Biológicas Y Biofísicas (I2qb3) por prestar sus servicios técnicos y profesionales en nuestro proyecto. En especial, agradecemos a la Sc. Rebeca Méndez, la MSc. Elizabeth Solórzano y la PhD. Claudia De León por su dedicación y compromiso con el éxito del proyecto. Su experiencia ha sido esencial para lograr nuestros objetivos. Esperamos poder colaborar con ellos nuevamente en el futuro y les agradecemos por su ayuda en esta ocasión. Además, agradecemos profundamente a Bioinsecta y sus miembros, el Doctor Geisler Gomez y el Ingeniero Agrónomo Marco Polo, por su valiosa contribución y servicios técnicos en nuestro proyecto. Su colaboración y apoyo fueron fundamentales para su éxito y estamos muy agradecidos por su dedicación y experiencia.

13. Estrategia de difusión, divulgación y protección intelectual

Las estrategias de difusión que se utilizan para la divulgación de los resultados del proyecto de investigación se tienen: Se realiza la publicación del artículo científico para difundirlo en la página web de la Facultad de Ingeniería, así como en la página web de la Dirección General de Investigación. Se tiene también la estrategia de divulgación en el Periódico de la Facultad de Ingeniería y en la Revista Científica del Centro de Investigaciones de Ingeniería.

Además, se realizaron cursos teóricos prácticos impartidos por el LIEXVE para dar a conocer la información y los productos obtenidos de los extractos de aceite esencial de las tres diferentes especies, y su respectiva aplicación en microcápsulas. Así mismo se participó como disertantes en evento relacionado con la temática de usos de extractos vegetales y su aplicación en el saneamiento de aguas, organizado por el Centro de Investigaciones de Ingeniería.

14. Aporte de la propuesta de investigación a los ODS:

La microencapsulación de aceites esenciales y su aplicación como agentes larvicidas para erradicar los mosquitos de *Aedes aegypti* es una investigación que contribuye al ODS número 3 "Salud y Bienestar". Esta investigación puede ayudar a lograr la meta 3.3 de poner fin a las epidemias de enfermedades transmisibles y la meta 3.9 de reducir el número de muertes y enfermedades producidas por productos químicos peligrosos y la contaminación del aire, el agua y el suelo. Además, el uso de una medida natural y alternativa para erradicar enfermedades infecciosas también puede tener un impacto en el ODS número 13 "Acción por el clima", específicamente en la meta 13.3 de mejorar la educación, la sensibilización y la capacidad humana e institucional respecto de la mitigación del cambio climático, la adaptación a él, la reducción de sus efectos y la alerta temprana.

Informe final proyecto de investigación 2022

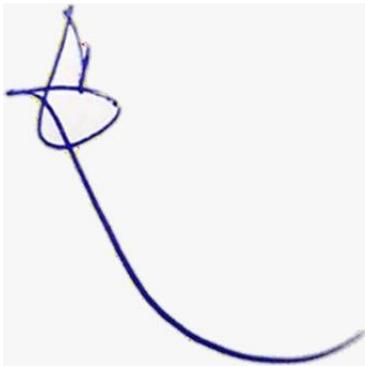
Dirección General de Investigación –DIGI-

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

Nombres y apellidos	Categoría (investigador /auxiliar)	Registro de personal	Procede pago de mes (Sí / No)	Firma
Emilio Javier Paíz Barco	Auxiliar de Investigación I	20220742	Si	 <small>Escaneado con CamScanner</small>

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.

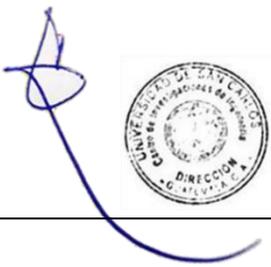
Inga. Qca. Telma Maricela Cano Morales coordinador del proyecto de investigación	
Fecha: 28/03/2023	

Informe final proyecto de investigación 2022

Dirección General de Investigación –DIGI-

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 (escriba el nombre del proyecto de investigación) en mi calidad de (indique: Director del instituto, centro o departamento de investigación o Coordinador de investigación del centro regional universitario), mismo que ha sido revisado y cumple su ejecución de acuerdo a lo planificado.

<p>Ing.Qca. Telma Maricela Cano Morales Directora Centro de Investigaciones de Ingeniería</p>	
<p>Fecha: 28/03/2023</p>	

15. Visado de la Dirección General de Investigación

<p>Vo.Bo. Inga. Liuba María Cabrera de Villagrán Coordinadora del Programa Universitario de Investigación</p>	 Firma
<p>Fecha: 28/03/2023</p>	

<p>Vo.Bo. Ing. Agr.MARN Julio Rufino Salazar Coordinador General de Programas Universitarios de Investigación</p>	 Firma <small>Ing. MARN Julio Rufino Salazar Pérez Coordinador General de Programas de Investigación - DIGI-USAC</small>
<p>Fecha: 28/03/2023</p>	

