

Estudio de la actividad antimicrobiana y caracterización química de extractos orgánicos
obtenidos de la raíz de la palma de iraca (*C. palmata*)

María Fernanda Galvis Amaya

Trabajo de Grado para Optar al Título de Química

Director

William Fernando Hidalgo Bucheli

Doctor en Química

Codirectora

Yuliany Guillín Rincón

M.Sc. Biología

Universidad Industrial de Santander

Facultad de Ciencias

Escuela de Química

Programa Académico

Bucaramanga

2025

Dedicatoria

A Dios por todas sus bendiciones y a mi mamita hermosa por dedicar su vida entera, por sus sacrificios, sus consejos sabios y fuerza incansable que me acompañaron en cada paso de este camino y fueron necesarios para que yo llegara hasta aquí. Por el impulso, los abrazos, las lágrimas secadas, las risas, las palabras de ánimo, el apoyo, amor incondicional, sacrificio y fe en mí, gracias por no soltar mi mano, incluso cuando yo dudaba de mí, te amo con todo mi corazón.

Agradecimientos

A mi director de tesis William Hidalgo por su guía y compañía durante cada etapa de este proyecto. A mi codirectora Yuliany Güillín por su enorme apoyo y paciencia, por enseñarme con alegría y pasión, y por encender en mí el interés genuino por la microbiología.

A la universidad Industrial de Santander por brindarme los recursos, instalaciones y el entorno necesario para llevar a cabo esta investigación, a la escuela de química, al grupo de investigación de Bioquímica en Productos Naturales y al grupo de investigación GIBIM, por facilitarme la realización de este proyecto, por su colaboración, guía y apoyo durante todo este proceso.

A mi mamá, hermanos y sobrinos por ser mi base y apoyo para hacer realidad mis sueños, por su amor incondicional, ánimo constante e impulso en los momentos más difíciles, son mi motor y mayor inspiración.

A mis mejores amigas, Maily Acevedo y María José Eguis, gracias por acompañarme desde el inicio de este trayecto, por estar presentes con risas, palabras de aliento, amor y apoyo constante. Su amistad ha sido una fuerza invaluable en mi vida, que me ha ayudado a crecer, forjar mi carácter y avanzar con más confianza en este camino. Gracias por ser y estar.

A Mayra, Delia y Cristian, por las risas compartidas, por enseñarme con generosidad y por estar ahí en los momentos de estrés y de alegría. Más allá del trabajo, encontré en ustedes una amistad sincera que hizo de este proceso una experiencia inolvidable.

A mis amigos.

Tabla de contenido

Tabla de contenido	4
Introducción	14
1. Objetivos	17
1.2. Objetivo general	17
1.3. Objetivos específicos	17
2. Hipótesis	18
3. Marco teórico	19
3.1. Infecciones causadas por microorganismos de interés clínico	19
3.2. <i>Carludovica palmata</i> : Aspectos generales.....	20
3.2.1 Ubicación y florecimiento.....	22
3.3. Aspectos económicos del cultivo de la palma de iraca.....	22
3.3.1. Cultivo y economía de <i>C. palmata</i> en Colombia	23
3.4. Metabolitos de las plantas.....	25
3.5. Raíz de la planta.....	25
3.5.1. Estudios de la actividad biológica de raíces	26
3.5.2. Metabolitos secundarios de raíces con actividad biológica	27
3.6. Microorganismos	28
3.6.1. <i>Staphylococcus aureus</i>	28
3.6.2. <i>Escherichia coli</i>	29
3.6.3. <i>Salmonella enterica</i>	31
3.7. Solventes de extracción.....	32

3.8.	Técnicas de extracción de metabolitos secundarios.....	32
3.9.	Técnicas para la caracterización química de extractos	34
4.	Antecedentes	35
4.1.	Alcaloides	37
4.2.	Compuestos fenólicos	38
4.3.	Flavonoides	39
4.4.	Terpenos.....	40
4.5.	Ácidos grasos	41
4.6.	Saponinas	41
5.	Metodología	42
Etapa 1. Obtención de los extractos de la raíz de la especie vegetal <i>C. palmata</i>		42
5.1.	Recolección de la muestra	42
5.2.	Preparación de la muestra de la especie vegetal <i>C. palmata</i>	42
5.2.1.	Liofilización.....	42
5.2.2.	Extracción acuosa de los metabolitos de la raíz de la especie vegetal <i>C. palmata</i> ...	43
Etapa 2. Estudio de la actividad antimicrobiana.....		44
5.3.	Activación de las cepas bacterianas.....	44
5.4.	Preparación de soluciones stock de antibióticos para control.....	45
5.5.	Preparación del microorganismo	45
5.6.	Método de difusión en disco de agar	46
5.7.	Análisis estadístico.....	47
Etapa 3. Caracterización química de los extractos.....		48

5.8	Caracterización por cromatografía de gases acoplada a espectrometría de masas (CG/MS)	48
6	Resultados y discusión.....	49
6.1	Etapa 1: Porcentaje de rendimiento de las extracciones	49
6.2	Etapa 2: Evaluación de la actividad antimicrobiana	52
6.3	Etapa 3. Caracterización de los extractos	60
7.	Conclusiones.....	79
	Referencias bibliográficas.....	81
	Apéndice	115

Lista de tablas

	Pág.
Tabla 1. <i>Información taxonómica de la especie vegetal C. palmata</i>	21
Tabla 2. <i>Rendimiento de extracción de los diferentes solventes</i>	51
Tabla 3. <i>Actividad antimicrobiana del extracto de n-Hexano</i>	52
Tabla 4. <i>Actividad antimicrobiana del extracto de cloroformo</i>	54
Tabla 5. <i>Actividad antimicrobiana del extracto de acetato de etilo</i>	57
Tabla 6. <i>Compuestos tentativamente identificados en el extracto de acetato de etilo</i>	61

Lista de Figuras

	Pág.
Figura 1. <i>Descripción de la C. palmata</i>	21
Figura 2. <i>Artesanías realizadas con la palma de iraca</i>	24
Figura 3. <i>Estructura de los compuestos fenólicos</i>	39
Figura 4. <i>Estructura básica de los flavonoides</i>	40
Figura 5. <i>Material vegetal recolectado</i>	42
Figura 6. <i>Preparación y extracción de la muestra</i>	44
Figura 7. <i>Perfil cromatográfico del extracto acetato de etilo</i>	60
Figura 8. <i>Espectro de masas del ácido benzoico</i>	62
Figura 9. <i>Espectro de masas del glicerol</i>	63
Figura 10. <i>Espectro de masas del ácido butanodioco</i>	65
Figura 11. <i>Espectro de masas del ácido metilsuccínico</i>	65
Figura 12. <i>Espectro de masas del ácido 4-hidroxibenzoico</i>	67
Figura 13. <i>Espectro de masas del compuesto arabinosa</i>	68
Figura 14. <i>Espectro de masas del compuesto eritritol</i>	69
Figura 15. <i>Espectro de masas del compuesto ácido protocatecuico</i>	70
Figura 16. <i>Espectro de masas del compuesto fructopiranososa</i>	71
Figura 17. <i>Espectro de masas del compuesto fructosa</i>	71
Figura 18. <i>Espectro de masas del compuesto lixosa</i>	72
Figura 19. <i>Espectro de masas del compuesto galactosa</i>	73

Figura 20. <i>Espectro de masas del compuesto ácido palmítico</i>	73
Figura 21. <i>Espectro de masas del compuesto mioinositol</i>	74
Figura 22. <i>Espectro de masas del compuesto ácido oleico</i>	75
Figura 23. <i>Espectro de masas del compuesto ácido esteárico</i>	76
Figura 24. <i>Patrón de fragmentación del compuesto ácido butanodioico</i>	76
Figura 25. <i>Patrón de fragmentación del compuesto ácido palmítico</i>	77

Lista de Anexos

	Pág.
Anexo 1. <i>Espectro de masas experimental y reportado del compuesto ácido benzoico</i>	109
Anexo 2. <i>Espectro de masas experimental y reportado del glicerol</i>	109
Anexo 3. <i>Espectro de masas experimental y reportado del ácido butanodioco</i>	109
Anexo 4. <i>Espectro de masas experimental y reportado del ácido metilsuccínico</i>	110
Anexo 5. <i>Espectro de masas experimental y reportado del ácido 4-hidroxibenzoico</i>	110
Anexo 6. <i>Espectro de masas experimental y reportado del compuesto arabinosa</i>	110
Anexo 7. <i>Espectro de masas experimental y reportado del compuesto eritritol</i>	111
Anexo 8. <i>Espectro de masas experimental y reportado del compuesto ácido protocatecuico</i> ..	111
Anexo 9. <i>Espectro de masas experimental y reportado del compuesto Fructopiranososa</i>	111
Anexo 10. <i>Espectro de masas experimental y reportado del compuesto fructosa</i>	112
Anexo 11. <i>Espectro de masas experimental y reportado del compuesto lixosa</i>	112
Anexo 12. <i>Espectro de masas experimental y reportado del compuesto galactosa</i>	112
Anexo 13. <i>Espectro de masas experimental y reportado del compuesto ácido palmítico</i>	113
Anexo 14. <i>Espectro de masas experimental y reportado del compuesto mioinositol</i>	113
Anexo 15. <i>Espectro de masas experimental y reportado del compuesto ácido oleico</i>	113
Anexo 16. <i>Espectro de masas del compuesto ácido esteárico</i>	114

Lista de Apéndices

	pág.
Apéndice A. <i>Metabolitos secundarios y matriz celular</i>	115
Apéndice B. <i>Análisis estadístico</i>	115
Apéndice C. <i>Actividad antimicrobiana extracto n-Hexano contra Escherichia coli</i>	121
Apéndice D. <i>Actividad antimicrobiana extracto n-Hexano contra S. enterica ATCC 13076</i>	122
Apéndice E. <i>Actividad antimicrobiana extracto n-Hexano contra S. aureus ATCC 25923</i>	122
Apéndice F. <i>Actividad extracto n-Hexano contra S. aureus ATCC 43300</i>	123
Apéndice G. <i>Actividad antimicrobiana extracto cloroformo contra Escherichia coli ATCC 11775</i>	123
Apéndice H. <i>Actividad antimicrobiana extracto cloroformo contra S. enterica ATCC 13076</i> ..	124
Apéndice I. <i>Actividad antimicrobiana extracto cloroformo contra S. aureus ATCC 25923</i>	124
Apéndice J. <i>Actividad antimicrobiana extracto cloroformo contra S. aureus ATCC 43300</i>	125
Apéndice K. <i>Actividad antimicrobiana extracto acetato de etilo contra E. coli ATCC 11775</i> ..	125
Apéndice L. <i>Actividad antimicrobiana extracto acetato de etilo contra S. enterica ATCC 13076</i>	126
Apéndice M. <i>Actividad antimicrobiana extracto acetato de etilo contra S. aureus ATCC 25923</i>	126
Apéndice N. <i>Actividad antimicrobiana extracto acetato de etilo contra S. aureus ATCC 43300</i>	127
Apéndice O. <i>Membrana celular bacterias Gramnegativas y Grampositivas</i>	127

Resumen

Título: Estudio de la actividad antimicrobiana y caracterización química de extractos orgánicos obtenidos de la raíz de la palma de iraca (*C. palmata*)*

Autor: María Fernanda Galvis Amaya**

Palabras Clave: Actividad antimicrobiana, *Carludovica palmata*, microorganismos patógenos, extractos orgánicos.

Descripción: Las infecciones causadas por microorganismos de interés clínico presentan un problema para la salud pública mundial, afectando principalmente a la morbilidad y mortalidad de la población, por lo tanto, actualmente se buscan nuevos métodos para el tratamiento de infecciones de este origen causado por bacterias que a su vez han adquirido resistencia a los antibióticos comerciales. En el presente estudio fue evaluada la actividad antimicrobiana de los extractos crudos con hexano, cloroformo y acetato de etilo, de la raíz de la palma de iraca (*Carludovica palmata*) en cuatro bacterias: *Salmonella enterica* serovariedad Enteritidis ATCC 13076, *Staphylococcus aureus* ATCC 43300 y ATCC 25923 y *Escherichia coli* ATCC 11775. Las raíces fueron liofilizadas para posterior extracción utilizando tres disolventes de polaridad variable, de forma creciente en polaridad (*n*-Hexano, cloroformo y acetato de etilo). Cada extracto se evaporó y se evaluó la actividad antimicrobiana mediante el método de difusión en agar (Kirby-Bauer). Los resultados mostraron que los extractos de cloroformo y hexano no presentaron actividad biológica, mientras que, el extracto de acetato de etilo presentó actividad en todas las concentraciones evaluadas, dentro del rango de 10 a 40 mg/mL.

La caracterización química del extracto de acetato de etilo permitió identificar presuntivamente compuestos como ácido protocatecuico, ácido palmítico, ácido butanodioico, ácido 4-hidroxibenzoico, ácido oleico, ácido benzoico, ácido esteárico y eritritol. De estos, los de mayor abundancia relativa fueron el ácido butanodioico, que presentó el valor más alto dentro del perfil obtenido (20,52%), seguido del ácido palmítico (10,22%), lo que sugiere podría tener un papel relevante en la bioactividad del extracto.

* Trabajo de Grado

** Facultad de Ciencias. Escuela de Química. Programa académico. Director: William Fernando Hidalgo Bucheli. Doctor en química. Codirector: Yuliany Guillín Rincón. MSc. Biología.

Abstract

Title: Study of antimicrobial activity and chemical characterization of organic extracts obtained from the root of the iraca palm (*C. palmata*) *

Author(s): María Fernanda Galvis Amaya **

Key Words: Antimicrobial activity, *C. palmata*, infections caused by microorganisms of clinical interest.

Description: Infections caused by microorganisms of clinical interest pose a problem for global public health, mainly affecting the morbidity and mortality of the population. Therefore, new methods are currently being sought for the treatment of infections of this origin caused by bacteria that have acquired resistance to commercial antibiotics. In this study, the antimicrobial activity of crude extracts with hexane, chloroform, and ethyl acetate from the root of the iraca palm (*Carludovica palmata*) was evaluated in four bacteria: *Salmonella enterica* serovar Enteritidis ATCC 13076, *Staphylococcus aureus* ATCC 43300 and ATCC 25923 and *Escherichia coli* ATCC 11775. The roots were freeze-dried for subsequent extraction using three solvents of varying polarity, in increasing order of polarity (n-hexane, chloroform, and ethyl acetate). Each extract was evaporated, and its antimicrobial activity was evaluated using the agar diffusion method (Kirby-Bauer), in a concentration range of 10 to 40 mg/mL. The results showed that the chloroform and hexane extracts did not exhibit biological activity, while the ethyl acetate extract exhibited biological activity at all concentrations evaluated (10,20,30 and 40mg/mL). The chemical characterization of the ethyl acetate extract allowed for the presumptive identification of compounds such as protocatechuic acid, palmitic acid, butanedioic acid, 4-hydroxybenzoic acid, oleic acid, benzoic acid, stearic acid, and erythritol. Of these, the most abundant were butanedioic acid, which had the highest value in the profile obtained (20.52%), followed by palmitic acid (10.22%), suggesting that it could play a relevant role in the bioactivity of the extract.

* Degree Work

** Faculty of Sciences. School of Chemistry. Chemistry. Director: William Fernando Hidalgo Bucheli. Doctor in chemistry. Codirector: Yuliany Guillín Rincón. MSc. Biology.

Introducción

Las infecciones causadas por microorganismos de interés clínico representan un problema significativo para la salud pública, ya que estos patógenos pueden multiplicarse rápidamente en el organismo y generar diversas enfermedades. Entre ellas destacan la colitis hemorrágica (CH) y el síndrome urémico hemolítico (SUH) (Navarro et al., 2017) provocados por cepas de *E. coli* productoras de toxinas Shiga (STEC), las cuales generan anemia hemolítica, e insuficiencia renal, y ocurren con mayor frecuencia en niños menores de cinco años (Vallejo et al., 2024). También se incluye la enterocolitis y gastroenteritis por *Salmonella* (Marcillo et al., 2019), que resultan en la inflamación intestinal y diarrea, asociadas a deshidratación y daño tisular (Zha et al., 2019).

Estas patologías suelen ser consecuencia de la acción de toxinas que lesionan tejidos y comprometen la integridad intestinal. Dentro de los agentes responsables de estas infecciones se encuentran *E. coli*, *S. enterica*, y *S. aureus*, que representan un desafío constante para la prevención y el tratamiento clínico, debido a su capacidad para generar enfermedades graves. Para combatirlas, se utilizan diferentes antibióticos como la azitromicina, ceftriaxona, piperacilina, entre otros agentes de primera línea.

No obstante, el uso excesivo y frecuente de estos antibióticos ha favorecido el desarrollo de resistencia bacteriana (Yang et al., 2023), un fenómeno en crecimiento que amenaza la efectividad de los tratamientos existentes: por ejemplo, se han reportado tasas de resistencia en *E. coli* hasta de un 50% a la tetraciclina y ampicilina y en *Salmonella* un 59.3% frente a tetraciclina, mientras

que en *S. aureus* la resistencia alcanza un 88% frente a la penicilina (Peña et al., 2020). Estos datos evidencian la urgencia de buscar alternativas terapéuticas.

En consecuencia, se exploran nuevas estrategias, como el uso de productos naturales capaces de inhibir el crecimiento de estos patógenos. Entre ellos se incluyen extractos de plantas o compuestos vegetales presentes en diferentes órganos de la planta, como tallos, raíces, hojas, corteza, flores o frutos (Nereyda et al., 2011), que ofrecen una fuente significativa de agentes antimicrobianos naturales. En este sentido, las plantas medicinales adquieren gran relevancia en la investigación farmacológica, no solo por su uso terapéutico tradicional, sino también como materia prima para la síntesis de fármacos y obtención de principios activos (Regulatory Situation of Herbal Medicines, 2010). Dentro de estos compuestos, destacan los metabolitos secundarios, que desempeñan un papel clave en la adaptación de las plantas a su entorno, al participar en su defensa frente a herbívoros, microorganismos patógenos y estrés abióticos (Sepúlveda et al., 2003). Por lo tanto, el estudio de estos metabolitos se ha extendido más allá de su papel ecológico, reconociéndolos como una fuente prometedora de compuestos bioactivos con aplicaciones farmacológicas.

De acuerdo con ello, se han reportado investigaciones que analizan diversas actividades biológicas de extractos de raíces de distintas especies. Por ejemplo, mediante el método de difusión en disco (Kirby Bauer), se observó que extractos de *Morinda royoc* ricos en antraquinonas muestran fuerte actividad antifúngica y antibacteriana incluso a bajas concentraciones (Borroto et al., 2011). De igual manera, los extractos metanólicos de las raíces de *Renealmia thyrsoides* y *Hedychium coronarium*, mostraron actividad frente a *S. aureus* ATCC 25923 y ATCC 12228, también frente a *Bacillus subtilis* ATCC 6633, *Pseudomonas aeruginosa* ATCC 27853 y *E. coli* ATCC 25922, dado a su alto contenido de diterpenos y curcuminoides (Solis, 2023). Asimismo,

el extracto de *Heliopsis longipes* que contiene alcaloides como la afinina, inhibió significativamente el crecimiento de *Sclerotium cepivorum* y *S. rolfsii* (Ramírez et al., 2000), lo que resalta una vez más el potencial biológico de las raíces en diferentes especies vegetales.

En este mismo contexto, en la palma de Iraca (*C. palmata*) se ha detectado actividad antimicrobiana en extractos etanólicos de infrutescencias frente a *E. coli* y *S. aureus* en concentraciones del 50% p/v y 20% p/v, respectivamente, efecto asociado a su elevado contenido de compuestos fenólicos (Galviz, et al 2021). No obstante, hasta la fecha no se ha evaluado la actividad antimicrobiana de extractos obtenidos a partir de las raíces de esta especie.

Por consiguiente, el presente estudio se enfocó en evaluar la actividad antimicrobiana de extractos orgánicos obtenidos de la raíz de *C. palmata* frente a patógenos clínicamente relevantes como *E. coli*, *S. enterica* y *S. aureus*, con el fin de identificar posibles agentes terapéuticos que contribuyan a contrarrestar el problema de salud pública asociado a la resistencia antimicrobiana.

1. Objetivos

1.2. Objetivo general

Evaluar la actividad biológica y composición química de extractos de raíz de la especie vegetal *C. palmata*

1.3. Objetivos específicos

1. Realizar extracción sólido-líquido de la raíz de la palma de iraca con solventes orgánicos.
2. Evaluar la actividad antimicrobiana de los extractos orgánicos obtenidos contra microorganismos de interés clínico.
3. Identificar los principales compuestos presentes en los extractos bioactivos seleccionados.

2. Hipótesis

Se plantea que los extractos obtenidos a partir de la raíz de *C. palmata* presentan actividad antimicrobiana frente a bacterias de interés clínico, gracias a la presencia de metabolitos secundarios con propiedades bioactivas. De manera específica, se espera que el extracto en acetato de etilo muestre el mayor efecto inhibitorio por su capacidad para extraer compuestos de polaridad media y polares de diversas clases químicas, entre las que se incluyen fenoles, ácidos fenólicos, flavonoides (Dimitrova et al., 2017), ácidos grasos, triterpenoides (Nyalo et al., 2023), alcaloides, saponinas (Alamholo, 2024). No obstante, se considera altamente probable que los extractos obtenidos con hexano y cloroformo también exhiban actividad, dado que estos solventes facilitan la extracción de compuestos como lípidos, entre ellos fitoesteroles (Nattagh et al., 2022) y esteroides lipofílicos. Por ejemplo, el β -sitosterol y el campesterol que han demostrado efectos antiinflamatorios, antioxidantes y antimicrobianos en diversos estudios (Valiei, 2011). Así mismo, se han identificado ácidos grasos de cadena larga con funciones antiinflamatorias (Salsinha et al., 2023) y de igual manera, terpenoides y alcaloides lipofílicos extraídos con solventes no polares que han sido reportados por su capacidad para inhibir el crecimiento de patógenos bacterianos (Wang et al., 2025a).

3. Marco teórico

3.1. Infecciones causadas por microorganismos de interés clínico

Las infecciones adquiridas en entornos hospitalarios no solo generan altos índices de morbilidad y mortalidad, sino que también representan largas estancias hospitalarias, resistencia hacia los antimicrobianos e incremento de los costos de la atención médica (Tobin et al., 2025). Entre las bacterias causantes de infecciones asociadas a hospitales, se encuentra *S. aureus* resistente a la meticilina (SARM), cuya resistencia a toda clase de antibióticos β -lactámicos, incluidas la meticilina y la penicilina, dificulta el tratamiento de las infecciones que genera (Otto, 2012). Este patógeno es responsable de una amplia variedad de infecciones, entre las más frecuentes se encuentran las infecciones de piel y tejidos blandos, las osteoarticulares, las pleuropulmonares y aquellas asociadas al uso de dispositivos médicos, además de que constituye una de las principales causas de la bacteriemia y la endocarditis infecciosa (Tong et al., 2015).

Por su parte, la Organización Mundial de la Salud (OMS) describe a *Salmonella* como una de las cuatro causas más importantes de diarrea a nivel mundial (Balasubramanian et al., 2019). Cada año se reportan entre 200 millones a mil millones de casos de infección por esta bacteria, lo que se traduce en aproximadamente 93 millones de casos de gastroenteritis y 155.000 muertes (Chlebicz et al., 2018). La severidad de la infección en humanos depende tanto del serotipo involucrado como del estado inmunológico del huésped, clasificándose en infecciones tifoideas y no tifoideas (Wei et al., 2023).

La infección por *E. coli* se manifiesta más comúnmente con enfermedades intestinales, que pueden presentarse con diarrea acuosa o sanguinolenta (Croxen et al., 2013). Además, la colonización e infección de sitios extraintestinales por cepas patógenas representan una de las principales causas de sepsis, tanto en hospitales como en comunidades (Hernandez et al., 2023). Los síntomas clínicos típicos incluyen fiebre alta, escalofríos, taquicardia, hipotensión y síndrome de disfunción multiorgánica. Además, la respuesta inflamatoria y los trastornos de coagulación posteriores a la infección pueden provocar manifestaciones adicionales, como hemorragia y erupciones cutáneas (Martin et al., 2009).

3.2. *Carludovica palmata*: Aspectos generales

C. palmata, conocida comúnmente como palma de iraca o jipijapa, se encuentra distribuida desde México hasta Bolivia (Harling et al., 1973). Pertenece a la familia Cyclanthaceae de hábito herbáceo (Minchala et al., 2023) (**Tabla 1**), alcanza una altura de 1,5 a 5,0 metros, sin un tallo visible. Se caracteriza por tener láminas de hojas profundas, conspicuas, palmeadas y laminares que pueden medir de 1,5 a 4,0 m de largo, flabeladas (con forma de abanico) y plegadas (véase en la **figura 1**) (Ruiz & Pav, 2023). Las inflorescencias alcanzan hasta 1 m de longitud, generalmente algo menores. Presentan flores unisexuales dispuestas en la misma inflorescencia, lo que confiere a la especie una condición monoica (Harling et al., 1973). Es resistente a las sequías e inundaciones, controla la erosión, protege laderas, ríos y actúa como filtro para retener y descomponer agentes contaminantes del suelo (Zapata, 2021). Es considerada como una de las especies emblemáticas de la etnobotánica neotropical (Tuberquia, 2019), puesto que posee una estrecha relación con el hombre, ya que su fibra es usada para la fabricación de artesanías (Minchala, 2022).

Su raíz es fasciculada, suculenta de aproximadamente 7 mm de radio, nace en forma radical alrededor del rizoma, distribuida principalmente en la parte superficial. En un suelo de textura franca, la mayor parte de las raíces se encuentran desde la superficie hasta los 0.50 m, llegando a una profundidad de hasta 1.6 m (Iglesias, 1999).

Tabla 1

Información taxonómica de la especie vegetal C. palmata

Reino	Plantae
Filo	Tracheophyta
Clase	Liliopsida
Orden	Pandanales
Familia	Cyclanthaceae
Género	<i>Carludovica palmata</i> Ruiz & Pav.
Nombre común	Palma de iraca

Nota. Tomado de *Carludovica* Ruiz & Pav. (2023)

Figura 1

Descripción de la C. palmata



Nota: tomado de Eco Yuma S.A.S

3.2.1 Ubicación y florecimiento

En Colombia es cultivada en todos los climas cálidos a altitudes de 900 a 1800 m, en departamentos como Huila, Antioquia, Amazonía, Andes, Llanura del Caribe, Cundinamarca, Bolívar, Caldas, Chocó, Santander, Valle del Cauca, Sierra Nevada de Santamarta y Valle del Magdalena (Harling, 1958) con temperaturas que fluctúan entre los 22 °C y 26 °C floreciendo en mayor medida en suelos húmedos.

Se compone de dos fases de florecimiento, la fase femenina o fase pistilada la cual se caracteriza por generar cambios dentro de la inflorescencia, como aumento de la temperatura, aromas florales y por consiguiente un sitio de polinización. Por otro lado, la fase masculina o estaminada, caracterizada por la liberación del polen, garantiza que los insectos polinizadores que la visitan salgan cargados de granos de polen y los transporten hacia otra inflorescencia en estado receptivo, asegurando así la continuidad del proceso de polinización (Harling, 1958).

3.3. Aspectos económicos del cultivo de la palma de iraca

Esta especie ha adquirido una gran importancia económica debido a su gran versatilidad (Abahmane, 2020), sus fibras suaves, flexibles y duraderas son empleadas como materia prima para la fabricación de productos artesanales, como techos, cestas e históricamente la industrialización del cultivo se asocia a la fabricación de sombreros, actividad que inició en el siglo XVI en Montecristi en la provincia de Manabí Ecuador. Además, en la agroindustria es usada, como colorante y aditivo (Ossa et al., 2023); en la industria química para la producción de papel artesanal (Moo-Huchin et al., 2019); y en la industria farmacéutica, como fuente potencial de metabolitos secundarios, entre ellos la capsorrubina y compuestos fenólicos como la cumarina,

quercetina, ácido clorogénico, ácido cafeico y ácido gálico, conocidos por sus propiedades antioxidantes, antimicrobianos y antiinflamatorios (Galviz, et al 2021).

Debido a que esta planta representa una fuente importante de ingreso económico para artesanos, se han implementado modelos productivos que implican la entrega de los productos elaborados con sus fibras, cumpliendo los estándares de calidad óptimos. Como resultado, se ha reportado un Valor Presente Neto (VNP) de \$57.762.607, lo que equivale a una tasa de interés del 46% (Garcés et al., 2020).

3.3.1. Cultivo y economía de C. palmata en Colombia

En Colombia, el aprovechamiento comercial de la palma de iraca cobró importancia a mediados del siglo XIX, cuando gran parte de la producción de sombreros Panamá se exportaba a Estados Unidos y Europa. Este mercado tuvo su origen en Ecuador y se expandió hacia Colombia a través del departamento de Nariño, donde municipios como Sandoná, se destacaron por la elaboración de artículos a base de esta planta (Solano, 1997).

Con el tiempo, el uso de iraca trascendió a la elaboración de sombreros y se diversificó hacia nuevas aplicaciones artesanales. En la población de Arusí (Chocó), por ejemplo, se desarrolló un proceso de transformación de la fibra medular de los pecíolos y brotes de esta planta para la elaboración de papel artesanal. Este procedimiento consiste en cortar los pecíolos y extraer los tejidos internos, los cuales, al igual que los brotes, son sometidos a maceración hasta obtener pequeñas fibras. Dichas fibras pueden combinarse con papel reciclado y, tras un proceso de tamizado, prensado y secado, se obtiene un papel artesanal de excelente calidad y presentación (Muñoz et al., 1999).

De manera paralela, en el departamento del Atlántico, la producción artesanal en tejido de la palma de iraca se ha consolidado como una de las más reconocidas a nivel nacional. El municipio de Usiacurí se caracteriza por contar con una cultura arraigada a las artesanías, la cual es también fuente de sustento de esta población, su cultivo y transformación artesanal han permitido posicionar a la región a nivel nacional (**Figura 2**), (Ripoll et al., 2021)

Más recientemente, la expansión del cultivo de iraca se ha extendido hacia otras regiones del país, como el departamento del Huila, donde en el año 2022 un grupo conocido como mujeres Iraca estableció el primer cultivo de esta especie para la obtención de materia prima destinada a la elaboración del sombrero suaceño. Este cultivo cuenta actualmente con 2000 colinos, contribuyendo no solo al fortalecimiento económico del departamento, sino también al fortalecimiento como comunidad (Gobernación del Huila, 2022). De igual manera, esta planta forma parte de la economía de municipios como San Juan Nepomuceno y Colosó, gracias a la comercialización de sus fibras para la producción artesanal (Zapata, 2021).

Figura 2

Artesanías realizadas con la palma de iraca.



Nota: Tomado de Thorrens Ripoll & González Doria, 2021

3.4. Metabolitos de las plantas

Las plantas sintetizan metabolitos primarios y secundarios, los primarios están relacionados con funciones vitales que debe llevar a cabo la planta como la fotosíntesis, respiración, asimilación de nutrientes y carbohidratos (Martín, 2018). Por otro lado, los metabolitos secundarios cumplen funciones de defensa contra depredadores y patógenos o pueden actuar como atrayentes o repelentes de animales y juegan un papel importante en la respuesta al estrés oxidativo, previniendo el aumento en la producción de radicales libres de oxígeno (Jiménez et al., 2003). Los metabolitos secundarios pueden clasificarse dentro de cuatro grupos según su origen biosintético común: 1. Terpenos, en los que se encuentran hormonas, pigmentos o aceites esenciales; 2. compuestos fenólicos como cumarinas, flavonoides, lignina y taninos; 3. glicósidos como saponinas, glicósidos cardíacos, glicósidos cianogénicos, glucosinolatos y; 4. alcaloides (Kozikowski et al., 2003). Además de distribuirse en hojas, tallos y flores, estos metabolitos también se localizan en las raíces, las cuales poseen características particulares que las convierten en un órgano de interés para la investigación.

3.5. Raíz de la planta

La arquitectura radicular de una planta se compone de un órgano subterráneo de forma lineal con patrones de arquitectura y crecimiento muy complejos (Oliveros et al., 2009), estando el sistema radicular definido primordialmente por el tipo de planta, la estructura del suelo y las

interacciones entre estos dos (Pinton et al., 2007). En el ambiente de la raíz son pocas las variaciones encontradas, lo que se refleja en una escasa diversidad de rasgos externos o morfológicos. No obstante, se ha registrado cierta plasticidad fenotípica dado que el ambiente es macroscópicamente homogéneo, pero microscópicamente heterogéneo, pero lo suficiente para ser detectado por la raíz durante su crecimiento, es esta plasticidad la que ha conferido al sistema radicular desarrollar raíces fibrosas cuya principal función es anclar la planta al suelo (Oliveros et al., 2009). También, posee funciones que le confieren una importancia vital para su supervivencia y ecología por ser un sitio con alta actividad fisiológica, dando origen a la síntesis, acumulación y liberación de compuestos, que interfieren en los patrones poblacionales intra e interespecie. Las raíces de las plantas vasculares se caracterizan por su capacidad de sintetizar metabolitos secundarios y de ajustar sus actividades metabólicas en respuesta al estrés biótico y abiótico, incluyendo la capacidad de rezumar macromoléculas hacia la rizosfera con el fin de afectar las interrelaciones entre la planta y los organismos beneficiosos o nocivos del suelo (Flores et al., 1999b). Esta composición química ha despertado el interés en evaluar las raíces no solo desde un punto de vista morfológico, sino también en cuanto a su potencial actividad biológica.

3.5.1. Estudios de la actividad biológica de raíces

Las investigaciones sobre la biología de las raíces, mediante el uso de cultivos aislados, resonancia magnética, minirizotrones portátiles y softwares de modelado, han permitido comprender de manera más precisa el metabolismo específico de este órgano, resaltando su papel esencial en la productividad y estabilidad de los ecosistemas (Flores et al., 1999b). Asimismo, se ha evidenciado que las raíces no solo cumplen funciones estructurales y fisiológicas, sino que

también son fuente importante de metabolitos secundarios con aplicaciones medicinales, entre los que destacan los glucosinolatos, flavonoides, cumarinas, benzoxazinoides, esteroides, triterpenos y fitohormonas (Koprivova et al., 2022). El conocimiento generado a partir de estas investigaciones ha permitido no solo comprender las funciones ecológicas y fisiológicas de las raíces, sino también reconocer su papel como reservorios de metabolitos secundarios de alto interés biológico. Esta perspectiva abre paso al análisis específico de los compuestos producidos por las raíces y de las actividades biológicas que estos desempeñan (Pang et al., 2021).

3.5.2. Metabolitos secundarios de raíces con actividad biológica

Los metabolitos secundarios de las plantas se secretan a través de las raíces de estas mismas (Elhamouly et al., 2022). Entre ellos, compuestos como cumarinas, triterpenos, flavonoides, benzoxazinoides y fitohormonas desempeñan un papel crucial tanto en el crecimiento vegetal como en la inhibición de microbios rizosféricos específicos (Jia et al., 2016), (Holmer et al., 2017), (Hu et al., 2018). Estos metabolitos cumplen funciones de señalización, adaptación y de defensa. Por ejemplo, los triterpenos amargos característicos de las cucurbitáceas se exudan desde las raíces para modular el microbioma del suelo, favoreciendo la salud vegetal y la defensa natural (Zhong et al., 2022).

Asimismo, la resistencia frente a patógenos depende en gran medida de los compuestos fenólicos. En el tomate la infección por *Fusarium oxysporum*, causante del marchitamiento, induce la acumulación de ácidos fenólicos como el ferúlico, cafeico y vainílico en hojas y raíces recuperadas, fortaleciendo la respuesta defensiva. De manera similar, en las raíces de maíz la

supresión en la secreción de flavonoides y fenilpropanoides limita la colonización endófito y la formación de ectomicorrizas en las raíces de álamo (Alam et al., 2021).

Otros ejemplos incluyen la nicotina en el tabaco, un alcaloide sintetizado en las raíces, que se transporta hacia las hojas desde las raíces para almacenarse en las vacuolas foliares (Creelman et al., 1997) y las cumarinas hidroxiladas producidas por *Arabidopsis* bajo condiciones de estrés biótico y abiótico, como la escopolina, que se acumula en tallos y raíces (Al-Khayri et al., 2023). Finalmente, una amplia diversidad de metabolitos secundarios derivados de raíces como pirancoumarinas, flavonoides, esteroides, ácido oleanólico, extraídos de la especie *Ficus nervosa* que exhiben actividad antimicrobiana (Chen et al., 2010) e isoflavonas y resveratrol de la especie *Spirotropis longifolia* relacionados con actividad antifúngica (Basset et al., 2012), consolidan a los metabolitos como una valiosa fuente de compuestos naturales con aplicaciones biológicas (Zhou et al., 2023). El papel de los metabolitos secundarios producidos por las raíces no se limita únicamente al ámbito ecológico, pues varios de ellos han demostrado actividad frente a microorganismos patógenos. Esta relación ha despertado un creciente interés en el estudio de microorganismos de importancia clínica, ya que constituyen una de las principales causas de infecciones en humanos y representan un desafío para la salud pública (Muñoz et al., 2023).

3.6. Microorganismos

3.6.1. *Staphylococcus aureus*

Es una especie bacteriana Gram positiva no móvil que forma parte de la familia Staphylococcaceae género *Staphylococcus*, el cual contiene más de 30 especies diferentes (Jaime et al., 2006) considerado como un patógeno con gran potencial para causar múltiples infecciones

en el ser humano y los animales. *S. aureus* es una de las especies más virulenta, responsable de un amplio espectro de enfermedades que van desde infecciones en la piel y tejidos blandos hasta infecciones graves que amenazan la vida como foliculitis, forunculosis, endocarditis, septicemias, meningitis, neumonías o bacteriemias (Cervantes et al., 2014) e infecciones del sistema nervioso central, incluidos abscesos cerebrales, infecciones neuroquirúrgicas y abscesos epidurales (John, 2004). Esta bacteria representa uno de los patógenos más importantes ya que abundan en comunidades y hospitales causando gran morbilidad y mortalidad entre el 25% y 63% (Howe et al., 1996). Desde la introducción de la penicilina a finales de 1940 y hasta la actualidad, se ha adaptado fácilmente a tal punto que es capaz de adquirir resistencia a cada nuevo tipo de fármaco (Foster, 2002). Actualmente se reporta una resistencia a la penicilina del 80%-93% en cepas aisladas de hospitales y comunidades (González, 2010). El Sistema Nacional de Vigilancia de Infecciones Nosocomiales (NNIS,2005) de EUA determinó que en pacientes hospitalizados la prevalencia de cepas de *S. aureus* resistente a la meticilina se incrementó del 4% en 1980 a 31.9% en 1996, en 2001 se tenía un 55% de incidencia y para el 2004, alcanzó al 60.7%, en algunos hospitales se han reportado incidencias hasta del 80% (Jaime A et al., 2006). Para el 2020 el nuevo Sistema Mundial de Vigilancia Antimicrobiana de la OMS (GLASS) reportó 102.108 número de aislamientos de este patógeno, donde 54.238 pertenecen a la cepa *S. aureus* y en Colombia el informe realizado por la organización panamericana de la salud reportó 38.297 aislamientos para este mismo año (Gutiérrez, 2015) (World Health Organization, 2021)

3.6.2. *Escherichia coli*

E. coli es uno de los microorganismos predominantes de la flora facultativa no patógena del intestino humano, se caracteriza por ser un bacilo Gram negativo, anaeróbico facultativo, móvil

mediante flagelo y perteneciente a la familia Enterobacteriaceae. Esta bacteria habita en el intestino grueso de humanos y animales de sangre caliente, aunque la mayoría viven de manera inofensiva en el colón (Merino et al., 2018), algunas de estas cepas han desarrollado la capacidad de causar enfermedades del sistema gastrointestinal, urinario o nervioso (Nataro et al., 1998). Es uno de los microorganismos más estudiados a nivel mundial debido al problema de salud pública que producen, tales como infecciones extraintestinales, del tracto urinario y sepsis neonatal, además de hacer parte de una amplia gama de agentes infecciosos que posee resistencia a los antimicrobianos (Vila et al., 2016).

En un informe reciente de la organización mundial de la salud (OMS), *E. coli* está incluida en una lista de los nueve principales microorganismos de preocupación internacional que causan las infecciones más comunes en diferentes entornos como hospitales, comunidades y a través de la cadena alimentaria (World Health Organization, 2014). Según el último informe del Centro Europeo para el control de enfermedades (ECDC) sobre resistencia a los antimicrobianos obtenido a través de la base de datos EARS-Net, en Europa, la resistencia a las cefalosporinas de tercera generación, en su mayoría debido a la producción de β -lactamasas de espectro extendido tiene un valor medio del 12,6% y osciló entre el 5,0% en Islandia y casi el 40% en Bulgaria, estos aislados también fueron resistentes a aminoglucósidos y fluoroquinolonas y el porcentaje medio de resistencia combinada de cefalosporinas, aminoglucósidos y fluoroquinolonas de tercera generación fue de casi el 5% y en otras zonas geográficas, como China, India y Oriente Medio, la resistencia a los antimicrobianos de *E. coli* parece ser mayor (Vila et al., 2016). Para el 2020 el nuevo Sistema Mundial de Vigilancia Antimicrobiana de la OMS (World Health Organization, 2021) reportó 154.109 número de aislamientos de este patógeno y en Colombia el informe

realizado por la organización panamericana de la salud en el año 2020 reportó 44.748 aislamientos (Gutiérrez, 2015).

3.6.3. *Salmonella enterica*

Es una bacteria Gram negativa anaerobia facultativa con forma de bastón, y móvil mediante flagelos peritricos (Andino et al., 2015). Posee la capacidad de crecer en citrato como única fuente de carbono, descarboxilar lisina e hidrolizar urea (Jensen et al., 2000). El nicho principal de las serovariedades de *Salmonella* son el tracto intestinal de humanos y animales de granja. También puede estar presente en el tracto intestinal de aves silvestres, reptiles y ocasionalmente insectos. El suelo, la cama, la basura y la materia fecal se identifican comúnmente como fuentes de contaminación por *Salmonella* en las granjas (Gonzalez et al., 2014). De igual manera, el agente causante de gastroenteritis neutrofilica y sepsis (Knodler et al., 2019).

Salmonella es uno de los principales patógenos que exhiben un problema de salud pública en todo el mundo, se estima que anualmente generan 93.8 millones de casos de salmonelosis y 155.000 muertes (Eng et al., 2015). Esto se debe principalmente a la aparición de serotipos multirresistentes (MDR), lo cual genera un gran impacto en la eficacia del tratamiento con antibióticos tradicionales y una prevalencia creciente de estas cepas (MDR) (Jensen et al., 2000). El Sistema Mundial de Vigilancia Antimicrobiana de la OMS (World Health Organization, 2021) reportó para el año 2020 la prevalencia de resistencia a los antimicrobianos por *Salmonella* de un total de 2.568 número de aislamientos a nivel latinoamericano y en Colombia el informe realizado por la organización panamericana de la salud en el año 2019 reportó 123 aislamientos de *Salmonella* Typhimurium (Gutiérrez, 2015).

3.7. Solventes de extracción

El disolvente utilizado para la extracción de metabolitos secundarios en plantas medicinales también se conoce como menstruo. La elección del disolvente depende del tipo de planta, la parte de la planta de donde se va a extraer, la naturaleza de los compuestos bioactivos, el tipo de compuestos de interés a extraer y la disponibilidad del disolvente. Los disolventes polares como el agua, el metanol y el etanol se utilizan para la extracción de compuestos polares, mientras que los disolventes no polares como el hexano y el cloroformo se utilizan para la extracción de compuestos no polares (Sasidharan et al., 2011). Debido a que los compuestos objetivo pueden ser desde no polares a polares y térmicamente lábiles, se debe considerar la idoneidad de los métodos de extracción. Por esta razón, se emplean comúnmente varios métodos, como la sonicación y la extracción soxhlet. El uso de solventes adecuados resulta determinante para la obtención eficiente de metabolitos, ya que su polaridad condiciona el tipo y la cantidad de compuestos extraídos. Sin embargo, la elección del solvente constituye solo un primer paso en este proceso, que debe complementarse con la aplicación de técnicas de extracción específicas que permitan aislar, concentrar y purificar dichos metabolitos de manera óptima (Abd et al., 2021).

3.8. Técnicas de extracción de metabolitos secundarios

En la actualidad, las técnicas de extracción de metabolitos secundarios abarcan métodos como la extracción asistida por ultrasonido (EAU), extracción Soxhlet y la extracción con disolventes a baja presión (LPSE) (Galviz, et al., 2021). Dentro de los procedimientos convencionales, la maceración se considera uno de los más sencillos y ampliamente usados, pues consiste en mantener el material vegetal en contacto con un solvente bajo condiciones ambientales durante un tiempo

determinado, con agitación intermitente; al concluir el proceso, el extracto obtenido se filtra y concentra generalmente mediante un rotoevaporador (Bitwell et al., 2023). Una variante de esta técnica es la digestión, en la cual se aplica un ligero calentamiento que incrementa la eficiencia de la extracción al favorecer la solubilidad de los compuestos (Bitwell et al., 2023), aunque con la desventaja de que pueden perderse metabolitos de naturaleza volátil debido a la temperatura. Por su parte, la percolación se diferencia de la maceración en que el disolvente, comúnmente alcohol etílico, circula lentamente a través del material vegetal dispuesto en un percolador, enriqueciéndose gradualmente de fitoquímicos a medida que atraviesa la muestra y siendo reemplazado continuamente por nuevo solvente añadido en la parte superior, lo que mejora la eficiencia del proceso en comparación con la maceración estática (Bitwell et al., 2023).

A escala industrial el proceso de extracción más viable económicamente para la obtención de estos compuestos bioactivos es por medio de la extracción por solvente convencional (CSE) con 80% etanol seguida de una extracción con fluidos supercríticos (SFE) para obtener aceites y extractos ricos en compuestos fenólicos y para mayores rendimientos (SFE+CSE) (Best et al., 2022). La extracción con hexano permite obtener aceites esenciales, triterpenos, esteroides, carotenoides, ácidos grasos, alcaloides, agliconas flavonoides y cumarinas (Rodas, 2004). La selección de la técnica de extracción adecuada permite aislar y concentrar los metabolitos de interés; no obstante, para comprender su naturaleza química y confirmar su identidad, es indispensable aplicar métodos analíticos que faciliten su caracterización.

3.9. Técnicas para la caracterización química de extractos

La caracterización química de los extractos vegetales constituye un paso esencial para comprender la diversidad de metabolitos presentes y correlacionarlos con las actividades biológicas observadas. Para ello, se emplean distintas técnicas analíticas, que van desde métodos espectroscópicos como la espectrofotometría UV-Vis y la espectroscopía infrarroja (FTIR) (Mabasa et al., 2021), hasta técnicas cromatográficas y espectrométricas de alta resolución, como la cromatografía líquida de alta eficiencia (HPLC) acoplada a espectrometría de masas (LC-MS) (Dwivedi et al., 2021) o la resonancia magnética nuclear (RMN) (Singh et al., 2023). Estas herramientas permiten tanto la identificación cualitativa como la cuantificación precisa de los compuestos bioactivos, así como el estudio de sus estructuras químicas. Dentro de estas metodologías, la cromatografía de gases acoplada a espectrometría de masas (GC-MS) (Ramya et al., 2022) ocupa un lugar destacado por su capacidad para separar, identificar y caracterizar compuestos volátiles o semivolátiles, incluidos muchos metabolitos secundarios derivados de plantas. Su principio de funcionamiento se basa en la distribución de la muestra entre dos fases, la fase móvil, constituida por un gas portador inerte cuya función es transportar los compuestos a través de la columna, y la fase estacionaria, conformada por el material adsorbente que favorece la separación. Posteriormente las moléculas alcanzan el detector de espectrometría de masas, donde son ionizadas y se registra la relación masa-carga (m/z) de los iones generados. Entre las fuentes de ionización más empleadas destacan la ionización por impacto electrónica y la ionización química, mientras que los analizadores de masas más comunes son los de cuadrupolo y trampa iónica (Skoog et al., 2015)

4. Antecedentes

A lo largo de la historia, las raíces de plantas han sido empleadas en la medicina tradicional de diversas culturas por su capacidad para aliviar y tratar múltiples afecciones (Petrovska, 2012). Este uso ha despertado interés científico en la investigación de los extractos de raíces, debido a su alto contenido de compuestos bioactivos como alcaloides, flavonoides, compuestos fenólicos, terpenos, saponinas y ácidos grasos (Girish et al., 2008; Saadony et al., 2025).

En este contexto diversos trabajos de investigación han evaluado la actividad biológica de extractos de raíces de distintas especies vegetales. Por ejemplo, la actividad antimicrobiana de los extractos de la raíz de *R. hastatus* se atribuye a la presencia de alcaloides, antraquinonas, flavonoides y saponinas (Sahreem et al., 2015). Las plantas de la familia Solanaceae sintetizan alcaloides como la hiosciamina y escopolamina que sirven como relajantes del músculo liso y tratamiento de mareo, así como los poliacetilenos derivados de ácidos grasos con actividad nematocidas, presentes en las raíces de la caléndula, junto a otros compuestos con efectos fitotóxicos, antifúngicos y antibacterianos (Flores et al., 1999). Las raíces de la planta *E. japonicum* cultivada en Polonia, contienen derivados de isotiocianato de alilo, flavonoides, fenilpropanoides y carotenoides, que aportan numerosas actividades biológicas, como propiedades antiinflamatorias, antígenotóxicas, antioxidantes, anticancerígenas, neuroprotectoras y antiobesidad (Santos et al., 2023).

De igual manera, investigaciones recientes han señalado que los residuos agroindustriales de la palma de iraca representan una fuente importante de metabolitos secundarios. Los extractos etanólicos de los residuos de la palma obtenidos mediante extracción asistida por ultrasonido

(EAU) indican actividad antioxidante y antimicrobiana contra *E. coli* a una concentración del 50% (p/v) y *S. aureus* a una concentración del 20% (p/v). Esta actividad antimicrobiana se atribuye principalmente a la presencia de compuestos fenólicos como la cumarina, el ácido clorogénico, el ácido cafeico y el ácido gálico (Galviz et al., 2021).

Además, se han realizado bioensayos específicos para evaluar la actividad biológica de estas raíces, mediante métodos *in vitro* como pruebas de inhibición bacteriana, ensayos antioxidantes y ensayos celulares orientados a determinar propiedades antiinflamatorias o citotóxicas. En el caso particular de la palma de iraca, los extractos de las infrutescencias obtenidos mediante extracción asistida por ultrasonido (EAU) fueron sometidos a bioensayos de actividad antioxidante y antimicrobiana. Los primeros permitieron establecer su capacidad para neutralizar radicales libres, mientras que en las pruebas antimicrobianas los extractos etanólicos mostraron inhibición frente a bacterias como *E. coli* y *S. aureus* en concentraciones específicas, confirmando así el potencial de sus compuestos fenólicos como agentes antibacterianos (Galviz et al., 2021).

De forma complementaria, estudios realizados con otras especies vegetales como *Hyssopus officinalis*, *Ocimum basilicum* y *Teucrium chamaedrys* también han reportado actividades antioxidantes y antimicrobianas *in vitro* (Vlase et al., 2014). Para ello se emplearon pruebas como la eliminación de radicales DPPH, el ensayo TEAC, la inhibición de la actividad de la hemoglobina ascorbato peroxidasa (HAPX) y la detección de radicales libres por resonancia paramagnética electrónica (EPR), evidenciando un alto potencial antioxidante. Asimismo, su actividad antimicrobiana se determinó mediante el ensayo de difusión en disco, mostrando inhibición frente a diversas bacterias (Vlase et al., 2014). Estos estudios permiten caracterizar y comparar la eficacia

de los extractos, así como identificar los metabolitos responsables de la actividad biológica, lo que resulta crucial para futuros desarrollos farmacológicos.

Tras la evidencia aportada por los bioensayos, resulta fundamental comprender qué tipos de metabolitos son responsables de la actividad biológica observada en los extractos de raíces. Entre ellos, destacan los alcaloides, los compuestos fenólicos, los flavonoides y los ácidos grasos, que se han identificado como los principales grupos de interés debido a su amplia variedad de efectos biológicos (El-Saadony et al., 2025; Girish et al., 2008). A continuación, se describen las características más relevantes de cada uno de estos grupos de compuestos, resaltando su papel en la actividad biológica:

4.1. Alcaloides

Los alcaloides son compuestos orgánicos que contienen nitrógeno, con la excepción de aminoácidos, péptidos, purinas y derivados, aminoazúcares y antibióticos. Según la biogénesis, los alcaloides se clasifican, en general, en alcaloides verdaderos, protoalcaloides y pseudoalcaloides (Wansi et al., 2013). Los alcaloides verdaderos se producen a partir de aminoácidos y comparten un anillo heterocíclico que contiene nitrógeno. Son biológicamente activos y extremadamente reactivos. Los protoalcaloides poseen un átomo de nitrógeno obtenido de un aminoácido, pero no pertenecen al sistema de anillos heterocíclicos (Zandavar et al., 2023). Por otro lado, los pseudoalcaloides no se generan directamente de los aminoácidos y en su reacción de transaminación se produce un proceso de aminación relativamente tardío, al donar un átomo de nitrógeno de una fuente de aminoácidos (Wansi et al., 2013).

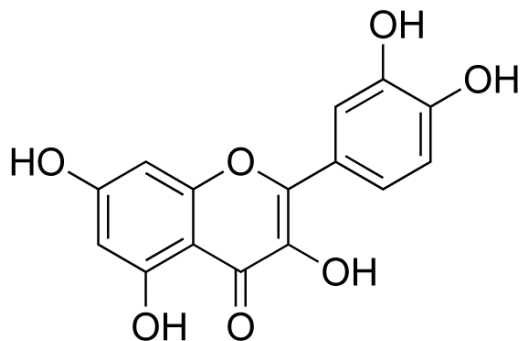
Desde el punto de vista metabólico, cumplen un papel esencial de defensa en las plantas, frente a herbívoros, patógenos y estrés ambiental, además de intervenir en procesos de señalización y alelopatía. (Wink, 2003). Al poseer un átomo de nitrógeno aceptor de protones y uno o más átomos de hidrógeno amínico donadores de protones, los alcaloides forman fácilmente enlaces de hidrógeno con proteínas, enzimas y receptores lo que explica sus múltiples actividades biológicas, entre ellas propiedades antimicrobianas, antiinflamatorias, analgésicas y anticancerígenas (Cushnie et al., 2014).

4.2. Compuestos fenólicos

Constituyen un grupo de metabolitos secundarios de bajo peso molecular, definidos por la presencia de al menos una unidad fenólica en su estructura básica (**Figura 3**). Según su estructura química, se clasifican en diferentes subgrupos, como los ácidos fenólicos, los flavonoides, los taninos, las cumarinas, los lignanos, las quinonas, los estilbenos y los curcominoides (Ren-You Gan et al., 2019). Se caracterizan por ser antioxidantes primarios que son principalmente captadores de radicales libres que retrasan o inhiben el paso de iniciación o interrumpen el paso de la propagación de la oxidación de lípidos, este potencial antioxidante depende del número y disposición de los grupos hidroxilo (Shahidi et al., 2015). Metabólicamente cumplen funciones de protección de tejidos vegetales contra radiación UV, participan en la defensa de las plantas contra herbívoros, hongos y virus (Cheynier, 2012). Lo que los convierte en compuestos de gran interés tanto en biomedicina como en la industria alimentaria.

Figura 3

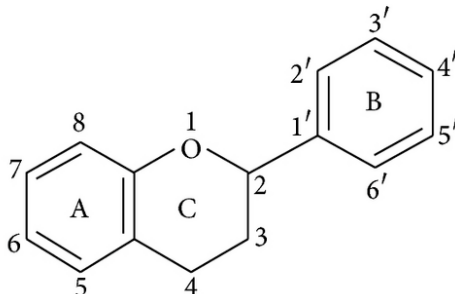
Estructura de los compuestos fenólicos

**4.3. Flavonoides**

Consisten en un gran grupo de compuestos polifenólicos que tienen una estructura de benzo - γ -pirona y están presentes de forma ubicua en las plantas. Químicamente se basan en un esqueleto de quince carbonos que consiste en dos anillos de benceno (**Figura 4**) unidos a través de un anillo de pirano heterocíclico. Se dividen en una variedad de clases, como: flavonas, flavonoles, flavanonas, entre otras (Kumar et al., 2013). Esta diversidad estructural se relaciona con una amplia variedad de funciones biológicas y ecológicas, como la protección ante el daño oxidativo, la absorción de radiación ultravioleta, defensa contra patógenos y atracción de polinizadores a través de pigmentación floral (Winkel-Shirley, 2001). Desde el punto de vista metabólico y farmacológico, destacan por su potente actividad antioxidante, antiinflamatoria, antimicrobiana, antiviral y anticancerígena, atribuida a su capacidad para inhibir enzimas, actuar como moléculas señalizadoras e interactuar con receptores celulares (Panche et al., 2016).

Figura 4

Estructura básica de los flavonoides



Nota: Tomado de (Kumar & Pandey, 2013)

Diversos estudios han demostrado que estos metabolitos secundarios poseen importantes actividades biológicas, incluyendo propiedades antimicrobianas, antioxidantes, antiinflamatorias y antitumorales (Nasri et al., 2014). Por lo que, el análisis fitoquímico y farmacológico de los extractos de raíces se ha establecido como una línea de investigación prometedora para el desarrollo de nuevos agentes terapéuticos de origen natural.

4.4. Terpenos

Son compuestos orgánicos aromáticos y volátiles que están constituidos por la unión de unidades de un hidrocarburo de 5 átomos de carbono, llamado isopreno. Se clasifican en hemiterpenos, monoterpenos, sesquiterpenos, diterpenos, sesterterpenos, triterpenos y tetraterpenos (Loreto et al., 2014). Desde el punto de vista biológico, cumplen un papel crucial en la interacción planta–ambiente, participando en la defensa contra herbívoros y patógenos, en la atracción de polinizadores y en la protección frente a entornos abióticos y bióticos (Schrader et al., 2015). Además, poseen una gran relevancia farmacológica e industrial, dado que muchos terpenos

presentan propiedades antimicrobianas, antiinflamatorias, antioxidantes y anticancerígenas, lo que los convierte en candidatos prometedores para el desarrollo de fármacos (Chen et al., 2011).

4.5. Ácidos grasos

Los ácidos grasos ($\text{CH}_2\text{-R-COOH}$) consisten en largas cadenas de hidrocarburos hidrófobos, a menudo no ramificados, con grupos de ácido carboxílico hidrófilos en un extremo. Son una fuente importante de energía de reserva y componentes esenciales de los lípidos de membrana en todos los organismos vivos. En las plantas, las vías metabólicas de los AG desempeñan un papel importante en la defensa de los patógenos (Kachroo et al., 2009).

4.6. Saponinas

Son metabolitos secundarios caracterizados por su naturaleza glicosida. Están compuestas por una aglicona liposoluble que consiste en un esteroide, o más comúnmente, un triterpenoide, y una fracción glicona constituido por un azúcar liposoluble. Debido a su naturaleza anfifílica, son altamente tensioactivas y sus actividades biológicas están estrechamente relacionadas con su estructura química (Moghimpour et al., 2015). Desde el punto de vista biológico y metabolómico, las saponinas cumplen funciones defensivas y participan en interacciones alelopáticas (Augustin et al., 2011).

5. Metodología

Etapa 1. Obtención de los extractos de la raíz de la especie vegetal *C. palmata*

5.1. Recolección de la muestra

El material vegetal fue recolectado en Rio negro, Santander durante el mes de diciembre de 2024.

Figura 5

Material vegetal recolectado



5.2. Preparación de la muestra de la especie vegetal *C. palmata*

5.2.1. Liofilización

Las raíces se lavaron cuidadosamente con agua destilada para eliminar cualquier residuo de suciedad o material externo adherido. Posteriormente, se cortaron en fragmentos pequeños, con el fin de favorecer un secado más eficiente y homogéneo. Los fragmentos obtenidos fueron colocados en tubos falcon y sometidos a un proceso de pre congelación a $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$ durante 24 horas. Una vez

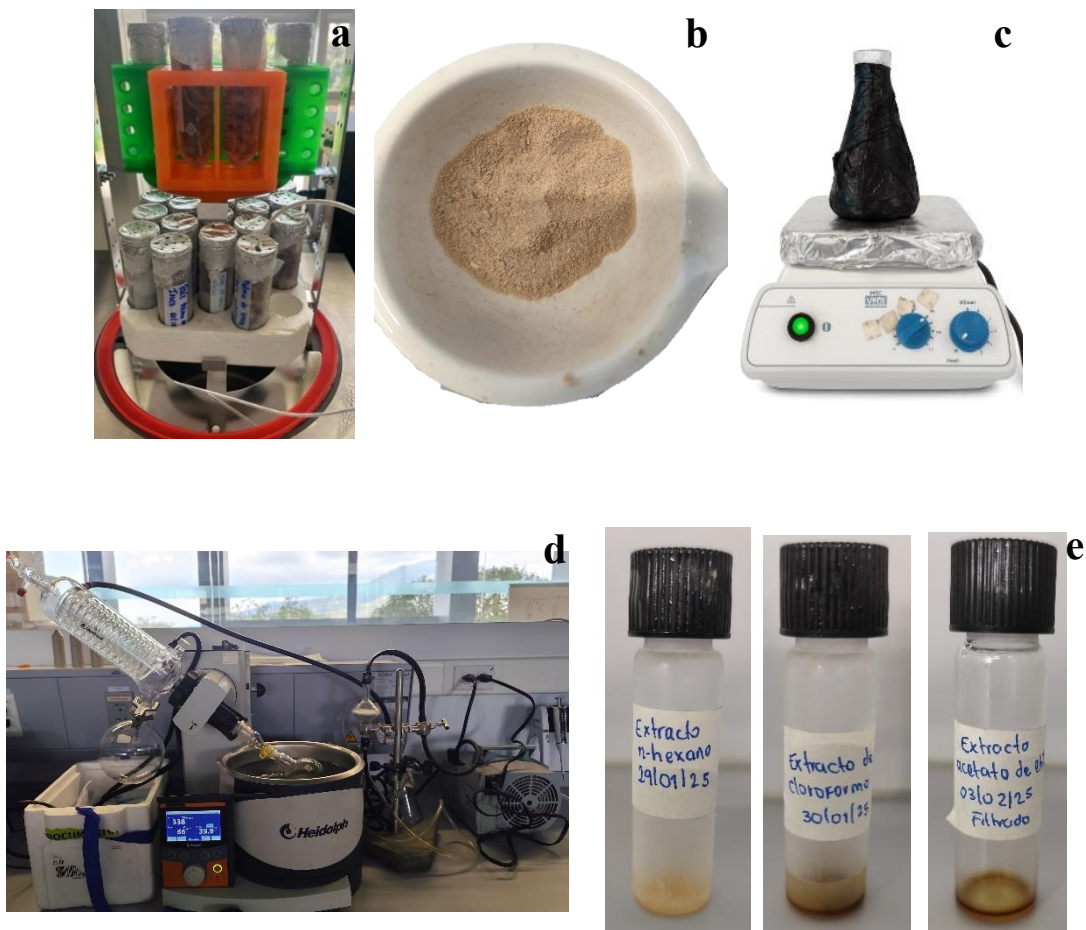
completado el precongelamiento, los fragmentos fueron liofilizados en un liofilizador (LYO60B-1PT-0.9L, infitek Co., Ltd, China). El proceso de liofilización inició a una temperatura de -20°C y presión de 1Pa. A lo largo del proceso, la temperatura descendió progresivamente hasta alcanzar los -60°C y el proceso duró alrededor de 72 horas, permitiendo una deshidratación eficiente mediante sublimación, y garantizando la conservación de los compuestos. Finalmente, la muestra seca fue transferida a un tubo Falcon de 20 mL, previamente recubierto con papel de aluminio para protegerla de la luz y posteriormente, fue almacenada en un congelador a -20°C para su uso en el proceso de extracción.

5.2.2. *Extracción acuosa de los metabolitos de la raíz de la especie vegetal C. palmata*

Las muestras secas se cortaron en pequeños trozos y se trituraron en un mortero con nitrógeno líquido hasta obtener un polvo fino. A partir de este material, se tomaron 16 g que fueron sometidos a extracción secuencial por maceración con disolventes de polaridad creciente: *n*-Hexano (150 mL), cloroformo (150 mL) y acetato de etilo (150 mL). Cada extracción se realizó a temperatura ambiente durante 12 h y agitación continua. Los extractos obtenidos fueron filtrados con papel de grado cualitativo (Whatman Grade 1, Cytiva) y posteriormente concentrados hasta sequedad bajo presión reducida en un evaporador rotatorio (Heidolph Instruments GmbH & Co. KG, Hei-VAP Precision, Alemania) (40°C , 66 rpm). La presión aplicada se ajustó según el disolvente, evitando superar la temperatura de ebullición y la formación de burbujas; la primera gota de solvente se observó a 353 mbar para *n*-hexano, 456 mbar para cloroformo y 235 mbar para acetato de etilo. Una vez secos, los extractos fueron redissueltos en el mismo solvente hasta evaporación y obtención del extracto puro. Finalmente, cada muestra se pesó para determinar su rendimiento y se almacenó a -30°C hasta su posterior análisis, tomado de (Asmah et al., 2020).

Figura 6

Preparación y extracción de la muestra.



Nota: a). Liofilización de las raíces, b). Pulverización, c). Extracción, d). Rotoevaporación, e). Extractos.

Etapla 2. Estudio de la actividad antimicrobiana

5.3. Activación de las cepas bacterianas

Se activaron cuatro cepas bacterianas, *S. entérica* serovar Enteriditis ATCC 13076, *S. aureus* ATCC 43300 y ATCC 25923 y *E. coli* ATCC 11775 las cuales fueron obtenidas del American

Type Culture Collection (ATCC; Rockville, MD, USA). De cada cepa, previamente descongelada, se tomó una alícuota de 10 μ L que fue inoculada en 5 mL de medio líquido infusión cerebro corazón (BHI) y posteriormente incubada a 37 °C por 24 h. Los medios de cultivo fueron adquiridos de OXOID (Hampshire, UK) (Paredes et al., 2014).

5.4. Preparación de soluciones stock de antibióticos para control

Se prepararon soluciones stock de antibióticos a una concentración de 10 mg/mL. Para ello, se pesaron 52,6 mg de oxacilina (empleada frente a *S. aureus* ATCC 25923 y ATCC 43300) y 50 mg de kanamicina (empleada frente a *S. enterica* ATCC 13076 y *E. coli* ATCC 11775), disolviéndose cada uno en 5 mL de agua estéril. A partir de las soluciones stock, se realizaron diluciones seriadas para obtener concentraciones de 6 mg/mL, 3 mg/mL y 1.5 mg/mL. Como referencia, se consideraron los valores establecidos por el (CLSI. 2015), empleando la concentración de 3 mg/mL como control positivo (Barnes et al., 2023).

5.5. Preparación del microorganismo

A partir de las cepas activadas, se tomó una colonia aislada y se sembró en medio Infusión Cerebro Corazón (BHI) previamente esterilizado, utilizando un asa bacteriológica mediante la técnica de estría por agotamiento. Las placas se incubaron a 37 °C durante 12 h para obtener cultivos frescos.

Posteriormente, se prepararon preinóculos en medio líquido. Para *S. aureus* ATCC 43300 y ATCC 25923 se empleó caldo Müeller-Hinton (MH), mientras que para *S. enterica* serovar Enteritidis ATCC 13076 y *E. coli* ATCC 11775 se utilizó caldo Luria-Bertani (LB). En cada caso, se adicionaron 3 mL de medio fresco en tubos estériles, a los cuales se inoculó una colonia de cada

cepa recién activada. Los cultivos se incubaron a 37 °C con agitación constante a 200 rpm durante 12–14 h.

El preinóculo obtenido se ajustó a una densidad celular equivalente a 0,5 en la escala de McFarland (1×10^8 UFC/mL) mediante una dilución 1:10, mezclando 500 μ L del cultivo con 4500 μ L de medio LB estéril. Posteriormente, se realizó una siembra masiva mediante un hisopo estéril impregnado con el inóculo ajustado en cajas Petri que contenían medio MH, asegurando una distribución homogénea sobre la superficie del agar (Paredes et al., 2014).

5.6. Método de difusión en disco de agar

El ensayo antibacteriano se realizó de acuerdo con el método estándar de difusión en agar realizado por (Hudzick, J. 2009). Se tomó papel filtro y se perforó hasta obtener un diámetro de 6 mm y se esterilizó en autoclave antes de su uso. En cada placa de agar Mueller-Hinton (MH) inoculadas con las diferentes cepas bacterianas de *S. aureus*, *S. enterica* y *E. coli* se agregó 10 μ L de los extractos a diferentes concentraciones en un rango de 40-10 mg/mL. Posteriormente los microorganismos fueron incubados a 37°C durante 24 h. Transcurrido el periodo de incubación, se midió el halo de inhibición. La formación de una zona de inhibición clara alrededor de los pocillos con un (diámetro > 1 mm) se tomó como medida de susceptibilidad significativa.

Como control positivo se emplearon los antibióticos oxacilina para *S. aureus* ATCC 25923 y ATCC 43300, y kanamicina, para *S. enterica* serovar Enteritidis ATCC 13076 y *E. coli* ATCC 11775, a una concentración de 3 mg/mL, de acuerdo con los valores establecidos por el Clinical & Laboratory Standards Institute (CLSI) con el fin de estandarizar el método. Por otro lado, se usó como control negativo agua estéril y como control adicional los solventes con los cuales se hizo la extracción. Todos los experimentos fueron llevados a cabo por triplicado (Bhuvanewari, 2021),

para garantizar reproducibilidad. Asimismo, los ensayos de actividad antimicrobiana se realizaron empleando agua MilliQ de resistividad 18.2 Ω , obtenida del Equipo Smart 2 Pure (Thermo Fisher Scientific, MA, USA).

5.7. Análisis estadístico

Se realizó un análisis de varianza de dos factores (ANOVA), con un nivel de confianza del 95%, con el propósito de determinar si existían diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos evaluados. Previo al análisis de varianza, se verificó el cumplimiento de los supuestos estadísticos incluyendo el nivel de medida de las variables, la independencia de las mediciones, la distribución normal y la homogeneidad de varianzas.

La normalidad de los datos se comprobó mediante la prueba de Shapiro-Wilk y la inspección visual del gráfico Q-Q plot, mientras que la homogeneidad de varianzas se evaluó utilizando la prueba Brown-Forsythe (equivalente a la prueba de Levene). En aquellos casos en los que los datos no cumplieron los supuestos de normalidad o varianza homogénea, se aplicó una transformación logarítmica [$\log_{10}(y+1)$] y se reevaluaron los criterios.

Cuando los supuestos del ANOVA no se cumplieron, incluso después de la transformación, se empleó la prueba no paramétrica Kruskal-Wallis. Todos los análisis se realizaron utilizando el software GraphPad Prism (GraphPad Software Inc., San Diego, CA, EE. UU.). (**Apéndice B**)

Etapa 3. Caracterización química de los extractos

5.8 Caracterización por cromatografía de gases acoplada a espectrometría de masas (CG/MS)

La identificación de los componentes presentes en el extracto fue analizada por cromatografía de gases-espectrometría de masas (GC-MS), mediante un cromatógrafo Agilent Technologies 7890B, acoplado a un detector de masas de impacto electrónico 5977B MsD fijado a 70 eV, con un puerto de inyección split, equipado con una columna apolar HP-5MSUI de Agilent (30 m × 0,25 mm × D.I 0,25 μm), recubierto con 5% de fenilo y 95% de metilpolisiloxano y flujo de 0,9 mL/min de helio (99% pureza).

Inicialmente la muestra fue sometida a un proceso de derivatización en un vial de análisis. Para ello, se pesaron 10 mg del extracto y se adicionaron 50 μL de MSTFA (N-metil-N-(trimetilsilil) trifluoroacetamida) y 50 μL de piridina, la mezcla se incubó en un baño a 60°C durante una hora, con el objetivo de favorecer la derivatización (yuan et al., 2015). Este procedimiento permite transformar los compuestos presentes en derivados más volátiles y termoestables, adecuados para su posterior análisis mediante cromatografía de gases. Posteriormente, la solución fue filtrada tres veces mediante un filtro (Millex Simplicity Filter, Merck KGaA, Alemania) de membrana hidrofílica de 0,22 μm, asegurando la eliminación completa de partículas en suspensión antes del análisis instrumental.

La inyección de la muestra fue de 0,1 μL, la temperatura del inyector fue de 250°C y el programa de temperatura de la columna inició a 50 °C, posteriormente se incrementó a una velocidad de 10 °C/min y aumentó linealmente hasta 250 °C (mantenido durante 5 min). La fuente

de espectrometría de masas se fijó a 230 °C y el rango de masas fue m/z 40-600 amu (Van Chen et al., 2024). Se utilizó el software Masshunter Qualitative Analysis (Versión B,07,00) x para el análisis químico y los espectros de masas fueron comparados con los reportados por las bases de datos NIST MS Program, Maryland, Estados Unidos y National Center for Biotechnology Information.

6 Resultados y discusión

6.1 Etapa 1: Porcentaje de rendimiento de las extracciones

El rendimiento de la extracción con los solventes: *n*-Hexano, cloroformo y acetato de etilo, se calculó usando la **ecuación 1** tomada de (Ngamkhae et al., 2022).

$$\text{Rendimiento (\%)} = \left(\frac{W_1}{W_2} \right) \times 100 \quad \text{Ecuación 1}$$

Dónde (W_1) indica la masa del extracto seco obtenido tras eliminar el solvente, (W_2) la masa de la muestra inicial pulverizada. Los extractos presentan diferentes rendimientos de extracción, los cuales se resumen en la (**Tabla 2**). Se observa que los valores obtenidos son relativamente bajos, lo cual es común en este tipo de procesos, particularmente cuando se trabaja con material vegetal seco, donde la concentración de metabolitos disponibles suele ser limitada, como se muestra en los resultados del rendimiento reportados en (Petkova et al., 2023a). De igual manera, investigaciones previas sobre la extracción de raíces empleando solventes de polaridad creciente, como *n*-Hexano, cloroformo y acetato de etilo, han demostrado rendimientos igualmente reducidos. Por ejemplo, en el caso de *Echinacea purpurea*, se reportaron valores de 0.3%, 4.6% y 0.4% respectivamente, empleando 100 g de material vegetal y una agitación continua de 24h (Petkova et al., 2023b). Resultados similares se obtuvieron en *Plumbago zeylanica*, con rendimientos 0.25% para *n*-Hexano y 0.52% para cloroformo (Dwivedi et al., 2023). Asimismo,

en *Calpurnia aurea* se describió un rendimiento del 1.78% para el extracto obtenido con acetato de etilo (Kebede et al., 2021) En concordancia con estos hallazgos, se refuerza la tendencia general observada en este tipo de matrices vegetales

De igual manera, es importante considerar que la extracción de los metabolitos secundarios se da inicialmente por la penetración del disolvente en la matriz celular, posteriormente los metabolitos afines a este solvente se disuelven y difunden fuera de la matriz sólida (Zhang et al., 2018). Teniendo en cuenta que cada una de estas etapas ocurre de forma secuencial y a un ritmo lento, la eficiencia del proceso se ve limitada por la ausencia de un impulso térmico que acelere la transferencia de masa. Sin embargo, la aplicación de calor no es viable, ya que podría provocar la pérdida de metabolitos volátiles y, como resultado, el rendimiento de extracción se vería comprometido debido a la lentitud del proceso y la necesidad de preservar compuestos sensibles al incremento en la temperatura como lo expresado por (Yim et al., 2013).

Por otro lado, las raíces poseen menor cantidad de metabolitos secundarios comparados con hojas y flores (Wakeel et al., 2019), dado que, en su mayoría los tejidos vegetales expuestos al ambiente son generalmente más activos en biosíntesis de compuestos relacionados con la defensa, metabolismo y respuesta a estímulos del entorno que desempeñan los órganos más externos que posee la planta.

De igual manera, la polaridad del disolvente influye directamente en el rendimiento de extracción, ya que determina la solubilidad de los compuestos presentes en la muestra. Cuando la polaridad del disolvente no es adecuada, la solubilidad de los metabolitos se ve limitada, lo que reduce significativamente el rendimiento del extracto (Abubakar et al., 2020).

Además de la afinidad entre disolvente y compuesto, otro factor clave que influye en el rendimiento de extracción es la interacción entre el analito y la matriz vegetal (Nadar et al., 2018),

ya que la síntesis y acumulación de compuestos bioactivos vegetales tienen lugar tanto en el citoplasma de las células vegetales como en la zona de las paredes celulares, (véase en el **apéndice A**). Algunos de estos metabolitos se unen firmemente a la matriz vegetal mediante enlaces químicos y son difíciles de aislar mediante extracción rutinaria con disolventes. Estos compuestos pueden localizarse intra y extracelularmente y en muchos casos están ligados mediante interacciones hidrofílicas o enlaces de hidrógeno, con elementos de las paredes celulares, como pectinas, celulosa y hemicelulosa (Kutchan, 2005). Como consecuencia, la extracción únicamente con solventes puede llegar a ser algo ineficaz, ya que no se logra el rompimiento total de estas interacciones, por ello usualmente se opta por recurrir al uso de enzimas específicas como celulasas, pectinasas, hemicelulasa, proteasa y xilanasas (Nadar et al., 2018) capaces de degradar la pared celular para posteriormente facilitar la liberación de estos compuestos bioactivos.

Tabla 2

Rendimiento de extracción de los diferentes solventes

Solvente	Cantidad de extracto obtenido [g]	Rendimiento % $\pm \sigma$ (n=4)
<i>n</i> -Hexano	0,0848	0,510 \pm 0,001
Cloroformo	0,0485	0,292 \pm 0,000
Acetato de etilo	0,0411	0,247 \pm 0,002

6.2 Etapa 2: Evaluación de la actividad antimicrobiana

El efecto antimicrobiano de los extractos obtenidos de las raíces de *C. palmata*, se llevó a cabo mediante el método de difusión en agar (Kirby-Bauer). Los resultados del halo de inhibición bacteriana producido por cada extracto frente a diferentes cepas se presentan en la (Tabla 3-5)

Tabla 3

Actividad antimicrobiana del extracto de n-Hexano

Concentración	Gram positivas		Gram negativas	
	<i>S. aureus</i> ATCC 43300 [mm]	<i>S. aureus</i> ATCC 25923 [mm]	<i>S. enterica</i> ATCC 13076 [mm]	<i>E. coli</i> ATCC 11775 [mm]
40 mg/mL	0,0±0,0	0,0±0,0	0,0±0,0	0,0±0,0
30 mg/mL	0,0±0,0	0,0±0,0	0,0±0,0	0,0±0,0
20 mg/mL	0,0±0,0	0,0±0,0	0,0±0,0	0,0±0,0
10 mg/mL	0,0±0,0	0,0±0,0	0,0±0,0	0,0±0,0
Control negativo (Agua)	0,0±0,0	0,0±0,0	0,0±0,0	0,0±0,0
Antibiótico (3mg/mL) (Control positivo) n-Hexano	15±0,0	33±3,4	19±0,0	19±0,0
	0,0±0,0	0,0±0,0	0,0±0,0	0,0±0,0

Nota: diámetro del halo de inhibición y desviación estándar

El extracto de *n*-Hexano mostró comportamientos diferenciales frente a las cepas evaluadas. En general, los resultados del ANOVA y la prueba no paramétrica de Kruskal–Wallis evidenciaron que este extracto no presentó una actividad antimicrobiana significativa frente a las bacterias analizadas. Para las cepas evaluadas, los valores de significancia obtenidos ($p > 0.05$) indicaron ausencia de diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos, sugiriendo que el

extracto de hexano no ejerció un efecto inhibitorio relevante sobre el crecimiento de estas bacterias. (**Tabla 3**), y en los (**Apéndice B-F**).

El *n*-Hexano al ser un solvente no polar tiende a extraer compuestos lipofílicos, triterpenos, esteroides y una menor cantidad de compuestos fenólicos y flavonoides (Uysal et al., 2021) que son los principales metabolitos secundarios a los que se les confiere actividad antimicrobiana, debido a la presencia de grupos hidroxilo (OH⁻) y la deslocalización electrónica, que interactúan con la membrana celular, proteínas y orgánulos celulares de las bacterias, provocando una reducción de las vías metabólicas, causando daños en la membrana celular, deteriorando proteínas e incluso ácidos nucleicos (De Rossi et al., 2025).

Sin embargo, se ha reportado actividad antimicrobiana en extractos de *n*-Hexano obtenidos de raíces de otras especies vegetales. Por ejemplo, en *Althaea officinalis*, se ha identificado un contenido de omega-3 del 14.9%, que está relacionado con su potencial antimicrobiano (Valiei Mahdi, 2011). Así mismo, en *Jatropha podagrica* el extracto en hexano mostró mayor actividad en comparación con los extractos en cloroformo y metanol, mostrando actividad frente a *S. aureus*, *Bacillus cereus* y tres cepas de *Pseudomonas aeruginosa* (Aiyelaagbe et al., 2000.). De forma similar, el extracto en *n*-Hexano de raíces de *Lindera communis* demostró propiedades cicatrizantes, además de ejercer una acción antimicrobiana mediante mecanismos de disrupción de la membrana celular en cepas resistentes a la meticilina (MRSA) de *S. aureus* (Wang et al., 2025b).

Por tanto, aunque el *n*-Hexano no es un solvente polar, diversos estudios demuestran que puede extraer metabolitos con potencial antimicrobiano, lo que evidencia que la falta de actividad en los extractos de *n*-Hexano de las raíces de *C. palmata* no estaría necesariamente asociada con el solvente usado, sino posiblemente con la naturaleza química de los compuestos presentes en esta

matriz vegetal. Es probable que las raíces de esta especie no contengan cantidades significativas, o al menos no concentraciones suficientes de aquellos metabolitos que confieren esta actividad biológica.

No obstante, también es posible que la nula inhibición observada esté relacionada con limitaciones metodológicas dado que los compuestos presentes en los extractos de *n*-Hexano de plantas son predominantemente apolares esto dificulta el empleo de métodos de análisis de actividad antimicrobiana algo más precisos y cuantitativos, como el de microdilución en caldo, al favorecer la formación de dos fases e impedir la distribución homogénea del extracto. Debido a esta limitación, dicho método no resulta adecuado para evaluar extractos disueltos en solventes apolares; por esta razón, en estos casos se recurre al método de difusión en agar tipo Kirby-Bauer, ya que el extracto se aplica directamente sobre un disco sin requerir una disolución completa en medio acuoso. Sin embargo, es importante tener en cuenta que estos compuestos no se difunden en la matriz de agar acuoso o que puede limitar la formación de halos de inhibición (Eloff, 2019).

Tabla 4

Actividad antimicrobiana del extracto de cloroformo

Concentración	Gram positivas		Gram negativas	
	<i>S. aureus</i> ATCC 43300 [mm]	<i>S. aureus</i> ATCC 25923 [mm]	<i>S. enterica</i> ATCC 13076 [mm]	<i>E. coli</i> ATCC 11775 [mm]
40 mg/mL	-0,3±0,6	0,0±0,6	-0,7±1,9	0,3±1,2
30 mg/mL	-0,7±0,0	0,0±1,5	-0,3±2,2	0,0±0,6
20 mg/mL	0,7±0,6	0,3±1,2	2,7±1,0	0,3±0,6
10 mg/mL	-0,3±0,6	0,3±1,2	0,7±0,6	1,0±0,6
Control negativo (Agua)	0,0±0,0	0,0±0,0	0,0±0,0	0,0±0,0

Antibiótico (3mg/mL)	13,3±1,5	32,7±2,5	22,3±1,0	22,3±1,5
(Control positivo) Cloroformo	2,7±1,2	2,3±0,6	3,0±0,6	3,3±0,6

Nota: diámetro del halo de inhibición y desviación estándar

De acuerdo con los resultados del ANOVA, el extracto de cloroformo no mostró actividad antimicrobiana significativa frente a *S. aureus* ATCC 43300 como se evidencia en la **(Tabla 4)**, y en los **(Apéndice G-J)**. El análisis arrojó un valor de $F = 0.8485$ y un valor de $p = 0.5457$ para la interacción extracto–concentración, indicando que no existe efecto conjunto entre ambos factores. Asimismo, el efecto individual del tipo de extracto resultó significativo ($F = 482.4$; $p < 0.0001$), pero en las comparaciones posteriores se observó que el extracto de cloroformo presentó los valores de inhibición más bajos, sin diferencias estadísticamente significativas respecto al control ($p > 0.05$).

De igual manera, El análisis estadístico evidenció que el extracto de cloroformo no presentó actividad antimicrobiana significativa frente a *S. aureus* ATCC 25923. La interacción entre extracto y concentración ($p = 0.8185$) y el efecto de la concentración ($p = 0.4179$) no fueron significativos, lo que indica que las variaciones en la concentración no modificaron la respuesta biológica observada. A pesar de que el tipo de extracto mostró diferencias significativas ($F = 3083$; $p < 0.0001$), los halos producidos por el extracto de cloroformo fueron menores a 1 mm en todas las concentraciones, sin representar inhibición efectiva del crecimiento bacteriano ($p > 0.05$). Estos resultados confirman que el extracto de cloroformo carece de compuestos con efecto antibacteriano relevante frente a esta cepa.

Por otro lado, se observaron diferencias significativas en la inhibición del crecimiento de *S. enterica* ($F = 4036$; $p < 0.0001$), a una concentración de 20 mg/mL. No obstante, ni la concentración ($p = 0.4129$) ni la interacción extracto–concentración ($p = 0.7171$) mostraron efectos

estadísticamente significativos, lo que indica que el grado de inhibición no dependió de la cantidad de extracto aplicada. Mientras que, para *E. coli*, el análisis de varianza indicó la presencia de un efecto significativo a una concentración de 10 mg/mL sobre la inhibición del crecimiento ($F = 8354$; $p < 0.0001$), mientras que la concentración ($p = 0.1795$) y la interacción entre factores ($p = 0.6366$) no mostraron diferencias estadísticas.

Estudios demuestran que los extractos de cloroformo en raíces no poseen alta actividad antimicrobiana, a diferencia de la fuerte actividad inducida por otras partes de la planta, como las hojas (Bose, 2008).

Cabe destacar que el control con cloroformo que fue el solvente usado para la extracción presentó halos de inhibición de tamaño similar a los observados a bajas concentraciones, esto sugiere que el solvente posee una ligera actividad antimicrobiana y que la actividad atribuida al extracto en dichas concentraciones podría deberse a residuos de cloroformo y no exclusivamente a la presencia de compuestos bioactivos.

Diversos estudios han evidenciado la actividad biológica de extractos obtenidos a partir de raíces de distintas especies vegetales. Por ejemplo, en el caso de *Cleome spinosa* Jacq utilizada en la medicina tradicional contra procesos inflamatorios e infecciosos, se evaluaron extractos con diferentes solventes, siendo el de cloroformo uno de los más activos frente *S. aureus*, *B. subtilis* y *Micrococcus luteus* (Da Silva et al., 2016), de igual manera en *Acronychia pedunculata*, el extracto clorofórmico de flores y semillas presentó halos de inhibición contra *S. aureus* y *B. cereus*, aunque las raíces mostraron menor pero detectable actividad (Karunathilaka et al., 2016). y los extractos de las raíces de las especies *Hemidesmus indicus* e *Ichnocarpus frutescens* que mostraron actividad antimicrobiana y antifúngica contra *E. coli* y *Aspergillus flavus* (Malathy,

2009). Estos ejemplos respaldan que la falta de actividad de las raíces de la *C. palmata* no se debe necesariamente al solvente sino a su composición fitoquímica.

Tabla 5

Actividad antimicrobiana del extracto de acetato de etilo

Concentración	Gram positivas		Gram negativas	
	<i>S. aureus</i> ATCC 43300 [mm]	<i>S. aureus</i> ATCC 25923 [mm]	<i>S. enterica</i> ATCC 13076 [mm]	<i>E. coli</i> ATCC 11775 [mm]
40 mg/mL	2,3±1,5	2,0±0,0	1,3±1,2	1,7±0,6
30 mg/mL	1,7±1,2	1,7±0,6	1,7±0,6	1,0±0,0
20 mg/mL	2,0±1,5	2,3±1,2	1,7±0,6	1,7±0,6
10 mg/mL	2,7±0,6	3,0±0,0	1,7±0,6	1,7±0,6
Control negativo (Agua)	0,0±0,0	0,0±0,0	0,0±0,0	0,0±0,0
Antibiótico (3mg/mL) (Control positivo)	13,3±1,5	29,7±0,6	19,7±1,2	20,7±0,6
Acetato de etilo	0,7±0,6	0,0±0,0	1,0±0,0	1,0±0,0

Nota: diámetro del halo de inhibición y desviación estándar

El extracto de acetato de etilo evidenció una actividad antimicrobiana significativa frente a todas las cepas bacterianas evaluadas, lo que se refleja en los resultados del ANOVA y las pruebas no paramétricas de Kruskal–Wallis, con valores de $p < 0.05$ para la mayoría de los casos, como se observa en la (Tabla 5) y (Apéndice K-N).

En las cepas grampositivas, *S. aureus* ATCC 43300 y *S. aureus* ATCC 25923, se observaron diferencias estadísticamente significativas atribuibles al extracto ($p < 0.0001$), lo que indica que el acetato de etilo logró inhibir el crecimiento bacteriano de forma efectiva. Sin embargo, la

interacción entre concentración y extracto no fue significativa ($p > 0.05$), sugiriendo que la respuesta no dependió directamente de la dosis aplicada, sino de la presencia de compuestos activos en el extracto.

En las cepas gramnegativas, *E. coli* ATCC 11775 y *S. enterica* ATCC 13076, los análisis también mostraron valores altamente significativos para el factor “extracto” ($p < 0.0001$), confirmando una inhibición notable del crecimiento bacteriano. Las pruebas de Kruskal–Wallis reforzaron este resultado ($p < 0.01$), evidenciando una actividad antimicrobiana estadísticamente significativa.

En conjunto, los resultados demuestran que el extracto de acetato de etilo fue el más activo entre los tres solventes evaluados, mostrando eficacia tanto frente a bacterias grampositivas como gramnegativas.

En la **(Tabla 5)** se evidencian los halos de inhibición formados por la actividad antimicrobiana de este extracto. Inicialmente se observa que el solvente puro posee una leve actividad. Sin embargo, considerando el diámetro del halo formado por el solvente solo, es posible identificar halos con un diámetro superior a 1,00 mm, valor que se tomó como el umbral para considerar actividad antimicrobiana, es decir que se evidencia actividad biológica, aunque en valores menores comparados con el antibiótico usado como control positivo.

Por otro lado, los halos de inhibición para las bacterias Gram positivas (*S. aureus* ATCC 43300 y 25923) presentan diámetros que oscilan entre 1,6 a 3,0 mm en diferentes concentraciones. Además, para bacterias Gram negativas (*S. enterica* ATCC 13076 y *E. coli* ATCC 11775) los valores oscilan de 1,0 a 1,7 mm, indicando que la actividad antimicrobiana de este extracto es ligeramente menor en estas bacterias, esto puede deberse a las diferencias estructurales presentadas en sus paredes celulares. Las bacterias Gramnegativas tienen una membrana externa de

polisacárido (**Apéndice Ñ**) que lleva los componentes estructurales de lipopolisacáridos. Esto hace que la pared celular sea impermeable a los solutos lipofílicos. Las Grampositivas (**Apéndice Ñ**) deberían ser más susceptibles, al tener solo una capa externa de peptidoglicano, que no es una barrera de permeabilidad efectiva (Pandey et al., 2004),(Ogundare et al., 2006). Por lo tanto, las bacterias Grampositivas tenderían a formar halos de mayor diámetro.

En cuanto a la actividad que se le confiere al solvente por sí solo, diversos estudios han evidenciado que el acetato de etilo usado como solvente de extracción, puede ejercer cierta actividad antimicrobiana independiente del extracto. Por ejemplo, (Fruergaard et al., 2021) reportaron que discos empapados al 100% con acetato de etilo generaron claras zonas de inhibición e incluso efectos letales sobre *B. subtilis*. De manera similar, (Ghazi et al., 2024) discute la posible influencia de solvente sobre el tamaño de la zona observada en ensayos de difusión. En este sentido, los resultados obtenidos en el presente estudio, en donde el control con este solvente mostró un halo de 1 mm, concuerda con lo reportado por dichos autores. Esto resalta la importancia de emplear controles con el mismo solvente para analizar el posible efecto que este puede provocar, para así diferenciar con mayor precisión la actividad inherente al extracto de la que podría atribuírsele únicamente al solvente empleado.

Por otra parte, una de las principales razones por las que se escogió este solvente es porque se ha demostrado que es un disolvente de polaridad media con la capacidad de extraer moléculas con menor polaridad, así como compuestos ligeramente polares (Nyalo et al., 2023). Investigaciones previas también han demostrado que la extracción basada en acetato de etilo puede ofrecer altos rendimientos de metabolitos secundarios, lo que se traduce en una notable actividad antibacteriana. Esto podría explicar por qué, entre los tres solventes usados para la extracción de compuestos bioactivos de las raíces de esta especie, el acetato de etilo permitió obtener fracciones con la mayor

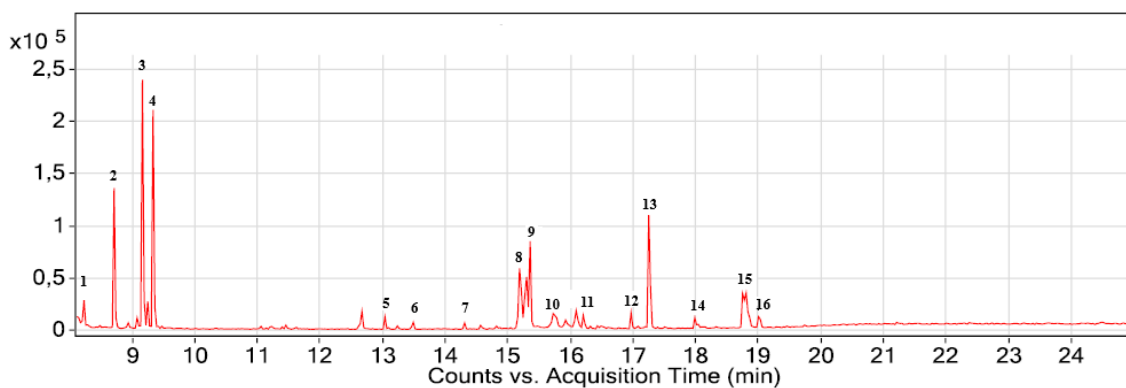
actividad antimicrobiana, lo que se sustenta en estudios anteriores que han demostrado que la extracción con este solvente refleja mayor eficiencia antibacteriana en comparación con otros disolventes orgánicos (Nyalo et al., 2023), a su vez permite aislar eficazmente metabolitos secundarios de peso molecular variado, que suelen ser responsables directos de la actividad biológica observada (Ghazi et al., 2024) . Dichos metabolitos pertenecen a diversas clases químicas, entre las que se incluyen fenoles, ácidos fenólicos, flavonoides (Dimitrova et al., 2017), ácidos grasos, triterpenoides (Nyalo et al., 2023), alcaloides, saponinas (Alamholo, 2024).

6.3 Etapa 3. Caracterización de los extractos

Posterior a la extracción y estudio de la actividad antimicrobiana de los extractos de las raíces de la especie *C. palmata*, teniendo en cuenta que solamente el extracto de acetato de etilo fue el que presentó actividad biológica significativa, se realizó el análisis por cromatografía de gases acoplada a espectrometría de masas (GC/MS). En la (**Figura 7**) se muestra el perfil cromatográfico del extracto de acetato de etilo.

Figura 7

Perfil cromatográfico del extracto acetato de etilo.



En la (**Tabla 10**) se enlistan los posibles metabolitos identificados de acuerdo con la base de datos NIST (NIST MS Program, Maryland, Estados Unidos)

Tabla 6

Compuestos tentativamente identificados en el extracto de acetato de etilo

N°	Compuesto	% de similitud	Tiempo de retención [min]	Formula química	Masa molar [g/mol]	% Abundancia relativa
1	Ácido benzoico	61.0	8.229	C ₇ H ₆ O ₂	122.12	0.50
2	Glicerol	81.9	8.709	C ₃ H ₈ O ₃	92.09	9.72
3	Ácido butanodioico	87.0	9.162	C ₄ H ₆ O ₄	118.09	20.52
4	Ácido metilsuccínico	71.9	9.332	C ₅ H ₈ O ₄	132.11	15.82
5	Ácido 4-hidroxibenzoico	80.6	13.037	C ₇ H ₆ O ₃	138.12	0.44
6	Arabinosa	13.1	13.490	C ₅ H ₁₀ O ₅	150.13	0.62
7	Eritritol	20.3	14.310	C ₄ H ₁₀ O ₄	122.12	0.42
8	Ácido protocatecuico	98.6	15.187	C ₇ H ₆ O ₄	154.12	7.55
9	Fructopiranososa	34.5	15.357	C ₆ H ₁₂ O ₆	180.16	13.82
10	Fructosa	20.2	15.753	C ₆ H ₁₂ O ₆	180.16	3.32
11	lixosa	18.3	16.092	C ₅ H ₁₀ O ₅	150.13	3.30
12	galactosa	18.3	16.969	C ₉ H ₁₄ O ₈	250.20	0.53
13	Ácido palmítico	90.4	17.252	C ₁₆ H ₃₂ O ₂	256.42	10.22
14	Mioinositol	79.9	17.987	C ₆ H ₁₂ O ₆	180.16	0.84
15	Ácido oleico	68.2	18.807	C ₁₈ H ₃₄ O ₂	282.50	8.00
16	Ácido esteárico	45.7	19.005	C ₁₈ H ₃₆ O ₂	284.50	1.23

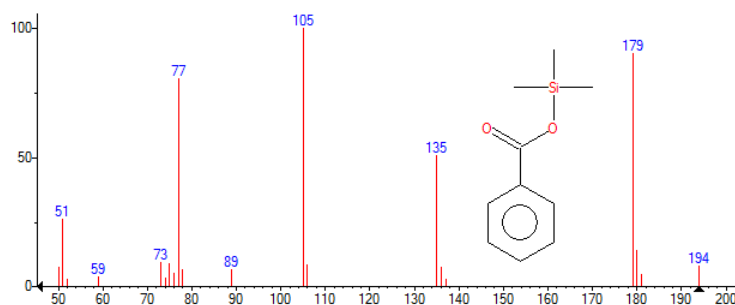
Nota: El porcentaje de similitud se determinó a partir de la base de datos del NIST MS Program (Maryland, Estados Unidos).

Se identificaron cada una de las señales registradas en el cromatograma. La primera señal de acuerdo con la base de datos (NIST MS Program, Maryland, Estados Unidos), presentó una similitud del 61.0% con el ácido benzoico. Este compuesto posee su ion molecular en m/z 122 ($-C_7H_6O_2^+$), y el ion pico base en m/z 105 (**Figura 8**) (**Anexo 1**) y se presume que es producido por la pérdida de un $OH\cdot$. Otros fragmentos característicos incluyen el ion ($C_6H_5^+$) con una m/z 77 producto de la pérdida de $COOH\cdot$ y el ion m/z 51 ($C_4H_3^+$) (Opitz, 2007). Cabe señalar que el ion molecular se muestra en m/z 194, lo cual corresponde a la forma derivatizada del ácido benzoico ya que presenta un grupo TMS.

Se ha determinado actividad biológica del ácido benzoico principalmente contra mohos y levaduras, alcanzando su mayor efectividad en condiciones de pH bajo. Este efecto se debe a la capacidad de la molécula, en su forma no ionizada, de atravesar con facilidad la membrana celular (Zeece, 2020). Así mismo, este compuesto se emplea como agente conservante para prevenir el deterioro microbiano de los alimentos, ya que puede inducir estrés oxidativo y alterar procesos específicos del tráfico de membrana intracelular en levaduras, incluyendo la macroautofagia (Hazan et al., 2004).

Figura 8

Espectro de masas del ácido benzoico



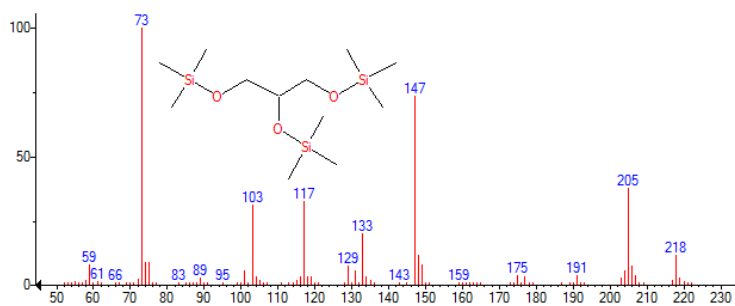
La segunda señal, fue identificada como glicerol con una similitud de 81,9% (NIST MS Program, Maryland, Estados Unidos). Este compuesto se presenta en forma de sililado con BSTFA, razón por la cual su ion molecular se detecta en m/z 308 ($-C_{12}H_{32}O_3Si_3^+$) producto del derivado trimetilsililado. El ion pico base se ubicó en m/z 73, asociado al catión $((CH_3)_3Si^+)$, fragmento característico ampliamente descrito en estudios de éteres TMS de glicoles alifáticos (Diekman et al., 1968) (**Figura 9**) (**Anexo 2**).

La señal en m/z 147 resulta distintiva en la mayoría de los compuestos que contienen más de un grupo trimetilsililo (Pettersson, 1969). La presencia simultanea de los iones m/z 73 y 147 se reconoce como un patrón típico de los derivados sililados. Cabe destacar que la mayor parte de los iones abundantes se generan principalmente por dos mecanismos de fragmentación: la escisión de la cadena carbonada y la pérdida por reordenamiento del trimetilsilanol.

En cuanto a la actividad biológica, el glicerol presenta un efecto antibacteriano transitorio a concentraciones elevadas, generando un estado bacteriostático. Esto ocurre debido a que el compuesto penetra en las células bacterianas por difusión facilitada, sin favorecer la salida de agua al exterior (Lin.,1976) (Plug et al., 2000) . Como consecuencia, se produce un incremento en la presión osmótica, lo que conduce al debilitamiento de la membrana celular y, finalmente a la lisis bacteriana (Saegeman et al., 2008).

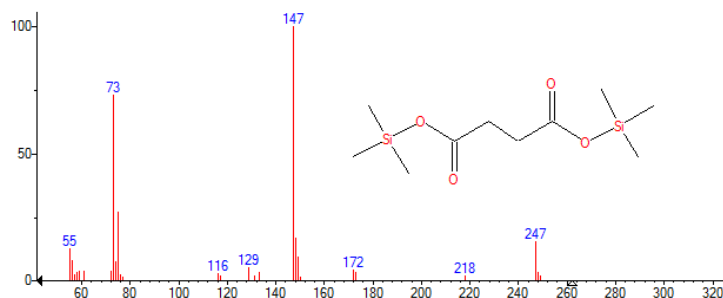
Figura 9

Espectro de masas del glicerol



La tercera señal, fue tentativamente identificada como ácido butanodiolo. Este compuesto presenta su ion molecular en m/z 262 ($-C_{10}H_{22}O_4Si_2^+$); sin embargo, dicho pico suele ser débil o incluso ausente en el espectro, debido a la falta de estructuras resonantes que estabilicen el catión radical, lo que lo hace altamente inestable y promueve su rápida fragmentación. En consecuencia, se observa de forma predominante el ion pico base m/z 73, correspondiente al catión $((CH_3)_3Si^+)$, un fragmento característico ampliamente documentado en estudios sobre compuestos derivatizados con TMS (Diekman et al., 1968) (Grossert et al., 2011). Así mismo, el ion m/z 147 asignado a $((CH_3)_2Si - O - Si(CH_3)_3^+)$, constituye un fragmento característico en moléculas con más de un grupo trimetilsililo (Petersson, 1969), (**figura 10**) (**Anexo 3**). Adicionalmente, el pico en m/z 116 ($-C_4H_8O_2Si^+$), se asocia a fragmentaciones por escisión de enlaces C-C características de los ácidos orgánicos TMS- derivatizados bajo ionización electrónica (Okahashi et al., 2019).

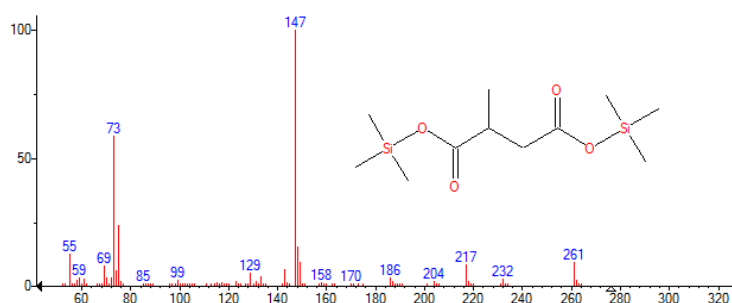
En cuanto a su relevancia biológica, este compuesto ha demostrado actividad anticancerígena, al inducir apoptosis en células de carcinoma renal sin afectar células sanas (Kasarci et al., 2021). De igual modo, se ha reportado su papel como potenciador de la actividad mitocondrial, mediante la regulación positiva de enzimas del ciclo de los ácidos tricarboxílicos (TCA) y de la vía de la fosforilación oxidativa, lo que cual se traduce en un aumento de la biosíntesis de ATP y una mayor producción de especies reactivas de oxígeno (ROS) (Piechowiak, 2025).

Figura 10*Espectro de masas del ácido butanodioco*

La cuarta señal, fue asignada tentativamente como ácido metilsuccínico. El ion molecular del compuesto sin derivatizar corresponde a m/z 132 ($-C_5H_8O_4^+$); no obstante, tras la incorporación de dos grupos trimetilsililo (TMS), el ion molecular esperado es m/z 276. Este, sin embargo, no se detecta en el espectro experimental, lo cual se atribuye a la alta inestabilidad del derivado TMS bajo condiciones de ionización por impacto electrónico (EI), favoreciendo la fragmentación por sobre la permanencia del ion intacto (Petersson, 1969).

En el espectro de masas, el ion pico base observado en m/z 147 corresponde al fragmento característico de compuestos que contienen más de un grupo trimetilsililo (Petersson, 1969), (**figura 11**) (**Anexo 4**). Además, se observan pérdidas comunes como M-15 y M-59, que generan picos en m/z 261 y m/z 217, respectivamente, representando fragmentos característicos de derivados con grupos TMS (Harvey, 2020). Finalmente, el ion m/z 73 correspondiente al catión $((CH_3)_3Si^+)$, constituye un fragmento ampliamente documentado y característico de compuestos derivatizados con TMS (Diekman et al., 1968) (Grossert et al., 2011).

Figura 11*Espectro de masas del ácido metilsuccínico*



La quinta señal, se identificó presuntamente como ácido 4-hidroxibenzoico. Este compuesto presenta un ion molecular en m/z 282 ($-C_{13}H_{22}O_3Si_2^+$), correspondiente al derivado bis-TMS del ácido 4-hidroxibenzoico. En el espectro, el ion pico base en m/z de 73 se asigna al catión $((CH_3)_3Si^+)$, fragmento característico de compuestos derivatizados con TMS (Diekman et al., 1968).

Entre los fragmentos relevantes, se observa el ion m/z 267, producto de la pérdida de un radical metilo (CH_3) por escisión alfa (Rontani et al., 2008). El fragmento $[M - 59]$, observado en m/z 223, se forma por la pérdida posterior de (CO_2) tras un reordenamiento del catión intermedio. Asimismo, La pérdida de un grupo TMSO ($-OSi(CH_3)_3$), correspondiente a $[M - 89]$, genera el pico en m/z 193, una vía de fragmentación común en ácidos carboxílicos derivatizados, ya que conduce a la formación de un catión acilo altamente estable.

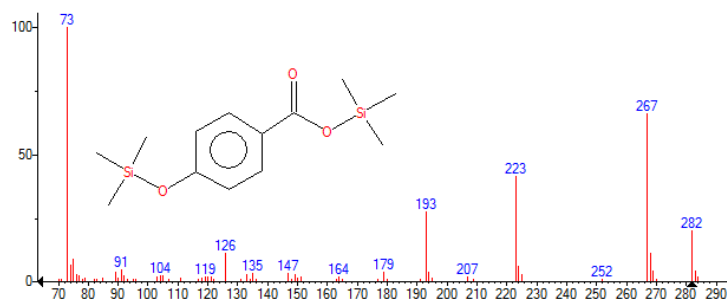
Finalmente, la presencia de un grupo metoxi en el anillo fenólico origina el fragmento $[M - 30]$, observado en m/z 252, asociado a la pérdida de una molécula de formaldehído (Proestos et al., 2013) (**figura 12**) (**Anexo 5**).

En cuanto a su actividad biológica, diversos estudios han reportado que el compuesto ácido 4-hidroxibenzoico, presente de forma natural en plantas medicinales y aromáticas, exhibe un amplio espectro de acción antimicrobiana frente a bacterias Grampositivas, Gramnegativas y frente a la

levadura *Candida albicans*. Estos hallazgos respaldan su potencial como agente antimicrobiano alternativo, especialmente frente a cepas con resistencia múltiple a fármacos (Gurbuzer, 2021).

Figura 12

Espectro de masas del ácido 4-hidroxibenzoico

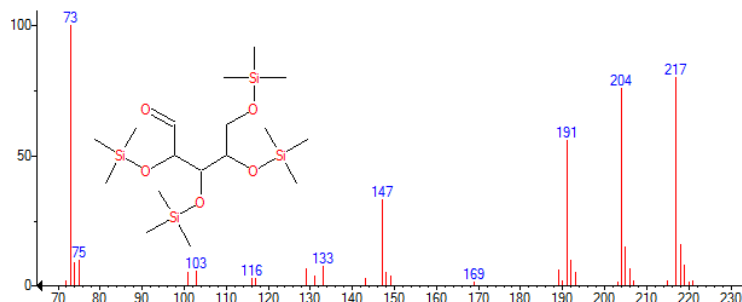


La sexta señal, fue tentativamente identificada como arabinosa derivatizada. El ion molecular corresponde a m/z 438 ($-C_{17}H_{42}O_5Si_4^+$); no obstante, este ion suele observarse con baja intensidad o encontrarse ausente en espectros obtenidos mediante ionización electrónica (EI). En el espectro, el ion pico base en m/z 73, se asigna al catión $((CH_3)_3Si^+)$, fragmento característico de compuestos sililados (Diekman et al., 1968) (**figura 13**) (**Anexo 6**).

Desde el punto de vista biológico, la arabinosa, una pentosa de origen natural, se ha asociado con propiedades antidiabéticas y antiobesidad, atribuibles a su menor tasa de absorción intestinal en comparación con la sacarosa. Este comportamiento contribuye a una mejor tolerancia a la glucosa y a la inhibición de la acumulación de grasa, lo que respalda su potencial como compuesto bioactivo en el manejo de enfermedades metabólicas (Geng et al., 2021).

Figura 13

Espectro de masas del compuesto arabinosa



La séptima señal, fue asignada tentativamente como eritritol. El ion molecular corresponde a m/z 410 ($-C_{16}H_{42}O_4Si_4^+$); sin embargo, este no se detecta en el espectro experimental, probablemente debido al ajuste del rango de masas. En cambio, el ion pico base en m/z 73 se asigna al catión $((CH_3)_3Si^+)$, fragmento característico ampliamente documentado en estudios sobre éteres TMS de glicoles alifáticos (Diekman et al., 1968).

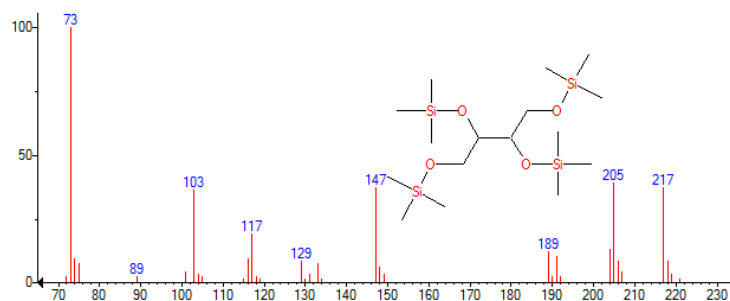
Entre los fragmentos adicionales se observa el m/z 89, generado a través de un mecanismo que involucra la migración de un átomo de hidrógeno hacia el silicio, seguida de la eliminación de un alqueno. Posteriormente, el ion molecular puede experimentar una segunda fragmentación por escisión α en un enlace silicio-oxígeno, lo que origina un pico en m/z 103, característico de dioles y polioles sililados. Asimismo, es común la formación de un ion en m/z 147, derivado de una reorganización intramolecular asociada al fragmento $[M - 15]^+$; sin embargo, en este tipo de espectros su abundancia suele ser de baja debido a la preferencia por otras rutas de fragmentación (Harvey et al., 2020) (**figura 14**) (**Anexo 7**).

En cuanto a su actividad biológica, diversos estudios han señalado que el eritritol posee una importante actividad antioxidante, además de actuar como inhibidor de las enzimas alfa amilasa y

alfa glucosidasa. Estos efectos se relacionan con la mejora del estado antioxidante y con la reducción de los niveles de glucosa en la sangre (Soetan et al., 2023), lo que respalda su potencial en la prevención y manejo de trastornos metabólicos.

Figura 14

Espectro de masas del compuesto eritritol



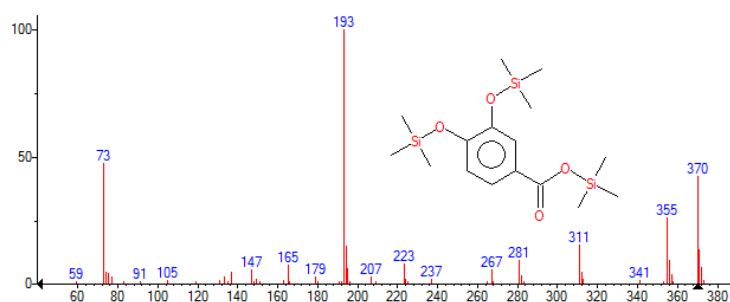
La octava señal, fue identificada de manera tentativa como ácido protocatecuico. El ion molecular corresponde a m/z 370 ($-C_{16}H_{30}O_4Si_3^+$), mientras que el ion pico base se observa en m/z 193. Así mismo, el ion en m/z 73, asignado al catión ($(CH_3)_3Si^+$), constituye un fragmento característico ampliamente documentado en compuestos derivatizados (Diekman. et al., 1968). De igual manera, un ion comúnmente presente en los espectros de masas de compuestos fenólicos derivatizados es el ion m/z 193 que resulta de la escisión adyacente al enlace O-Si (Harvey et al., 2020) (**figura 15**) (**Anexo 8**).

El ácido protocatecuico es un componente activo presentes en diversas hierbas de la medicina tradicional china y ha demostrado poseer una notable actividad antioxidante in vitro, tanto en sistemas lipídicos como acuosos. Estas propiedades lo convierten en candidato para su aplicación en las industrias farmacológica y alimentaria como antioxidante natural (Li et al., 2011). Adicionalmente, se ha repostado su actividad antimicrobiana, evidenciada por su capacidad de inhibir el crecimiento de patógenos clínicamente relevantes como *S. aureus* resistente a la

metilina, *Klebsiella pneumoniae*, *Pseudomonas aeruginosa* y *Acinetobacter baumannii* (Liu et al., 2005).

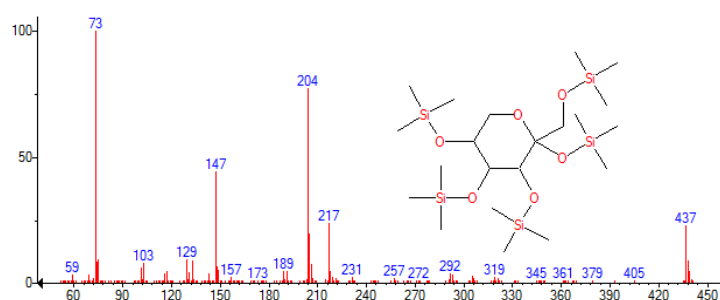
Figura 15

Espectro de masas del compuesto ácido protocatecuico



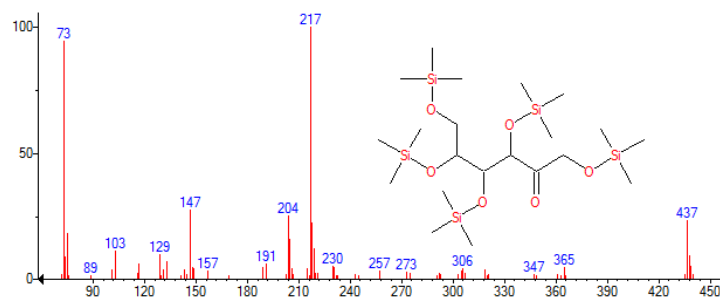
La novena señal, se registró tentativamente como fructopiranosida derivatizada. El ion molecular corresponde a m/z 540 ($-C_{21}H_{52}O_6Si_5^+$); sin embargo, este no se observa en el espectro, lo cual podría atribuirse a la baja estabilidad de la especie al ser ionizada. En su lugar, el ion pico base en m/z 73, asignado al catión $((CH_3)_3Si^+)$, constituye a un fragmento típico y ampliamente documentado en compuestos TMS- derivatizados (Diekman et al., 1968).

La señal en m/z 147 se atribuye al ion $((CH_3)_2Si - O - Si(CH_3)_3^+)$ (Schoots et al., 1979). Asimismo, entre los fragmentos más característicos de los sacáridos monómeros destacan los iones en m/z 204, derivado de dos unidades vecinas ($2HCOTMS$), y en m/z 217 asociado a fragmentaciones que involucran los carbonos C6 y C5, completados por el C4 (Füzfai et al., 2008) (**figura 16**) (**Anexo 9**).

Figura 16*Espectro de masas del compuesto fructopiranososa*

La décima señal, tentativamente registrada como fructosa. El ion molecular se encuentra en m/z 540 ($C_{21}H_{52}O_6Si_5^+$); sin embargo, no se observa en el espectro experimental, probablemente debido al ajuste del rango de masas.

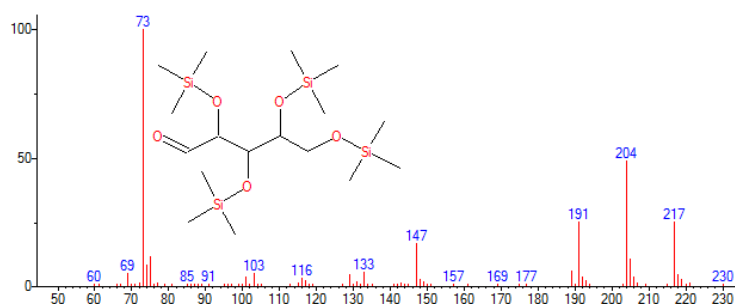
El ion pico base en m/z 217 se genera a partir de fragmentaciones que involucran los carbonos C6 y C5, (Füzfai et al., 2008). Asimismo, La señal en m/z 147 corresponde al ion $((CH_3)_2Si - O - Si(CH_3)_3^+)$ (Schoots & Leclercq, 1979), mientras que el ion m/z 204 proviene de la asociación de dos unidades vecinas de fragmentos carbonilo unido a un grupo TMS (Füzfai et al., 2008) (**figura 17**) (**Anexo 10**).

Figura 17*Espectro de masas del compuesto fructosa*

La señal once, fue identificada presuntivamente como lixosa con cuatro grupos TMS. El ion en m/z 204 constituye al fragmento más representativo de los éteres TMS con anillos de piranosa y el ion en m/z 217 corresponde a un fragmento característico y relativamente común en derivados de trimetilsililo (Silva et al., 2016) (**figura 18**) (**Anexo 11**).

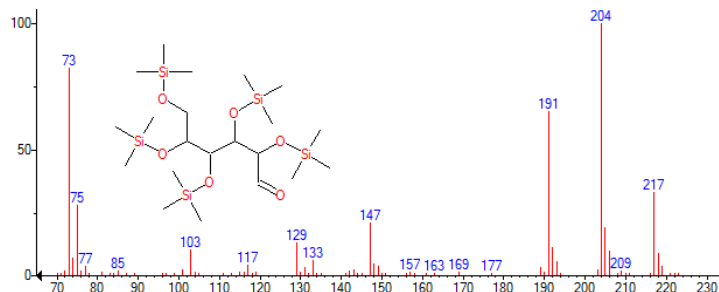
Figura 18

Espectro de masas del compuesto lixosa



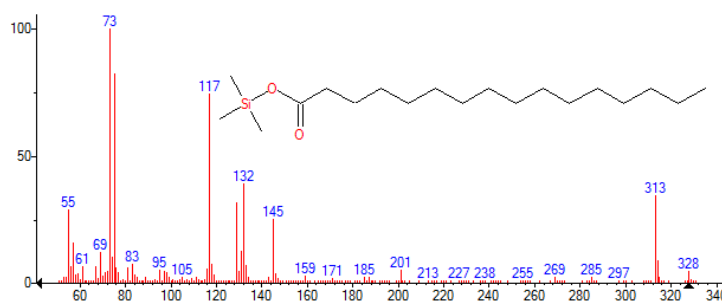
La señal doce fue asignada tentativamente al compuesto galactosa con cinco grupos TMS, presentando un ion molecular en m/z 438 ($-C_{21}H_{52}O_6Si_5^+$), el cual no siempre es visible en el espectro de masas. El ion pico base se presenta en m/z 204, característico de los éteres TMS con anillo de piranosa (Silva et al., 2016).

El ion m/z 204 se originó a partir de una escisión en la región central del azúcar, conservando dos TMS unidos a oxígeno junto con parte de la cadena carbonada (Ghayth, 2021). Finalmente, el fragmento en m/z 217 es típica de azúcares con anillos de furanosa, mientras que la señal en m/z 191 se observa de manera habitual en monosacáridos (Boldizsár I., 2008) (**figura 20**) (**Anexo 12**).

Figura 19*Espectro de masas del compuesto galactosa*

La señal trece fue identificada como ácido palmítico con un grupo TMS, Su ion molecular se detecta en m/z 328 ($-C_{19}H_{40}O_2Si^+$). Los derivados TMS de ácidos grasos muestra señales a m/z 73, 117, 132, 145 y 313 correspondientes a los fragmentos $((CH_3)_3Si^+)$, $((CH_3)_3SiCO_2^+)$, $((CH_3)_3SiCO_2CH_3^+)$, $((CH_3)_3SiCO_2C_2H_4^+)$ y $((CH_3)_2SiCO_2C_{15}H_{31}^+)$, respectivamente (Silva et al., 2016) (**figura 20**) (**Anexo 13**).

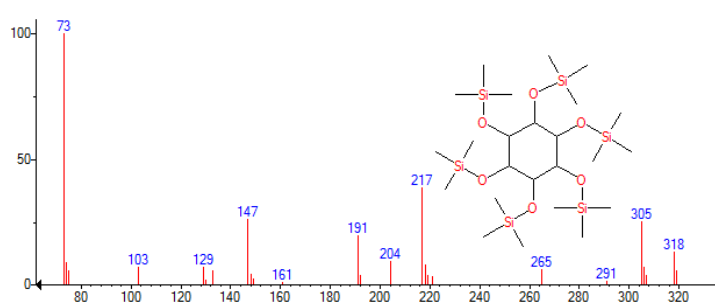
Diversos estudios han evidenciado la actividad antimicrobiana relacionada a este compuesto con eficacia frente a bacterias Grampositivas y Gramnegativas. En este sentido, se resalta el notable potencial de los ácidos grasos como candidatos a la próxima generación de agentes antimicrobianos (Casillas et al., 2021).

Figura 20*Espectro de masas del compuesto ácido palmítico*

La señal catorce se registró tentativamente como mioinositol con seis grupos TMS. Su ion molecular aparece en m/z 612 es $(-C_{24}H_{60}O_6Si_6^+)$ mientras que el ion pico base en m/z 73, correspondiente a $((CH_3)_3Si^+)$, constituye una señal típica de compuestos derivatizados (Diekman et al., 1968) (**figura 21**) (**Anexo 14**).

Figura 21

Espectro de masas del compuesto mioinositol

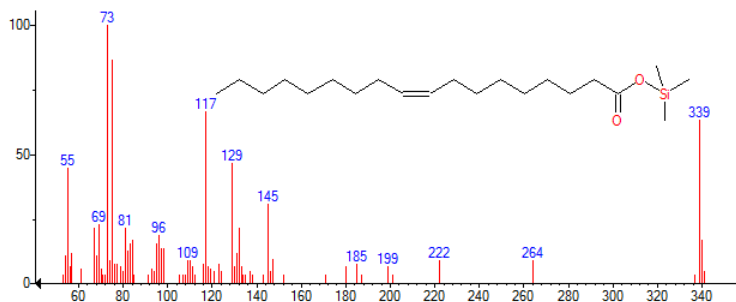


La señal quince se identificó presuntivamente como ácido oleico con un grupo TMS. Su ion molecular corresponde a m/z 354 $(-C_{21}H_{42}O_2Si^+)$ y el siguiente ion más intenso se registró en m/z 117, asociado al fragmento $((CH_3)_3SiCO_2^+)$. La señal en m/z 145 se origina por la fisión del enlace β , γ respecto al grupo carbonilo de la cadena alquílica, con posible transferencia de hidrógeno a través de un mecanismo de cuatro centros y mediante el reordenamiento de McLafferty esperado (Silvério et al., 2007). Adicionalmente, el ion en m/z 339 es característico del ácido oleico (Moldoveanu, 2014) (**figura 22**) (**Anexo 15**).

El ácido oleico ha demostrado efecto antimicrobiano frente a *S. aureus* resistente a la meticilina (SARM). Asimismo, se ha reportado su capacidad para inhibir el crecimiento de diversas bacterias grampositivas, incluyendo cepas de SARM tanto de origen hospitalario como comunitario, a concentraciones que no mostraron toxicidad para los sebocitos humanos (Chen et al., 2011).

Figura 22

Espectro de masas del compuesto ácido oleico

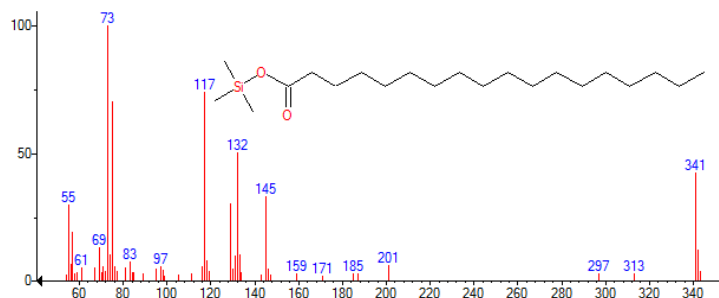


El pico dieciséis se registró como ácido esteárico con un grupo TMS, Su ion molecular corresponde a m/z 356 ($-C_{21}H_{44}O_2Si^+$). La señal en m/z 341 se atribuye a la pérdida de un grupo metilo del grupo TMS; el ion en m/z 132 se origina por el ion de reordenamiento de McLafferty (Christie, 2025) y la señal en m/z 313 corresponde a la pérdida de un radical metilo desde el TMS, fragmento característico de ésteres TMS de ácidos grasos (Silva et al., 2016) (**figura 23**) (**Anexo 16**).

Diversos estudios han reportado que los derivados del ácido esteárico poseen propiedades antimicrobianas. Ensayos de cribado han demostrado que aquellos con sustituyentes donadores de electrones en el núcleo bencilideno exhiben mayor eficacia frente a cepas bacterianas, mientras que los derivados con sustituyentes atractores de electrones exhiben una actividad más destacada contra cepas fúngicas (Ahlan et al., 2014).

Figura 23

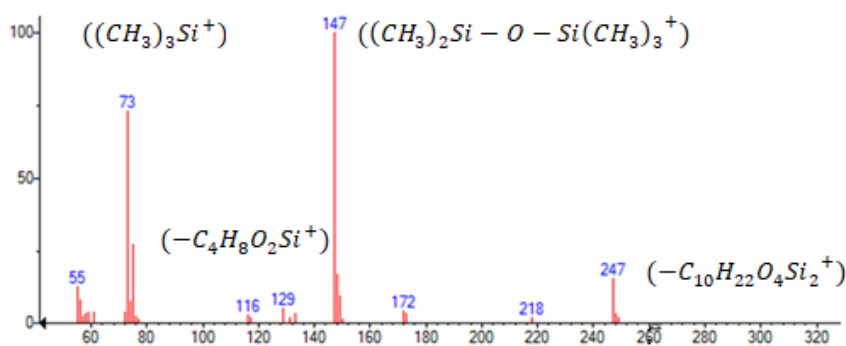
Espectro de masas del compuesto ácido esteárico



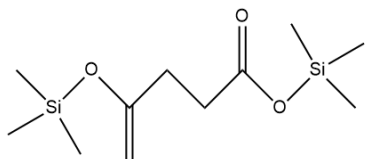
En el extracto de acetato de etilo se caracterizaron diversos compuestos que, de acuerdo con la literatura, se asocian con potencial actividad biológica. Entre ellos se identificaron ácido benzoico, ácido butanodioico, Ácido 4-hidroxibenzoico, Ácido protocatecuico, ácido palmítico, Ácido oleico, eritritol y ácido esteárico. Dentro de este grupo, se destacan dos compuestos los cuales presentaron los mayores porcentajes de abundancia relativa: ácido butanodioico (20.52%) y ácido palmítico (10.22%) y se presume fueron los compuestos que otorgaron la actividad antimicrobiana. A continuación, se muestra el patrón de fragmentación de ambos compuestos:

Figura 24

Patrón de fragmentación del compuesto ácido butanodioico



m/z 260



m/z 73

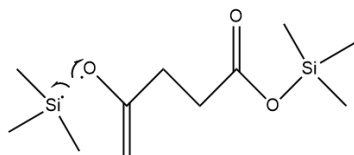
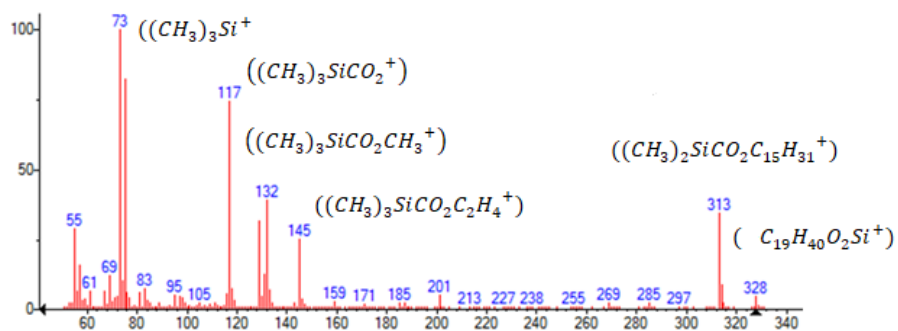


Figura 25

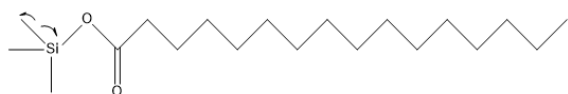
Patrón de fragmentación del compuesto ácido palmítico



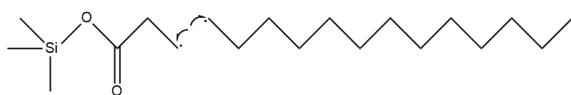
m/z 328



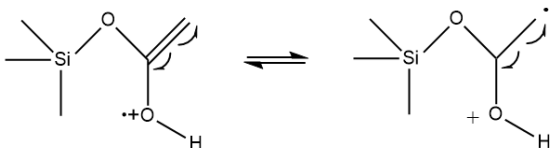
m/z 313



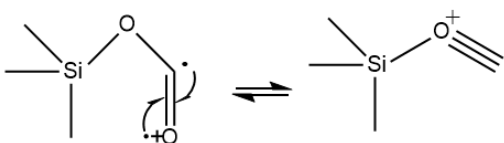
m/z 145



m/z 132



m/z 117



7. Conclusiones

Los rendimientos de extracción obtenidos fueron bajos, lo que confirma las limitaciones del uso exclusivo de solventes en la obtención de metabolitos secundarios. La ausencia de calor permitió preservar compuestos termolábiles, aunque redujo la eficiencia del proceso.

El extracto de acetato de etilo evidenció una notable actividad biológica frente a las cuatro cepas bacterianas evaluadas, lo que sugiere la presencia de metabolitos secundarios con potencial antimicrobiano de amplio espectro. Este comportamiento puede atribuirse a la capacidad del acetato de etilo para extraer compuestos de polaridad intermedia, tales como flavonoides, fenoles y ácidos orgánicos, conocidos por su eficacia en la inhibición del crecimiento microbiano.

La caracterización química del extracto de acetato de etilo mediante cromatografía de gases acoplada a espectrometría de masas (GC/MS) permitió identificar diversos compuestos potencialmente asociados con la actividad antimicrobiana observada. Entre los compuestos detectados se encontraron el ácido protocatecuico (7.55 % de similitud), ácido palmítico (10.22 %), ácido butanodioico (20.52 %), ácido 4-hidroxibenzoico (0.44 %), ácido oleico (8.0 %), ácido benzoico (0.50 %), ácido esteárico (1.23 %) y eritritol (0.42 %). Los compuestos de mayor abundancia relativa fueron el ácido butanodioico (20.52 %) y el ácido palmítico (10.22 %), lo cual sugiere que podrían desempeñar un papel relevante en la bioactividad del extracto, ya sea de manera individual o por posibles efectos sinérgicos con otros metabolitos presentes.

Recomendaciones

Se recomienda que investigaciones futuras optimicen los métodos de extracción con el fin de incrementar los rendimientos y maximizar la recuperación de metabolitos bioactivos. Asimismo, la integración de los hallazgos analíticos con la evidencia reportada en la literatura fortalece la relevancia de este trabajo, posicionándolo como un aporte de referencia para estudios posteriores sobre actividad antimicrobiana de metabolitos secundarios presentes en raíces de especies vegetales.

Referencias bibliográficas

Abahmane L. (2020). A comparative study between temporary immersion system and semi-solid cultures on shoot multiplication and plantlets production of two Moroccan date pal (*Phoenix dactylifera* L.) varieties in. *Notulae Scientia Biologicae*, 12(2), 277–288.

<https://doi.org/10.15835/nsb12210610>

Abd Aziz, N. A., Hasham, R., Sarmidi, M. R., Suhaimi, S. H., & Idris, M. K. H. (2021). A review on extraction techniques and therapeutic value of polar bioactives from Asian medicinal herbs: Case study on *Orthosiphon aristatus*, *Eurycoma longifolia* and *Andrographis paniculata*. *Saudi Pharmaceutical Journal: SPJ: The Official Publication of the Saudi Pharmaceutical Society*, 29(2), 143–165. <https://doi.org/10.1016/j.jsps.2020.12.016>

Abubakar, A.R., & Haque, M. (2020). Preparation of medicinal plants: Basic extraction and fractionation procedures for experimental purposes. *Journal of Pharmacy and Bioallied Sciences*, 12(1). S1–S10. https://doi.org/10.4103/jpbs.JPBS_175_19

Ahlan, S., Kumar, P., & Narasimhan, B. (2014). Synthesis, antimicrobial evaluation and QSAR studies of stearic acid derivatives. *Drug Research*, 64(2), 98–103. <https://doi.org/10.1055/s-0033-1353173>

Aiyelaagbe, O. O., Adesogan, E. K., Ekundayo, O., & Adeniyi, B. A. (2000). The antimicrobial activity of roots of *Jatropha podagrica* (Hook). *Phytotherapy Research*, 14(1), 60–62.

[https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1099-1573\(200002\)14:1%3c60::AID-PTR597%3e3.0.CO;2-B](https://doi.org/10.1002/(SICI)1099-1573(200002)14:1%3c60::AID-PTR597%3e3.0.CO;2-B)

Alam, B., Li, J., Ge, Q., Khan, M. A., Gong, J., Mehmood, S., Yuan, Y., & Gong, W. (2021). Endophytic Fungi: From symbiosis to secondary metabolite communications or vice versa? *Frontiers in Plant Science*, 12, 791033 <https://doi.org/10.3389/fpls.2021.791033>

- Alamholo, M. (2024). Determination of active biomarkers and the antioxidant and antibacterial potential of standardized *Zygophyllum spp.* extract. *Journal of Angiotherapy*, 8(1). <https://doi.org/10.25163/angiotherapy.819369>
- Al-Khayri, J. M., Rashmi, R., Toppo, V., Chole, P. B., Banadka, A., Sudheer, W. N., Nagella, P., Shehata, W. F., Al-Mssallem, M. Q., Alessa, F. M., Almaghasla, M. I., & Rezk, A. A. S. (2023). Plant secondary metabolites: The weapons for biotic stress management. *Metabolites*, 13(6), 716. <https://doi.org/10.3390/metabo13060716>
- Andino, A., & Hanning, I. (2015). *Salmonella enterica*: Survival, colonization, and virulence differences among serovars. In *Scientific World Journal*. 2015, 520179. <https://doi.org/10.1155/2015/520179>
- Asmah, N., Suniarti, D., Margono, A., Mas'ud, Z., & Bachtiar, E. (2020). Identification of active compounds in ethyl acetate, chloroform, and N-hexane extracts from peels of *Citrus aurantifolia* from Maribaya, West Java, Indonesia. *Journal of Advanced Pharmaceutical Technology and Research*, 11(3), 107–112. https://doi.org/10.4103/japtr.JAPTR_177_19
- Augustin, J. M., Kuzina, V., Andersen, S. B., & Bak, S. (2011). Molecular activities, biosynthesis and evolution of triterpenoid saponins. In *Phytochemistry* (Vol. 72, Issue 6, pp. 435–457). <https://doi.org/10.1016/j.phytochem.2011.01.015>
- Balasubramanian, R., Im, J., Lee, J. S., Jeon, H. J., Mogeni, O. D., Kim, J. H., Rakotozandrindrainy, R., Baker, S., & Marks, F. (2019). The global burden and epidemiology of invasive non-typhoidal *Salmonella* infections. *Human Vaccines and Immunotherapeutics* 15(6), 1421–1426. <https://doi.org/10.1080/21645515.2018.1504717>

- Barnes V, L., Heithoff, D. M., Mahan, S. P., House, J. K., & Mahan, M. J. (2023). Antimicrobial susceptibility testing to evaluate minimum inhibitory concentration values of clinically relevant antibiotics. *STAR Protocols*, 4(3). <https://doi.org/10.1016/j.xpro.2023.102512>
- Basset Charlie, Rodrigues Alice M.S., Eparvier Véronique, & Silva Maria R.R. (2012). Secondary metabolites from *Spirotropis longifolia* (DC) Baill and their antifungal activity against human pathogenic fungi. *Phytochemistry*, 74, 166–172. <https://doi.org/10.1016/j.phytochem.2011.10.011>
- Best, I., Cartagena-Gonzales, Z., Arana-Copa, O., Olivera-Montenegro, L., & Zobot, G. (2022). Production of oil and phenolic-rich extracts from *Mauritia flexuosa* L.f. using sequential supercritical and conventional solvent extraction: Experimental and economic evaluation. *Processes*, 10(3), 459. <https://doi.org/10.3390/pr10030459>
- Bhuvaneswari, M. (2021). Antioxidant, antimicrobial and cytotoxicity potential of *n*-hexane extract of *Cayratia trifolia* L. *Bioinformation*, 17(3), 452–459. <https://doi.org/10.6026/97320630017452>
- Bitwell, C., Indra, S. Sen, Luke, C., & Kakoma, M. K. (2023). A review of modern and conventional extraction techniques and their applications for extracting phytochemicals from plants. *Scientific African* (Vol. 19). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.sciaf.2023.e01585>
- Boldizsár, I. (2008). Characteristic fragmentation patterns of the trimethylsilyl and trimethylsilyloxime derivatives of various saccharides as obtained by gas chromatography coupled to ion-trap mass spectrometry. *Journal of Chromatography A*, 1199(1–2), 155–161. <https://doi.org/10.1016/j.chroma.2007.11.023>

Borroto, J., Trujillo, R., De la Torre, Y. C., Waksman, N., Hernández, M., & Salazar, R. (2011).

Actividad antimicrobiana y toxicidad frente a *Artemia salina* del extracto diclorometánico de raíces de *Morinda royoc* L. *Revista Cubana de Plantas Medicinales*, 16(1), 34–42.

http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1028-47962011000100004

Bose, S., Dwivedi, G. R., Singh, A., & Mishra, S. S. (2008). Antimicrobial activity of *Acanthus*

ilicifolius (L.). *Indian Journal of Pharmaceutical Sciences*, 70(6), 821-823.

<https://doi.org/10.4103/0250-474X.49134>.

Casillas-Vargas, G., Ocasio-Malavé, C., Medina, S., Morales-Guzmán, C., Del Valle, R. G.,

Carballeira, N. M., & Sanabria-Ríos, D. J. (2021). Antibacterial fatty acids: An update of possible mechanisms of action and implications in the development of the next-generation of antibacterial agents. *Progress in Lipid Research*, 82, 101093.

<https://doi.org/10.1016/j.plipres.2021.101093>

Cervantes-García, E., García-González, R., & Salazar-Schettino, P. M. (2014). Características

generales del *Staphylococcus aureus*. *Revista Latinoamericana de Patología Clínica y Medicina de Laboratorio*, 61(1), 57–71. <https://www.medigraphic.com/pdfs/patol/pt-2014/pt141e.pdf>

Chen, C.-H., Wang, Y., Nakatsuji, T., Liu, Y.-T., Zouboulis, C., & Gallo, R. (2011). An innate

bactericidal oleic acid effective against skin infection of methicillin-resistant *Staphylococcus aureus*: A therapy concordant with evolutionary medicine. *Journal of Microbiology and Biotechnology*, 21(4), 391–399. <https://doi.org/10.4014/jmb.1011.11014>

Chen, F., Tholl, D., Bohlmann, J., & Pichersky, E. (2011). The family of terpene synthases in

plants: A mid-size family of genes for specialized metabolism that is highly diversified

- throughout the kingdom. *Plant Journal*, 66(1), 212–229. <https://doi.org/10.1111/j.1365-313X.2011.04520.x>
- Chen, L.-W., Cheng, M.-J., Peng, C.-F., & Chen, I.-S. (2010). Secondary metabolites and antimycobacterial activities from the roots of *Ficus nervosa*. *Chemistry & Biodiversity*, 7(7), 1814–1821. <https://doi.org/10.1002/cbdv.200900227>
- Cheyrier, V. (2012). Phenolic compounds: From plants to foods. In *Phytochemistry Reviews* 11(2–3), 153–177. <https://doi.org/10.1007/s11101-012-9242-8>
- Chlebicz, A., & Śliżewska, K. (2018). Campylobacteriosis, Salmonellosis, Yersiniosis, and Listeriosis as Zoonotic Foodborne Diseases: A Review. In *International Journal of Environmental Research and Public Health* (Vol. 15, Issue 5). <https://doi.org/10.3390/ijerph15050863>
- Christie, W. (2025, August). Mass spectrometry of free (unesterified) fatty acids and their trimethylsilyl (TMS) esters. *LIPID MAPS® Lipidomics Gateway*. https://www.lipidmaps.org/resources/lipidweb/lipidweb_html/ms/tms-fas/index.html
- CLSI. (2015). M100-S25 Performance Standards for Antimicrobial (Issue January). <https://clsi.org/shop/standards/m100/>
- Creelman, R. A., & Mullet, J. E. (1997). Biosynthesis and action of jasmonates in plants. *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology*, 48, 355–381. <https://doi.org/10.1146/annurev.arplant.48.1.355>
- Croxen, M. A., Law, R. J., Scholz, R., & Keeney, K. M. (2013). Recent advances in understanding enteric pathogenic *Escherichia coli*. *Clinical Microbiology Reviews*, 26(4), 822–880. <https://doi.org/10.1128/CMR.00022-13>

- Cushnie, T. P. T., Cushnie, B., & Lamb, A. J. (2014). Alkaloids: An overview of their antibacterial, antibiotic-enhancing and antivirulence activities. In *International Journal of Antimicrobial Agents* (Vol. 44, Issue 5, pp. 377–386). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.ijantimicag.2014.06.001>
- Da Silva, A. P. S. A., Nascimento da Silva, L. C., Martins da Fonseca, C. S., de Araújo, J. M., Correia, M. T. dos S., Cavalcanti, M. da S., & Lima, V. L. de M. (2016). Antimicrobial activity and phytochemical analysis of organic extracts from *Cleome spinosa* Jacq. *Frontiers in Microbiology*, 7, 963. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2016.00963>
- De Rossi, L., Rocchetti, G., Lucini, L., & Rebecchi, A. (2025). Antimicrobial potential of polyphenols: Mechanisms of action and microbial responses—A narrative review. *Antioxidants*, 14(2), 200. <https://doi.org/10.3390/antiox14020200>
- Diekman, J., Thomson, J. B., & Djerassi, J. (1968). *Journal of Organic Chemistry*, 33(6), 1A–2606 <https://pubs.acs.org/toc/jocea/33/6>
- Dimitrova, L., Zaharieva, M. M., Popova, M., Kostadinova, N., Tsvetkova, I., Bankova, V., & Najdenski, H. (2017). *Antimicrobial and antioxidant potential of different solvent extracts of the medicinal plant Geum urbanum* L. *Chemistry Central Journal*, 11(1), 343. <https://doi.org/10.1186/s13065-017-0343-8>
- Dwivedi, S., Singh, S., & Singh, J. (2023). Effect of extraction solvent and plant part on the yield of phenolic compounds, plumbagin and biological activity of *Plumbago zeylanica*. *Journal of pharmacognosy and phytochemistry* 12(6), 05–10. <https://doi.org/10.22271/phyto.2023.v12.i6a.14760>
- Dos Santos Szewczyk, K., Skowrońska, W., Kruk, A., Makuch-Kocka, A., Bogucka-Kocka, A., Miazga-Karska, M., Grzywa-Celińska, A., & Granica, S. (2023). *Chemical composition of*

extracts from leaves, stems and roots of wasabi (Eutrema japonicum) and their anti-cancer, anti-inflammatory and anti-microbial activities. Scientific Reports, 13(1), 6056.

<https://doi.org/10.1038/s41598-023-36402-y>

Dwivedi, M. K., Sonter, S., Mishra, S., Singh, P., & Singh, P. K. (2021). Secondary metabolite profiling and characterization of diterpenes and flavones from the methanolic extract of *Andrographis paniculata* using HPLC-LC-MS/MS. *Future Journal of Pharmaceutical Sciences, 7(1)*. <https://doi.org/10.1186/s43094-021-00292-6>

Elhamouly, N. A., Hewedy, O. A., Zaitoon, A., Miraples, A., Elshorbagy, O. T., Hussien, S., El-Tahan, A., & Peng, D. (2022). The hidden power of secondary metabolites in plant-fungi interactions and sustainable phytoremediation. *Frontiers in Plant Science, 13*, 1044896.

<https://doi.org/10.3389/fpls.2022.1044896>

Eloff, J. N. (2019). Avoiding pitfalls in determining antimicrobial activity of plant extracts and publishing the results. *BMC Complementary and Alternative Medicine, 19(1)*, 2519.

<https://doi.org/10.1186/s12906-019-2519-3>

El-Saadony, M. T., Saad, A. M., Mohammed, D. M., Korma, S. A., Alshahrani, M. Y., Ahmed, A. E., Ibrahim, E. H., Salem, H. M., Alkafaas, S. S., Saif, A. M., Elkafas, S. S., Fahmy, M. A., Abd El-Mageed, T. A., Abady, M. M., Assal, H. Y., El-Tarabily, M. K., Mathew, B. T., AbuQamar, S. F., El-Tarabily, K. A., & Ibrahim, S. A. (2025). Medicinal plants: Bioactive compounds, biological activities, combating multidrug-resistant microorganisms, and human health benefits - a comprehensive review. *Frontiers in Immunology, 16*, 1491777.

<https://doi.org/10.3389/fimmu.2025.1491777>

- Eng, S. K., Pusparajah, P., Ab Mutalib, N. S., Ser, H. L., Chan, K. G., & Lee, L. H. (2015). *Salmonella*: A review on pathogenesis, epidemiology and antibiotic resistance. *Frontiers in Life Science*, 8(3), 284–293. <https://doi.org/10.1080/21553769.2015.1051243>
- Flores, H. E., Vivanco, J. M., & Loyola-Vargas, V. M. (1999a). Radicle biochemistry: The biology of root-specific metabolism. *Journal of Plant Biochemistry*, 4(6), 123–135. [https://doi.org/10.1016/S1360-1385\(99\)01411-9](https://doi.org/10.1016/S1360-1385(99)01411-9)
- Flores, H. E., Vivanco, J. M., & Loyola-Vargas, V. M. (1999b). Radicle biochemistry: The biology of root-specific metabolism. *Journal of Plant Biochemistry* 4(6), 123–135. [https://doi.org/10.1016/S1360-1385\(99\)01411-9](https://doi.org/10.1016/S1360-1385(99)01411-9)
- Foster, T. J. (2002). *Staphylococcus aureus*. *FEMS Microbiology Letters*, 39, 839–888 <https://doi.org/10.1016/B978-012677530-3/50258-0>
- Fruergaard, S., Lund, M. B., Schramm, A., Vosegaard, T., & Bilde, T. (2021). The myth of antibiotic spider silk. *iScience*, 24(10), 103125. <https://doi.org/10.1016/j.isci.2021.103125>
- Füzfai, Z., Boldizsár, I., & Molnár-Perl, I. (2008). *Characteristic fragmentation patterns of the trimethylsilyl and trimethylsilyl-oxime derivatives of various saccharides as obtained by gas chromatography coupled to ion-trap mass spectrometry*. *Journal of Chromatography A*, 1177(1), 183–189. <https://doi.org/10.1016/j.chroma.2007.11.023>
- Galviz-Quezada, A., Ochoa-Aristizábal, A. M., Arias Zabala, M. E., Ochoa, S., & Osorio-Tobón, J. F. (2021a). Obtaining phenolic compounds from iraca waste (*Carludovica palmata Ruiz & Pav*) through ultrasound-assisted extraction. *Biomass Conversion and Biorefinery*, 12(1), 4965–4976. <https://doi.org/10.1007/s13399-021-01490-1>
- Galviz-Quezada, A., Ochoa-Aristizábal, A. M., Arias Zabala, M. E., Ochoa, S., & Osorio-Tobón, J. F. (2021b). Obtaining phenolic compounds from iraca waste (*Carludovica palmata Ruiz &*

- Pav*) through ultrasound-assisted extraction. *Biomass Conversion and Biorefinery*, 12(1), 4965–4976. <https://doi.org/10.1007/s13399-021-01490-1>
- Garcés Rodríguez, V., Torres Villa, A. C., Villanueva García, R. A., & Yopez Acosta, M. J. (2020). Diseño de un modelo de negocio para los artesanos de palma de iraca de Colosó [Tesis de pregrado, Universidad del norte]. <https://manglar.uninorte.edu.co/handle/10584/9364>
- Geng, Z. H., Cai, M. Y., & Zhou, P. H. (2021). Effects of L-arabinose on intestinal microecology and its clinical application. *Chinese Journal of Clinical Medicine*, 28(6), 1069–1073. <https://doi.org/10.12025/j.issn.1008-6358.2021.20202183>
- Ghayth, G. M. (2021). Application of GC in the analysis of carbohydrates. *Academic Journal of Research and Scientific Publishing*, 2, 5–8. <https://www.ajrsp.com/en/Archive/issue-23/Application%20of%20GC%20in%20the%20Analysis%20of%20Carbohydrates.pdf>
- Ghazi-Yaker, A., Kraak, B., Houbraken, J., Nabti, E. H., Cruz, C., Saadoun, N., & Houali, K. (2024). *In vitro* antioxidant and antibacterial activities of ethyl acetate extracts of *Ziziphus lotus* leaves and five associated endophytic fungi. *Microorganisms*, 12(12), 2671. <https://doi.org/10.3390/microorganisms12122671>
- Girish, H. V., & Satish, S. (2008). Antibacterial activity of important medicinal plants on human pathogenic bacteria a comparative analysis. *World Applied Sciences Journal*, 5(3), 267–271. <https://citeseerx.ist.psu.edu/document?repid=rep1&type=pdf&doi=c7d7538a2e23cfa5e2c1c8225e84db36517b36a4>
- Gobernación del Huila. (2022, julio 11). Apoyadas por la Gobernación del Huila, mujeres rurales establecieron primer cultivo de iraca del departamento. Gobernación del Huila. <https://www.huila.gov.co>

- González, C. (2010). Mecanismos de resistencia a antibióticos β -lactámicos en *Staphylococcus aureus*: Mechanisms of resistance to β -lactam antibiotics in *Staphylococcus aureus*. *Kasmera*, 38(1) 18-35 http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0075-52222010000100003&lng=es&tlng=es
- Gonzalez Pedraza, J., Pereira Sanandres, N., Soto Varela, Z., Hernández Aguirre, E., & Villarreal Camacho, J. (2014). Microbiological isolation of *Salmonella* spp. and molecular tools for detection. *Revista de Microbiología*, 30(1), 73–94. http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S012055522014000100009&lng=en&tlng=es
- Grossert, J. S., Fancy, P. D., & White, R. L. (2011). Fragmentation pathways of negative ions produced by electrospray ionization of acyclic dicarboxylic acids and derivatives. *Journal of the American Society for Mass Spectrometry*, 22(11), 1878–1888. [10.1139/v05-214](https://doi.org/10.1139/v05-214)
- Gurbuzer, A. (2021). Investigation of in vitro antimicrobial activities of some hydroxybenzoic and hydroxycinnamic acids commonly found in medicinal and aromatic plants. *International Journal of Plant Based Pharmaceuticals*, 1(1), 42–47. <https://doi.org/10.62313/ijpbbp.2021.3>
- Gutiérrez, L. A. (2015, March 11). Porcentajes de resistencia de patógenos seleccionados. Pan American Health Organization. <https://www.paho.org/es/noticias/10-7-2024-oms-actualiza-lista-patogenos-resistentes>
- Harling, G. (1958). Monograph of the Cyclanthaceae. *Acta Horti Bergiani*, 18, 1–318. https://books.google.com.co/books/about/Monograph_of_the_Cyclanthaceae.html?id=gaAL05c39KwC&redir_esc=y

- Harling, G., & Sapparre, B. (1973). Flora of Ecuador, Cyclantaceae. *Opera Botanica Ser. B, 1*, 1–48. <https://books.google.com.co/books?id=fcYgAQAAMAAJ>
- Harvey, D. J. (2020). Mass spectrometric fragmentation of trimethylsilyl and related alkylsilyl derivatives. *Mass Spectrometry Reviews*, 39(1–2), 105–211. <https://doi.org/10.1002/mas.21590>
- Hazan, R., Levine, A., & Abeliovich, H. (2004). Benzoic acid, a weak organic acid food preservative, exerts specific effects on intracellular membrane trafficking pathways in *Saccharomyces cerevisiae*. *Applied and Environmental Microbiology*, 70(8), 4449–4457. [10.1128/AEM.70.8.4449-4457.2004](https://doi.org/10.1128/AEM.70.8.4449-4457.2004)
- Hernandez-Pastor, L., Geurtsen, J., Baugh, B., El Khoury, A. C., Kalu, N., Krishnarajah, G., Bungay, R., Cloutier, M., & Saade, E. (2023). Economic burden of invasive *Escherichia coli* disease among older adult patients treated in hospitals in the United States. *Journal of Managed Care & Specialty Pharmacy*, 29(8). <https://doi.org/10.18553/jmcp.2023.29.8.873>
- Holmer, R., Rutten, L., Kohlen, W., & van Velzen, R. (2017). Commonalities in symbiotic plant-microbe signalling. In *Advances in Botanical Research*, 82, 187–221 <https://doi.org/10.1016/bs.abr.2016.11.003>
- Howe, R. A., & Brown, N. M. (1996). The new threats of Gram positive pathogens: re-emergence of things past. *Clinical Pathology*, 49(6), 444–449. <https://doi.org/10.1136/jcp.49.6.444>
- Hu, L., Robert, C. A. M., Cadot, S., Zhang, X., Ye, M., Li, B., Manzo, D., Chervet, N., Steinger, T., Van der Heijden, M. G. A., Schlaeppli, K., & Erb, M. (2018). Root exudate metabolites drive plant-soil feedback on growth and defense by shaping the rhizosphere microbiota. *Nature Communications*, 9(1). <https://doi.org/10.1038/s41467-018-05122-7>

- Hudzicki, J. (2009). Kirby-Bauer disk diffusion susceptibility test protocol. <https://asm.org/getattachment/2594ce26-bd44-47f6-8287-0657aa9185ad/kirby-bauer-disk-diffusion-susceptibility-test-protocol-pdf.pdf>
- Iglesias, L. (1999). El cultivo de la palma de iraca en el municipio de Usiacuri - Atlántico. Ministerio de desarrollo económico. <https://repositorio.artesaniadescolombia.com.co/bitstream/001/4630/1/INST-D%201987.%208.pdf>
- Jaime, A., Bustos-Martínez, A., & Hamdan-Partida, A. (2006). *Staphylococcus aureus*: La reemergencia de un patógeno en la comunidad. *Medigraphic Artemeni Lsínaea*, 17, 287–305. <https://www.medigraphic.com/cgi-bin/new/resumen.cgi?IDARTICULO=13870>
- Jensen, A. N., & Hoorfar, J. (2000). Immediate differentiation of *Salmonella*-resembling colonies on brilliant green agar. *Journal of Rapid Methods and Automation in Microbiology*, 8(3), 219–225. <https://doi.org/10.1111/j.1745-4581.2000.tb00219.x>
- Jia, M., Chen, L., Xin, H. L., Zheng, C. J., Rahman, K., Han, T., & Qin, L. P. (2016). A friendly relationship between endophytic fungi and medicinal plants: A systematic review. *Frontiers in Microbiology*, 7, 906. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2016.00906>
- Jiménez, G. S., Ducoing, H. P., & Sosa, M. R. (2003). La participación de los metabolitos secundarios en la defensa de las plantas. *Revista Mexicana de Fitopatología*, 21(3), 355–363. <https://www.redalyc.org/pdf/612/61221317.pdf>
- John, J. F., Jr. (2004). Staphylococcal infection: Emerging clinical syndromes. <https://doi.org/10.12688/f1000research.17718.1>
- Kachroo, A., & Kachroo, P. (2009). Fatty acid-derived signals in plant defense. *Annual Review of Phytopathology*, 47(1), 153–176 <https://doi.org/10.1146/annurev-phyto-080508-081820>

- Karunathilaka, R. D. N., Silva, A., Pathirana, R., Ratnasooriya, W. D., & Ranaweera, C. (2016). *In vitro* antibacterial activity of hexane, chloroform and methanolic extracts of different parts of *Acronychia pedunculata* grown in Sri Lanka. *International Journal of Advanced Research*, 4(8), 1574–1579. <https://doi.org/10.21474/IJAR01/1364>
- Kasarci, G., Ertugrul, B., Iplik, E. S., & Cakmakoglu, B. (2021). The apoptotic efficacy of succinic acid on renal cancer cell lines. *Medical Oncology*, 38(12), 144. <https://doi.org/10.1007/s12032-021-01577-9>
- Kebede, G. T., & Negero, Z. A. (2021). Phytochemical investigation and assessment of antibacterial activities of *Calpurnia Aurea* root bark. *Natural products chemistry & research*, 9(8), 1–6.
- Knodler, L. A., & Elfenbein, J. R. (2019). *Salmonella Enterica*. *Trends in Microbiology*, 27(11), 964–965. <https://doi.org/10.1016/j.tim.2019.05.002>
- Koprivova, A., & Kopriva, S. (2022). Plant secondary metabolites altering root microbiome composition and function. *Current opinion in plant biology*, 67, 102227. <https://doi.org/10.1016/j.pbi.2022.102227>
- Kozikowski, A. P., Tückmantel, W., Böttcher, G., & Romanczyk, L. J. (2003). Studies in polyphenol chemistry and bioactivity. 4. Synthesis of trimeric, tetrameric, pentameric, and higher oligomeric epicatechin-derived procyanidins having all-4 β ,8-interflavan connectivity and their inhibition of cancer cell growth through cell cycle arrest. *Journal of Organic Chemistry*, 68(5), 1641–1658. <https://doi.org/10.1021/jo020393f>
- Krakowska-Sieprawska, A., Kielbasa, A., Rafińska, K., Ligor, M., & Buszewski, B. (2022). Modern methods of pre-treatment of plant material for the extraction of bioactive compounds. *Molecules*, 27(3), 730. <https://doi.org/10.3390/molecules27030730>

- Kumar, S., & Pandey, A. K. (2013). Chemistry and biological activities of flavonoids: An overview. In *The Scientific World Journal* (Vol. 2013). ScientificWorld Ltd. <https://doi.org/10.1155/2013/162750>
- Kutchan, T. M. (2005). A role for intra- and intercellular translocation in natural product biosynthesis. *Current Opinion in Plant Biology*, 8(3), 292–300. <https://doi.org/10.1016/j.pbi.2005.03.009>
- Li, X., Wang, X., Chen, D., & Chen, S. (2011). A new definition of functional food by FFC: what makes a new definition unique. *Functional Foods in Health and Disease* (Vol. 1, Issue 7). <https://doi.org/10.31989/FFHD.V5I6.183>
- Lin, E. C. C. (1976). Glycerol dissimilation and its regulation in bacteria. *Annual Review of Microbiology*, 30, 535–578 <https://doi.org/10.1146/annurev.mi.30.100176.002535>
- Liu, K.-S., Tsao, S. M., & Yin, M. C. (2005). *In vitro* antibacterial activity of roselle calyx and protocatechuic acid. *Phytotherapy Research*, 19(11), 942–945. <https://doi.org/10.1002/ptr.1760>
- Loreto, F., Pollastri, S., Fineschi, S., & Velikova, V. (2014). Volatile isoprenoids and their importance for protection against environmental constraints in the Mediterranean area. *Environmental and Experimental Botany*, 103, 99–106. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2013.09.005>
- Mabasa, X. E., Mathomu, L. M., Madala, N. E., Musie, E. M., & Sigidi, M. T. (2021). Molecular Spectroscopic (FTIR and UV-Vis) and Hyphenated Chromatographic (UHPLC-qTOF-MS) Analysis and *In Vitro* Bioactivities of the *Momordica balsamina* Leaf Extract. *Biochemistry Research International*, 2021. <https://doi.org/10.1155/2021/2854217>

- Malathy, N. S., & Sini, S. (2009). Antimicrobial activities of *Ichnocarpus frutescens* (L.) R.Br. and *Hemidesmus indicus* R.Br. roots. *Ancient science of life*, 28(4), 13–15.
- Marcillo Carvajal, C. P., Murillo Zavala, A. M., Peñaherrera Ortiz, M. I., & PARRALES Pincay, I. G. (2019). Síndrome diarreico infeccioso causado por *Salmonella* spp. *Recimundo*, 3(3), 493–508. <https://doi.org/10.26820/recimundo/3.3.septiembre.2019.493-508>
- Martin, C. M., Priestap, F., Fisher, H., Fowler, R. A., Heyland, D. K., Keenan, S. P., Longo, C. J., Morrison, T., Bentley, D., & Antman, N. (2009). A prospective, observational registry of patients with severe sepsis: The canadian sepsis treatment and response registry. *Critical Care Medicine*, 37(1), 81–88. <https://doi.org/10.1097/CCM.0b013e31819285f0>
- Martín Gordo, D. A. (2018). Los compuestos fenólicos, un acercamiento a su biosíntesis, síntesis y actividad biológica. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*, 9(1), 81–104. <https://doi.org/10.22490/21456453.1968>
- Merino, I., Moreno, R. C., & Ruiz Garbajosa, P. (2018). Resistencia, virulencia y estructura poblacional de *Escherichia coli* uropatógeno. Universidad Complutense Madrid. <https://hdl.handle.net/20.500.14352/15569>
- Minchala Buestán Nube del Rocío. (2022). Multiplicación Masiva de Palma Iraca (*Carludovica palmata* Ruiz & Pav) Mediante un Sistema Inmersión Temporal Automatizado. [1169298.2022.pdf \(3.73 MB\)](#)
- Minchala-Buestán, N., Hoyos-Sánchez, R. A., & Correa-Londoño, G. A. (2023). Micropropagation of iraca palm (*Carludovica palmata* Ruiz y Pav) using a temporary immersion system. *In Vitro Cellular and Developmental Biology - Plant*, 59(5), 563–573. <https://doi.org/10.1007/s11627-023-10362-4>

- Moghimipour, E., & Handali, S. (2015). Saponin: Properties, Methods of Evaluation and Applications. *Annual Research & Review in Biology*, 5(3), 207–220. <https://doi.org/10.9734/arrb/2015/11674>
- Moldoveanu, S. (2014). The utilization of gas chromatography/mass spectrometry in the profiling of several antioxidants in botanicals. *Advances in chromatography*. InTech. doi: 10.5772/57292
- Moo-Huchin, V. M., Rolando Ríos-Soberanis, C., Manuel Cervantes-Uc, J., Pérez-Pacheco, E., Ríos-Soberanis, C. R., Bello-Pérez, L. A., Cervantes-Uc, J. M., Dzul-Cervantes, M. A., & Estrada-León, R. J. (2019). Extraction and characterization of natural cellulosic fiber from Jipijapa (*Carludovica palmata*). *Chiang Mai Journal of Science*, 46(3). <http://epg.science.cmu.ac.th/ejournal/>
- Muñoz, R., & Mauricio, A. (1999). Vista de Estudio preliminar para el manejo sostenible de *Carludovica palmata* R. y P. como materia prima en la producción de papel artesanal en Cabo Corrientes, Chocó, Colombia. *Edu.Co*, 21(71), 87–96. <https://doi.org/10.17533/udea.acbi.329737>
- Muñoz-Hoyos, L., & Stam, R. (2023). Metabolomics in plant pathogen defense: From single molecules to large-scale analysis. *Phytopathology*, 113(5), 760–770. <https://doi.org/10.1094/PHYTO-11-22-0415-FI>
- Nadar, S. S., Rao, P., & Rathod, V. K. (2018). Enzyme assisted extraction of biomolecules as an approach to novel extraction technology: A review. *Food Research International*, 108, 309–330. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2018.03.006>

- Nasri, H., Baradaran, A., Shirzad, H., & Rafieian-Kopaei, M. (2014). New concepts in nutraceuticals as alternative for pharmaceuticals. *International Journal of Preventive Medicine*, 5(12), 1487–1499.
- Nataro, J. P., & Kaper, J. B. (1998). Diarrheagenic *Escherichia coli*. *Clinical Microbiology Reviews*, 11(1), 1487–1499. <https://doi.org/10.1128/CMR.11.1.142>
- Nattagh-Eshtivani, E., Barghchi, H., Pahlavani, N., Barati, M., & Amiri, Y., (2022). Biological and pharmacological effects and nutritional impact of phytosterols: A comprehensive review. *Phytotherapy Research*, 36(1), 299–322 <https://doi.org/10.1002/ptr.7312>
- Nereyda, E., & Saucedo, R. (2011). Uso de agentes antimicrobianos en la conservación de frutas y hortalizas. *Ra Ximhai*, 7(1), 153–170. <https://www.redalyc.org/pdf/461/46116742014.pdf>
- Ngamkhae, N., Monthakantirat, O., Chulikhit, Y., Boonyarat, C., Maneenet, J., Khamphukdee, C., Kwankhao, P., Pitiporn, S., & Daodee, S. (2022). Optimization of extraction method for *Kleeb Bua Daeng* formula and comparison between ultrasound-assisted and microwave-assisted extraction. *Journal of Applied Research on Medicinal and Aromatic Plants*, 28. <https://doi.org/10.1016/j.jarmap.2022.100369>
- Nyalo, P. O., Omwenga, G. I., & Ngugi, M. P. (2023). Antibacterial properties and GC-MS analysis of ethyl acetate extracts of *Xerophyta spekei* (Baker) and *Grewia tembensis* (Fresen). *Heliyon*, 9(3). <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e14461>
- Ogundare, A. O., Adetuyi, F. C., & Akinyosoye, F. A. (2006). Antimicrobial activities of *Vernonia tenoreana*. *African Journal of Biotechnology*, 5(18), 1663–1668. <http://www.academicjournals.org/AJB>

- Okahashi, N., Kawana, S., Iida, J., Shimizu, H., & Matsuda, F. (2019). Fragmentation of dicarboxylic and tricarboxylic acids in the Krebs cycle using GC-EI-MS and GC-EI-MS/MS. *Mass Spectrometry*, 8(1), A0073–A0073. <https://doi.org/10.5702/massspectrometry.a0073>
- Oliveros-Bastidas, J., Macías, F. A., Carrera Fernández, C., Marín, D., & Molinillo, J. M. G. (2009). Exudados de la raíz y su relevancia actual en las interacciones alelopáticas. *Química Nova*, 32(1), 198–213. <https://doi.org/10.1590/S0100-40422009000100035>
- Opitz, J. (2007). Electron-impact ionization of benzoic acid, nicotinic acid and their n-butyl esters: An approach to regioselective proton affinities derived from ionization and appearance energy data. *International Journal of Mass Spectrometry*, 265(1), 1–14. <https://doi.org/10.1016/j.ijms.2007.04.014>
- OMS. (2025). Resistencia a los antimicrobianos. Organización Mundial de la Salud. <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/antimicrobial-resistance>
- Opitz, J. (2007). Electron-impact ionization of benzoic acid, nicotinic acid and their n-butyl esters: An approach to regioselective proton affinities derived from ionization and appearance energy data. *International Journal of Mass Spectrometry*, 265(1), 1–14. <https://doi.org/10.1016/j.ijms.2007.04.014>
- Ossa Cardona, C. C., Cortes Rodríguez, M., & Hoyos Sánchez, R. A. (2023). Optimización de una formulación de antioxidantes, con la técnica de impregnación al vacío, para mejorar el color de los palmitos de iraca. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*, 14(1). <https://doi.org/10.22490/21456453.6014>
- Otto, M. (2012). MRSA virulence and spread. *Cellular Microbiology*, 14(10), 1513–1521. <https://doi.org/10.1111/j.1462-5822.2012.01832.x>

- Panche, A. N., Diwan, A. D., & Chandra, S. R. (2016). Flavonoids: An overview. In *Journal of Nutritional Science* (Vol. 5). Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/jns.2016.41>
- Pandey, B., Ghimire, P., & Agrawal, V. P. (2004). Studies on the antibacterial activity of the actinomycetes isolated from the *Khumbu region* of Nepal. *J Biol. Sci.*, 23: 44.
- Pang, Z., Chen, J., Wang, T., Gao, C., Li, Z., Guo, L., Xu, J., & Cheng, Y. (2021). Linking plant secondary metabolites and plant microbiomes: A review. *Frontiers in Plant Science*, 12. <https://doi.org/10.3389/fpls.2021.621276>
- Paredes, D., Ortiz, C., & Torres, R. (2014). Synthesis, characterization, and evaluation of antibacterial effect of Ag nanoparticles against *Escherichia coli* O157:H7 and methicillin-resistant *Staphylococcus aureus* (MRSA). *International Journal of Nanomedicine*, 9(1), 1717–1729. <https://doi.org/10.2147/IJN.S57156>
- Pettersson, G. (1969). Mass spectrometry of alditols as trimethylsilyl derivatives. *Tetrahedron*, 25(18), 4437–4443. [https://doi.org/10.1016/S0040-4020\(01\)82985-9](https://doi.org/10.1016/S0040-4020(01)82985-9)
- Petkova, N., Petrova, A., Ivanov, I., Hambarlyiska, I., Tumbarski, Y., Dincheva, I., Ognyanov, M., & Denev, P. (2023). Chemical composition of different extracts from *Echinacea purpurea*. *ChemEngineering* 2023, 7(5), 94; <https://doi.org/10.3390/chemengineering7050094>
- Petrovska, B. B. (2012). Historical review of medicinal plants' usage. *Pharmacognosy Reviews*, 6(11), 1–5. <https://doi.org/10.4103/0973-7847.95849>
- Piechowiak, T., & Balawejder, M. (2025). Succinic acid treatment enhances energy metabolism and antioxidant biosynthesis in radish sprouts. *Journal of Biotechnology*, 404, 144–151.

- Pinton R, Varanini Z, & Nannipieri P. (2007). The Rhizosphere Biochemistry and Organic Substances at the Soil-Plant Interface (second). *Annals of Botany*, 104(4), ix–x. <https://doi.org/10.1093/aob/mcp166>
- Plug, I. J., Holcomb, R. G., & Gómez, M. M. (2000). Principles of the thermal destruction of microorganisms. In S. S. Block (Ed.), *Disinfection, sterilization, and preservation* (5th ed., pp. 97–100).
- Proestos, C., & Komaitis, M. (2013). Analysis of naturally occurring phenolic compounds in aromatic plants by RP-HPLC coupled to diode array detector (DAD) and GC-MS after silylation. *Foods*, 2(1), 90–99. <https://doi.org/10.3390/foods2010090>
- Puig-Peña, Y., Leyva-Castillo, V., Tejedor-Arias, R., & Illnait-Zaragozí, T. (2020). Antimicrobial Resistance in Bacteria Isolated from Foods in Cuba. In *MEDICC Review* (Vol. 22, Issue 3). <https://doi.org/10.37757/MR2020.V22.N3.9>
- Radhika, P., & Lakshmi, K. R. (2010). Antimicrobial activity of the chloroform extracts of the root and the stem of *Andrographis paniculata* Nees. *International Research Journal of Microbiology*, 1(2), <http://www.interestjournals.org/IRJM>
- Ramírez-Chávez, E., Lucas-Valdez, L., Gil, V.-C., & Molina-Torres, J. (2000). Actividad fungicida de la afinina y del extracto crudo de raíces de *Heliopsis longipes* en dos especies de *Sclerotium*. *Agrociencia*, 34(2), 207–215. <https://www.redalyc.org/pdf/302/30234210.pdf>
- Ramya, B., Priya, V. S., & Ranjani, S. (2022). Identification and isolation of bioactive components using GC-MS, UV visible, FTIR, HPLC, HPTLC and antioxidant activity present in ethanolic extract of Indian spices mixture. *International Journal of Pharmaceutical Sciences and Research*, 13(11), 4641. [https://doi.org/10.13040/IJPSR.0975-8232.13\(11\).4641-55](https://doi.org/10.13040/IJPSR.0975-8232.13(11).4641-55)

- Ren-You Gan, Chak-Lun Chan, Qiong-Qiong Yang, & Hua-Bin Li. (2019). Bioactive compounds and beneficial functions of sprouted grains. *Sprouted Grains*, 191–246. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-811525-1.00009-9>
- Rípodas Navarro, A., Fernández Moreira, D., & Macho Martínez, M. (2017). Investigación de *Escherichia coli* productor de toxinas Shiga (STEC) en carnes y derivados cárnicos. *Sanidad Militar*, 73(3), 147–152 <https://doi.org/10.4321/S1887-85712017000300002>
- Rodas, I. (2004). Identificación de familias de metabolitos secundarios en *Myrica cerifera*. Universidad de San Carlos de Guatemala <https://biblioteca-farmacia.usac.edu.gt/Tesis/QB767.pdf>
- Rontani, J. F., & Aubert, C. (2008). Hydrogen and trimethylsilyl transfers during EI mass spectral fragmentation of hydroxycarboxylic and oxocarboxylic acid trimethylsilyl derivatives. *Journal of the American Society for Mass Spectrometry*, 19(1), 66–75. <https://doi.org/10.1016/j.jasms.2007.10.014>
- Ruiz & Pav. (2023). *Carludovica palmata.*, Biodiversidad.co. Retrieved. In <https://catalogo.biodiversidad.co/file/56d896f63c16479905cba967/summary>
- Saegeman, V. S. M., Ectors, N. L., Lismont, D., Verduyckt, B., & Verhaegen, J. (2008). Short- and long-term bacterial inhibiting effect of high concentrations of glycerol used in the preservation of skin allografts. *Burns*, 34(2), 205–211. <https://doi.org/10.1016/j.burns.2007.02.009>
- Sahreen, S., Khan, M. R., Khan, R. A., & Hadda, T. Ben. (2015). Evaluation of phytochemical content, antimicrobial, cytotoxic and antitumor activities of extract from *Rumex hastatus* D. Don roots. *BMC Complementary and Alternative Medicine*, 15(1). <https://doi.org/10.1186/s12906-015-0736-y>

- Salsinha Ana, Socodato Renato, Relvas João, & Pintado Manuela. (2023). Chapter 3 - The pro- and antiinflammatory activity of fatty acids. *Academic Press*, 51–75 [10.1016/B978-0-12-824043-4.00002-6](https://doi.org/10.1016/B978-0-12-824043-4.00002-6)
- Sasidharan, S., Chen, Y., Saravanan, D., Sundram, K. M., & Latha, L. Y. (2011). Extraction, isolation and characterization of bioactive compounds from plant extracts. *African Journal of Traditional, Complementary and Alternative Medicines*, 8(1). <https://doi.org/10.1625/jcam.8.1>
- Schoots, A. C., & Leclercq, P. A. (1979). Chemical ionization mass spectrometry of trimethylsilylated carbohydrates and organic acids retained in uremic serum. *Biological Mass Spectrometry*, 6(11), 502–507. <https://doi.org/10.1002/bms.1200061109>
- Schrader, J., & Bohlmann, J. (2015). Biosynthesis and biological functions of terpenoids in plants. *Advances in Biochemical Engineering/Biotechnology*, 148, 63–106. https://doi.org/10.1007/10_2014_295
- Sepúlveda-Jiménez, P., Ducoing, P., & Sosa, R. (2003). La participación de los metabolitos secundarios en la defensa de las plantas. *Revista Mexicana de Fitopatología*, 21(3), 355–363. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=61221317>
- Shahidi, F., & Ambigaipalan, P. (2015). Phenolics and polyphenolics in foods, beverages and spices: Antioxidant activity and health effects - A review. In *Journal of Functional Foods* (Vol. 18, pp. 820–897). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2015.06.018>
- Silva, R. A. C. da, Lemos, T. L. G. de, Ferreira, D. A., & Monte, F. J. Q. (2016). *Ximenia americana*: Estudios químicos y espectrales de extractos de semillas. Análisis de derivados trimetilsilílicos mediante cromatografía de gases y espectrometría de masas. *Scientific Research*, 7(2)

- Silvério, F. O., Barbosa, L. C. A., Silvestre, A. J. D., Piló-Veloso, D., & Gomide, J. L. (2007). Comparative study on the chemical composition of lipophilic fractions from three wood tissues of *Eucalyptus* species by gas chromatography-mass spectrometry analysis. *Journal of Wood Science*, 53, 533–540 <https://doi.org/10.1007/s10086-007-0901-0>
- Singh, P., Ranjan, R., Tripathi, R., Dixit, J., & Sinha, N., (2023). GC-MS and NMR spectroscopy-based metabolite profiling of *Panchvalkal kwath* (polyherbal formulation). *Natural Product Research*, 37(7), 1221–1226. <https://doi.org/10.1080/14786419.2021.1990919>
- Skoog, D. A., West, D. M., Holler, F., & Crouch, S. R. (2015). Fundamentos de química analítica. *Cengage Learning, 9a.ed.*
- Soetan, O. A., Ajao, F. O., & Ajayi, A. F. (2023). Blood glucose lowering and antioxidant potential of erythritol: An in vitro and in vivo study. *Journal of Diabetes and Metabolic Disorders*, 22(2), 1217–1229. <https://doi.org/10.1007/s40200-023-01237-x>
- Solano, P. (1997). La Iraca: comunidad artesanal de Sandoná. *Artesanías de Colombia, Ministerio de Desarrollo Económico* <https://babel.banrepcultural.org/digital/collection/p17054coll10/id/3725-/>
- Solis Gozar, D. D. (2023). Análisis metabolómico mediante la técnica del molecular networking y estudio de la actividad antimicrobiana de los extractos de raíces de *Renealmia thyrsoides* y *Hedychium coronarium* (Tesis de pregrado). Universidad Nacional Mayor de San Marcos.
- Thorrens Ripoll, A., & González Doria, J. (2021). La artesanía en Palma de Iraca: un activo cultural para el desarrollo sostenible del municipio de Usiacurí (Atlántico). *Universidad tecnológica de Bolívar*. https://utb.alma.exlibrisgroup.com/discovery/delivery/57UTB_INST:57UTB_INST/1224536870005731

- Tong, S. Y. C., Davis, J. S., Eichenberger, E., Holland, T. L., & Fowler, V. G. (2015). *Staphylococcus aureus* infections: Epidemiology, pathophysiology, clinical manifestations, and management. *Clinical Microbiology Reviews* 28(3), 603–661. <https://doi.org/10.1128/CMR.00134-14>
- Tobin, E. H., & Zahra, F. (2025). Infecciones nosocomiales. *StatPearls Publishing*. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK559312/>
- Tuberquia, D. (2019). La belleza y la simplicidad de una planta tropical cuyos productos trascienden los tiempos acompañando el desarrollo económico de la región: La Iraca, un emblema de la etnobotánica tropical. Fundación Conservando Medio Ambiente y Cultura. <https://www.fundacionconservando.org/iraca>
- Uysal, S., Zengin, G., Sinan, K. I., Ak, G., Ceylan, R., Mahomoodally, M. F., Uysal, A., Sadeer, N. B., Jekó, J., Cziáky, Z., Rodrigues, M. J., Yıldız tugay, E., Elbasan, F., Custodio, L., & Uysal, S. (2021). Chemical characterization, cytotoxic, antioxidant, antimicrobial, and enzyme inhibitory effects of different extracts from one sage (*Salvia ceratophylla* L.) from Turkey: Open a new window on industrial purposes. *RSC Advances*, 11(10), 5295–5310. <https://doi.org/10.1039/d0ra10044g>
- Valiei, M. (2011). Chemical composition and antimicrobial activity of the flower and root hexane extracts of *Althaea officinalis* in Northwest Iran. *Journal of Medicinal Plants Research*, 5(32). <https://doi.org/10.5897/jmpr11.963>
- Vallejo, Armendáriz Brugos, C., & Luquin Irigoyen, M. (2024). Contribución del laboratorio clínico al diagnóstico del síndrome urémico hemolítico. *Revista de Medicina de Laboratorio*. <https://doi.org/10.20960/revmedlab.00233>

- Van Chen, T., Truong, M. N., Quynh, T. T. T., Nhi, N. T. T., & Linh, N. H. K. (2024). GC-MS analysis and cytotoxic activity of the *n*-hexane fraction from *Curcuma sahuynhensis* Škorničk. & N. S. Lý leaves collected in Vietnam. *Plant Science Today*, *11*(1), 308–315. <https://doi.org/10.14719/pst.2881>
- Valiei Mahdi, Shafaghat Ali, Salimi Farshid (2011). Chemical composition and antimicrobial activity of the flower and root hexane extracts of *Althaea officinalis* in Northwest Iran. *Academic journals*, *5*(32),6972-6976. <https://doi.org/10.5897/JMPR11.963>
- Vila, J., Sáez-López, E., Johnson, J. R., Römling, U., Dobrindt, U., Cantón, R., Giske, C. G., Naas, T., Carattoli, A., Martínez-Medina, M., Bosch, J., Retamar, P., Rodríguez-Banõ, J., Baquero, F., & Soto, S. M. (2016). *Escherichia coli*: An old friend with new tidings. *FEMS Microbiology Reviews*, *40*(4), 437–463. <https://doi.org/10.1093/femsre/fuw005>
- Vlase, L., Benedec, D., Hanganu, D., Damian, G., Csillag, I., Sevastre, B., Mot, A. C., Silaghi-Dumitrescu, R., & Tilea, I. (2014). Evaluation of antioxidant and antimicrobial activities and phenolic profile for *Hyssopus officinalis*, *Ocimum basilicum* and *Teucrium chamaedrys*. *Molecules*, *19*(5), 5490–5507. <https://doi.org/10.3390/molecules19055490>
- Wakeel, A., Jan, S. A., Ullah, I., Shinwari, Z. K., & Xu, M. (2019). Solvent polarity mediates phytochemical yield and antioxidant capacity of *Isatis tinctoria*. *PeerJ*, *2019*(10). <https://doi.org/10.7717/peerj.7857>
- Wang, M., Hu, X., Liu, L., Zhong, Y., Li, W., Zhang, Q., Xu, C., & Long, C. (2025a). Hexane extract from *Lindera communis* roots: Wound healing properties and membrane-disruptive activities against methicillin-resistant *Staphylococcus aureus*. *Frontiers in Pharmacology*, *16*. <https://doi.org/10.3389/fphar.2025.1528398>

- Wang, M., Hu, X., Liu, L., Zhong, Y., Li, W., Zhang, Q., Xu, C., & Long, C. (2025b). Hexane extract from *Lindera communis* roots: Wound healing properties and membrane-disruptive activities against methicillin-resistant *Staphylococcus aureus*. *Frontiers in Pharmacology*, 16. <https://doi.org/10.3389/fphar.2025.1528398>
- Wang, Y., & Qian, H. (2021). Phthalates and their impact on human health. *Healthcare (Switzerland)*, 9(5). <https://doi.org/10.3390/healthcare9050603>
- Wansi, J. D., Devkota, K. P., Tshikalange, E., & Kuete, V. (2013). Alkaloids from the Medicinal Plants of Africa. In *Medicinal Plant Research in Africa: Pharmacology and Chemistry* (pp. 557–605). Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-405927-6.00014-X>
- Wei, X., Long, L., You, L., Wang, M., Wang, D., Liu, C., Li, S., & Wang, J. (2023). Serotype distribution, trend of multidrug resistance and prevalence of β -lactamase resistance genes in human *Salmonella* isolates from clinical specimens in Guizhou, China. *PLoS ONE*, 18(4). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0282254>
- Wink, M. (2003). Evolution of secondary metabolites from an ecological and molecular phylogenetic perspective. In *Phytochemistry* (Vol. 64, Issue 1, pp. 3–19). Elsevier. [https://doi.org/10.1016/S0031-9422\(03\)00300](https://doi.org/10.1016/S0031-9422(03)00300)
- Winkel-Shirley, B. (2001). Flavonoid biosynthesis. A colorful model for genetics, biochemistry, cell biology, and biotechnology. In *Plant Physiology*. 126(2), 485–493. American Society of Plant Biologists. <https://doi.org/10.1104/pp.126.2.485>
- World Health Organization. (2021). Global antimicrobial resistance and use surveillance system (GLASS) report: 2021. <https://www.who.int/publications/i/item/9789240027336>

World Health Organization. (2014). *Antimicrobial resistance: Global report on surveillance*.

<https://www.who.int/publications/i/item/9789241564748>

Yang, X., Yang, S., Liu, S., Liu, S., Zhang, J., Guo, W., Wang, J., Song, Z., Xue, L., Chen, M.,

Wu, S., Wei, X., & Wu, Q. (2023). Characterization of quinolone resistance in *Salmonella enterica* serovar Typhimurium and its monophasic variants from food and patients in China.

Journal of Global Antimicrobial Resistance, 35, 216–222.

<https://doi.org/10.1016/j.jgar.2023.09.010>

Yim, H. S., Chye, F. Y., Rao, V., Low, J. Y., Matanjun, P., How, S. E., & Ho, C. W. (2013).

Optimization of extraction time and temperature on antioxidant activity of *Schizophyllum commune* aqueous extract using response surface methodology. *Journal of Food Science and Technology*, 50(2), 275–283.

<https://doi.org/10.1007/s13197-011-0349-5>

Yinon, J. (1988). Mass spectral fragmentation pathways in phthalate esters: A tandem mass

spectrometric collision-induced dissociation study (Vol.

23). <https://doi.org/10.1002/oms.1210231104>

Yuan, K., Kang, H., Yue, Z., Yang, L., Lin, L., Wang, X., & Luan, T. (2015). Determination of 13

endocrine disrupting chemicals in sediments by gas chromatography-mass spectrometry using subcritical water extraction coupled with dispersed liquid-liquid microextraction and

derivatization. *Analytica Chimica Acta*, 866, 41–47.

<https://doi.org/10.1016/j.aca.2015.02.011>

Zandavar, H., & Afshari Babazad, M. (2023). Metabolitos secundarios: alcaloides y flavonoides

en plantas medicinales. *IntechOp*. 10.5772/intechopen.108030

Zapata, L. (2021). Aprovechamiento sostenible de la palma de Iraca y otros maderables utilizados

para la elaboración de artesanías como alternativa económica para la conservación del Bosque

Seco Tropical en los municipios de Colosó (Sucre) y San Juan Nepomuceno (Bolívar).
Atesanas de Colombia.

Zeece Michael. (2020). *Introduction to the Chemistry of Food*. <https://doi.org/10.1016/C2015-0-04257-5>

Zha, L., Garrett, S., & Sun, J. (2019). Salmonella Infection in Chronic Inflammation and Gastrointestinal Cancer. *Diseases*, 7(1), 28. <https://doi.org/10.3390/diseases7010028>

Zhang, Q. W., Lin, L. G., & Ye, W. C. (2018). Techniques for extraction and isolation of natural products: A comprehensive review. *Chinese Medicine (United Kingdom)*, 13(1). <https://doi.org/10.1186/s13020-018-0177-x>

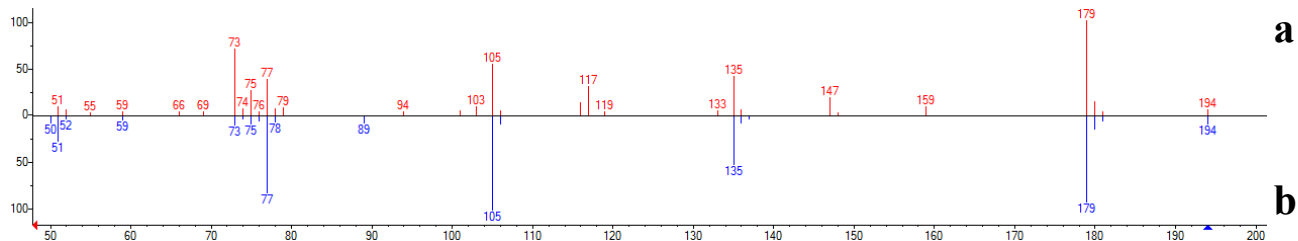
ZHANG, X. (2010). Regulatory Situation of Herbal Medicines A Worldwide Review <https://www.who.int/publications/i/item/WHO-TRM-98.1>

Zhong, Y., Xun, W., & Wang, X. (2022). Root-secreted bitter triterpene modulates the rhizosphere microbiota to improve plant fitness. *Nature Plants*, 8, 887–896. <https://doi.org/10.1038/s41477-022-01201-2>

Zhou, X., Zeng, M., Huang, F., Qin, G., Song, Z., & Liu, F. (2023). The potential role of plant secondary metabolites on antifungal and immunomodulatory effect. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 107(14), 4471–4492. <https://doi.org/10.1007/s00253-023-12601-5>

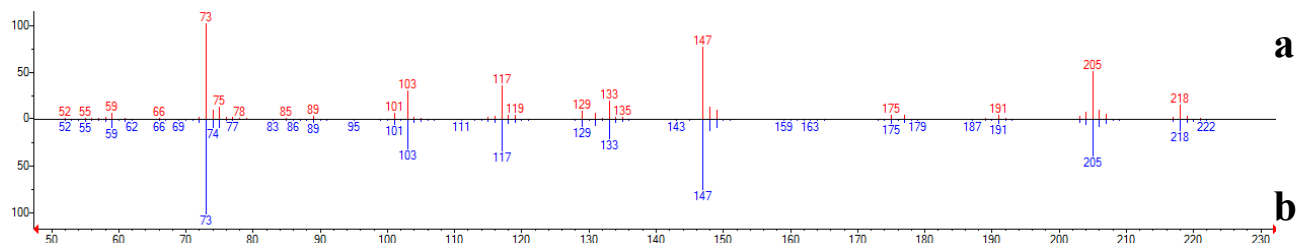
Anexos

Anexo 1. Espectro de masas experimental y reportado del compuesto ácido benzoico



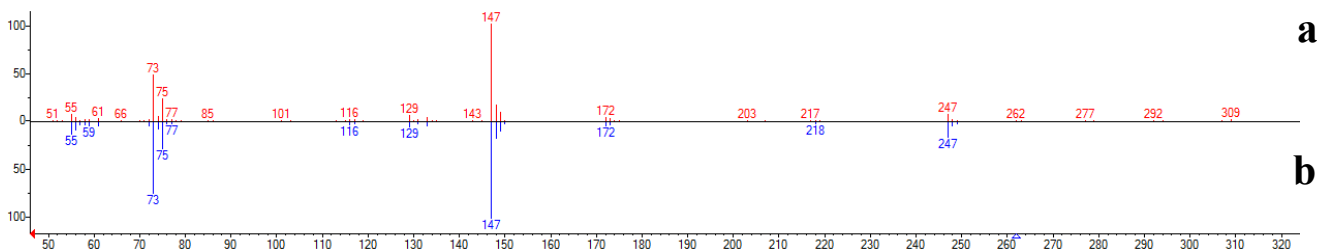
Nota: a). Espectro de masas experimental del compuesto ácido benzoico TMS b). Espectro de masas reportado en NIST.

Anexo 2. Espectro de masas experimental y reportado del glicerol

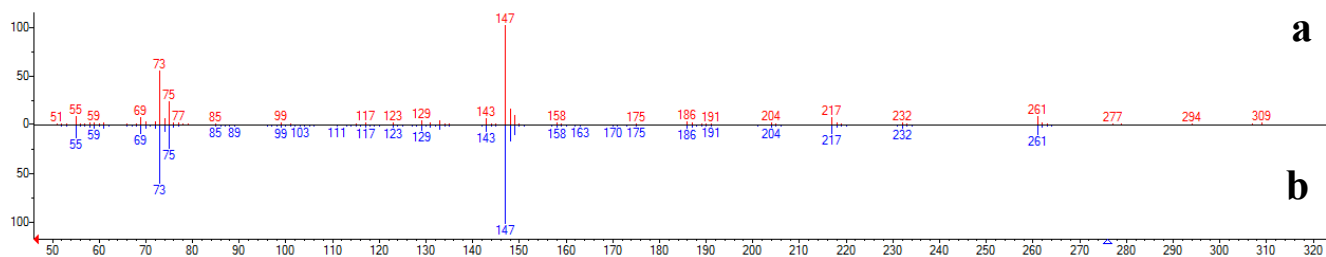


Nota: a). Espectro de masas experimental del compuesto glicerol, 3 TMS b). Espectro de masas reportado en NIST.

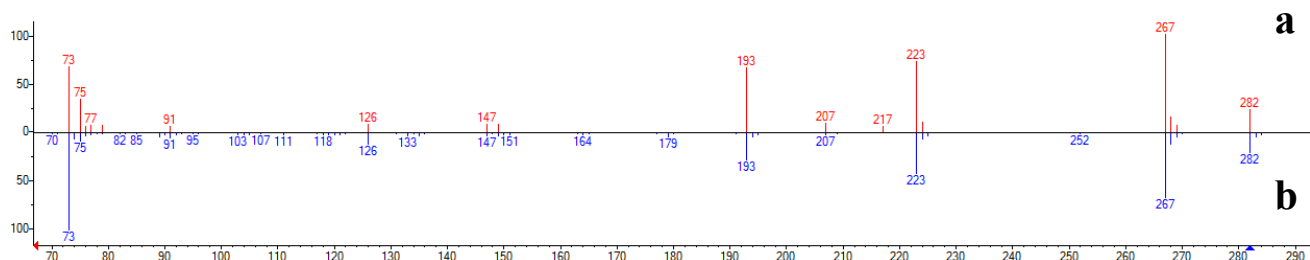
Anexo 3. Espectro de masas experimental y reportado del ácido butanodioico



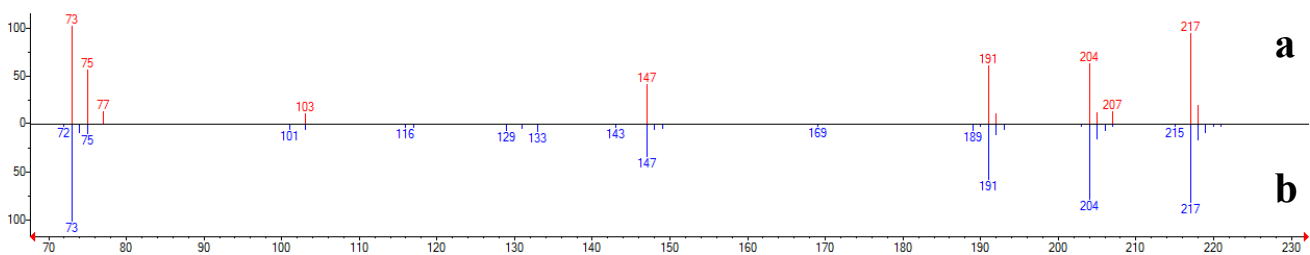
Nota: a). Espectro de masas experimental del compuesto ácido butanodioico, 2 TMS. b). Espectro de masas reportado en NIST.

Anexo 4. *Espectro de masas experimental y reportado del ácido metilsuccínico*

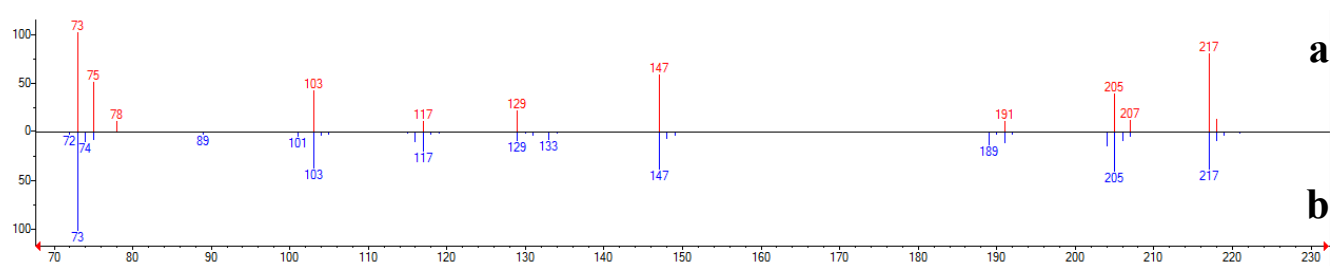
Nota: a). Espectro de masas experimental del compuesto ácido metilsuccínico, 2 TMS b). Espectro de masas reportado en NIST.

Anexo 5. *Espectro de masas experimental y reportado del ácido 4-hidroxibenzoico*

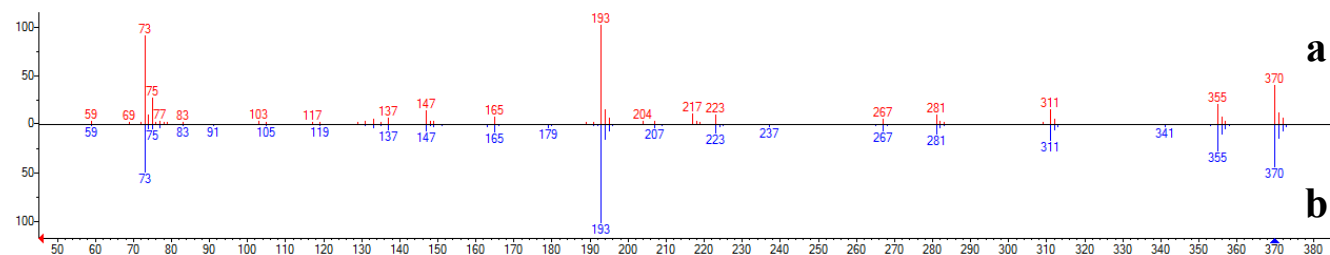
Nota: a). Espectro de masas experimental del compuesto ácido 4-hidroxibenzoico, 2 TMS b). Espectro de masas reportado en NIST.

Anexo 6. *Espectro de masas experimental y reportado del compuesto arabinosa*

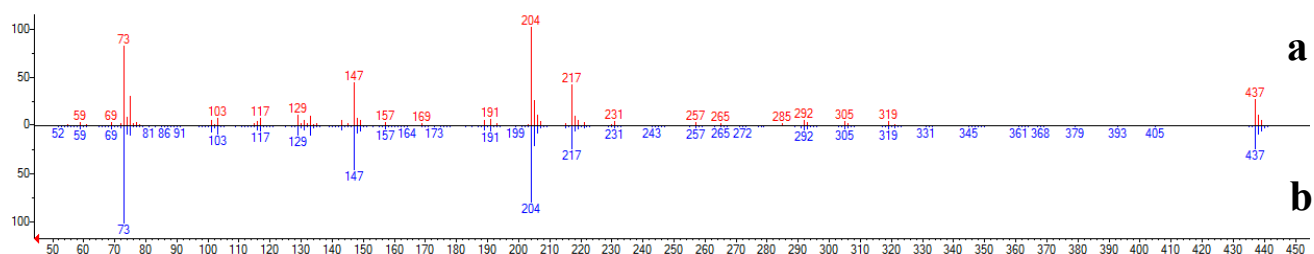
Nota: a). Espectro de masas experimental del compuesto arabinosa 4 TMS b). Espectro de masas reportado en NIST.

Anexo 7. *Espectro de masas experimental y reportado del compuesto eritritol*

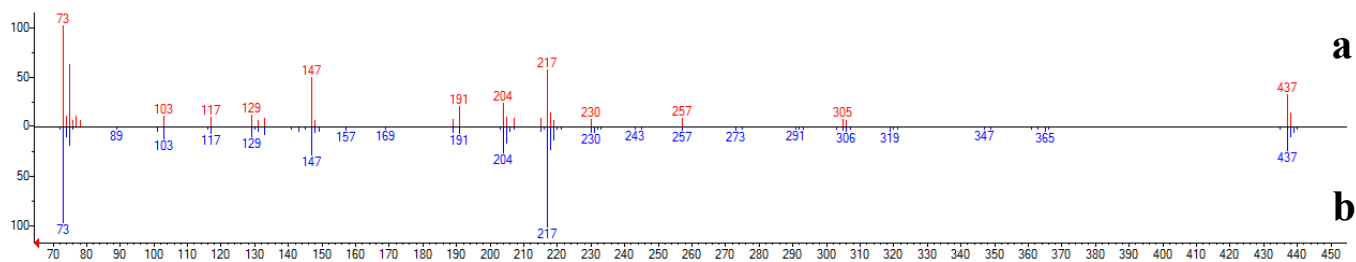
Nota: a). Espectro de masas experimental del compuesto eritritol 4 TMS b). Espectro de masas reportado en NIST.

Anexo 8. *Espectro de masas experimental y reportado del compuesto ácido protocatecuico*

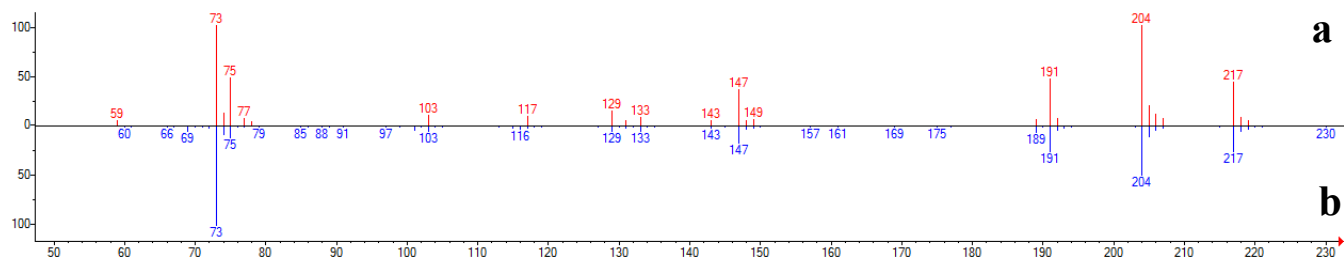
Nota: a). Espectro de masas experimental del compuesto ácido protocatecuico 4 TMS, b). Espectro de masas reportado en NIST.

Anexo 9. *Espectro de masas experimental y reportado del compuesto Fructopiranososa*

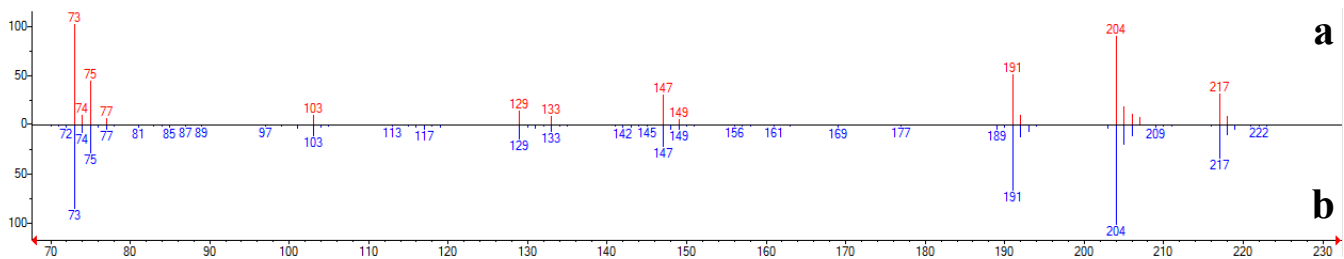
Nota: a). Espectro de masas experimental del compuesto fructopiranososa, 5TMS. b). Espectro de masas reportado en NIST.

Anexo 10. Espectro de masas experimental y reportado del compuesto fructosa

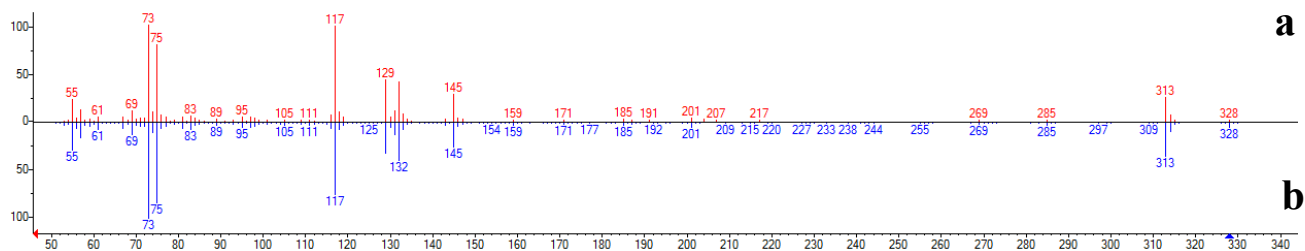
Nota: a). Espectro de masas experimental del compuesto fructosa, 5TMS. b). Espectro de masas reportado en NIST.

Anexo 11. Espectro de masas experimental y reportado del compuesto lixosa

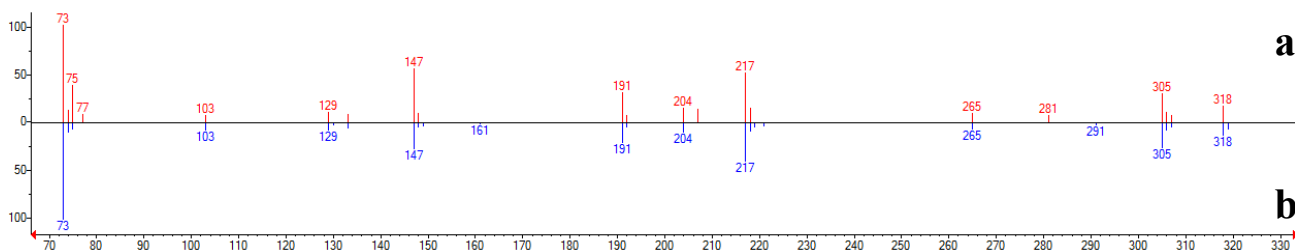
Nota: a). Espectro de masas experimental del compuesto D-lixosa, 4 TMS b). Espectro de masas reportado en NIST.

Anexo 12. Espectro de masas experimental y reportado del compuesto galactosa

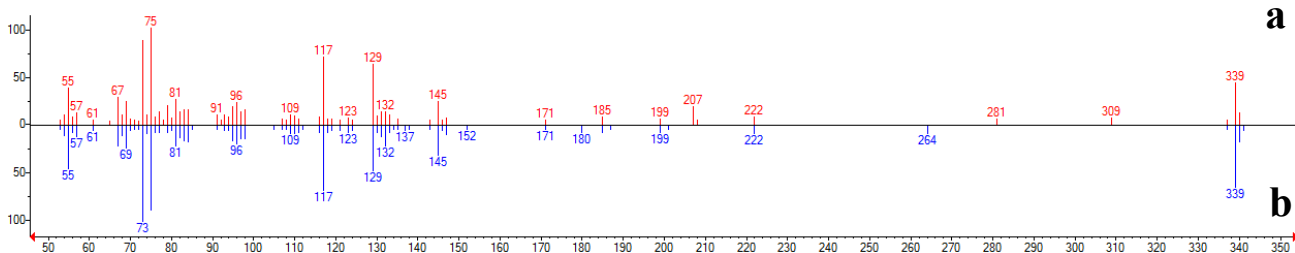
Nota: a). Espectro de masas experimental del compuesto galactosa, 5 TMS b). Espectro de masas reportado en NIST.

Anexo 13. Espectro de masas experimental y reportado del compuesto ácido palmítico

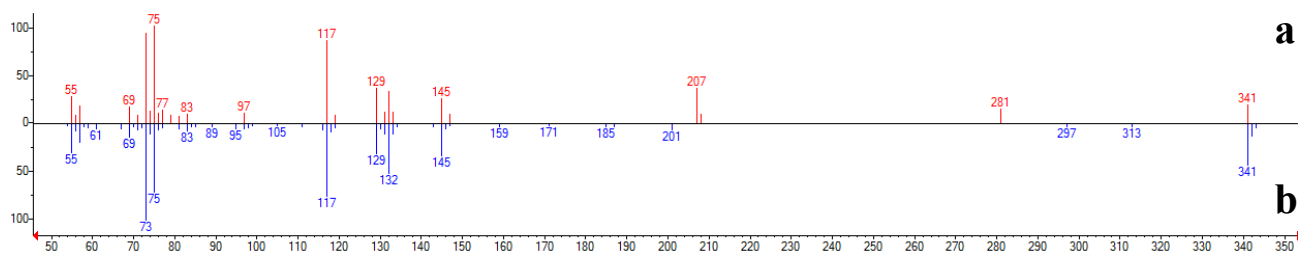
Nota: a). Espectro de masas experimental del compuesto como ácido palmítico TMS b). Espectro de masas reportado en NIST.

Anexo 14. Espectro de masas experimental y reportado del compuesto mioinositol

Nota: a). Espectro de masas experimental del compuesto como mioinositol, 6 TMS b). Espectro de masas reportado en NIST.

Anexo 15. Espectro de masas experimental y reportado del compuesto ácido oleico

Nota: a). Espectro de masas experimental del compuesto como ácido oleico TMS b). Espectro de masas reportado en NIST.

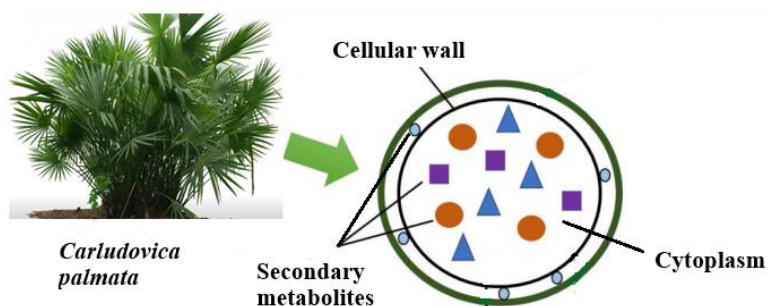
Anexo 16. *Espectro de masas del compuesto ácido esteárico*

Nota: a). *Espectro de masas experimental y reportado* del compuesto como ácido esteárico TMS

b). *Espectro de masas reportado en NIST.*

Apéndice

Apéndice A. Metabolitos secundarios y matriz celular



Modificado de Krakowska-Sieprawska et al., 2022

Apéndice B. Análisis estadístico

S. aureus 43300

Análisis de varianza de dos factores: ANOVA

Fuente	Suma de cuadrados	GI	Cuadrado medio	Razón-F	Valor-P
Interacción	3.111	6	0.5185	0.8485	0.5457
Concentración	1.889	3	0.6296	1.030	0.3968
Extracto	589.6	2	294.8	482.4	<0.0001
Residuo	14.67	24	0.6111		

Verificación de varianza y de homogeneidad de datos

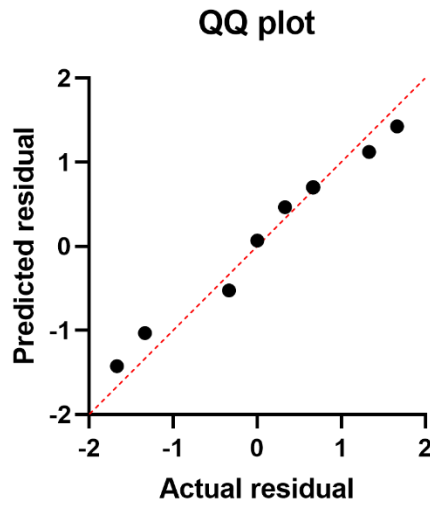
	F	Valor- P	Significante
Brown-Forsythe	530.6	<0.0001	Si

Verificación de prueba de normalidad

Prueba	Estadístico	Valor-P
Estadístico W de Shapiro-Wilk	0.8845	0.0013

Prueba no paramétrica

Prueba	Valor-P	Valor P exacto o aproximado	Resumen del valor p	Estadística de Kruskal-Wallis
Kruskal-Wallis	0.0040	Exacto	**	8.229



S. aureus 25923. Análisis de varianza de dos factores: ANOVA

Fuente	Suma de cuadrados	GI	Cuadrado medio	Razón-F	Valor-P
Interacción	0.003497	6	0.0005828	0.4773	0.8185
Concentración	0.003596	3	0.001199	0.9816	0.4179
Extracto	7.531	2	3.765	3083	<0.0001
Residuo	0.02931	24	0.001221		

Verificación de varianza y de homogeneidad de datos

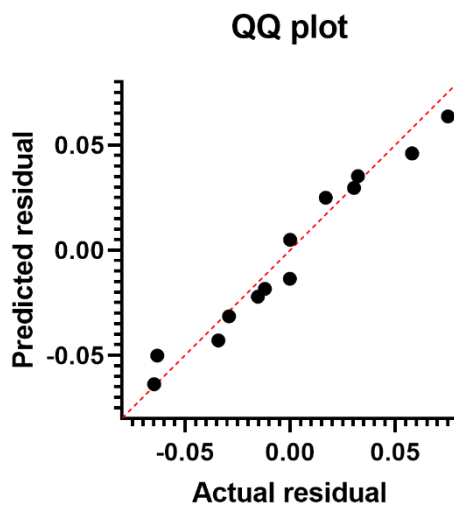
	F	Valor- P	Significante
Brown-Forsythe	4778	<0.0001	Si

Verificación de prueba de normalidad

Prueba	Estadístico	Valor-P
Estadístico W de Shapiro-Wilk	0.8944	0.0024

Prueba no paramétrica

Prueba	Valor-P	Valor P exacto o aproximado	Resumen del valor p	Estadística de Kruskal-Wallis
Kruskal-Wallis	0.0054	Exacto	**	8.040



S. enterica 13076 Análisis de varianza de dos factores: ANOVA

Fuente	Suma de cuadrados	GI	Cuadrado medio	Razón-F	Valor-P
Interacción	0.003546	6	0.0005911	0.6137	0.7171
Concentración	0.002869	3	0.0009564	0.9930	0.4129
Extracto	7.774	2	3.887	4036	<0.0001
Residuo	0.02311	24	0.0009631		

Verificación de varianza y de homogeneidad de datos

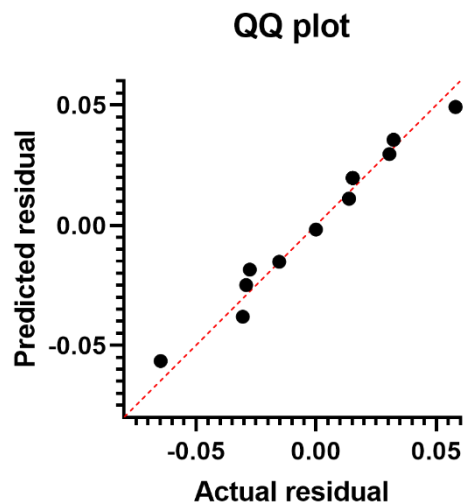
	F	Valor- P	Significante
Brown-Forsythe	5453	<0.001	Si

Verificación de prueba de normalidad

Prueba	Estadístico	Valor-P
Estadístico W de Shapiro-Wilk	0.9392	0.0479

Prueba no paramétrica

Prueba	Valor-P	Valor P exacto o aproximado	Resumen del valor p	Estadística de Kruskal-Wallis
Kruskal-Wallis	0.0088	exacto	**	7.834



E. coli 11775 Análisis de varianza de dos factores: ANOVA

Fuente	Suma de cuadrados	GI	Cuadrado medio	Razón-F	Valor-P
Interacción	0.002092	6	0.0003487	0.7212	0.6366
Concentración	0.002569	3	0.0008565	1.771	0.1795

Extracto	8.078	2	4.039	8354	<0.0001
Residuo	0.01160	24	0.0004835		

Verificación de varianza y de homogeneidad de datos

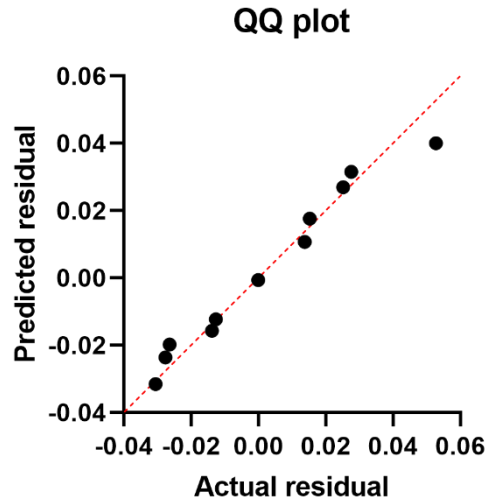
	F	Valor- P	Significante
Brown-Forsythe	7797	<0.0001	Si

Verificación de prueba de normalidad

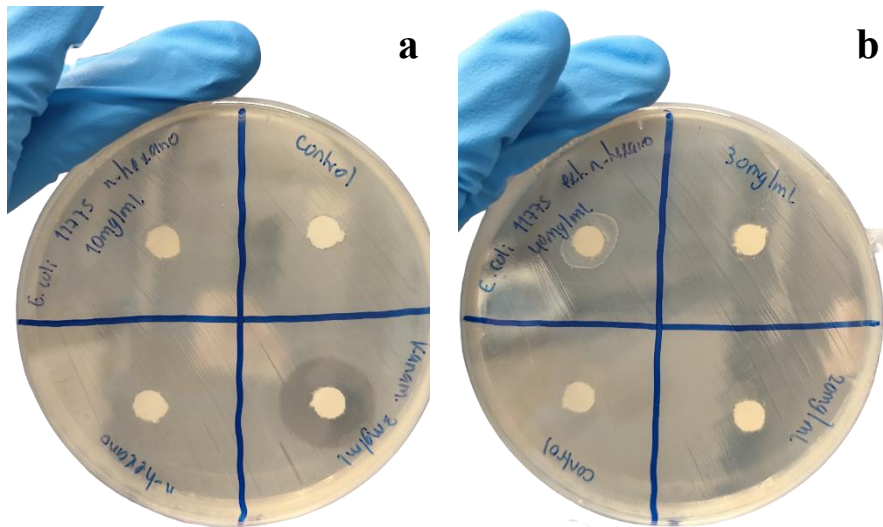
Prueba	Estadístico	Valor-P
Estadístico W de Shapiro-Wilk	0.9151	0.0091

Prueba no paramétrica

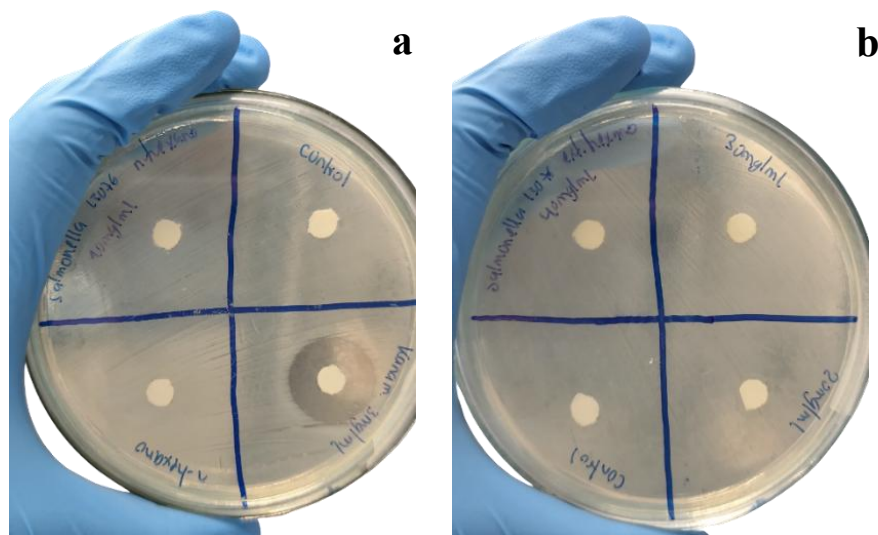
Prueba	Valor-P	Valor P exacto o aproximado	Resumen del valor p	Estadística de Kruskal-Wallis
Kruskal-Wallis	0.0002	exacto	***	10.35



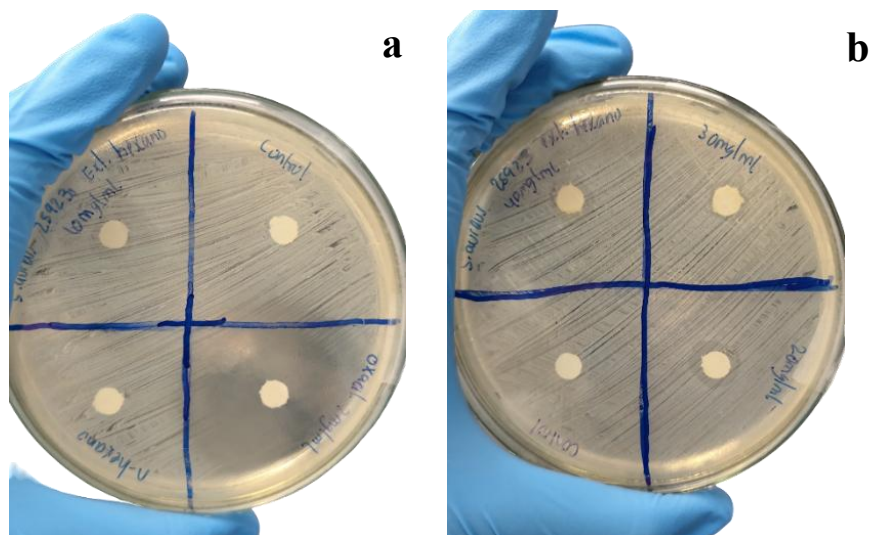
Apéndice C. *Actividad antimicrobiana extracto n-Hexano contra Escherichia coli ATCC 11775*



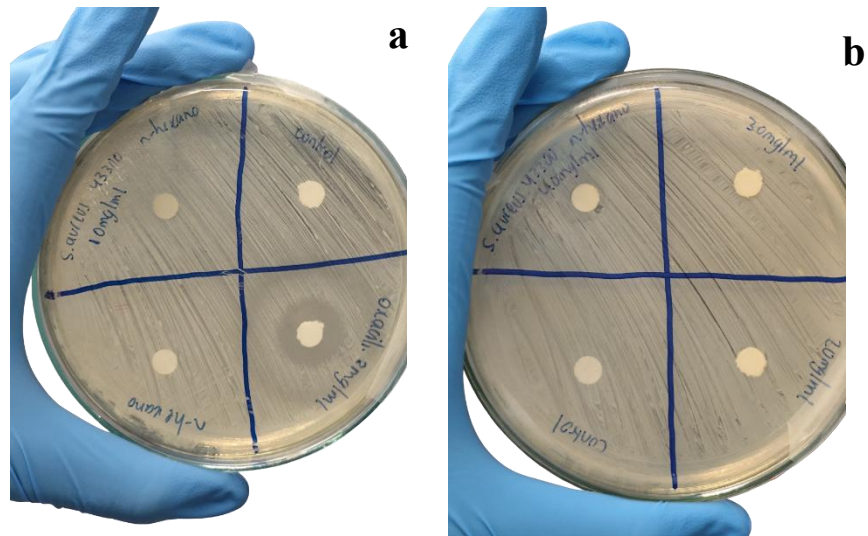
Nota: a) Concentración del extracto de 10mg/mL, control de agua, Kanamicina 3mg/mL, n-Hexano. b) Concentración del extracto de 40-30-20 mg/mL y control.

Apéndice D. *Actividad antimicrobiana extracto n-Hexano contra S. enterica ATCC 13076*

Nota: a) Concentración del extracto de 10mg/mL, control de agua, Kanamicina 3mg/mL, *n*-Hexano. b) Concentración del extracto de 40-30-20 mg/mL y control.

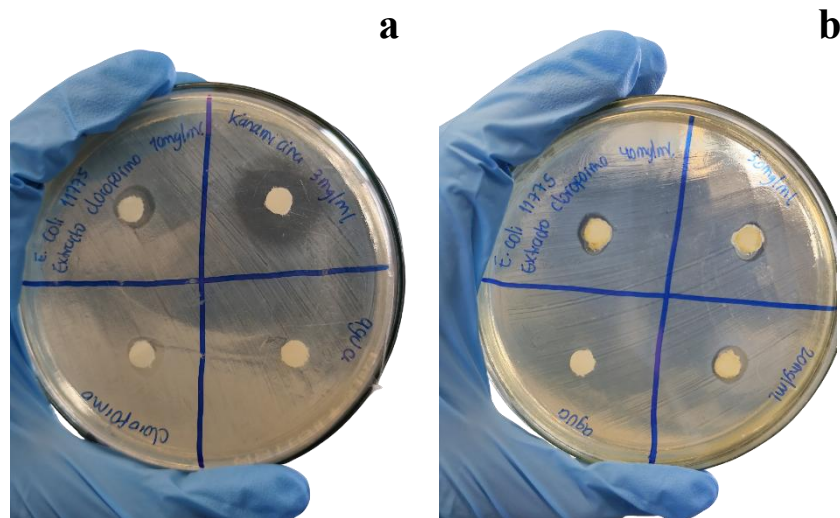
Apéndice E. *Actividad antimicrobiana extracto n-Hexano contra S. aureus ATCC 25923*

Nota: a) Concentración del extracto de 10mg/mL, control de agua, Oxacilina 3mg/mL, *n*-Hexano. b) Concentración del extracto de 40-30-20 mg/mL y control.

Apéndice F. *Actividad extracto n-Hexano contra S. aureus ATCC 43300*

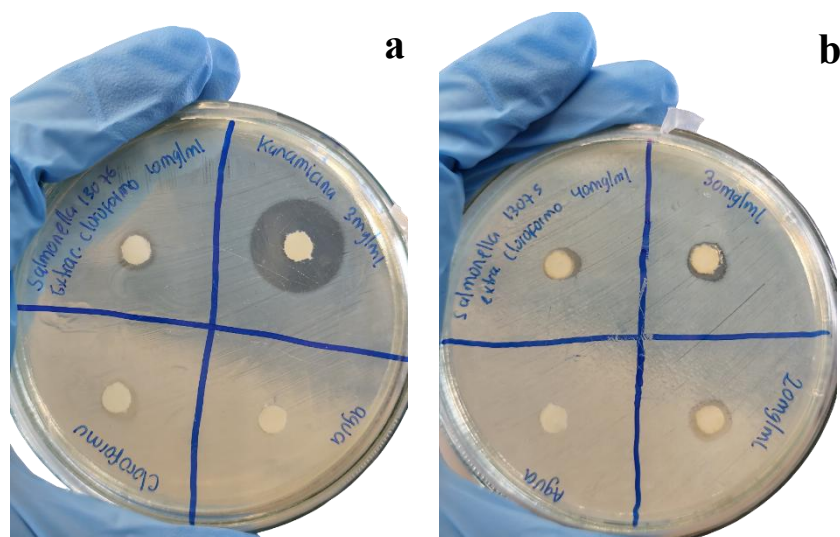
Nota: a) Concentración del extracto de 10mg/mL, control de agua, Oxacilina 3mg/mL, *n*-Hexano.

b) Concentración del extracto de 40-30-20 mg/mL y control.

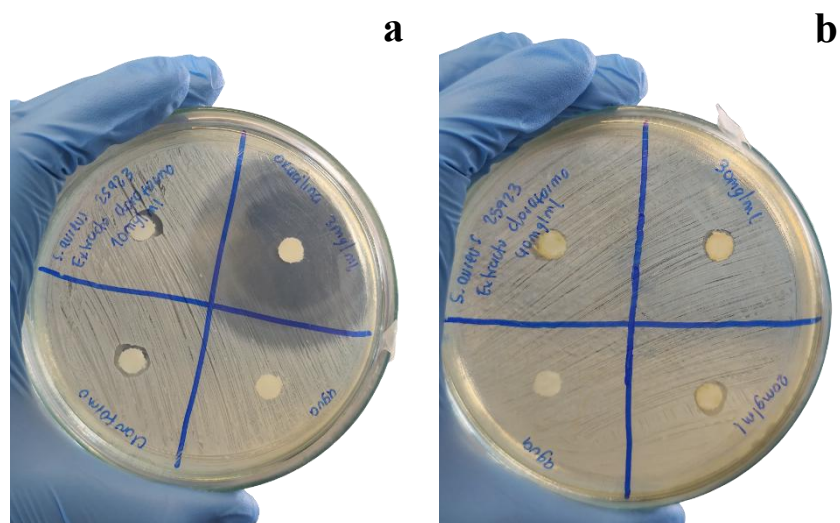
Apéndice G. *Actividad antimicrobiana extracto cloroformo contra Escherichia coli ATCC 11775*

Nota: a) Concentración del extracto de 10mg/mL, control de agua, Kanamicina 3mg/mL, *n*-Hexano.

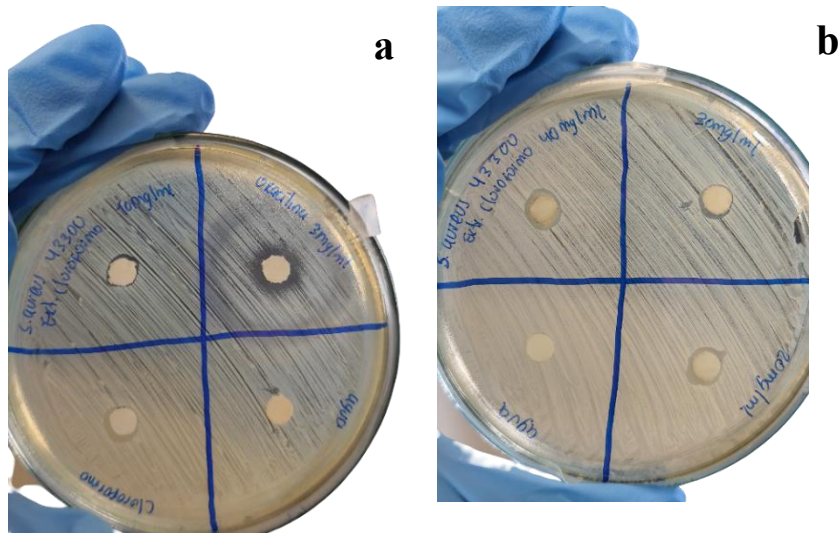
b) Concentración del extracto de 40-30-20 mg/mL y control.

Apéndice H. *Actividad antimicrobiana extracto cloroformo contra S. enterica ATCC 13076*

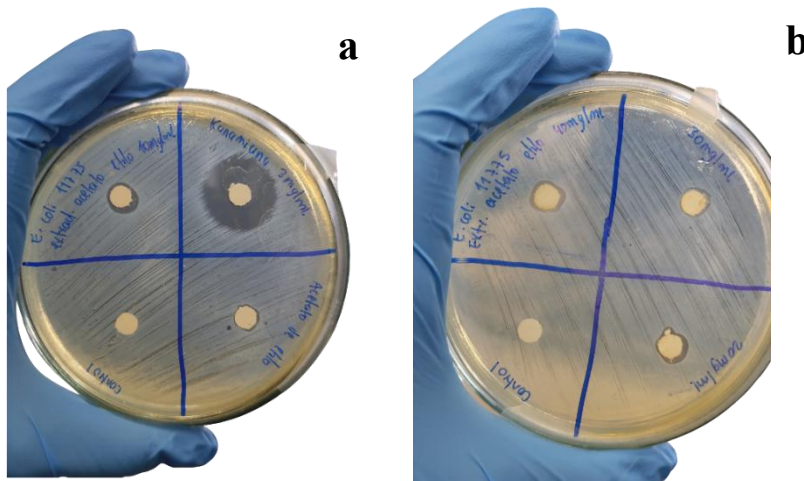
Nota: a) Concentración del extracto de 10mg/mL, control de agua, Kanamicina 3mg/mL, cloroformo. b) Concentración del extracto de 40-30-20 mg/mL y control.

Apéndice I. *Actividad antimicrobiana extracto cloroformo contra S. aureus ATCC 25923*

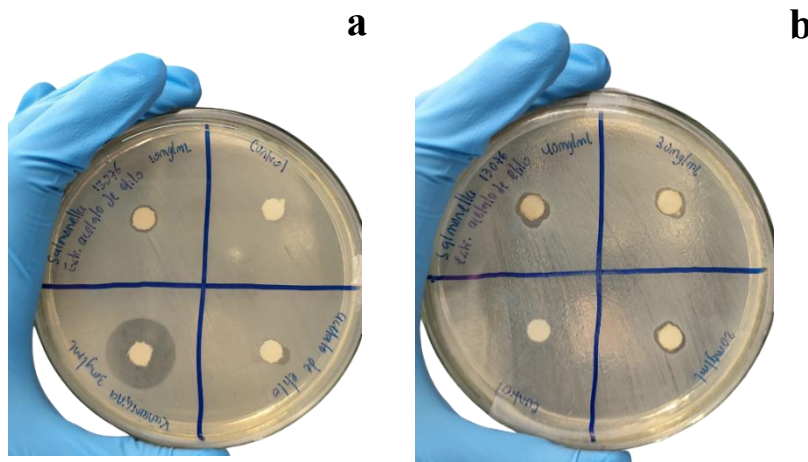
Nota: a) Concentración del extracto de 10mg/mL, control de agua, Oxacilina 3mg/mL, cloroformo. b) Concentración del extracto de 40-30-20 mg/mL y control.

Apéndice J. *Actividad antimicrobiana extracto cloroformo contra S. aureus ATCC 43300*

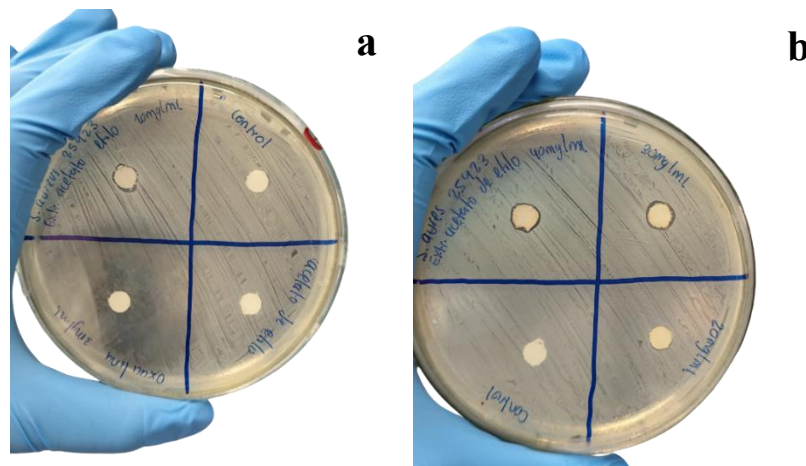
Nota: a) Concentración del extracto de 10mg/mL, control de agua, Oxacilina 3mg/mL, cloroformo. b) Concentración del extracto de 40-30-20 mg/mL y control.

Apéndice K. *Actividad antimicrobiana extracto acetato de etilo contra E. coli ATCC 11775*

Nota: a) Concentración del extracto de 10mg/mL, control de agua, Kanamicina 3mg/mL, acetato de etilo. b) Concentración del extracto de 40-30-20 mg/mL y control.

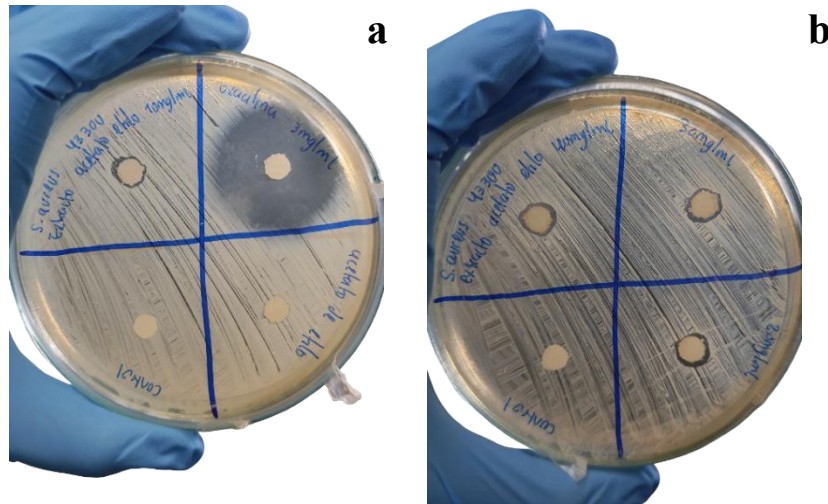
Apéndice L. *Actividad antimicrobiana extracto acetato de etilo contra S. enterica ATCC 13076*

Nota: a) Concentración del extracto de 10mg/mL, control de agua, Kanamicina 3mg/mL, acetato de etilo. b) Concentración del extracto de 40-30-20 mg/mL y control.

Apéndice M. *Actividad antimicrobiana extracto acetato de etilo contra S. aureus ATCC 25923*

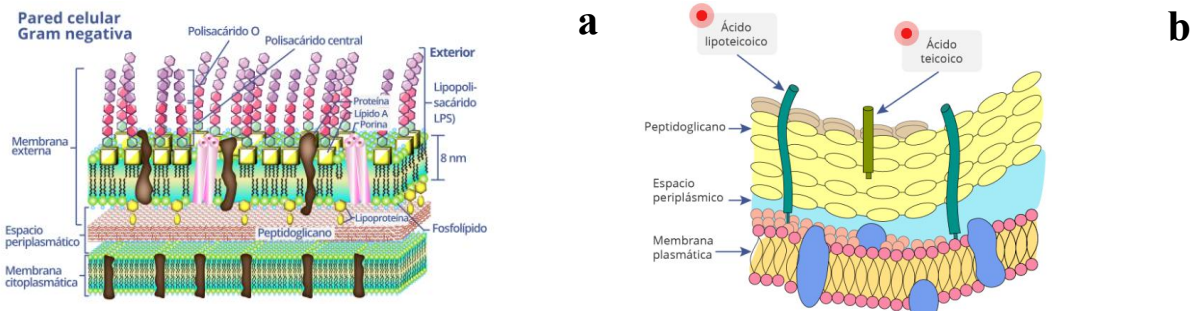
Nota: a) Concentración del extracto de 10mg/mL, control de agua, Oxacilina 3mg/mL, acetato de etilo. b) Concentración del extracto de 40-30-20 mg/mL y control.

Apéndice N. *Actividad antimicrobiana extracto acetato de etilo contra S. aureus ATCC 43300*



Nota: a) Concentración del extracto de 10mg/mL, control de agua, Oxacilina 3mg/mL acetato de etilo. b) Concentración del extracto de 40-30-20 mg/mL y control.

Apéndice O. *Membrana celular bacterias Gramnegativas y Grampositivas*



Nota: a). Membrana celular bacterias Gram Negativas b). Membrana celular bacterias Gram positivas.

Tomado de Rodríguez, N. Y. M. (n.d.). *Diferenciando Bacterias Gram Positivo (+) y Gram Negativo (-)*

Mediante Tinción de Gram. UNA