



UNIVERSIDAD JUÁREZ AUTÓNOMA DE TABASCO

División Académica de Ciencias Básicas
Doctorado En Ciencias Con Orientación En Química Orgánica



**Perfil fitoquímico de los extractos de corteza y
hojas de *Inga jinicuil* con actividad
antiinflamatoria y antibacteriana.**

TESIS

QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:

**DOCTOR EN CIENCIAS
CON ORIENTACIÓN EN QUÍMICA ORGÁNICA**

PRESENTA

M. C. AMMY JOANA GALLEGOS GARCÍA

DIRECTORES

Dr. CARLOS ERNESTO LOBATO GARCÍA (DACB-UJAT)

Dr. MANASÉS GONZÁLEZ CORTAZAR (CIBIS-IMSS)

CUNDUACÁN, TABASCO, FEBRERO 2023



Perfil fitoquímico de los extractos de corteza y hojas de *Inga jinicuil* con actividad antiinflamatoria y antibacteriana.



**UNIVERSIDAD JUÁREZ
AUTÓNOMA DE TABASCO**

"ESTUDIO EN LA DUDA. ACCIÓN EN LA FE"



División
Académica
de Ciencias
Básicas



DIRECCIÓN

05 de diciembre de 2022

**M.C. AMMY JOANA GALLEGOS GARCÍA
PASANTE DEL DOCTORADO EN CIENCIAS CON
ORIENTACIÓN EN QUÍMICA ORGÁNICA
PRESENTE**

Por medio de la presente y de la manera más atenta, me dirijo a Usted para hacer de su conocimiento que proceda a la impresión del trabajo titulado "**Pefil fitoquímico de los extractos de corteza de hojas de inga jinicuil con actividad antiinflamatoria y antibacteriana**" en virtud de que reúne los requisitos para el EXAMEN PROFESIONAL para obtener el grado de Doctora en Ciencias con orientación en Química Orgánica.

Sin otro particular, reciba un cordial saludo.

ATENTAMENTE



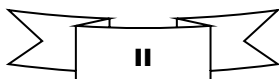
DIVISIÓN ACADÉMICA DE
CIENCIAS BÁSICAS

**DRA. HERMICENDA PÉREZ VIDAL
DIRECTORA**

C.c.p.- Archivo.

Km. 1 Carretera Cunduacán-Jalpa de Méndez, A.P. 24, C.P. 86690, Cunduacán, Tab., México.
Tel/Fax: (993) 3581500 Ext. 6702,6701 E-Mail: direccion.dacb@ujat.mx

www.ujat.mx





Perfil fitoquímico de los extractos de corteza y hojas de *Inga jinicuil* con actividad antiinflamatoria y antibacteriana.

CARTA DE AUTORIZACIÓN

El que suscribe, autoriza por medio del presente escrito a la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco para que utilice tanto física como digitalmente, la tesis de grado denominada: "**Perfil fitoquímico de los extractos de corteza y hojas de *Inga jinicuil* con actividad antiinflamatoria y antibacteriana**", de la cual soy autora y titular de los Derechos de Autor.

La finalidad del uso por parte de la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, de la tesis antes mencionada, será única y exclusivamente para difusión, educación y sin fines de lucro; autorización que se hace de manera enunciativa más no limitativa para subirla a la Red Abierta de Bibliotecas Digitales (RABID) y a cualquier otra red académica con las que la Universidad tenga relación institucional.

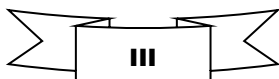
Por lo antes manifestado, libero a la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco de cualquier reclamación legal que pudiera ejercer respecto al uso y manipulación de la tesis mencionada y para los fines estipulados en este documento.

Se firma la presente autorización en la ciudad de Villahermosa, Tabasco a los 4 días del mes de enero del año 2023.

AUTORIZO

Ammy Joana Gallegos García

182A23007



2



Perfil fitoquímico de los extractos de corteza y hojas de *Inga jinicuil* con actividad antiinflamatoria y antibacteriana.



2

El presente trabajo se realizó en el laboratorio de química orgánica de la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco (UJAT-CITAT) bajo la dirección del Dr. Carlos Ernesto Lobato García. (Profesor -Investigador)

Así mismo a los laboratorios de fitoquímica y farmacología del Centro de Investigación Biomédica del Sur (CIBIS-IMSS) bajo la dirección del Dr. Manases González Cortázar.

Agradezco a CONACYT el apoyo otorgado para la realización de este trabajo por el apoyo económico brindado durante el periodo 2018-2021. No. De CVU 703106



Perfil fitoquímico de los extractos de corteza y hojas de *Inga jinicuil* con actividad antiinflamatoria y antibacteriana.

AGRADECIMIENTOS

A mi alma mater la universidad Juárez autónoma de tabasco, ujat por haberme permitido formar parte de la comunidad juchiman en la división académica de ciencias básicas en el área de posgrado en el programa de doctorado en ciencias con orientación en química orgánica por el apoyo y confianza para poder continuar con el desarrollo profesional desde que inicie hasta el último día de clases, por permitirme desenvolverme mejor en el ámbito científico que para mí es un gran privilegio ser parte de esta alma mater gracias.

A mis directores de tesis

El Dr. Carlos Ernesto lobato García, el Dr. Manases Gonzales Cortazar y el Dr. Abraham Gómez Rivera por compartir sus conocimientos, paciencia y gran apoyo a lo largo de esta investigación, así como en los días en los que fueron mis maestros de aula.

Al comité revisor

Dr. Luis Fernando Roa de la Fuente, Dr. Oswaldo Ignacio Hernández Abreu por su arduo trabajo su gran disposición, sabios consejos en la revisión de este proyecto a lo largo del programa de doctorado, así como su cordial y amable trato para poder demostrar que uno puede lograr todo cuando se lo propone.

A mis profesores

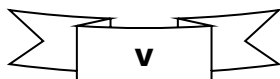
Gracias al Dr. Godavarthi Srinivas por el seguimiento a lo largo del programa por medio de la materia de seminario de investigación, con cada consejo y sobre todo el tiempo dedicado, paciencia, consejos, regaños, felicitaciones, y gran amistad brindada, al igual que el Dr. Adrián Carbajal (Q.E.P.D) con sus enseñanzas, cada consejo y sobre todo paciencia, a la Dra. Claudia Guadalupe Espinoza González y Dra. Hemicenda Pérez Vidal gracias por esos consejos en cada clase y todo su apoyo.

A los encargados del laboratorio de química orgánica y química de productos naturales; al igual que el personal de laboratorio de docencia de química de la (DACB-UJAT):

M.C. Dora Elena Aguilar Domínguez

L.Q. Wilbert Pérez Fuentes

L.Q. Joel Flores Jiménez





Perfil fitoquímico de los extractos de corteza y hojas de *Inga jinicuil* con actividad antiinflamatoria y antibacteriana.



El centro de investigación biomédica del sur (CIBIS-IMSS), en especial a el laboratorio de fitoquímica (CIBIS-IMSS) y el laboratorio de farmacología (CIBIS-IMSS) así como el personal del bioterio (CIBIS-IMSS) del mismo donde me brindaron la ayuda y material usado en esta tesis.

A la Dra. Patricia Álvarez Fitz Universidad Autónoma de Guerrero (UAGro) por todo el apoyo brindado con bacterias para el artículo de este proyecto por la oportunidad de formar parte del equipo de trabajo para este proyecto.

A el director del centro de investigación biomédica del sur del seguro social el Dr. Alejandro Zamilpa Álvarez y a su equipo de trabajo de investigación, el Dr. Manases González Cortazar, la Dra. Maribel Lucía Herrera Ruíz, Dra. María Dolores Pérez, Técnico de fitoquímica Jonathan Orduño, Técnico de fitoquímica Arturo Pérez, la Técnico de CLAR Itzel y el encargado del bioterio Rene muchas gracias por su amistad, disponibilidad y apoyo en todo momento y sobre todo el tiempo dedicado para que pudiera aprender más.

Universidad Autónoma de Tabasco.
México.



Perfil fitoquímico de los extractos de corteza y hojas de *Inga jinicuil* con actividad antiinflamatoria y antibacteriana.

DEDICATORIA A DIOS

Cuan preciosa, oh dios, es tu misericordia, por eso los hijos de los hombres se amparan bajo la sombra de tus alas. Serán completamente saciados de la gloria de tu casa y tú los abrevarás del torrente de tus delicias, porque contigo está el manantial de la vida; en tu luz veremos la luz. Extiende tu misericordia a los que te conocen, y tu justicia a los rectos de corazón. No venga pie de soberbia contra mí, y mano de impíos no me muevas. Allí cayeron los hacedores de iniquidad; fueron derribados, y no podrán levantarse. Salmo 36:7; 12.

A MIS PADRES

Mamá y papá gracias por haberme apoyado durante estos años de vida, así como todos los consejos, en los buenos y malos momentos a lo largo de mi carrera y sobre todo el gran amor que me han dado sin importar cuanto me haya equivocado siempre, los amare con todo mi corazón hasta el último día de mi vida.

A MIS HERMANAS Y SOBRINOS

Lorena y María Isela gallegos les agradezco siempre haber estado a lo largo de estos años, así como los días buenos y malos que he pasado esos consejos que me dieron para ser buena estudiante sin olvidar los regaños cuando me sentía triste gracias por ayudarme a disfrutar la vida, aunque sea complicado a veces y sobre todo por esos sobrinos (Scarlett, Iker, Ciara, Amaya, Kylie y Cristal) que siempre me impulsaron a culminar este posgrado.

A MIS AMIGOS

A todos aquellos que me ayudaron a que mi estancia en la universidad fuera una de las mejores experiencias a lo largo de mi vida, gracias Dora Elena, Marcela del Carmen, Selenia Carolina, Eric Jaziel, Gerardo Velázquez, Ricardo López Rodríguez, Armando Escobar Ramos (Q.E.P.D) y a todos los que no mencioné gracias por haber sido mis amigos y sobre todo a mis compañeros de doctorado que en cada clase y momento demostraron toda esa energía que se necesitó en los buenos y malos momentos que tuvimos a lo largo del posgrado.



Perfil fitoquímico de los extractos de corteza y hojas de *Inga jinicuil* con actividad antiinflamatoria y antibacteriana.

CONTENIDO

ÍNDICE DE FIGURAS	X
ÍNDICE DE TABLAS	XI
ABREVIATURAS Y SÍMBOLOS	XII
Abstract.....	XIII
Resumen	XIV
INTRODUCCIÓN.....	1
I ANTECEDENTES.....	3
I.1. Plantas medicinales	3
I.1.1. Principal uso de las plantas.....	3
I.1.2. Metabolitos secundarios.....	4
I.2. Botánica de <i>Inga jinicuil</i>	5
I.3 Estudios etnobotánicos de <i>Inga jinicuil</i> y el género <i>Inga</i>	6
I.4 Estudio farmacológico y fitoquímicos de <i>Inga jinicuil</i> y el género <i>Inga</i>	7
II JUSTIFICACIÓN	8
III HIPÓTESIS Y OBJETIVOS.....	10
IV METODOLOGÍA	12
IV.1. Obtención y extracción de <i>Inga jinicuil</i>	13
IV.2. Análisis por CLAR-DAD.....	14
IV.3. Análisis CG-EM.....	16
IV.4. Pruebas biológicas.....	17
IV.4.1. Actividad antiinflamatoria.....	17
IV.4.2. Actividad antibacteriana.....	18
IV.4.3. Análisis estadístico.....	19
IV.5. Fraccionamiento de extracto de <i>Inga jinicuil</i>	20
IV.6. Caracterización mediante Resonancia Magnética Nuclear (RMN).....	21
V RESULTADOS Y DISCUSIÓN	22
V.1. Obtención y Rendimiento de los extractos de <i>Inga jinicuil</i>	23
V.2. Análisis por CLAR y espectros UV-Vis de extractos polares <i>Inga jinicuil</i>	23
V.3. Perfil químico de los extractos hexánicos de corteza y hojas de <i>Inga jinicuil</i> por CG-EM.....	30



Perfil fitoquímico de los extractos de corteza y hojas de *Inga jinicuil* con actividad antiinflamatoria y antibacteriana.



V.4. Actividad antiinflamatoria de los extractos orgánicos de *Inga jinicuil*..... 33

V.5. Actividad antibacteriana de los extractos orgánicos de *Inga jinicuil*..... 35

V.6. Fraccionamiento cromatográfico del extracto de mayor actividad..... 37

V.7. Aislamiento de compuesto mediante RMN..... 40

CONCLUSIÓN 44

PERSPECTIVAS 47

GLOSARIO 48

REFERENCIAS 49

ANEX I. Artículo publicado de *Inga Jinicuil* 54

ANEXO II. Espectros UV-Vis obtenidos en CLAR 68

ANEXO III. Estructuras de los compuestos detectados en CG-EM..... 72

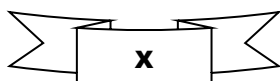
Universidad Juárez Autónoma de Tabasco.



Perfil fitoquímico de los extractos de corteza y hojas de *Inga jinicuil* con actividad antiinflamatoria y antibacteriana.

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Esquema de metodología general	13
Figura 2. Metodología de procedimiento para obtener los extractos finales.....	14
Figura 3. Esquema de análisis de CLAR.....	15
Figura 4. Esquema de análisis CG-EM	16
Figura 5. Esquema para la evaluación de la actividad antiinflamatoria.....	17
Figura 6. Esquema de ensayos para CMI por el modelo de dilución en caldo.....	19
Figura 7. Esquema para fraccionamiento en cromatografía en columna	20
Figura 8. Esquema del equipo de Espectroscopia de Resonancia Magnética Nuclear	21
Figura 9. Árbol de <i>Inga jinicuil</i>	23
Figura 10. Cromatogramas CLAR de los extractos de corteza (Ij-CD, Ij-CHac) y de hojas (Ij-HD, Ij-HHac)	24
Figura 11. Espectros UV ácido protocatecuico de <i>Inga jinicuil</i>	26
Figura 12. Espectros UV derivado de ácido cumárico de <i>Inga jinicuil</i>	27
Figura 13. Espectros UV derivado de ácido vanílico de <i>Inga jinicuil</i>	28
Figura 14. Espectros UV derivado de salicilato de <i>Inga jinicuil</i>	29
Figura 15. Cromatograma CG del extracto Ij-CH . Los picos están numerados en orden ascendente según los tiempos de retención	30
Figura 16. Cromatograma CG del extracto hexánico Ij-HH . Los picos están numerados en orden ascendente según los tiempos de retención	31
Figura 17. Porcentaje de inhibición de la inflamación (%) de los extractos Ij-CH, Ij-CD, Ij-CHac, Ij-HH, Ij-HD, e Ij-HHac de <i>Inga jinicuil</i> e Indo (Indometacina).....	34
Figura 18. Cromatografía de la columna Ij-CDC1 e Ij-CDC3	38
Figura 19. Cromatografía del compuesto aislado de <i>Inga jinicuil</i>	39
Figura 20. Comparación de las estructuras de a) ácido cumárico y b) ácido ferúlico.....	39
Figura 21. Propuesta estructural del derivado de ácido ferúlico(C4-R5) aislado.....	40
Figura 22. RMN de ¹ H del compuesto aislado de <i>Inga jinicuil</i>	41
Figura 23. Espectro de ¹³ C del compuesto aislado de <i>Inga jinicuil</i>	42





Perfil fitoquímico de los extractos de corteza y hojas de *Inga jinicuil* con actividad antiinflamatoria y antibacteriana.

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Clasificación botánica de <i>Inga jinicuil</i>	6
Tabla 2. Porcentaje de rendimiento de las maceraciones de los extractos de <i>Inga jinicuil</i> ...	23
Tabla 3. Perfil fitoquímico preliminar mediante análisis CLAR-UV-Vis de los extractos polares de corteza y hojas de <i>Inga jinicuil</i>	25
Tabla 4. Descripción del ácido protocatecúico obtenido de <i>Inga jinicuil</i>	26
Tabla 5. Descripción de derivado de ácido cumárico de <i>Inga jinicuil</i>	27
Tabla 6. Descripción de derivado de ácido vanílico de <i>Inga jinicuil</i>	28
Tabla 7. Descripción de derivado de salicilato de <i>Inga jinicuil</i>	29
Tabla 8. Compuestos fitoquímicos identificados en el extracto hexánico de la corteza (Ij-CH) de <i>Inga jinicuil</i> por CG-EM	31
Tabla 9. Compuestos fitoquímicos identificados en los extractos hexánicos de la corteza (Ij-CH) y las hojas (Ij-HH) de <i>Inga jinicuil</i> por CG-EM	32
Tabla 10. Actividad antibacteriana (CMI µg/mL) de los extractos de <i>Inga jinicuil</i>	36
Tabla 11. Condiciones del fraccionamiento Cromatográficos del extracto de diclorometano en corteza obtenido de <i>Inga jinicuil</i>	37
Tabla 12. Asignación de las señales de los espectros de ¹ H (600 MHz) y ¹³ C (150 MHz) para (C4-R5). (Disolvente CDCl ₃ temperatura ambiente)	40



Perfil fitoquímico de los extractos de corteza y hojas de *Inga jinicuil* con actividad antiinflamatoria y antibacteriana.



ABREVIATURAS Y SÍMBOLOS

CCF: Cromatografía en capa fina

CG/EM: Cromatografía de gases acoplado a espectrometría de masas

CLAR: Cromatografía líquida de alta resolución

CMI: Concentración mínima inhibitoria

Hz: Hertz unidad de frecuencia del Sistema Internacional de Unidades

J: Constante de acoplamiento

KON: Reactivo de Komarowsky, 4-hidroxibenzaldehido revelador para terpenos, cumarinas

Msnm: Metros sobre el nivel del mar

MTT: Solución (0.05%) de bromuro de 3-(4,5-dimetiltiazol-2-il)-2,5, difenil tetrazolio

NP-PEG: Reactivo de flavonoides, difenilboriloxietilaminalpolietilenglicol

Ppm: Partes por millón

RMN: Resonancia Magnética Nuclear

TPA: Acetato de 12-O-tetradecanoil-forbol

t_R: tiempo de retención

λ: Longitud de onda

δ: Desplazamiento químico

¹H: núcleo de hidrógeno

¹³C: núcleo de carbono 13



Perfil fitoquímico de los extractos de corteza y hojas de *Inga jinicuil* con actividad antiinflamatoria y antibacteriana.

Abstract

Several Mesoamerican cultures have employed *Inga jinicuil* as a traditional medicine for the treatment of gastrointestinal, inflammatory, and infectious disorders. The aim of this contribution was to elucidate the phytochemical profile of the organic extracts from the bark and leaves of *I. jinicuil* and to assess the anti-inflammatory and antibacterial properties of these extracts. The preliminary chemical profile was determined by HPLC-DAD and GC-MS; the anti-inflammatory activity was evaluated with a mouse ear edema model, whereas the antibacterial activity was screened against several bacteria. The phytochemical profile of both organs (bark and leaves) of *I. jinicuil* led to the identification of 42 compounds, such as polyphenolic, flavonoids, triterpenes, prenol-type lipids, and aliphatic and non-aliphatic esters. This molecular diversity gave moderate anti-inflammatory activity ($67.3 \pm 2.0\%$, dichloromethane bark extract) and excellent antibacterial activity against *Pseudomona aeruginosa* and methicillin-resistant *Staphylococcus aureus* (MIC values of <3.12 and $50 \mu\text{g/mL}$, respectively). These results contribute to the chemotaxonomic characterization and the rational use in traditional medicine of *Inga jinicuil* Schltdl & Cham. ex G. Don.



Perfil fitoquímico de los extractos de corteza y hojas de *Inga jinicuil* con actividad antiinflamatoria y antibacteriana.

Resumen

Distintas culturas mesoamericanas han empleado *Inga jinicuil* como medicina alternativa para el tratamiento de problemas gastrointestinales, inflamatorios e infecciosos la cual cuenta con escasos reportes químicos y farmacológicos. El objetivo de este proyecto fue determinar el perfil fitoquímico de los extractos orgánicos de la corteza y hojas de *Inga jinicuil* y evaluar las propiedades antiinflamatorias y antibacterianas de sus extractos. El perfil químico fue determinado por CLAR-DAD y CG-EM; la actividad antiinflamatoria se determinó en el modelo de edema en oreja de ratón inducido por TPA, mientras que la actividad antibacteriana se determinó mediante el método de dilución en caldo de la concentración mínima inhibitoria (CMI). La actividad antiinflamatoria moderadas (67.3 \pm 2.0%, extracto de corteza de diclorometano) y excelente actividad antibacteriana contra *Pseudomona aeruginosa* y *Staphylococcus aureus* resistente a la meticilina (valores CMI de <3.12 μ g/mL y 50 μ g/mL, respectivamente). El análisis químico de los órganos en estudio de *Inga jinicuil* nos permitió identificar 42 compuestos dentro de los que se encuentran derivados polifenólicos, flavonoides, triterpenos, lípidos tipo prenol, y ésteres alifáticos y no alifáticos. Esta diversidad molecular proporcionó resultados que contribuyen a la caracterización quimiotaxonómica y corroboran el uso en la medicina tradicional siendo el primer estudio de actividad antimicrobiana y antiinflamatoria de *Inga jinicuil* Schltdl & Cham. ex G. Don.

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco.
México.

INTRODUCCIÓN



Perfil fitoquímico de los extractos de corteza y hojas de *Inga jinicuil* con actividad antiinflamatoria y antibacteriana.

INTRODUCCIÓN

El uso de una gran diversidad de plantas en la medicina tradicional ha contribuido a la búsqueda del aislamiento de nuevos compuestos para el empleo de posibles fármacos con fines de uso comercial, como son los empleados por sus propiedades antiinflamatorias y antimicrobianas [1]. Así mismo se plantean como medicina alternativa en el tratamiento de la inflamación ya que algunos fármacos comerciales como son la aspirina, el ketorolaco, el naproxeno o la piroxicam, se relacionan con efectos adversos, como es el desarrollo de una hemorragia intestinal [2]. De igual forma el aumento de cepas microbianas con resistencia a antibióticos ha generado una problemática que actualmente, se deriva a la búsqueda de nuevos compuestos con mayor eficacia propiciando nuevas vías de obtención como son los productos derivados de origen natural que coadyuvan en la prevención y el tratamiento en problemas infecciosos [3]. Las plantas de uso medicinal tienen una gran importancia como medicina herbolaria siendo México uno de los principales lugares con biodiversidad en especies de las que destacan las plantas de uso tradicional, sin embargo, en la mayor parte de las plantas medicinales se desconocen sus propiedades químicas, así como el grado de toxicidad que puedan tener.

En este contexto, se encuentran las especies del género *Inga*, las cuales están distribuidos en el centro y sureste de México junto con países como Guatemala, Ecuador, Colombia y Costa Rica. Las diferentes especies de este género cuentan con reportes de su composición fitoquímica, así como algunas investigaciones en su farmacología. Particularmente, la especie *Inga jinicuil* Schltdl & Cham. ex G. Don, es conocida en México con diversos nombres como: "cuijinicuil", "cuajinicuil" o "jinicuil", en el estado de Tabasco, es nombrada en la lengua maya-chontal como "bujte"[4]. Sobre esta planta se tienen pocos reportes, principalmente etnobotánicos, mientras que en su fitoquímica y biología, los reportes son aún más escasos. Por lo anterior, este proyecto se propone con el fin de determinar los metabolitos secundarios presentes en las partes aéreas de *Inga jinicuil*, mediante el aislamiento y caracterización estructural de los principales compuestos, valorando su potencial como sustancias de interés farmacológico y generando así conocimiento que permita establecer perspectivas de un mayor aprovechamiento de esta especie.

2



Perfil fitoquímico de los extractos de corteza y hojas de *Inga jinicuil* con actividad antiinflamatoria y antibacteriana.



Universidad Juárez Autónoma de Tabasco.

CAPÍTULO I ANTECEDENTES



Perfil fitoquímico de los extractos de corteza y hojas de *Inga jinicuil* con actividad antiinflamatoria y antibacteriana.

I. ANTECEDENTES

I.1. Plantas medicinales

I.1.1 Principal uso de las plantas

Las plantas además de ser utilizadas como alimentos, también eran usadas como un potencial curativo para padecimientos que se presentaban en las diferentes culturas primitivas, convirtiéndose como la principal fuente medicinal para prevenir y tratar enfermedades. Con el tiempo las etnias fueron adquiriendo más conocimientos sobre el uso de las plantas, convirtiéndose esta práctica en lo que ahora se conoce como medicina tradicional, en la que se emplea las diferentes partes de la planta para la elaboración de infusiones, ungüentos, etc., [5]. Las plantas se han constituido como la base de la medicina tradicional para mantener la salud e incrementar la calidad de vida del hombre, por cientos de años. Sin embargo, la incidencia de los productos de origen vegetal ha tenido variaciones en el tiempo en procedimientos terapéuticos, en relación a los avances del conocimiento científico [6].

La Organización Mundial de la Salud (OMS), define como planta medicinale a cualquier especie vegetal que contiene sustancias que pueden ser empleadas para propósitos terapéuticos o cuyos principios activos pueden servir de precursores para la síntesis de nuevos fármacos [7].

I.2. Metabolitos secundarios

Los metabolitos provenientes de plantas son valorados por el hombre como fuente de principios activos para uso medicinal debido a sus constituyentes químicos, son llamados metabolitos secundarios [8], que en la naturaleza funcionan como defensa química, por lo que ha generado el desarrollo de diversas estrategias de defensa contra condiciones de estrés biótico y abiótico como por ejemplo, defenderse del daño que ocasionan las heridas y el ataque de insectos o microorganismos patógenos en las plantas superiores, induciendo la síntesis y acumulación de compuestos de bajo peso molecular, capaces de degradan la pared celular de microorganismos o que tienen la capacidad de inactivar compuestos tóxicos de origen microbiano. Entre los metabolitos secundarios más importantes para la salud se encuentran los heterósidos, que constituyen los principios activos de muchas plantas [8,9].



Perfil fitoquímico de los extractos de corteza y hojas de *Inga jinicuil* con actividad antiinflamatoria y antibacteriana.

Los heterósidos más importantes son los antraquinónicos, cianogénicos, cardiotónicos, cumarínicos y senósidos [9], al que igual que los flavonoides que son compuestos polifenólicos que comprenden quince átomos de carbono, con dos anillos aromáticos conectados por un puente de tres carbonos. Estos metabolitos secundarios se encuentran en todo el reino vegetal, están presentes en altas concentraciones en la epidermis de las hojas y cáscaras de las frutas, jugando un papel importante como metabolitos secundarios [10]. Otro grupo importante son los taninos los cuales se dividen en dos grupos: taninos hidrolizables y taninos condensados. Los taninos hidrolizables son moléculas complejas con un poliol como núcleo central (ejemplo glucosa, glucitol, ácidos quínico, quercitol, siquímico) los cuales son esterificados parcial o totalmente con un grupo fenólico, por ejemplo, el ácido gálico (ácido-3,4,5-trihidroxibenzoico) o los galotaninos. Los grupos fenólicos restantes pueden ser esterificados u oxidados para producir más taninos hidrolizables complejos [11].

I.2.1. Botánica de *Inga jinicuil*

El género *Inga*, está distribuido desde el centro de México hasta Guatemala, Ecuador, Colombia y Costa Rica. La mayoría de las especies de este género cuenta con escasos reportes científicos tanto farmacológicos como químicos, dentro de ellas se encuentra *Inga jinicuil*, la cual es una planta del orden Fabales, habita en climas semicálido y templado, entre 0 y 1500 msnm., asociada a bosque tropical caducifolio. Es característica de sitios abiertos, laderas de montañas bajas y cañadas, pastizales, terrenos planos con lomeríos suaves, márgenes de ríos y arroyos [12,13]. *I. jinicuil* es conocido en Tabasco, Veracruz y Chiapas como “jinicuil”, “cuajinicuil”, “cuinicuil”, “cuijinicuil” y nombrada en la lengua maya-chontal como “bujte” [4,14]. Es un árbol de aproximadamente 15-20 m de altura y 30 cm de diámetro normal del tallo. Presenta ramas ascendentes y una copa pequeña e irregular. Sus raíces son tubulares y su corteza externa es lisa, pálido grisácea con numerosas lenticelas en líneas horizontales y algunos anillos horizontales; la corteza interna es pálida, amarillenta y granular. Su flor es de color blanco y el fruto es una vaina que en su interior contiene las semillas cubiertas con una pulpa blanca que es comestible, consumiéndose en jaleas, bebidas o directamente del fruto [14,15,16]. En los últimos años se ha considerado un número creciente del uso de *Inga jinicuil* como árbol madre en la agricultura [15,16]. Su uso como



Perfil fitoquímico de los extractos de corteza y hojas de *Inga jinicuil* con actividad antiinflamatoria y antibacteriana.

árbol ornamental es recomendable en la repoblación de las cuencas hidrográficas [17]. En la Tabla 1 se muestra la clasificación botánica de *Inga jinicuil*.

Tabla 1. Clasificación botánica de *Inga jinicuil*

PHYLLUM	PLANTAE
SUBPHYLLUM	<i>Spermatophyta</i>
CLASE	<i>Magnoliopsida</i>
SUBCLASE	<i>Magnoliopsida</i>
ORDEN	<i>Rosidas</i>
FAMILIA	<i>Fabales</i>
SUBFAMILIA	<i>Leguminosas</i>
GENERO	<i>Inga</i>
ESPECIE	<i>Inga jinicuil</i> Schltdl & Cham. ex G. Don
SINÓNIMO	<i>Inga paterno</i> Harms

I.3. Estudios etnobotánicos de *Inga jinicuil* y el género *Inga*

Algunas comunidades indígenas de la región maya-chontal de México y del Amazonas hierven las semillas en agua salada y las utilizan como aperitivo o complemento en guisos tradicionales [18]. Las partes aéreas se emplean en la medicina tradicional para el tratamiento de problemas parasitarios e infecciosos [19]. Una mezcla de semillas y hojas también se utiliza como remedio antidiarreico y antirreumático en las comunidades rurales de Veracruz y Tabasco [19,20]; esta planta también se utiliza para las enfermedades gastrointestinales en forma de infusión hecha con las hojas y de la corteza [21].

En el caso de *Inga edulis*, otra especie del género *Inga* se le atribuyen propiedades astringente, antioxidante, depurativa, diaforética, citotóxica, pectoral, antifúngica, antibacteriana, a la cual se le atribuye también para contrarrestar la fiebre, gripa, vómito, diabetes, gastritis, reumatismo a esta se le da un uso en forma de infusión a esta planta como



Perfil fitoquímico de los extractos de corteza y hojas de *Inga jinicuil* con actividad antiinflamatoria y antibacteriana.

té o aplicando directamente la savia. [18,19,21]. Por lo anterior cabe mencionar que *Inga jinicuil* es una especie que solo cuenta con estudios etnobotánicos y no se registran estudios fitoquímicos.

I.4. Estudios farmacológicos y fitoquímicos de *Inga jinicuil* y el género *Inga*

Existen pocos informes sobre la actividad fitoquímica y biológica del género *Inga jinicuil*. Un reporte reciente destaca la actividad antibacteriana de los extractos orgánicos de las hojas de *Inga semialata*, que mostraron un efecto inhibitorio sobre el crecimiento de *Staphylococcus aureus*, *Staphylococcus epidermidis*, *Micrococcus luteus* y *Klebsiella pneumoniae*, asociados a infecciones; el análisis de los extractos reveló la presencia de compuestos tales como ácido gálico, epicatequina y rutina [18]. Igualmente se encuentran estudios que están asociados a la actividad antimicrobiana de sus extractos [22-25]. En el caso del extracto diclorometano a partir de las hojas de *Inga edulis*, se demostró una actividad antibacteriana moderada (CMI 7,0 mg/mL) contra dos cepas de *S. aureus*; para *I. laurina* se ha reportado su efecto antimicrobiano contra bacterias orales aerobias y anaerobias, mientras que el estudio químico del extracto activo se determinó por CG-EM, encontrando terpenoides, ácidos grasos y ésteres [22-25]. A pesar de los diversos usos de la especie *I. jinicuil* en la medicina tradicional del sureste de México, sólo se han reportado el análisis de su actividad antimicrobiana en los extractos de hexano y cloroformo en semillas, donde los extractos demostraron ser activos contra *S. aureus* 25923 y *Listeria monocytogenes* 244, con una CMI de 100 µg/mL para cada microorganismo [26].

2



Perfil fitoquímico de los extractos de corteza y hojas de *Inga jinicuil* con actividad antiinflamatoria y antibacteriana.



Universidad Juárez Autónoma de Tabasco.

CAPÍTULO II JUSTIFICACIÓN



Perfil fitoquímico de los extractos de corteza y hojas de *Inga jinicuil* con actividad antiinflamatoria y antibacteriana.



II. JUSTIFICACIÓN

El uso inadecuado de medicamentos para el tratamiento de procesos inflamatorios, así como, la aplicación indiscriminada de antibióticos para el combate de infecciones bacterianas, han generado problemas de salud graves en la población a nivel mundial. Estos padecimientos dan una pauta a la búsqueda de nuevas alternativas terapéuticas, a partir de los productos de origen natural como son las plantas medicinales. Una planta empleada en la medicina tradicional del estado de Tabasco es *Inga jinicuil*, la cual ha sido poco estudiada en su fitoquímica, por lo que ayudará para contribuir en esta área, aportando información relevante en la composición química de sus partes aéreas (corteza y hojas) así como, explorar los efectos antiinflamatorios y antibacterianos de los extractos orgánicos de estos órganos vegetales, correlacionando el perfil fitoquímico con la actividad biológica.

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco.
México.

2



Perfil fitoquímico de los extractos de corteza y hojas de *Inga jinicuil* con actividad antiinflamatoria y antibacteriana.



Universidad Juárez Autónoma de Tabasco.

CAPÍTULO III HIPÓTESIS Y OBJETIVOS



Perfil fitoquímico de los extractos de corteza y hojas de *Inga jinicuil* con actividad antiinflamatoria y antibacteriana.

III. HIPÓTESIS Y OBJETIVOS

III.1. Hipótesis

La corteza y hojas de *Inga jinicuil* contienen metabolitos secundarios con potencial actividad antiinflamatoria y antibacteriano.

III.2. Objetivos

III.2.1. Objetivo general

Caracterizar químicamente y evaluar el potencial antiinflamatorio y antibacteriano de los metabolitos secundarios mayoritarios presentes en extractos de las partes aéreas de *Inga jinicuil*

III.2.2. Objetivos específicos

- 1) Obtener extractos de las partes aéreas (corteza y hojas) de *Inga jinicuil*, con disolventes de polaridad creciente: *n*-hexano, diclorometano y mezcla de etanol-agua.
- 2) Identificar los metabolitos secundarios mayoritarios en extractos de *Inga jinicuil* mediante técnicas cromatográficas y espectrométricas: CLAR-DAD y CG-EM.
- 3) Evaluar la actividad antiinflamatoria de los extractos en el modelo de edema en oreja de ratón inducido por TPA.
- 4) Evaluar la actividad antibacteriana de los extractos en cepas de interés clínico.
- 5) Realizar el aislamiento cromatográfico del extracto con mayor bioactividad



Perfil fitoquímico de los extractos de corteza y hojas de *Inga jinicuil* con actividad antiinflamatoria y antibacteriana.



Universidad Juárez Autónoma de Tabasco.
México.

CAPÍTULO IV METODOLOGÍA



Perfil fitoquímico de los extractos de corteza y hojas de *Inga jinicuil* con actividad antiinflamatoria y antibacteriana.



IV. METODOLOGÍA

La metodología de la investigación se presenta en la Figura 1.

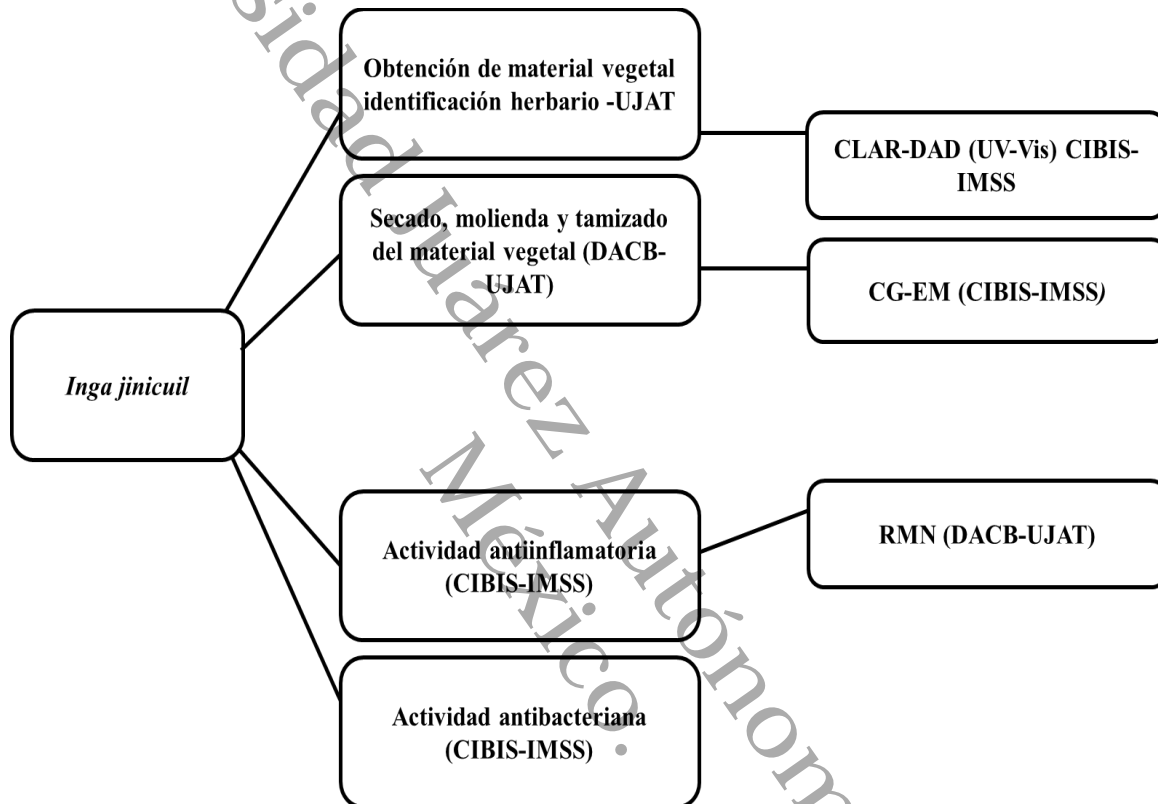


Figura 1. Esquema de metodología general.

IV.1. Obtención y extracción de *Inga jinicuil*.

Se colectó el material vegetal en una hacienda cacaotera del ejido Libertad 5ta sección del municipio de Cunduacán, Tabasco con coordenadas (latitud N 18°09'07.5924", longitud W 93°23'15.2736") los especímenes se encontraban en edad madura, así mismo se obtuvo una muestra para herbario, la cual se asignó el número de vóucher (36576) el árbol de *Inga jinicuil* empleado se observa en la Figura 2, donde se describe el procedimiento para la obtención de los extractos de *Inga jinicuil*.



Perfil fitoquímico de los extractos de corteza y hojas de *Inga jinicuil* con actividad antiinflamatoria y antibacteriana.

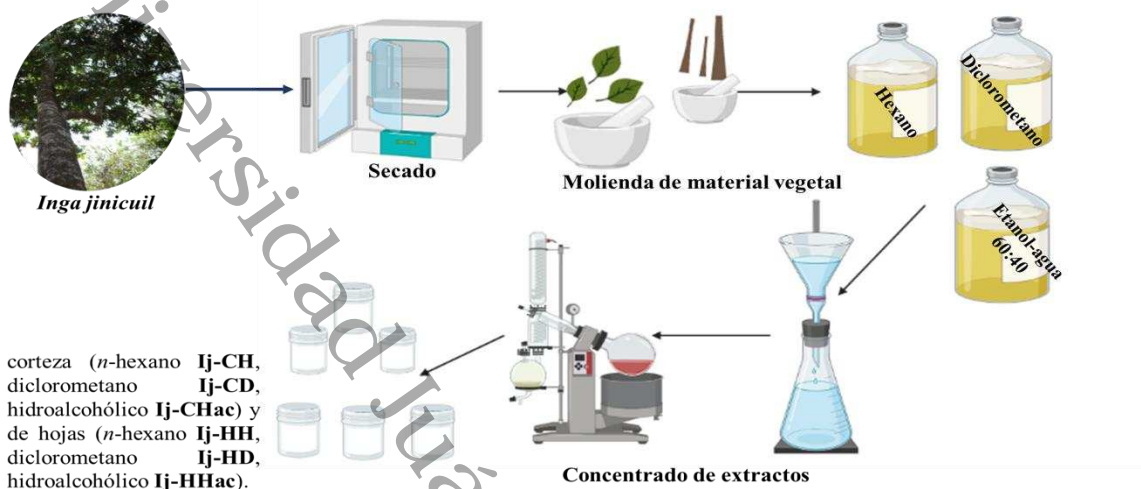


Figura 2. Metodología de procedimiento para obtener los extractos finales

Se colectaron muestras vegetales de (corteza y hojas) de *Inga jinicuil*, las cuales se secaron a temperatura ambiente en la oscuridad durante 72 h, después se tamizó en molino Pulvex MP300 con tamaño de partícula (4-6 mm). Los extractos se obtuvieron por maceración en solventes de polaridad creciente: *n*-hexano, diclorometano y una mezcla 60:40 de etanol: agua (hidroalcohólico), realizándose cada extracción por triplicado, posteriormente se filtraron y se concentraron en un rotavapor (Heidolph G3), luego se liofilizaron (Heto Drywinner DW3), para finalmente obtener seis extractos: corteza (*n*-hexano **Ij-CH**, diclorometano **Ij-CD**, hidroalcohólico **Ij-CHac**) y hojas (*n*-hexano **Ij-HH**, diclorometano **Ij-HD**, hidroalcohólico **Ij-HHac**).

IV.2. Análisis por CLAR-DAD

Los extractos de mediana y alta polaridad (**Ij-CD**, **Ij-CHac**, **Ij-HD** y **Ij-HHac**) fueron analizados por cromatografía líquida de alta resolución, se muestra un esquema general del proceso en la Figura 3.



Perfil fitoquímico de los extractos de corteza y hojas de *Inga jinicuil* con actividad antiinflamatoria y antibacteriana.

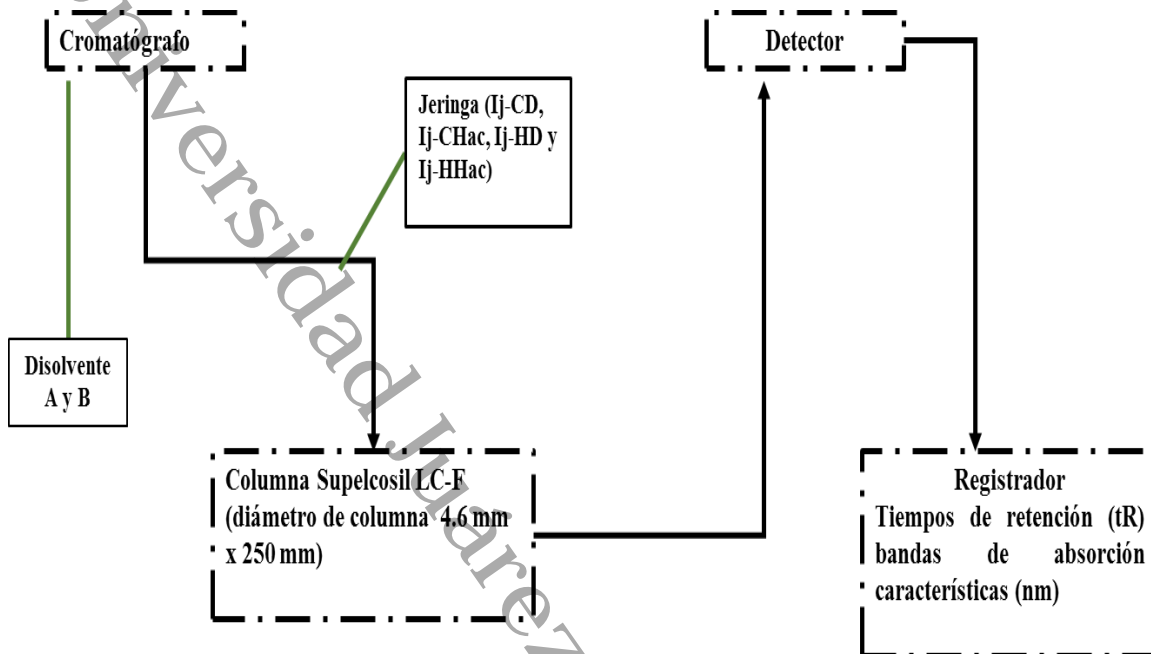


Figura 3. Esquema de análisis CLAR

Los análisis de cromatografía líquida de alta resolución (CLAR) se realizaron para cuatro extractos: dos de polar media y dos de polaridad alta (Ij-CD, Ij-CHac, Ij-HD y Ij-Hhac). El equipo empleado está equipado con un sistema de módulo de separación Waters 2695, con un detector de matriz de fotodiodos Waters 2695 y el software Empower Pro (Waters Corporation, Milford). Las separaciones se realizaron empleando una columna Supelcosil LC-F (diámetro de columna 4.6 mm x 250 mm, con tamaño de partícula 5 μ m) (Sigma-Aldrich). La fase móvil se preparó con un sistema de solución acuosa acidificada con ácido trifluoroacético al 0.5% como disolvente A y acetonitrilo como disolvente B, con un sistema de gradiente: 0-1 min, 0% de B; 2-3 min, 5% de B; 4-20 min, 30% de B; 21-23 min, 50% de B; 24-25 min, 80% de B; 26-27 min, 100% de B; 28-30 min, 0% de B. Con una velocidad de flujo que se estableció a 0.9 mL/min con un volumen de inyección de 10 μ L por cada muestra. Las absorbancias se midieron a 270 nm como se observa en la Figura 3 [27]. El análisis de los resultados se realizó mediante una identificación preliminar de los picos obtenidos por comparación con los tiempos de retención (tR) y las bandas características en UV-Vis de estándares conocidos y datos obtenidos de la literatura.



Perfil fitoquímico de los extractos de corteza y hojas de *Inga jinicuil* con actividad antiinflamatoria y antibacteriana.

IV.3. Análisis CG-EM

Los extractos de baja polaridad como (**Ij-CH** y **Ij-HH**) se analizaron mediante cromatógrafo de gases acoplado a espectrometría de masas (**CG-EM**), se muestra un esquema general del proceso en la Figura 4.

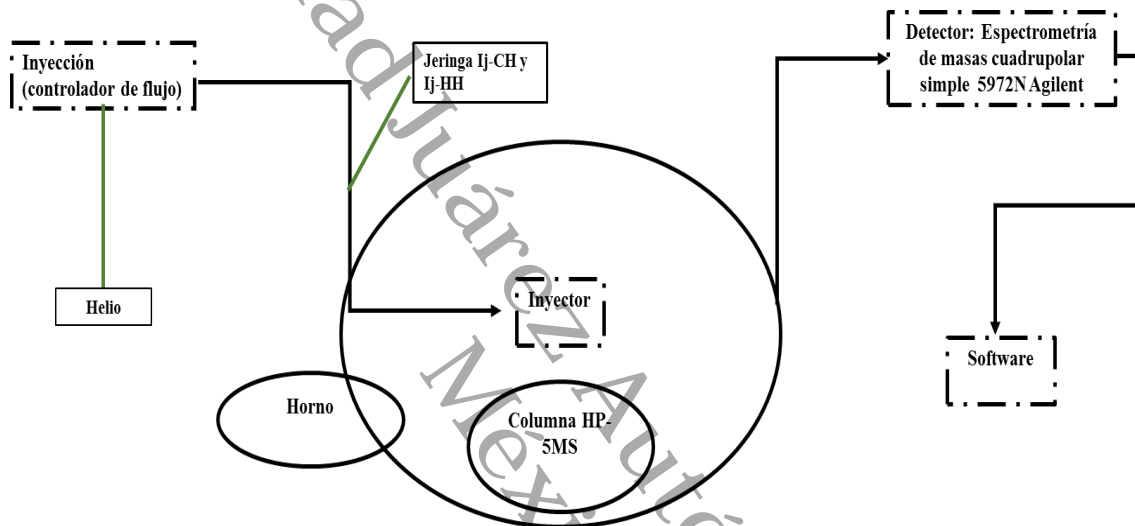


Figura 4. Esquema de análisis CG-EM

El análisis de la composición química de los extractos de baja polaridad (**Ij-CH** y **Ij-HH**), se realizó mediante el uso de un cromatógrafo de gases Agilent 6890 plus, acoplado a un detector de espectrometría de masas cuadrupolar simple, modelo 5972N (Agilent Technology) como se observa en la Figura 4. Para el análisis de compuestos volátiles se empleó una columna capilar HP 5MS (25 m de longitud, 0.2 mm de diámetro interior, con una película de 0.3 μ m de espesor). La temperatura utilizada se ajustó a 40 °C durante 2 minutos, luego se programó a 40-260 °C durante 10 minutos y se mantuvo durante 20 minutos a 260 °C. Las condiciones usadas para el detector de masas fueron las siguientes: la temperatura de la interfase a 200 °C con un rango de adquisición de masas de 20-550 u.m.a. Las temperaturas del inyector y del detector empleadas se fijaron a 250 y 280 °C, respectivamente. Por último, el modo de inyección se llevó a cabo con 1 μ L de cada fracción (solución de 3 mg/mL). El gas portador (helio) con flujo de 1 mL/min. La identificación de los compuestos volátiles se realizó comparando sus espectros de masas con los de la



Perfil fitoquímico de los extractos de corteza y hojas de *Inga jinicuil* con actividad antiinflamatoria y antibacteriana.

Biblioteca 1.7 del Instituto Nacional de Estándares y Tecnología de los Estados Unidos (NIST) y comparándolos con los datos de la literatura [28].

IV.4. Pruebas biológicas.

IV.4.1. Actividad antiinflamatoria

La evaluación de la actividad antiinflamatoria se realizó en los seis extractos obtenidos de *Inga jinicuil* (Ij-CH, Ij-CD, Ij-CHa, Ij-HH, Ij-HD y Ij-HHa) en el modelo de edema inducido por TPA en oreja de ratón, en el Laboratorio de Farmacología del Centro de Investigación Biomédica del Sur (CIBIS), el diseño experimental fue aprobado por el Comité de Ética del Instituto Mexicano del Seguro Social (R-2020-1702-008), la inflamación auricular se indujo siguiendo el método que se describe en la Figura 5.

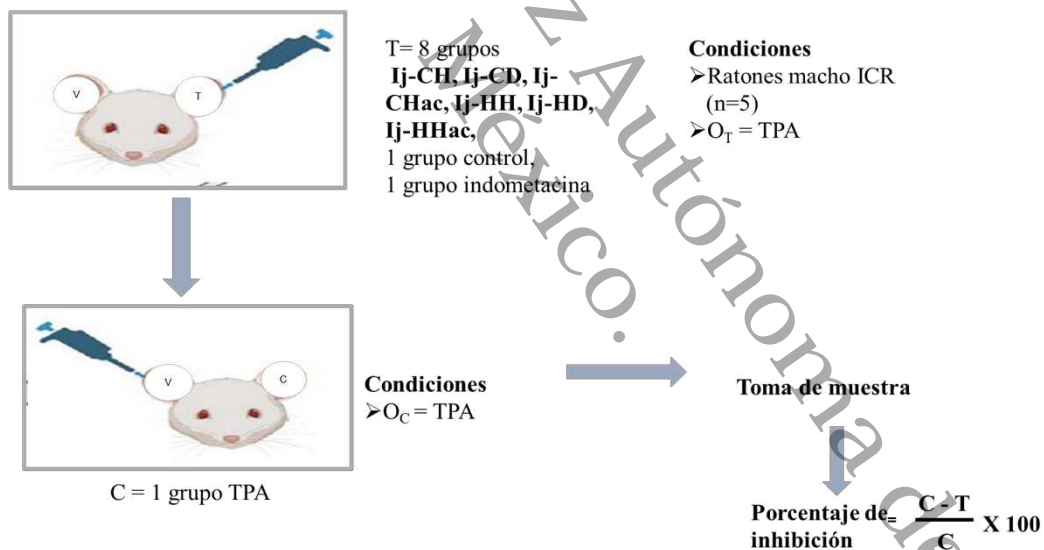


Figura 5. Esquema para la evaluación de la actividad antiinflamatoria

Los extractos se evaluaron en el modelo de inflamación auricular que se indujo de acuerdo al método descrito en la literatura [31]. El cual consiste en una dosis de 1.0 mg/oreja para la evaluación de cada uno de los extractos. Mientras que el grupo control se le administró acetona como vehículo, como grupo de control positivo antiinflamatorio se utilizó Indometacina (Indo, Sigma-Aldrich) 1.0 mg/oreja. Todas las muestras se disolvieron en acetona y se aplicaron tópicamente en ambas orejas, inmediatamente después se administró



Perfil fitoquímico de los extractos de corteza y hojas de *Inga jinicuil* con actividad antiinflamatoria y antibacteriana.

la solución de 12-O-tetradecanoilforbol-13-acetato (TPA, Sigma-Aldrich) como agente inflamatorio. Seis horas después de la administración, los animales fueron sacrificados por dislocación cervical. Por último, se tomaron secciones circulares de 6 mm de diámetro de la oreja tratada (t) y no tratada (nt), que se pesaron para determinar la inflamación como se observa en la Figura 5, con los pesos obtenidos se calcula el porcentaje de inhibición que se obtuvo empleando la siguiente expresión:

$$\% \text{ de inhibición} = \left[\frac{Dw \text{ control} - Dw \text{ tratado}}{Dw \text{ control}} \right] [100]$$

Donde: $Dw = wt - wnt$

wt: peso de la sección de la oreja tratada

wnt: peso de la sección de la oreja no tratada

IV.4.2. Actividad antibacteriana.

Los seis extractos se evaluaron mediante el análisis de concentración mínima inhibitoria (CMI) contra las cepas bacterianas gram positivo ATCC: *Staphylococcus aureus* resistente a la meticilina (Sa1; ATCC 43330, *Staphylococcus aureus* (Sa2; ATCC 29213), *Staphylococcus epidermis* (Se1; ATCC 12228), *Staphylococcus epidermis* (Se2; ATCC 35984), así como bacterias gram negativo *Escherichia coli* (Ec1; ATCC 25922), *Enterobacter cloacae* (Ec2; ATCC 700323), *Enterococcus faecalis* (Ef; ATCC 29212), *Klebsiella pneumoniae* (Kp; ATCC 700603), *Pseudomona aeruginosa* (Pa; ATCC 27853) y un aislado clínico de *Staphylococcus haemolyticus* (Sh; 1038) gram positivo. Las cepas se sembraron en agar antibiótico n° 1 (Bioxon, México) durante 24 h a 37 °C. La cepa del aislado clínico de *S. haemolyticus* fue proporcionada por el Hospital General de Acapulco, Estado de Guerrero, México, al Banco de Bacterias de la Universidad Autónoma de Guerrero (UAGro). La metodología empleada se describe en la Figura 6.



Perfil fitoquímico de los extractos de corteza y hojas de *Inga jinicuil* con actividad antiinflamatoria y antibacteriana.

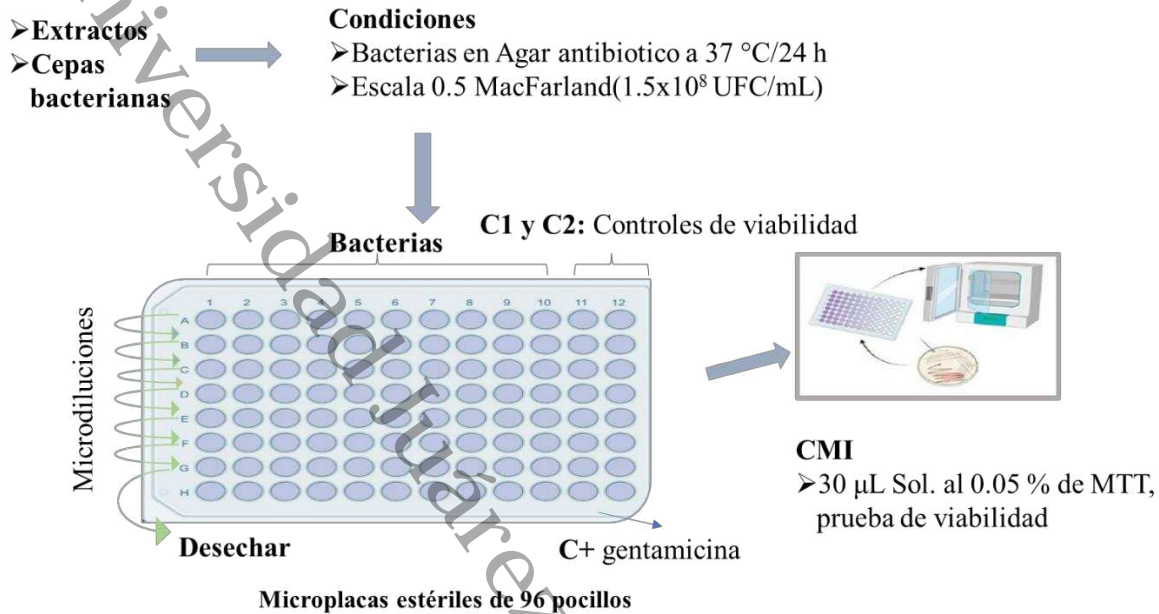


Figura 6. Esquema de ensayos para CMI por el modelo de dilución en caldo

Para la preparación de los inóculos se emplearon cultivos los cuales se incubaron por 24 horas a 37 °C, seguidamente, se tomaron de 3 a 4 colonias de cada cepa para dilución con caldo Müller-Hinton (MHb), estos se ajustaron con la escala de 0.5 MacFarland (1.5×10^8 UFC/mL). Posteriormente, se realizó una dilución con agua destilada para obtener 1×10^4 UFC/mL.

Los extractos se determinaron mediante el método de la concentración mínima inhibitoria (CMI) por dilución en caldo por microdilución [32]. Se emplearon 50mg/mL de cada una de las muestras las cuales se disolvieron en una mezcla de DMSO-agua (20:80), las concentraciones utilizadas fueron 3.37, 6.75, 12.5, 25, 50, 100 y 200 µg/mL. Las pruebas se realizaron empleando microplacas estériles de 96 pocillos, a las que se añadieron las muestras más 200 µL de MHb, por último, se adicionaron 2 µL de inóculo (1×10^4 UFC/mL). Los controles de viabilidad utilizados fueron: MHb+DMSO+inóculo y MHb+ inóculo; como antibiótico de referencia se empleó gentamicina (C+, 100 µg/mL; Sigma Aldrich). Finalmente, las placas se incubaron a 37 °C durante 24 horas, terminando el tiempo de incubación se determinó la CMI, añadiendo 30 µL de solución (0.05%) de bromuro de 3-(4,5-dimetiltiazol-2-il)-2,5, difenil tetrazolio (MTT, Sigma-Aldrich) en cada pocillo, para



Perfil fitoquímico de los extractos de corteza y hojas de *Inga jinicuil* con actividad antiinflamatoria y antibacteriana.

determinar la CMI, se observó la viabilidad, si se presentaba un desarrollo púrpura indicaba la viabilidad de las bacterias; si no se desarrollaba este color, se interpretó como la no viabilidad de la bacteria.

IV 4.3. Análisis estadístico

Para el análisis de los datos de la actividad antiinflamatoria, se expresaron como media \pm error estándar de la media (SEM), y la significación estadística se determinó mediante un análisis de la varianza (ANOVA), los valores se consideraron con un nivel de confianza del 95% ($*p \leq 0,05$) y seguido de la prueba de Dunnet comparando cada uno *versus* Indo. Todos los análisis se realizaron con el programa estadístico IBM SPSS ver. 23.0 (GraphPad Software, IBM, EE.UU.).

IV.5. Fraccionamiento del extracto de *Inga jinicuil*

El aislamiento se llevó mediante separación en columna cromatográfica mientras que el seguimiento de la separación se analizó mediante cromatografía en capa fina (CCF), las reunieron se agruparon de acuerdo a su similitud en el perfil cromatográfico. El desarrollo de este proceso se muestra en la Figura 7.



Figura 7. Esquema para fraccionamiento en cromatografía en columna



Perfil fitoquímico de los extractos de corteza y hojas de *Inga jinicuil* con actividad antiinflamatoria y antibacteriana.



IV.6. Caracterización mediante Resonancia Magnética Nuclear (RMN)

La caracterización del compuesto **C4R5** (IJAGC4-R5, 5.6 mg), se realizó mediante Resonancia Magnética Nuclear (RMN) de ^1H y ^{13}C , se muestra un esquema general del proceso en la Figura 8.

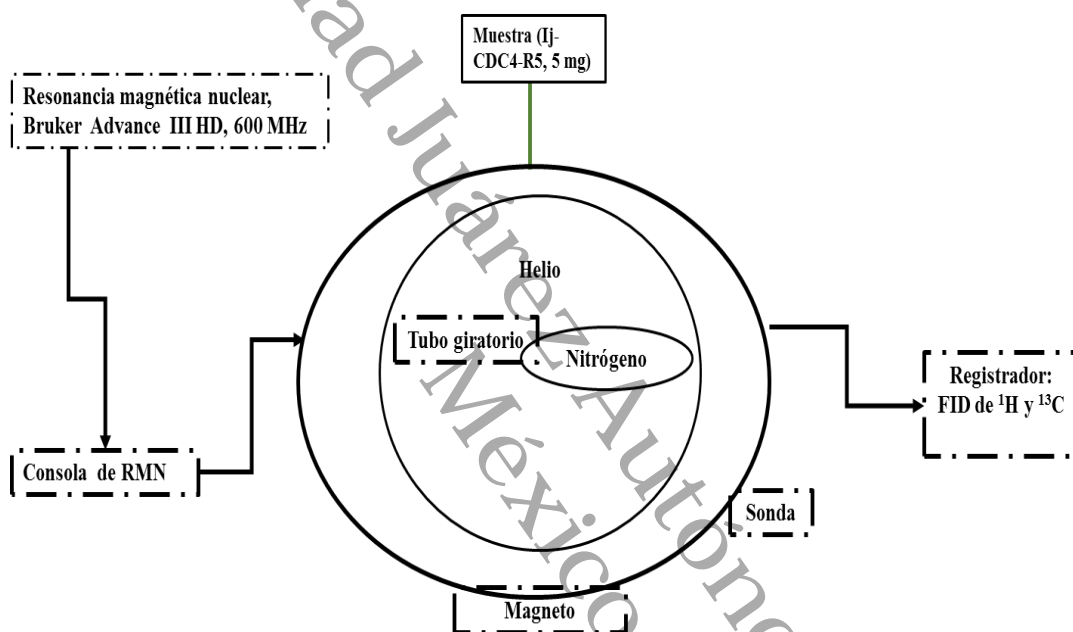


Figura 8. Esquema del equipo de Resonancia Magnética Nuclear [33].

El compuesto aislado **C4-R5** (5.6 mg) se disolvió en 0.650 μL de CDCl_3 con tetrametilsilano (TMS) como referencia interna, se emplearon tubos para RMN marca Duran® de 5 mm de diámetro, los experimentos unidimensionales de ^1H y ^{13}C se llevaron a cabo en un equipo Bruker Ascend 600, a una frecuencia de resonancia de 600 MHz para ^1H y de 150 MHz para ^{13}C . Apartir de los espectros obtenidos se realizó la elucidación estructural [33].

2



Perfil fitoquímico de los extractos de corteza y hojas de *Inga jinicuil* con actividad antiinflamatoria y antibacteriana.



Universidad Juárez Autónoma de Tabasco.

CAPÍTULO V RESULTADOS Y DISCUSIÓN



Perfil fitoquímico de los extractos de corteza y hojas de *Inga jinicuil* con actividad antiinflamatoria y antibacteriana.

V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

V.1. Obtención y Rendimiento de los extractos de *Inga jinicuil*

Se colectó el material vegetal en una comunidad de Cunduacán, Tabasco con coordenadas (latitud N 18°09'07.5924", longitud W 93°23'15.2736") así mismo se obtuvo una muestra para herbario, asignándose el número de voucher (36576), el árbol de *Inga jinicuil* empleado se observa en la Figura 9.



Figura 9. Árbol de *Inga jinicuil*.

Los rendimientos para cada extracto de *Inga jinicuil* se presentan en la Tabla 2. Se obtuvieron tres tipos de extractos (en orden de polaridad creciente) de la corteza (Hexano **Ij-CH**, Diclorometano **Ij-CD**, e Hidroalcohólico **Ij-CHac**) y tres más de las hojas (Hexano **Ij-HH**, Diclorometano **Ij-HD**, e Hidroalcohólico **Ij-HHac**).

Tabla 2. Porcentajes obtenidos de los extractos de *Inga jinicuil*

Extracto	<i>n</i> -hexano (% rendimiento)	Diclorometano (% rendimiento)	Hidroalcohólico (% rendimiento)
Extracto corteza	0.095	0.82	0.25
Extracto hojas	0.95	1.02	4.65

V.2. Análisis por CLAR y espectros UV-Vis de extractos polares de *Inga jinicuil*.

En el análisis por CLAR de los cuatro extractos polares (**Ij-CD**, **Ij-CHac**, **Ij-HD** e **Ij-HHac**) de corteza y hojas de *Inga jinicuil* permitió la determinación de un total de 21 picos de acuerdo con sus tiempos de retención (t_R), como se observa en la Figura 10.



Perfil fitoquímico de los extractos de corteza y hojas de *Inga jinicuil* con actividad antiinflamatoria y antibacteriana.

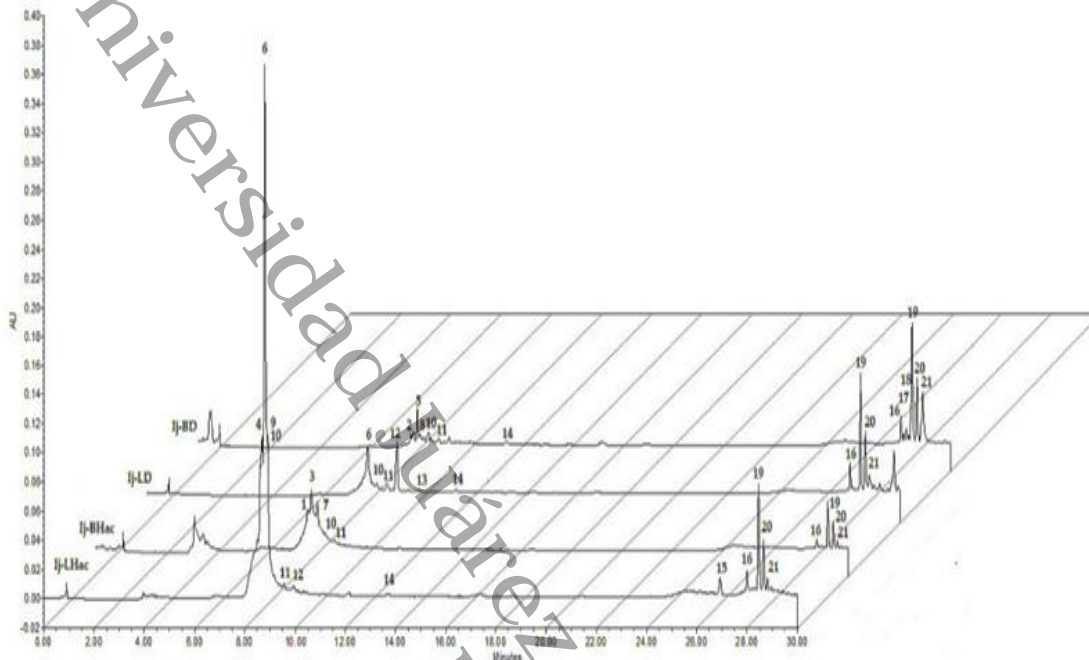


Figura 10. Cromatogramas CLAR de los extractos de corteza (**Ij-CD, Ij-CHac**) y de hojas (**Ij-HD, Ij-HHac**). Los picos están numerados en orden ascendente según sus tiempos de retención ($\lambda = 270 \text{ nm}$)

Los picos en los cromatogramas pueden diferenciarse en dos grupos principales. El primer grupo que engloba a compuestos relativamente más polares, presentó catorce picos con t_R entre 8 y 12 minutos, mientras que fue posible la identificación de un segundo grupo de compuestos, con siete picos que mostraron una polaridad relativamente más baja, al presentarse en un rango de t_R de 26-29 minutos.

Se realizó una asignación fitoquímica preliminar a los picos encontrados, basándose en los tiempos de retención, los cuales se compararon contra los reportes de estándares determinados en condiciones cromatográficas similares, además de compararse las bandas representativas de los espectros UV-Vis.

El resultado de este perfil fitoquímico preliminar se resume en la Tabla 3.



Perfil fitoquímico de los extractos de corteza y hojas de *Inga jinicuil* con actividad antiinflamatoria y antibacteriana.

Tabla 3. Perfil fitoquímico preliminar mediante análisis CLAR-UV-Vis de los extractos polares de corteza y hojas de *I. jinicuil*

Pico	Tiempo de retención (min)	Bandas de absorción (nm)	Extracto (s)*	Compuesto al que es afín**	Referencia
1	8.46	220.4, 261.6, 294.7	■	Ác. Protocatecuico	Estándar [34, 35]
2	8.58	249.8, 273.6	●	Derivado de ác. Protocatecuico	Estándar [34, 35]
3	8.58	218.1, 276.9	■	Derivado de ác. Gálico	Estándar [36, 37]
4	8.66	212.2, 251.5, 352.9	□	Flavona glicosilada. Derivado de apigenina	Estándar [38, 39]
5	8.75	219.2, 249.8, 273.4	●	Lignano	Estándar [40, 41]
6	8.81	215.7, 269.8, 337.4	○□	Flavona glicosilada. Derivado de apigenina	Estándar [50, 51]
7	8.85	219.2, 279.3	■	Derivado de ác. Gálico	Estándar [49, 50]
8	8.86	215.7, 308.9	●	Derivado de ác. Cumárico	Estándar [42]
9	8.91	207.5, 269.8, 335.1	□	Flavona glicosilada. Derivado de apigenina	[38, 39]
10	9.18	249.8	○□■	Terpeno	[44]
11	9.58	245.1	○□■	Terpeno	[44]
12	9.96	209.9, 294.7, 338.6	○□	Derivado de cumarina	[45, 46, 47]
13	10.03	276.9	○	Derivado de galato de epigalocatequina	Estándar [48]
14	12.30	235.7, 266.3	○□●	Terpeno	[44]
15	26.91	219.2, 273.4, 293.5	□	Derivado del ác. Vanílico	[49, 50]
16	28.01	204, 248.6	○□●■	Terpeno	[44]
17	28.11	278.1	●	Derivado de galato de epigalocatequina	[48]
18	28.21	245.1, 278.1, 327.9	●	Derivado de cumarina	[45, 46, 47]
19	28.43	201.7, 261.6	○□●■	Derivado de salicilato	Estándar [51]
20	28.65	200.5, 263.9	○□●■	Derivado de salicilato	Estándar [51]
21	28.81	263.9	○□●■	Derivado de salicilato	Estándar [51]

* Extracto(s): Extracto de corteza, ● (Ij-CD), ■ (Ij-CHac); extracto de hojas, ○ (Ij-HD), □ (Ij-HHac).

** Los compuestos se sugirieron mediante una comparación preliminar del tiempo de retención (t_R) y las bandas de UV-Vis con los estándares y los datos de la literatura.

Como ya se mencionó, este análisis preliminar de los metabolitos presentes en los extractos, se realizó para los 21 picos encontrados en los cromatogramas. En el anexo II se incluyen



Perfil fitoquímico de los extractos de corteza y hojas de *Inga jinicuil* con actividad antiinflamatoria y antibacteriana.

los 21 espectros UV-Vis analizados y a continuación se presenta el proceso efectuado para cuatro picos representativos.

El primer pico con tR en 8.46 min se encontró presente únicamente en el extracto **Ij-CHac**, su espectro UV-Vis se presenta en la Figura 11 en donde pueden observarse tres bandas de absorción máxima en 220.4, 261.6 y 294.7 nm las cuales son características de ácidos aromáticos hidroxilados.

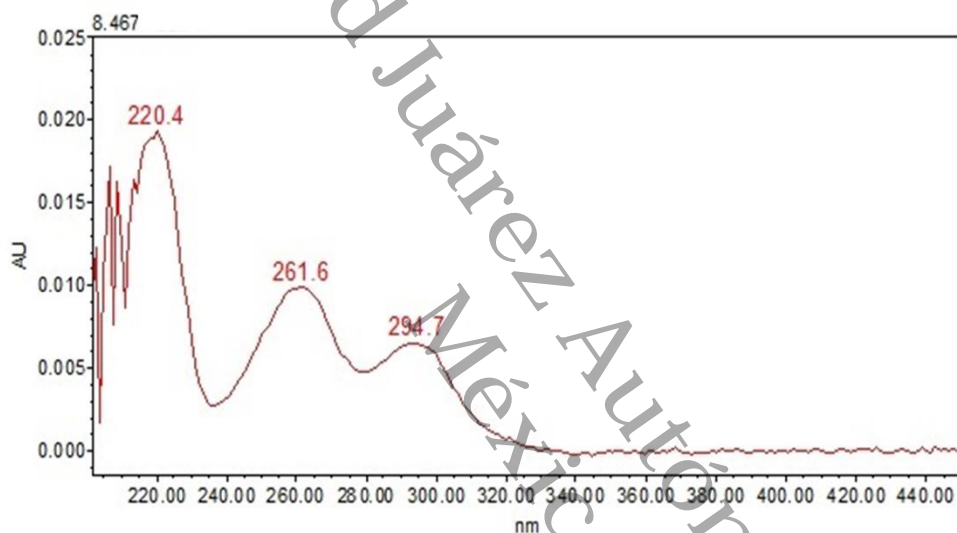
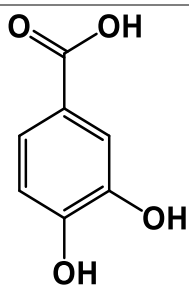


Figura 11. Espectros UV ácido protocatecuico de *Inga jinicuil*

A partir del parámetro de tR y las λ_{\max} y comparando con la literatura [34, 35] se observó que coinciden con las del estándar del ácido protocatecuico en condiciones semejantes de separación cromatográfica, un resumen de las propiedades de este compuesto se presenta en la Tabla 4.

Tabla 4. Asignación del ácido protocatecuico obtenido de *Inga jinicuil*

Estructura y nombre	Datos relevantes
 <p>Ácido protocatecuico</p>	<p>tR=8.46 min</p> <p>λ_{\max}=220.4, 216.6 y 294.7 nm</p> <p>Actividad biológica: Auxiliar en la inflamación asociado alergias, asma, anticancerígena como antioxidante</p> <p>Referencias: 34,35</p>



Perfil fitoquímico de los extractos de corteza y hojas de *Inga jinicuil* con actividad antiinflamatoria y antibacteriana.

Asimismo, se observa el pico 8 con tR de 8.86 min, el cual se encuentra solo en el extracto de Ij-CD, en la Figura 12 se presenta el espectro UV con las bandas en 215.7 y 308.9 nm que pueden atribuirse a un ácido cinámico hidroxilado.

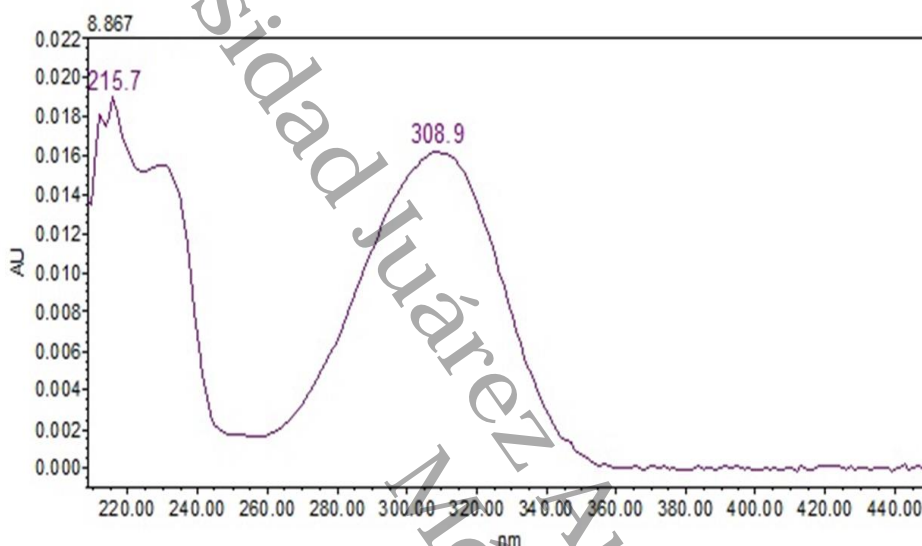
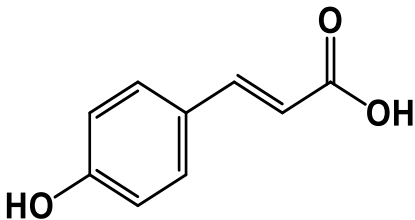


Figura 12. Espectros UV derivado de cumarina de *Inga jinicuil*

El tR y λ_{\max} fueron una pauta para la identificación de este pico como un derivado del ácido cumárico [42] cuyas propiedades principales se presentan en la Tabla 5. Cabe señalar que en el proceso de separación cromatográfica que se describe más adelante se logró el aislamiento de este derivado con un análisis más detallado de su estructura.

Tabla 5. Descripción de derivado de cumarina

Estructura y nombre	Datos relevantes
 <p>Derivado de ácido cumárico</p>	<p>tR=8.86 min</p> <hr/> <p>λ_{\max}=215.7 y 308.9 nm</p> <hr/> <p>Actividad biológica: Antiinflamatorio en proceso cardio vasculares</p> <hr/> <p>Referencias: 42</p>

Dentro de los compuestos menos polares se encuentra el pico 15 en el extracto Ij-HHac, que presenta tR de 28.01 min que se puede observar en la Figura 13, el espectro de UV



Perfil fitoquímico de los extractos de corteza y hojas de *Inga jinicuil* con actividad antiinflamatoria y antibacteriana.

que presenta bandas de absorbancia en 204.0 y 248.6 nm las cuales se atribuyen a un ácido fenólico metóxilado.

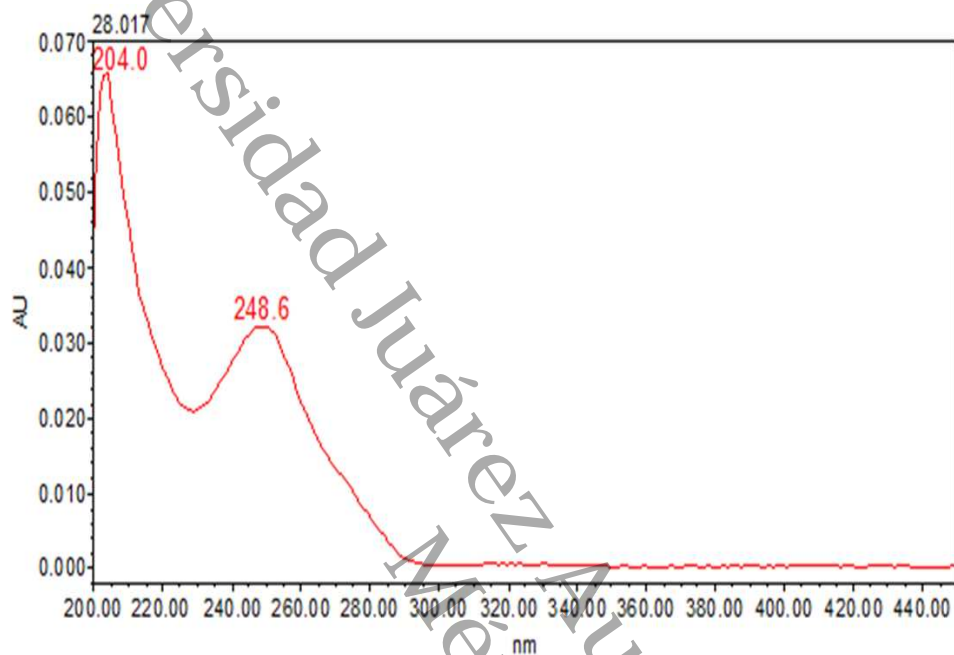


Figura 13. Espectro UV derivado de ácido vanílico de *Inga jinicuil*

Los datos de t_R y λ_{max} del pico 15 se compararon con los reportes en la literatura para el estándar ácido vanílico en condiciones cromatográficas similares [49, 50], un resumen de las propiedades de este compuesto se presenta en la Tabla 6.

Tabla 6. Descripción de derivado de ácido vanílico de *Inga jinicuil*

Estructura y nombre	Datos relevantes
	$t_R=26.91$ min
	$\lambda_{max}=219.2, 273.4$ y 293.5 nm
	Actividad biológica: Analgésica, antimicrobiana y antipalúdica
	Referencias: 49 y 50

El pico 19 que se encuentra presente en todos los extractos analizados (**Ij-CD, Ij-CHac, Ij-HD y Ij-HHac**) presentó un t_R de 28.65 min y el espectro de UV con bandas de



Perfil fitoquímico de los extractos de corteza y hojas de *Inga jinicuil* con actividad antiinflamatoria y antibacteriana.

absorbancia 200.5 y 263.9 nm, las cuales son consistentes con un derivado de ácido salicílico como se observa en la Figura 14.

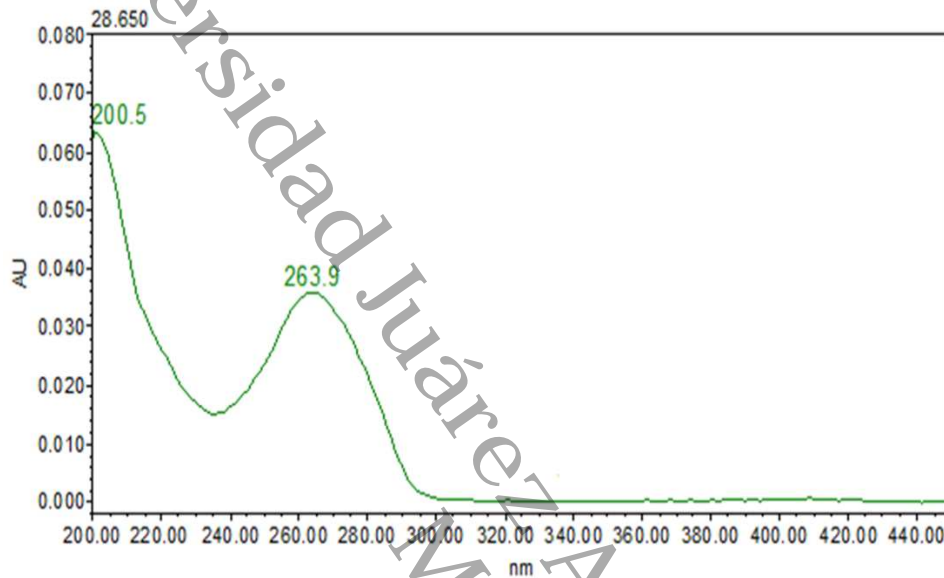
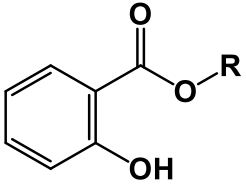


Figura 14. Espectros UV derivado de salicilato de *Inga jinicuil*

La asignación del pico 19 como un derivado de salicilato está sustentada por la comparación con los datos reportados en la literatura [51] las propiedades se presentan en la Tabla 7.

Tabla 7. Descripción de derivado de salicilato de *Inga jinicuil*

Estructura y nombre	Datos relevantes
 <p>Derivado de salicilato</p>	<p>tR=28.43 min</p> <p>λ_{max}=201.7 y 261.6 nm</p> <p>Actividad biológica: Analgésica, antiinflamatoria y antipirética</p> <p>Referencias: 51</p>

El análisis realizado en los extractos de polaridad media y alta de corteza y hojas de *Inga jinicuil* corresponden al primer reporte preliminar de estudio fitoquímico en esta especie. Al comparar estos resultados con los reportes para otras especies del mismo género, se encontró similitud en el perfil fitoquímico, ya que otras especies del género *Inga* presentan polifenoles con importancia biológica, como es el caso de *Inga semialata*, *Inga edulis* e *Inga laurina*,



Perfil fitoquímico de los extractos de corteza y hojas de *Inga jinicuil* con actividad antiinflamatoria y antibacteriana.



en donde se han identificado también compuestos como ácido gálico, ácido protocatecuico, epicatequina, apigenina y lupeol por mencionar algunos, que actualmente tienen estudios farmacológicos con diversas actividades, una de ellas la antiinflamatoria [51, 52].

V.3. Perfil químico de los extractos hexánicos de corteza y hojas de *Inga jinicuil* por CG-EM

El análisis de los cromatogramas CG-EM de **Ij-CH** e **Ij-HH** [Figuras 15 y 16] permitió identificar 21 compuestos, 7 de ellos se encontraron sólo en el extracto de corteza, 11 compuestos aparecieron en el análisis del extracto de hojas, y 3 son comunes en los dos extractos de ambos órganos. Los 21 compuestos se presentan en la Tabla 8 ordenados según su orden de elución.

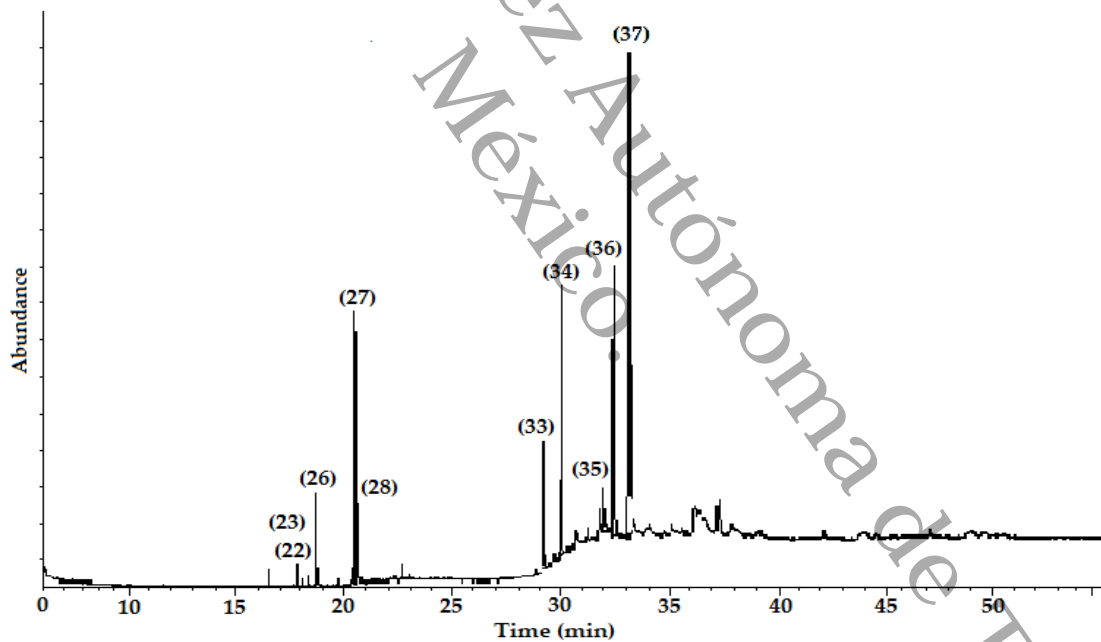


Figura 15. Cromatograma CG del extracto **Ij-CH**. Los picos están numerados en orden ascendente según los tiempos de retención.



Perfil fitoquímico de los extractos de corteza y hojas de *Inga jinicuil* con actividad antiinflamatoria y antibacteriana.

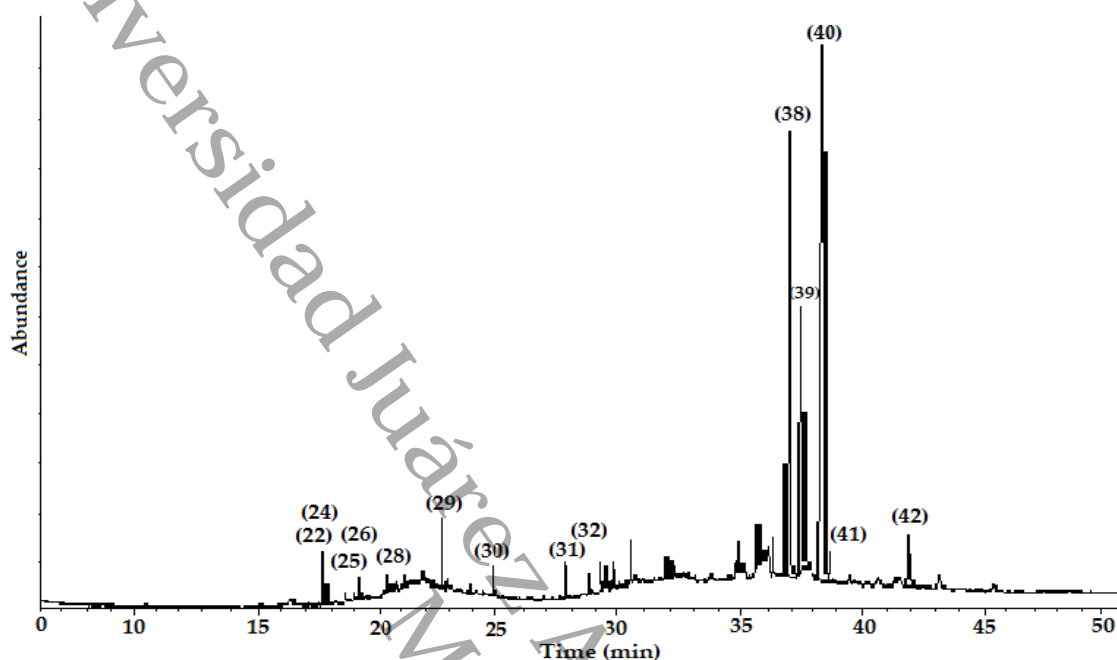


Figura 16. Cromatograma CG del extracto hexánico Ij-HH. Los picos están numerados en orden ascendente según los tiempos de retención.

En la Tabla 8 presenta una lista de los compuestos ordenados según su tiempo de retención, así como su % de abundancia.

Tabla 8. Compuestos fitoquímicos identificados en los extractos hexánicos de la corteza (Ij-CH) y las hojas (Ij-HH) de *Inga jinicuil* por CG-EM.

Pico	tR*	PM*	Extracto(s), (%)**	Compuesto**
22	17.80	268.5	▲, (1.07)	10,14-trimetilpentadecan-2-ona
	17.75		△, (1.18)	
23	17.80	296.5	▲, (1.07)	3,7,11,15-tetrametilhexadec-2-en-1-ol
	18.55		△, (1.04)	
24	18.55	270.5	△, (1.04)	Hexadecanoato de metilo
	18.61		△, (0.88)	
25	18.61	276.3	△, (0.88)	7,9-di-terc-butyl-1-oxaspiro (4,5) deca-6,9-dieno-2,8-diona
	18.68		▲, (3.83)	
26	18.68	270.5	▲, (3.83)	Hexadecanoato de etilo
	18.61		△, (0.88)	
27	20.51	296.5	▲, (11.74)	Fitol
	20.60		▲, (3.14)	
28	20.60	298.5	▲, (3.14)	Octadecanoato de metilo
	20.47		△m (0.44)	
29	22.53	324.5	△, (1.35)	4,8,12,16-tetrametilheptadecan-4-ol
	24.63		△, (0.80)	
30	24.63	390.6	△, (0.80)	Ftalato de diisooctilo
	27.76		△, (1.62)	
31	27.76	380.6	△, (1.62)	15-tetracosenoato de metilo



Perfil fitoquímico de los extractos de corteza y hojas de *Inga jinicuil* con actividad antiinflamatoria y antibacteriana.

32	29.19	518.7	△, (1.02)	Tetradecanoato de 3, 3a,4, 6a,7,8,9,10, 10a, 10b-decahidro-3a, 10a, dihidroxi-5-(hidroximetil)-2, 10-dimetil-3-oxobenz [e] azulen-8-ilo
33	29.21	410.7	▲, (5.98)	Escualeno
34	30.05	408.8	▲, (12.55)	Nonacosano
35	31.95	416.7	▲, (3.74)	β-Tocoferol
36	32.44	436.8	▲, (16.66)	Hentriacontano
37	33.07	430.7	▲, (40.49)	α-Tocoferol
38	36.91	424.7	△, (26.74)	Lup-20 (29) -en-3-ona
39	37.39	426.7	△, (16.43)	Lupeol
40	38.35	438.7	△, (38.61)	24-metilencicloartan-3-ona
41	38.64	412.7	△, (2.27)	Estigmast-4-en-3-ona
42	41.85	440.7	△, (4.99)	24-metilencicloartanol

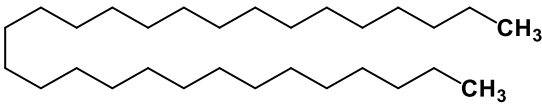
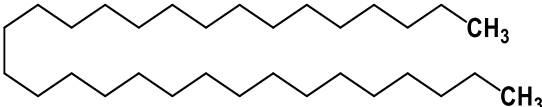
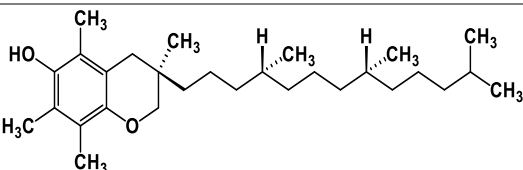
*tR= tiempo de retención (min); PM= Peso molecular (uma).

**Extractos: extracto de corteza (▲ (Ij-BH) y extracto de hojas (△ (Ij-LH). Entre paréntesis se presenta el porcentaje de abundancia relativa para cada pico.

**Comparado con la Biblioteca del Instituto Nacional de Normas y Tecnología (NIST).

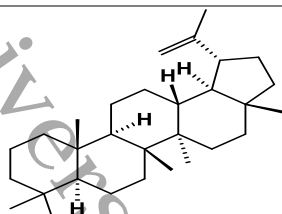
Los compuestos más abundantes detectados para Ij-CH y Ij-HH se presentan en la Tabla 9, se presentan sus estructuras químicas y se comparan con reportes de su presencia en otras especies del género *Inga*.

Tabla 9. Compuestos de mayor abundancia (Ij-CH y Ij-HH) de *Inga jinicuil* encontrados en el análisis por CG-EM. reportados en otras especies por CG-EM.

Estructura y nombre	Datos relevantes
 <p>Nonacosano</p>	<p>*% de la muestra= ▲ (12.55), pico= 34</p> <p>Reportes previos: <i>Inga laurina</i> propiedades antioxidantes</p> <p>Referencia:54</p>
 <p>Hentriacontano</p>	<p>*% de la muestra= ▲ (16.66), pico=36</p> <p>Reportes previos: <i>Inga laurina</i> hidrocarburo</p> <p>Referencia:52,53</p>
 <p>α-Tocoferol</p>	<p>*% de la muestra= ▲ (40.49), pico=37</p> <p>Reportes previos: No reportado previamente en especies del género <i>Inga</i>. Posee propiedades antioxidantes</p> <p>Referencia:49</p>



Perfil fitoquímico de los extractos de corteza y hojas de *Inga jinicuil* con actividad antiinflamatoria y antibacteriana.

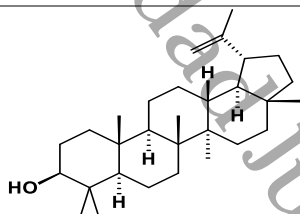


Lup-20 (29) –en 3-ona

*% de la muestra= Δ (26.74), pico=38

Reportes previos: *Inga laurina* propiedades antimicrobianas

Referencia:54

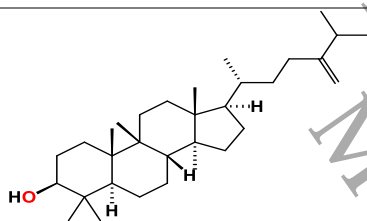


Lupeol

*% de la muestra= Δ (16.43), pico=39

Reportes previos: *Inga edulis* e *inga semialata* propiedades antioxidantes

Referencia:52,53



24-metilencicloartan-3-ona

*% de la muestra= Δ (38.61), pico=40

Reportes previos: No reportado previamente en especies del género *Inga*. Posee propiedades antiinflamatorias

Referencia:49

*% Extractos: extracto de corteza (\blacktriangle (Ij-CH) y extracto de hojas (Δ (Ij-HH), número de pico en cromatograma.

Cabe destacar que este es el primer reporte de análisis CG-EM de extractos hexánicos de *Inga jinicuil*. Los datos reportados de algunas especies del género coinciden con algunos presentes en *Inga jinicuil*, como son nonacosano y lupeol. De igual manera se reporta por primera vez la presencia de los siguientes compuestos en *Inga*: hentriacontano, α -tocoferol, lup-20(29)-en-3-ona y 24-metilenocicloartan-3-ona, así mismo estos compuestos presentan actividad biológica como antioxidante y antimicrobiana, reportada en la literatura como se observa en la Tabla 9.

V.4. Actividad antiinflamatoria de los extractos orgánicos de *Inga jinicuil*

Los resultados correspondientes al estudio antiinflamatorio de los extractos orgánicos se presentan en la Figura 17.



Perfil fitoquímico de los extractos de corteza y hojas de *Inga jinicuil* con actividad antiinflamatoria y antibacteriana.

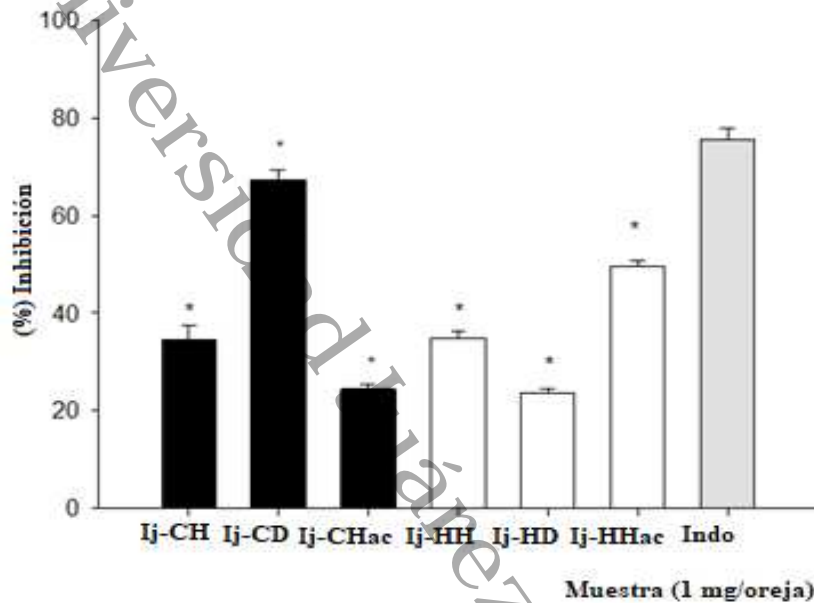


Figura 17. Porcentaje de inhibición de la inflamación (%) de los extractos **Ij-CH**, **Ij-CD**, **Ij-CHac**, **Ij-HH**, **Ij-HD**, e **Ij-HHac** de *Inga jinicuil* e Indometacina (**Indo**) en el edema inducido por TPA en oreja de ratón a 1,0 mg/oreja. Los valores se presentan como medias \pm error estándar de las medias (SEM). n = 5. ANOVA, con postest Dunnet con $*p \leq 0,05$ en comparación con Indo.

Se observa que a la misma dosis de 1.0 mg/oreja, todos los extractos mostraron actividad antiinflamatoria. Para el caso de la corteza, el porcentaje de inhibición del extracto hexánico (**Ij-CH**) fue del $34.6 \pm 3.0\%$, mientras que el extracto diclorometánico (**Ij-CD**) inhibió la inflamación en un $67.3 \pm 2.0\%$ y el extracto hidroalcohólico (**Ij-CHac**) presentó este efecto en un $24.4 \pm 1.0\%$. Para los extractos obtenidos a partir de hojas, el correspondiente a la fracción hexánica (**Ij-HH**) mostró una actividad antiinflamatoria del $34.9 \pm 1.3\%$ en el modelo probado, el extracto diclorometánico (**Ij-HD**) tuvo efecto del $23.0 \pm 1.0\%$, mientras que la fracción hidroalcohólica (**Ij-HHac**), exhibió un porcentaje de inhibición de la inflamación del $49.6 \pm 1.0\%$; para indometacina (**Indo**), utilizado como fármaco de referencia, el porcentaje de inhibición fue del $75.5 \pm 2.2\%$. Como puede observarse, los dos extractos con mayor actividad antiinflamatoria fueron **Ij-CD**, seguido de **Ij-HHac**; la comparación estadística entre las actividades antiinflamatorias de los extractos y el fármaco de referencia reveló diferencias significativas ($p < 0.05$). Por lo que ningún extracto alcanzó un efecto igual o superior al de indometacina, sin embargo, los resultados mostraron que los



Perfil fitoquímico de los extractos de corteza y hojas de *Inga jinicuil* con actividad antiinflamatoria y antibacteriana.

extractos de corteza y hoja de *Inga jinicuil*, presentan un efecto antiinflamatorio de leve a moderado.

Aunque especies como *I. laurina*, *I. edulis*, *I. marginata* e *I. jinicuil* se emplean para tratar trastornos estomacales e inflamatorios en la medicina tradicional, se han reportado pocos estudios para confirmar las propiedades farmacológicas que se les atribuyen. Sin embargo, informes recientes han demostrado la presencia de flavonoides y otros compuestos fenólicos en algunas de estas especies que pueden estar asociados con el uso de estas especies [55].

Este estudio, representa el primer acercamiento de *Inga jinicuil* asociado a la evaluación preliminar de la actividad antiinflamatoria de sus extractos. Los datos obtenidos muestran a los extractos de corteza **Ij-CD**, ejerciendo un efecto más consistente y siendo el que demostró una mayor actividad. Cabe mencionar que el perfil químico de este extracto mostró la presencia de salicilatos, terpenoides y derivados del galato de epigallocatequina, así como de derivados de los ácidos protocatecúico y cumárico, que pueden estar asociados a este efecto biológico [43, 47, 50]. En el caso del extracto de las hojas, **Ij-HHac** mostró efecto menor que la corteza, en el análisis de su contenido metabólico reveló la presencia de compuestos polifenólicos, terpenoides, cumarinas, derivados del ácido vanílico y compuestos de tipo flavonoide como los derivados de la apigenina, de los cuales se han reportado efectos antiinflamatorios [43, 53, 56]. Además, informes previos de metabolitos relacionados con la actividad antiinflamatoria están relacionados con el mecanismo del fármaco de referencia empleado como es la Indometacina [57, 58, 59]. Finalmente, es importante mencionar que los dos extractos con mayor actividad tienen en común la presencia de terpenos y salicilatos; estos compuestos son reconocidos por tener efectos analgésicos, así como antiinflamatorios [43, 47].

V.5. Actividad antibacteriana de los extractos orgánicos de *Inga jinicuil*

La evaluación de la actividad antibacteriana de los extractos de corteza y hojas de *Inga jinicuil* sobre microorganismos de importancia clínica, se muestra en la Tabla 10. Los tres extractos de corteza (**Ij-CH**, **Ij-CD** y **Ij-CHac**) mostraron una excelente actividad contra la *Pseudomona aeruginosa* (Pa) y el *Staphylococcus aureus* resistente a la metilina (Sa1) con



Perfil fitoquímico de los extractos de corteza y hojas de *Inga jinicuil* con actividad antiinflamatoria y antibacteriana.

valores de CMI de <3.12 y 50 $\mu\text{g/mL}$ respectivamente. Sólo el **Ij-CH** mostró actividad contra *Staphylococcus epidermidis* (Se1). Del mismo modo, **Ij-HD** e **Ij-HHac** tuvieron una buena actividad contra *Pseudomona aeruginosa* (Pa; MIC <3.12 $\mu\text{g/mL}$), *Staphylococcus aureus* resistente a la meticilina (Sa1; CMI= 50 $\mu\text{g/mL}$) y *Staphylococcus epidermidis* (Se1; CMI= 200 $\mu\text{g/mL}$).

Tabla 10. Actividad antibacteriana (CMI $\mu\text{g/mL}$) de los extractos de *Inga jinicuil*

Cepas bacterianas					
Gram positivo (+)					
Extracto	Sa1	Sa2	Se1	Se2	Sh
Ij-HH	>200	>200	>200	>200	>200
Ij-HD	50	>200	200	>200	>200
Ij-HHac	50	>200	>200	>200	>200
Ij-CH	50	>200	50	>200	>200
Ij-CD	50	>200	>200	>200	>200
Ij-CHac	50	>200	>200	>200	>200
C1	*	*	*	*	*
C2	*	*	*	*	*
C+	--	--	--	--	--
Gram negativo (-)					
Extracto	Ec1	Ec2	Ef	Kp	Pa
Ij-HH	>200	>200	>200	>200	>200
Ij-HD	>200	>200	>200	>200	< 3.12
Ij-HHac	>200	>200	>200	>200	< 3.12
Ij-CH	>200	>200	>200	>200	< 3.12
Ij-CD	>200	>200	>200	>200	< 3.12
Ij-CHac	>200	>200	>200	>200	< 3.12
C1	*	*	*	*	*
C2	*	*	*	*	*
C+	--	--	--	--	--

Sa1: *S. aureus* resistente a la meticilina; Sa2: *S. aureus*; Se1: *S. epidermis*; Se2: *S. epidermis*; Sh: *S. haemolyticus* aislado clínicamente; Ec1: *E. coli* Ec2: *E. cloacae*; Ef: *E. fecalis*; Kp: *K. pneumoniae*; Pa: *P. aeruginosa*; C1 y C2: controles de viabilidad (*: crecimiento bacteriano); C+: control positivo (Gentamicina 100 $\mu\text{g/mL}$; --: no crecimiento bacteriano).

Los resultados obtenidos son interesantes si se tiene en cuenta que la OMS publicó en 2017 una lista de "patógenos prioritarios" resistentes a los antibióticos, entre los que se encuentran *Pseudomonas aeruginosa* (resistente de nuevo a los antibióticos carbapenémicos) y *Staphylococcus aureus* (resistente a la meticilina), destacando la necesidad urgente de la búsqueda de nuevos agentes contra estos microorganismos [3].



Perfil fitoquímico de los extractos de corteza y hojas de *Inga jinicuil* con actividad antiinflamatoria y antibacteriana.

La actividad antibacteriana de los extractos de corteza y hojas contra *Pseudomona aeruginosa* (Pa) y *Staphylococcus aureus* resistente a la meticilina (Sa1) puede atribuirse a la presencia de varios metabolitos secundarios: hentriacontano y α -tocoferol en **Ij-CH** y polifenoles, flavonoides y terpenoides tanto en **Ij-CD** como en **Ij-CHac** [56]. Estos resultados se pueden asociar a la presencia de derivados de galatos y cumarinas, ya que se han descrito su mecanismo antibacteriano a nivel de membrana celular reprimiendo el sistema de transporte de proteínas e inhibiendo la formación de biopelículas en cepas clínicas como Sa1 [36, 61, 62]. Además, los derivados de cumarinas se consideran potenciales agentes antibacterianos que actúan como inhibidores de varias proteínas de unión de Sa1 [63, 64]. Cabe destacar que la estructura química responsable de la actividad antibacteriana de las cumarinas es la estructura básica de la benzopirona, que se asemeja a la estructura de la benzopiridona presente en fármacos antibacterianos derivados de quinolona [63, 65]. Por lo tanto, la amplia gama de estructuras químicas encontradas en estos extractos puede representar una fuente potencial de nuevos fármacos de interés antibacteriano.

V.6. Fraccionamiento cromatográfico del extracto de mayor actividad

El fraccionamiento en cromatografía en columna se realizó en el extracto de mayor actividad antiinflamatoria (**Ij-CD**), en la Tabla 11 se pueden observar las condiciones para la obtención de un compuesto aislado con clave **C4-R5**

Tabla 11. Condiciones del fraccionamiento cromatográfico del extracto de diclorometano de la corteza (Ij-CD) de *Inga jinicuil*.

Columna	Sistema*	Gradiente de Polaridad (%)	Fracciones obtenidas	Observaciones
Ij-CDC1	Hex: AcOEt	5 %	16	Fracción 3: Precipitado: amarillo, pasa a columna 2
Ij-CDC2	Hex: AcOEt	1 %	8	Fracción 3: Precipitado amarillo, pasa a columna 3
Ij-CDC3	Hex: AcOEt	1 %	9	Fracción 3: Precipitado blanco, pasa a columna 4
Ij-CDC4	Hex: AcOEt	1 %	11	Fracción 5: aislamiento de un compuesto

*Fase normal: sílice (malla 70-230). Hex= hexano; AcOET= acetato de etilo.

Como se observa en la tabla anterior, la fracción cinco de la columna 4 (**Ij-CDR4-R5**) llevó al aislamiento de un compuesto puro del cual se obtuvieron 5.6 mg, el seguimiento de la



Perfil fitoquímico de los extractos de corteza y hojas de *Inga jinicuil* con actividad antiinflamatoria y antibacteriana.

separación se observó mediante el comportamiento de afinidad cromatográfica y en función a las propiedades de revelado que se pueden observar en la Figura 18.

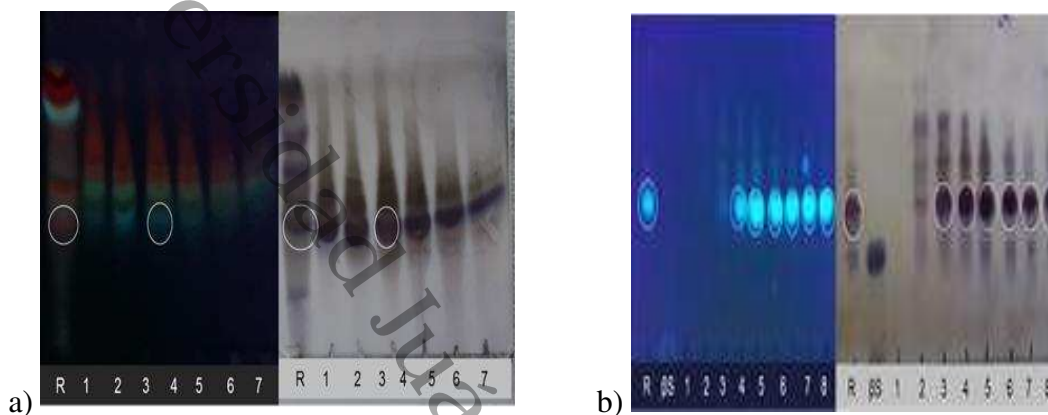


Figura 18. a) Cromatografía en capa fina en sílice en fase normal (Hex/AcOEt, 70:30%) de las siete primeras reuniones de **Ij-CDC1**, a la izquierda revelada con luz UV de longitud de onda corta y a la derecha revelada con 4-hidroxi-benzaldehído, b) Cromatografía en capa fina en sílice (Hex/AcOEt, 70:30%) de las ocho primeras reuniones de **Ij-CDC3**, a la izquierda revelada con luz UV de longitud de onda corta y a la derecha revelada con 4-hidroxi-benzaldehído.

El seguimiento de la cromatografía como se observa en la Figura 18, permitió observar una fracción que presentaba absorción en luz UV, lo cual llevó a establecer una separación química por cromatografía en columna mediante fraccionamiento exhaustivo, monitoreando por medio de cromatografía en capa fina y revelando con luz UV de longitud de onda corta para dar seguimiento al compuesto de interés como se muestra en la Figura 18b, que corresponde a la tercera columna y en donde se usó como referencia al β -sitosterol; sin embargo, este compuesto no presentó fluorescencia y su polaridad era mayor al compuesto de interés por lo que se descartó su presencia en la muestra.

El compuesto aislado (**Ij-CDC4-R5**) se observó mediante el comportamiento de afinidad cromatográfica y propiedades de revelado, comparándola contra un estándar de ácido ferúlico, como se puede observar en la Figura 19.



Perfil fitoquímico de los extractos de corteza y hojas de *Inga jinicuil* con actividad antiinflamatoria y antibacteriana.



Figura 19. Cromatografía en capa fina en sílice en fase normal (Hex/AcOEt, 5 80:20 %) del compuesto aislado (**Ij-CDC4-R5**), revelado con luz UV de longitud onda corta, comparado con estándar de ácido ferúlico.

Tanto el compuesto aislado (**Ij-CDC4-R5**) como la referencia de ácido ferúlico presentaron fluorescencia en longitud de onda corta de luz UV. Sin embargo los R_f en fase normal son diferentes entre los compuestos, observándose que el compuesto de referencia es de polaridad alta por lo que se encuentra caercano al punto de aplicación, mientras que el compuesto aislado muestra una polaridad menor, permitiendo un mejor desplazamiento en la placa de elución, dando pauta a que proponer que se trata de un posible derivado de ácido ferúlico, probablemente un éster que disminuye su polaridad, lo cual concuerda además con los resultados obtenidos en CLAR en donde en el extracto de **Ij-CD**, el espectro UV-Vis del pico 8 muestra bandas de absorbancia atribuibles al ácido cumárico. En la Figura 20 se presenta una comparación entre la estructura del ácido cumárico y el derivado del ferúlico que se propone sea el compuesto aislado y del cual se abunda en su discusión estructural más adelante.

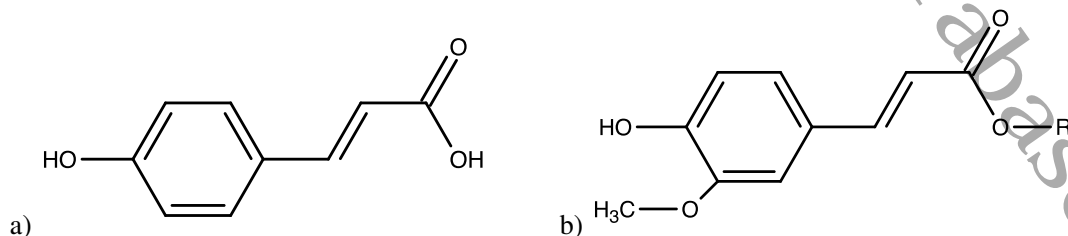


Figura 20. Comparación de estructuras del a) ácido cumárico y b) ácido ferúlico.



Perfil fitoquímico de los extractos de corteza y hojas de *Inga jinicuil* con actividad antiinflamatoria y antibacteriana.

V.7. Caracterización del compuesto aislado mediante RMN

La caracterización estructural del compuesto aislado **Ij-CDC4-R5** (5 mg) se realizó mediante Resonancia Magnética Nuclear con experimentos unidimensionales de ^1H y ^{13}C . dado que la cantidad de muestra era muy pequeña. Para el proceso de elucidación estructural, se partió de una estructura derivada del ácido ferúlico. Cabe señalar que, en la literatura [66] se encontró un reporte de un ferulato aislado de *Salicornia ramosissima*, el cual sirvió para comparar los valores de desplazamiento químico encontrados. Las estructuras numeradas empleadas en la asignación de las señales de los espectros de RMN para el derivado **Ij-CDC4-R5** aislado y del ferulato aislado de *S. ramosissima* se presentan en la figura 21. La asignación de las señales de los espectros de RMN de ^1H y ^{13}C , comparadas con las del ferulato de referencia, se presentan en la Tabla 12, mientras que los espectros de ^1H y ^{13}C de **Ij-CDC4-R5** se muestran respectivamente en las Figuras 22 y 23.

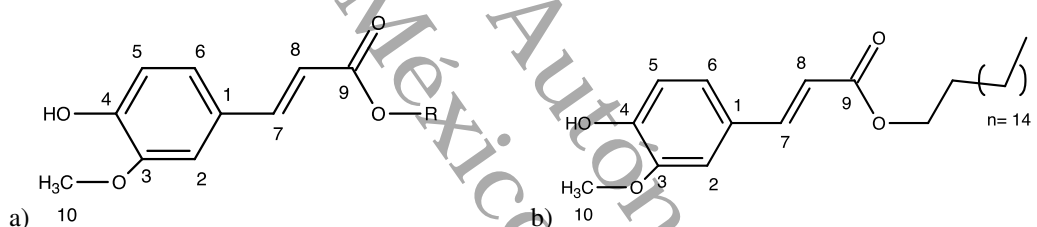


Figura 21. Estructuras numeradas de: a) compuesto aislado **Ij-CDC4-R5**, b) ferulato aislado de *Salicornia ramosissima* [66].

Tabla 12. Desplazamientos químicos de RMN de ^1H (600 MHz) y ^{13}C (150 MHz) para **Ij-CDC4-R5**. (Disolvente CDCl_3 , temperatura ambiente)

Posición	Datos experimentales		Datos reportados en la literatura [66]	
	^1H , $\delta(\text{ppm})$, m*, J(Hz)	^{13}C , $\delta(\text{ppm})$	^1H , $\delta(\text{ppm})$, m*, J(Hz)	^{13}C , $\delta(\text{ppm})$
1	-	127.20	-	127.20
2	7.05, 1H, d, 1.93	109	7.04, 1H, d, 1.8	109
3	-	146.80	-	146.70
4	-	147.96	-	147.8
5	6.93, 1H, 8.15	114.74	6.92, 1H d, 8.1	114.74
6	7.09, 3H, dd, 8.16, 1.93	123	7.07, 3H, dd, 8.1, 1.8	123
7	7.48, 1H, d, 15.96	144.61	7.61 1H, d, 15.9	144.6
8	6.31, 1H, d, 15.86	115.99	6.30, 1H, d, 15.9	115.6
9	-	167.37	-	167.4
10	3.92, 3H, s	55.98	3.93, 3H, s	55.9

*m= multiplicidad: d (doble), dd (doble de dobles)



Perfil fitoquímico de los extractos de corteza y hojas de *Inga jinicuil* con actividad antiinflamatoria y antibacteriana.

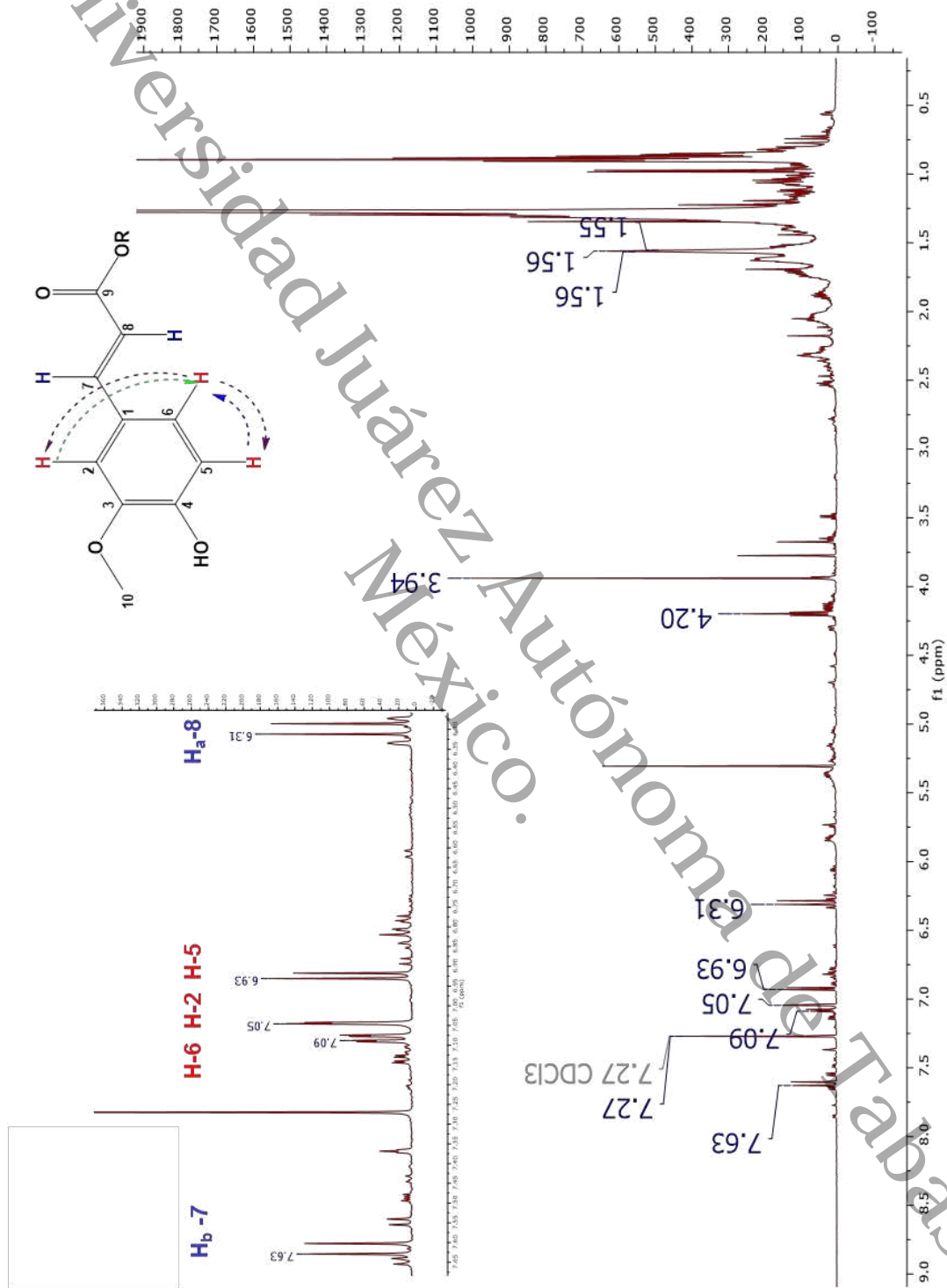


Figura 22. RMN de ¹H del compuesto Ij-CDC4-R5 aislado *Inga jinicuil*



Perfil fitoquímico de los extractos de corteza y hojas de *Inga jinicuil* con actividad antiinflamatoria y antibacteriana.

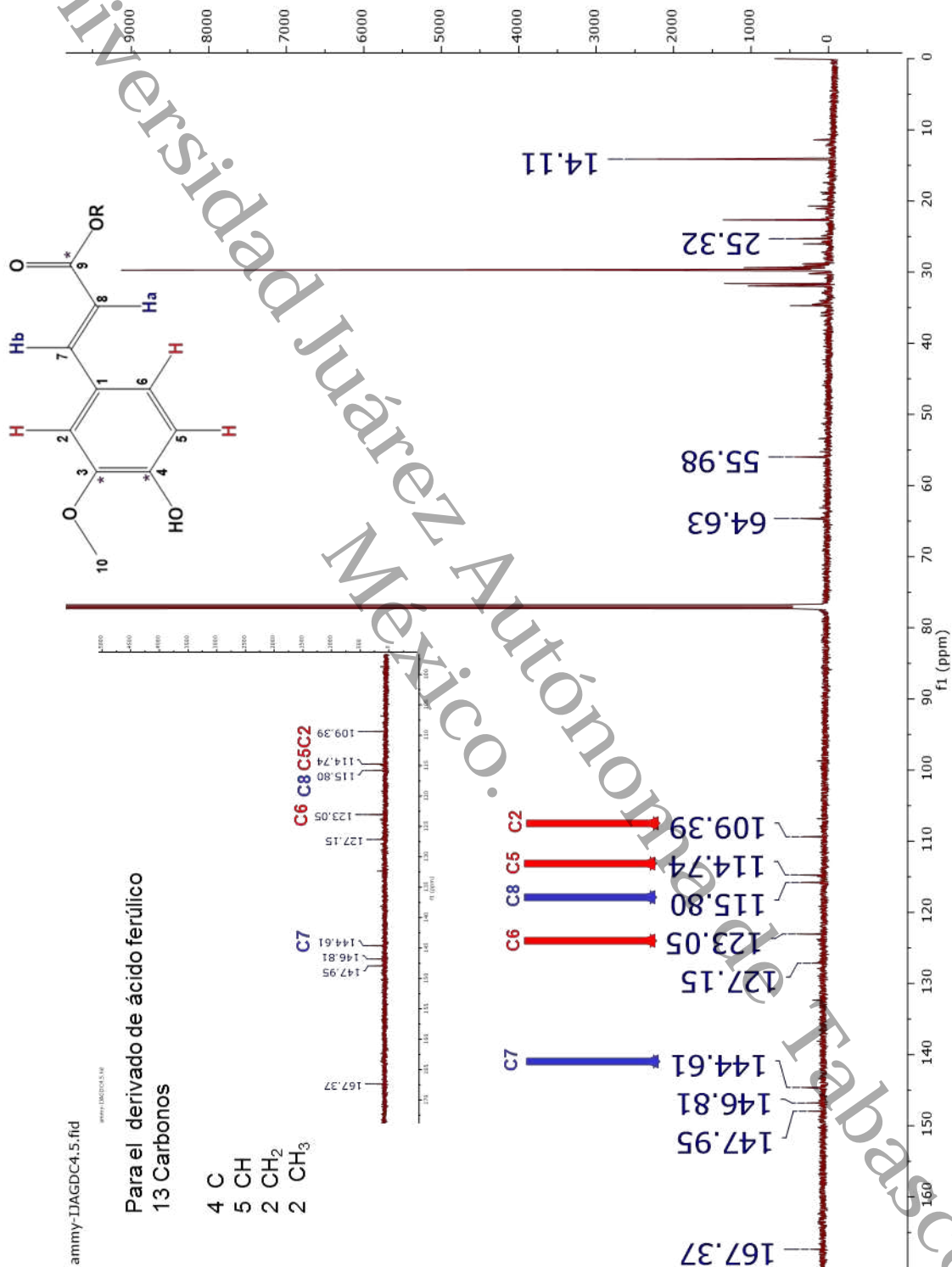


Figura 23. Espectro de ¹³C del compuesto Ij-CDC4-R5 aislado de *Inga jinicuil*



Perfil fitoquímico de los extractos de corteza y hojas de *Inga jinicuil* con actividad antiinflamatoria y antibacteriana.

El análisis de las señales en frecuencias altas del espectro de RMN de ^1H de **Ij-CDC4-R5**, muestra que los desplazamientos químicos, la multiplicidad y las constantes de acoplamiento son consistentes con un derivado del ácido ferúlico, ya que se observan señales características para un anillo aromático de estructura base, con tres protones aromáticos que presentan señales con desplazamientos químicos en 7.05 ppm (^1H , d, $J = 1.93$ Hz, H-2), 6.93 ppm (d, $J = 8.16$ Hz, H-5) y 7.09 ppm (dd, $J = 1.93$ Hz, y 8.16 Hz, H-6), lo que es consistente con un anillo 1,3,4 trisustituido. Así mismo, se pueden observar dos señales características para hidrógenos de dobles enlaces de un sistema carboxílico alfa-beta insaturado con desplazamientos químicos 7.63 ppm (d, $J = 15.96$ Hz, H-7) y 6.31 ppm (d, $J = 15.86$ Hz, H-8). El valor de la constante de acoplamiento indica que la estereoquímica del doble enlace es *trans*. En la zona de frecuencias relativamente bajas, se puede identificar un singulete en 3.92 ppm que integra para 3 hidrógenos y que se asigna al metoxilo unido al anillo aromático. En el espectro de ^{13}C se identifica a frecuencias altas la señal en 167.37 ppm que se atribuye al carboxilo del éster. Las señales de los carbonos de la región aromática y del doble enlace alfa-beta insaturado, se asignan por comparación con los desplazamientos reportados en la literatura [66], también es posible identificar en la zona de frecuencias bajas la señal del carbono del metoxilo en 55.98 ppm.

Un aspecto que no es posible elucidar con los datos espectroscópicos obtenidos, es el relativo a la cadena alquílica que se encuentra formando parte del éster. El agrupamiento de señales en la región de frecuencias bajas tanto en el espectro de ^1H como de ^{13}C no permite una asignación para esta parte de la estructura. Una estrategia alternativa, sería realizar una caracterización mediante espectrometría de masas de alta resolución, la cual definiría el peso molecular exacto de la estructura propuesta lo cual se plantea como una perspectiva a futuro.

2



Perfil fitoquímico de los extractos de corteza y hojas de *Inga jinicuil* con actividad antiinflamatoria y antibacteriana.



Universidad Juárez Autónoma de Tabasco.

CONCLUSIÓN



Perfil fitoquímico de los extractos de corteza y hojas de *Inga jinicuil* con actividad antiinflamatoria y antibacteriana.

CONCLUSIÓN

Se obtuvieron seis extractos de polaridad ascendente a partir de las partes aéreas (corteza y hojas) de *Inga jinicuil*. Los extractos de mediana y alta polaridad (**Ij-CD**, **Ij-CHac**, **Ij-HD** y **Ij-HHac**) se analizaron por cromatografía líquida de alta resolución (CLAR), mostrando la presencia de 21 picos en los cromatogramas. Los resultados se compararon con estándares de referencia así como datos reportados en la literatura, agrupándolos en función a la similitud en t_R , este parámetro en conjunto con los espectros de UV-Vis, en donde se contrastó la presencia de bandas de absorbancia similares, permitió una asignación preliminar de la afinidad estructural de los 21 picos encontrados. La información de los perfiles cromatográficos reveló la presencia de compuestos que se habían reportado previamente en otras especies del género *Inga*. Además, al contrastar los resultados con la información encontrada en la literatura, se pudo relacionar la presencia de compuestos específicos con actividad antiinflamatoria. Se encontró que algunos de estos compuestos estaban presentes en los cuatro extractos analizados, mientras que otros sólo se encontraron específicamente en uno de ellos, como es el caso del pico 8 presente en **Ij-CD** con $t_R=8.86$ min y bandas de absorbancia en: 215.7 y 308.9 nm, estos datos cromatográficos y espectroscópicos concordaron con el estándar de ácido cumárico y resultó ser un buen referente en el proceso de aislamiento y elucidación que se realizó posteriormente.

Por otra parte, se realizaron los análisis de cromatografía de gases acoplada a espectrometría de masas (CG-EM) en los extractos de menor polaridad (**Ij-CH** y **Ij-HH**), con lo que se identificaron y clasificaron 21 picos. Siendo los compuestos mayoritarios en el caso del extracto hexánico de corteza: nonacosano con un 12.55% de abundancia relativa; hentriacontano con 16.66% y α -tocoferol con 40.49%; mientras que, para el extracto hexánico de hojas: el lupeol, la lup-20(29)-en-3-ona y la 24-metilencicloartán-3-ona resultaron ser los tres compuestos con mayor abundancia relativa con 16,43%, 26.74% y 38.61% respectivamente. Cabe señalar que los reportes en la bibliografía mostraron que algunos de los compuestos identificados en estos extractos también están asociados a actividad antiinflamatoria además de presentar actividad antimicrobiana.



Perfil fitoquímico de los extractos de corteza y hojas de *Inga jinicuil* con actividad antiinflamatoria y antibacteriana.

En la sección relativa a las pruebas de actividad biológica, los resultados obtenidos mostraron actividad antiinflamatoria, que si bien no se igualaron al fármaco de referencia indometacina (que mostró un efecto inhibitorio del $75.5 \pm 2.2\%$), sí permitió la identificación de dos extractos con efectos antiinflamatorios moderados. El primer extracto corresponde a corteza en diclorometano (**Ij-DC**) con un $67.7 \pm 2.0\%$ de inhibición, seguido del extracto hidroalcohólico de hojas (**Ij-HHac**) con $49.6 \pm 1.0\%$, estos resultados llevaron a seleccionar al extracto (**Ij-CD**) para el aislamiento cromatográfico y caracterización.

Por otra parte, en las pruebas de actividad antibacteriana, se destacaron cinco extractos (**Ij-CH**, **Ij-CD**, **Ij-CHac**, **Ij-HD** y **Ij-HHac**) que exhibieron excelentes valores de concentración mínima inhibitoria frente a dos cepas: *S. aureus* resistente a meticilina y *P. aeruginosa* con valores de $50 \mu\text{g/mL}$ y menor a $3.12 \mu\text{g/mL}$ respectivamente, actualmente estas cepas son de interés clínico de acuerdo a los reportes más recientes por la OMS. Los resultados de las dos pruebas biológicas realizadas confirman el uso tradicional de *Inga jinicuil*.

Por último, la separación cromatográfica en columna del extracto (**Ij-DC**), permitió el aislamiento de un compuesto puro (**Ij-CDC4-R5**), el seguimiento de la separación se llevó a cabo mediante cromatografía en capa fina, a lo largo del aislamiento se corroboró que el compuesto aislado presentaba características similares a un derivado del ácido cumárico, principalmente por exhibir fluorescencia al revelarse con luz UV. Por ello, se comparó con el estándar de ácido ferúlico, encontrándose que el compuesto aislado presentó menor polaridad respecto al estándar. El análisis estructural mediante Resonancia Magnética Nuclear unidimensional de ^1H y ^{13}C , permitió la identificación de una estructura base que corresponde al ácido ferúlico, presentándose como un éster ferulato de cadena larga; sin embargo, los análisis no permitieron determinar con exactitud el número de carbonos para la cadena alifática unida al ferulato ya que las señales se traslapan en los espectros unidimensionales de ^1H y ^{13}C .

Estos resultados son bastantes relevantes, ya que permiten relacionar los compuestos propuestos con reportes previos en especies como *I. edulis*, *I. laurina* y *I. marginata* las cuales han sido las más estudiadas en este género, siendo éste el primer reporte preliminar



Perfil fitoquímico de los extractos de corteza y hojas de *Inga jinicuil* con actividad antiinflamatoria y antibacteriana.

fitoquímico y de actividad biológica de *Inga jinicuil*, siendo esta planta de uso muy importante en la medicina tradicional del estado de Tabasco. Con esto, se da una pauta al estudio en la búsqueda de compuestos con interés biológico presentes en dicha especie. Por lo que se plantean lo siguiente:

PERSPECTIVAS

Se propone continuar con el estudio de la caracterización estructural del compuesto aislado, mediante un análisis de espectrometría de masas, esto para complementar la propuesta de su estructura. Del mismo modo, los resultados que se obtuvieron en las evaluaciones biológicas permite considerar como una ruta de acción, el seguimiento hacia el aislamiento de los compuestos que están presentes en los extractos de mayor actividad antiinflamatoria y antibacteriana. De igual forma, se expone la necesidad de complementar la información obtenida en este trabajo, mediante estudios toxicológicos y de actividad antioxidantes, los cuales enriquecerán a futuro, el conocimiento de esta planta de interés en la medicina tradicional.



Perfil fitoquímico de los extractos de corteza y hojas de *Inga jinicuil* con actividad antiinflamatoria y antibacteriana.

GLOSARIO

Cromatografía método físico de separación para la caracterización de mezclas complejas cuyo objetivo es separar los distintos componentes

Cumarina Sustancia que se usa para elaborar medicamentos que previenen y tratan los coágulos de sangre en los vasos sanguíneos y para tratar ciertas afecciones cardíacas.

Flavonoide (del latín flavus, "amarillo"). Es el término genérico con que se identifica a una serie de metabolitos secundarios de las plantas.

Inflamación Es la respuesta del sistema inmunológico a invasores extraños tales como virus y bacterias.

Inóculo Introducción en el medio de un organismo, por medios artificiales, el virus o la bacteria.

Metabolitos secundarios Son aquellos compuestos orgánicos sintetizados por el organismo que no tienen un rol directo en el crecimiento o reproducción del mismo. A diferencia de lo que sucede con los metabolitos primarios, la ausencia de algún metabolito secundario no le impide la supervivencia, si bien se verá afectado por ella, a veces gravemente.

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



Perfil fitoquímico de los extractos de corteza y hojas de *Inga jinicuil* con actividad antiinflamatoria y antibacteriana.

REFERENCIAS

1. Maione, F.; Russo, R.; Khan, H.; Mascolo, N. Medicinal plants with anti-inflammatory activities. *Nat. Prod. Res.* **2015**, 30(12), 1343–1352.
2. Heydari, H.; Saltan I. G.; Eryilmaz, M.; Bahadir A. Ö.; Yilmaz S. S.; Tekin, M.; Çoban, T. Antimicrobial and Anti-Inflammatory Activity of Some Lathyrus L. (Fabaceae) Species Growing in Turkey. *Turkish J. Pharm. Sci.* **2019**, 16(2), 240–245.
3. WHO. Global Priority List of Antibiotic-Resistant Bacteria to Guide Research, Discovery, and Development of New Antibiotics. Available online: https://www.who.int/medicines/publications/WHO-PPL-Short_Summary_25Feb-ET_NM_WHO.pdf (accessed on 11 January **2022**)
4. Alejandro, M. A. M.; Campillo, L. M. G.; Méndez, R. M. El uso de las plantas medicinales en las comunidades Maya- Chontales de Nacajuca, Tabasco, México. **2010**
5. Villachica H. Frutales y hortalizas provenientes de la amazonia. Tratado de Cooperación Amazónica. Lima, **1996**: 125-127.
6. Martínez M. Catálogo de nombres vulgares y científicos de plantas mexicanas. Fondo de Cultura Económica, México **1979**.
7. Miranda, M. A. O.; Velázquez, D.; Bermúdez, A. La investigación etnobotánica sobre plantas medicinales: una revisión de sus objetivos y enfoques actuales. *Interciencia: Revista de ciencia y tecnología de América* **2005**, 30 (8), 453–459.
8. Farnsworth N.R, Akerele O, Bingel AS, et al. Las plantas medicinales en la terapéutica. In: Plantas Medicinales de México, introducción a su estudio. 4ª edición. Estrada L., E. (ed.). Universidad Autónoma Chapingo, México. **1992**; 295-312.
9. Bye R, Estrada LE, and Linares E. Recursos genéticos en plantas medicinales de México. In: Plantas medicinales de México, introducción a su estudio. 4ª edición. Estrada L., E. (ed). Universidad Autónoma Chapingo, México. **1992**; 362-370.
10. Smith, E. Plant Secondary Metabolites: Occurrence, Structure and Role in the Human Diet. *Phytother. Res.* **2007**, 21 (9), 904–904.
11. Patra AK, Saxena J. Exploitation of dietary tannins to improve rumen metabolism and ruminant nutrition. *J Sci Food Agric.* **2011** Jan 15;91(1):24-37.
12. Cordero, J. Boshier, D.H. Árboles de Centroamérica. Eds. Oxford Forestry Institute, Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza. Turrialba, Costa Rica. 2003.
13. Evans, A.J., Gasson, E.P. & Lewis, P.G. Wood anatomy of the Mimosoideae (Leguminosae). IAWA Journal, Supplement 5. The Netherlands. -Evans. 2006.
14. Bruneton J. Farmacognosia, fitoquímica, plantas medicinales. 2ª edición, Zaragoza: Acribia, 2001;1100 ISBN: 84-200-0956-3.
15. Vargas-Simon G, Pire R. Inja jinicuil Schtdl. Árbol multiuso 1ra ed. Colección José N. Roviroso. Biodiversidad, desarrollo sustentable y Trópico Húmedo. Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. Villahermosa Tabasco México 2017
16. Martnez M. Catálogo de nombres vulgares y científicos de plantas mexicanas. Fondo de Cultura Económica, México 1979.
17. Pennington T.D., Revelo N. El género Inga en el Ecuador, morfología, distribución y usos. The Royal Botanic Gardens, Kew. 1997



Perfil fitoquímico de los extractos de corteza y hojas de *Inga jinicuil* con actividad antiinflamatoria y antibacteriana.

18. Muñoz, M.V. Estudio del comportamiento vegetativo y rendimiento de café robusta (*Coffea canephora*), asociado con tres leguminosas forestales guaba de bejuco (*Inga edulis*), guarango (*Parkia balslevii*), dormilón espinudo (*Piptadenia pteroclada*), establecido en el campo Lago Agrio de Petroproducción. (Tesis de Maestría). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Riobamba, Ecuador **2012**.
19. Niembro-Rocas A, Vazquez-Torres M, Sanchez-Sanchez O. Arboles de Veracruz; 100 especies de reforestación estratégica. Library Congress SD440. Secretaría de Educación-Gobierno del Estado de Veracruz KM 4. 5 Carretera Federal Xalapa, Veracruz, Mexico **2010**; 112-113.
20. Martins, C. de M.; Morais, S. A. L. de; Martins, M. M.; Cunha, L. C. S.; da Silva, C. V.; Martins, C. H. G.; Leandro, L. F.; de Oliveira, A.; Aquino, F. J. T. de; Nascimento, E. A. do; Chang, R. Chemical Composition, Antifungal, and Cytotoxicity Activities of *Inga Laurina* (Sw.) Willd Leaves. *The Scientific World Journal* **2019**, 1–12.
21. Maldonado, M. F. Flora medicinal del estado de Tabasco: Uso, Manejo y Conservación. Villahermosa Tabasco Mexico, **2005**
22. Maziero, M.; Lovato, M. O.; Lorenzoni, V. V.; Moraes, G. G.; Dornelles, R. C.; Sagrillo, M. R.; Horner, R.; Manfron, M. P. Phytochemical Study, an Evaluation of the Antioxidant Potential and the Antimicrobial Activity of *Inga Semialata* (Vell.) C. Mart. Hydroalcohol Extract. *Nat Prod Res* **2019**, 34 (1), 192–196.
23. Pompeu, D. R.; Rogez, H.; Monteiro, K. M.; Tinti, S. V.; Carvalho, J. E. Capacidad antioxidante e triagem farmacológica de extratos brutos de folhas de *Byrsonima crassifolia* e de *Inga edulis*. *Acta Amaz.* **2012**, 42 (1), 165–172.
24. Dib, H. X.; de Oliveira, D. G. L.; de Oliveira, C. F. R.; Taveira, G. B.; de Oliveira Mello, E.; Verbisk, N. V.; Chang, M. R.; Corrêa Junior, D.; Gomes, V. M.; Macedo, M. L. R. Biochemical Characterization of a Kunitz Inhibitor from *Inga Edulis* Seeds with Antifungal Activity against *Candida Spp*. *Arch Microbiol.* **2019**, 201 (2), 223–233.
25. Alves do Nascimento, V. H.; Guimarães Sobrinho, A. C.; De Oliveira Souza, C.; Silva de Souza, J. N.; Sousa, C. L. Determination of Phenolic Compounds with Antimicrobial Activity of *Byrsonima Crassifolia* and *Inga edulis* Leaves Extracts. *Ensaio Ciênc.* **2021**, 25 (1), 21–28.
26. Lima, N.; Santos, V.; La Porta, F. Chemodiversity, Bioactivity and Chemosystematics of the Genus *Inga* (FABACEAE): A Brief Review. *Rev. Virtual Quim.* **2018**, 10 (3), 459–473.
27. Rugerio M. O.; Hernández M. H. H.; Suárez R. A.; Vargas D. M. E; Daniel, A. B. Estudio químico y antimicrobiano de *Inga jinicuil* del estado de Tlaxcala. *7a Reunión Internacional de Investigación de Productos Naturales “Dr. Pedro Joseph-Nathan”*, *Revista Latinoamérica de Química*, Morelia, Michoacán, México, 18 a 20 de mayo de 2011; Dr. Andres Navarete; Editorial: Mixim, Estado de México, México, **2011**; 149, 1-161.
28. De Araújo, R.S.A.; Barbosa, F.J.M.; Scotti, M.T.; Scotti, L.; da Cruz, R.M.D.; Falcão, S.V.D.S.; de Siqueira, J.J.P.; Mendonça, J.F.J.B. Modulation of Drug Resistance in *Staphylococcus aureus* with Coumarin Derivatives. *Scientifica* **2016**, 6894758.



Perfil fitoquímico de los extractos de corteza y hojas de *Inga jinicuil* con actividad antiinflamatoria y antibacteriana.

29. Adam, R. P. Identification of Essential Oils Components by Gas Chromatography/Mass Spectrometry. 4th ed. Carol Stream, IL, USA: Allured Business Media; **2007**, pp. 1-804, ISBN: 978-193-263-32-14
30. Zimmermann, M. Ethical guidelines for investigations of experimental pain in conscious animals. *Pain* **1983**, 16:109-110.
31. Payá, M.; Ferrandiz, M. L.; Sanz, M. J.; Bustos, G.; Blasco, R.; Rios, J. L.; Alcaraz, M. J. Study of the Antioedema Activity of Some Seaweed and Sponge Extracts from the Mediterranean Coast in Mice. *Phytother. Res.* **1993**, 159–162.
32. Salazar, P. D. T.; Castro, A. N.; Moreno, G. M. E.; Nicasio, T. M. P.; Perez, H. J.; Alvarez, F. P. Antibacterial and Anti-Inflammatory Activity of Extracts and Fractions from *Agave Cupreata*. *Int. J. Pharmacol.* **2017**, 1063–1070.
33. Laurella, S. L. Resonancia magnética nuclear: Una herramienta para la elucidación de estructuras moleculares; Editorial de la *Universidad Nacional de La Plata* (EDULP), **2017**.
34. Sun, J.; Liang, F.; Bin, Y.; Li, P.; Duan, C. Screening Non-Colored Phenolics in Red Wines Using Liquid Chromatography/Ultraviolet and Mass Spectrometry/Mass Spectrometry Libraries. *Molecules* **2007**, 12 (3), 679–693.
35. Robbins, R. J. Phenolic Acids in Foods: An Overview of Analytical Methodology. *J. Agric. Food Chem.* **2003**, 51 (10), 2866–2887
36. Gabe, V.; Kacergius, T.; Abu-Lafi, S.; Kalesinskas, P.; Masalha, M.; Falah, M.; Abu-Farich, B.; Melninkaitis, A.; Zeidan, M.; Rayan, A. Inhibitory Effects of Ethyl Gallate on *Streptococcus Mutans* Biofilm Formation by Optical Profilometry and Gene Expression Analysis. *Molecules* **2019**, 24 (3), 529.
37. Martins, C. M.; de Morais, S. A. L.; Martins, M. M.; Cunha, L. C. S.; da Silva, C. V.; Martins, C. H. G.; Leandro, L. F.; de Oliveira, A.; de Aquino, F. J. T.; do Nascimento, E. A.; Chang, R. Chemical Composition, Antifungal, and Cytotoxicity Activities of *Inga Laurina* (Sw.) Willd Leaves. *Sci. World J.* **2019**, 9423658.
38. Falcoski, T. O. R.; Lima, N. M.; Navegante, G.; Serafim, R. B.; Sorbo, J. M.; Valente, V.; Santos, V. N. C.; Santos, R.A.; Silva, D. H. S.; Soares, C. P. Genotoxicity, Cytotoxicity and Chemical Profile from *Inga Laurina* (Fabaceae). *Nat. Prod. Res.* **2021**, 35 (4), 676–680.
39. Kumar, S.; Pandey, A. K. Chemistry and Biological Activities of Flavonoids: An Overview. *The Sci. World J.* **2013**, 1–16.
40. Sun, Y.; Zeng, Q.-H.; Lu, H.-Q.; Meng, F.-C.; Shen, Y.; Zeng, W.-Y.; Chi, H.; Zhou, Y.-Q.; Chen, M. Two New Lignans from *Zanthoxylum armatum*. *Nat. Prod. Res.* **2020**, 1–6.
41. Guo, K.; Tong, C.; Fu, Q.; Xu, J.; Shi, S.; Xiao, Y. Identification of Minor Lignans, Alkaloids, and Phenylpropanoid Glycosides in *Magnolia officinalis* by HPLC–DAD–QTOF-MS/MS. *J. Pharm. Biomed. Anal.* **2019**, 170, 153–160.
42. Holser, R. A. Principal Component Analysis of Phenolic Acid Spectra. *ISRN Spectroscopy* **2012**, 2012, 1–5.
43. Renuka, B.; Sanjeev, B.; Ranganathan, D. Evaluation of Phytoconstituents of *Caralluma nilagiriana* by FTIR and UV-VIS Spectroscopic Analysis. *J. Pharmacogn. Phytochem.* **2016**, (5) 105-108.



Perfil fitoquímico de los extractos de corteza y hojas de *Inga jinicuil* con actividad antiinflamatoria y antibacteriana.

44. Fatima, S.; Mansha, A.; Asim, S.; Shahzad, A. Absorption Spectra of Coumarin and Its Derivatives. *Chem. Pap.* **2021**. <https://doi.org/10.1007/s11696-021-01902-6>.
45. Hroboňová, K.; Sádecká, J. Coumarins Content in Wine: Application of HPLC, Fluorescence Spectrometry, and Chemometric Approach. *J Food Sci Technol* **2020**, 57 (1), 200–209.
46. Li, G. J.; Wu, H. J.; Wang, Y.; Hung, W. L.; Rouseff, R. L. Determination of Citrus Juice Coumarins, Furanocoumarins and Methoxylated Flavones Using Solid Phase Extraction and HPLC with Photodiode Array and Fluorescence Detection. *Food Chem.* **2019**, 271, 29–38.
47. Sun, S.; He, G.; Yu, H.; Yang, J.; Borthakur, D.; Zhang, L.; Shen, S.; Das, U. N. Free Zn²⁺ Enhances Inhibitory Effects of EGCG on the Growth of PC-3 Cells. *Mol. Nutr. Food Res.* **2008**, 52 (4), 465–471.
48. Wodnicka, A.; Huzar, E. Synthesis and Photoprotective Properties of New Salicylic and Vanillic Acid Derivatives. *Curr. Chem. Lett.* **2017**, 125–134.
49. Lima, N. M.; de Marqui, S. R.; Silva, D. H. S. Phytochemical, Metabolic Profiling and Antiparasitic Potential from *Inga semialata* Leaves (Fabaceae). *Nat. Prod. Res.* **2020**, (7).
50. Hussain, M. A.; Badshah, M.; Iqbal, M. S.; Tahir, M. N.; Tremel, W.; Bhosale, S. V.; Sher, M.; Haseeb, M. T. HPMC-Salicylate Conjugates as Macromolecular Prodrugs: Design, Characterization, and Nano-Rods Formation: Rapid Communication. *J. Polym. Sci. A Polym. Chem.* **2009**, 47 (16), 4202–4208.
51. Alves, G. A. D.; Fernandes S. D.; Venteu T. T.; de Souza, R. O.; Rogez, H.; Fonseca, M. J. V. Obtainment of an Enriched Fraction of *Inga Edulis*: Identification Using UPLC-DAD-MS/MS and Photochemopreventive Screening. *Prep. Biochem. Biotechnol.* **2020**, 50 (1), 28–36.
52. Tchuenmogne, A. M. T.; Donfack, E. V.; Kongue, M. D. T.; Lenta, B. N.; Ngouela, S.; Tsamo, E.; Sidhu, N.; Dittrich, B.; Laatsch, H. Ingacamerounol, A New Flavonol and Other Chemical Constituents from Leaves and Stem Bark of *Inga Edulis* Mart. *Bull. Korean Chem. Soc.* **2013**, 34 (12), 3859–3862.
53. Lima, N. M.; Andrade, T. J. A. S.; Silva, D. H. S. Dereplication of Terpenes and Phenolic Compounds from *Inga Edulis* Extracts Using HPLC-SPE-TT, RP-HPLC-PDA and NMR Spectroscopy. *Nat. Prod. Res.* **2022**, 36 (1), 488–492.
54. Furtado, F. B.; de Aquino, F. J. T.; Nascimento, E. A.; de M Martins, C.; de Moraes, S. A. L.; Chang, R.; Cunha, L. C. S.; Leandro, L. F.; Martins, C. H. G.; Martins, M. M.; da Silva, C. V.; Machado, F. C.; de Oliveira, A. Seasonal Variation of the Chemical Composition and Antimicrobial and Cytotoxic Activities of the Essential Oils from *Inga Laurina* (Sw.) Willd. *Molecules* **2014**, 19 (4), 4560–4577.
55. Marqui, S.; Santos, L.; Young, M.; Torres, L.; Bolzani, V.; Moraes, M.; Soares, C.; Silva, D. Chemopreventive Potential of Rhamnosyl Depsides from *Inga Laurina*. *Planta Med.* **2010**, 76 (12), 47.
56. Nogueira, K. M.; Souza, L. K. M. de; Medeiros, J. V. R. Technological Propection of Anti-Inflammatory Vanilic Acid Activity, with Emphasis on Its Semisynthetic Derivative Isopropyl Vanilate. *Res. Soc. Dev.* **2021**, 10 (3)



Perfil fitoquímico de los extractos de corteza y hojas de *Inga jinicuil* con actividad antiinflamatoria y antibacteriana.

57. Enciso, E.; Arroyo, J. Efecto antiinflamatorio y antioxidante de los flavonoides de las hojas de *Jungia rugosa* Less (matico de puna) en un modelo experimental en ratas. *An. Fac. Med.* **2013**, 72 (4), 231.
58. Howes, M.-J. R. Phytochemicals as Anti-Inflammatory Nutraceuticals and Phytopharmaceuticals. In *Immunity and Inflammation in Health and Disease; Immun. Inflamm. Dis.* **2018**, pp 363–388.
59. Molehin, O. R.; Adeyanju, A. A.; Adefegha, S. A.; Oyeyemi, A. O.; Idowu, K. A. Protective Mechanisms of Protocatechuic Acid against Doxorubicin-Induced Nephrotoxicity in Rat Model. *J. Basic. Clin. Physiol. Pharmacol.* **2019**, 30 (4), 20180191.
60. Pistelli, L.; Bertoli, A.; Noccioli, C.; Mendez, J.; Musmanno, R. A.; Di Maggio, T.; Coratza, G. Antimicrobial Activity of *Inga Fendleriana* Extracts and Isolated Flavonoids. *Nat. Prod. Commun.* **2009**, 4 (12), 1679–1683.
61. Favela-Hernández, J. M. J.; Clemente-Soto, A. F.; Balderas-Rentería, I.; Garza-González, E.; Camacho-Corona, M. del R. Potential Mechanism of Action of 3'-Demethoxy-6-O-Demethyl-Isoguaiacin on Methicillin Resistant *Staphylococcus Aureus*. *Molecules* **2015**, 20 (7), 12450–12458.
62. Wang, D.; Jin, Q.; Xiang, H.; Wang, W.; Guo, N.; Zhang, K.; Tang, X.; Meng, R.; Feng, H.; Liu, L.; Wang, X.; Liang, J.; Shen, F.; Xing, M.; Deng, X.; Yu, L. Transcriptional and Functional Analysis of the Effects of Magnolol: Inhibition of Autolysis and Biofilms in *Staphylococcus Aureus*. *PLoS One* **2011**, 6 (10)
63. Pisano, M. B.; Kumar, A.; Medda, R.; Gatto, G.; Pal, R.; Fais, A.; Era, B.; Cosentino, S.; Uriarte, E.; Santana, L.; Pintus, F.; Matos, M. J. Antibacterial Activity and Molecular Docking Studies of a Selected Series of Hydroxy-3-Arylcoumarins. *Molecules* **2019**, 24 (15), 2815
64. Kampranis, S. C.; Gormley, N. A.; Tranter, R.; Orphanides, G.; Maxwell, A. Probing the Binding of Coumarins and Cyclothialidines to DNA Gyrase. *Biochemistry* **1999**, 38 (7), 1967–1976.
65. de Araújo, R. S. A.; Barbosa F. J. M.; Scotti, M. T.; Scotti, L.; da Cruz, R. M. D.; Falcão S. V. D. S.; de Siqueira J. J. P.; Mendonça, J. F. J. B. Modulation of Drug Resistance in *Staphylococcus Aureus* with Coumarin Derivatives. *Scientifica* **2016**.
66. Ferreira, D.; Isca, V. M. S.; Leal, P.; Seca, A. M. L.; Silva, H.; de Lourdes Pereira, M.; Silva, A. M. S.; Pinto, D. C. G. A. *Salicornia Ramosissima*: Secondary Metabolites and Protective Effect against Acute Testicular Toxicity. *Arabian Journal of Chemistry* **2018**, 11 (1), 70–80.



ANEXO I. Artículo publicado de *Inga Jinicuil*

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco.
México.

Article

Preliminary Phytochemical Profile and Bioactivity of *Inga jinicuil* Schldtl & Cham. ex G. Don

Ammy Joana Gallegos-García ^{1,2}, Carlos Ernesto Lobato-García ^{1,*}, Manasés González-Cortazar ^{2,*}, Maribel Herrera-Ruiz ², Alejandro Zamilpa ², Patricia Álvarez-Fitz ³, Ma Dolores Pérez-García ², Ricardo López-Rodríguez ¹, Ever A. Ble-González ¹, Eric Jaziel Medrano-Sánchez ¹, Max R. Feldman ⁴, Alejandro Bugarin ⁴ and Abraham Gómez-Rivera ^{1,*}

- ¹ División Académica de Ciencias Básicas, Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, Carretera Cunduacán-Jalpa Km. 0.5, Cunduacán 86690, Tabasco, Mexico; joana90102010@gmail.com (A.J.G.-G.); ricardo.lopezr@ujat.mx (R.L.-R.); ble_49@hotmail.com (E.A.B.-G.); ericsanz123@gmail.com (E.J.M.-S.)
- ² Centro de Investigación Biomédica del Sur, Instituto Mexicano del Seguro Social, Argentina No. 1, Col. Centro, Xochitepec 62790, Morelos, Mexico; cibis_herj@yahoo.com.mx (M.H.-R.); azamilpa_2000@yahoo.com.mx (A.Z.); lola_as@yahoo.com.mx (M.D.P.-G.)
- ³ Laboratorio de Toxicología, Cátedra CONACyT-Universidad Autónoma de Guerrero, Av. Lázaro Cárdenas s/n. Col. La Haciendita, Chilpancingo 39070, Guerrero, Mexico; paty_fit@hotmail.com
- ⁴ Department of Chemistry and Physics, Florida Gulf Coast University, Fort Myers, FL 33965, USA; mrfeldman2018@eagle.fgcu.edu (M.R.F.); abugarin@fgcu.edu (A.B.)
- * Correspondence: carlos.lobato@ujat.mx (C.E.L.-G.); gmanases2000@gmail.com (M.G.-C.); abgori@gmail.com (A.G.-R.); Tel.: +52-(777)-361-2155 (M.G.-C.); +52-(993)-358-1500 (ext. 4711) (A.G.-R.)



Citation: Gallegos-García, A.J.; Lobato-García, C.E.; González-Cortazar, M.; Herrera-Ruiz, M.; Zamilpa, A.; Álvarez-Fitz, P.; Pérez-García, M.D.; López-Rodríguez, R.; Ble-González, E.A.; Medrano-Sánchez, E.J.; et al. Preliminary Phytochemical Profile and Bioactivity of *Inga jinicuil* Schldtl & Cham. ex G. Don. *Plants* **2022**, *11*, 794. <https://doi.org/10.3390/plants11060794>

Academic Editors: Juei-Tang Cheng, I-Min Liu and Szu-Chuan Shen

Received: 17 February 2022

Accepted: 11 March 2022

Published: 17 March 2022

Publisher's Note: MDPI stays neutral with regard to jurisdictional claims in published maps and institutional affiliations.



Copyright: © 2022 by the authors. Licensee MDPI, Basel, Switzerland. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

Abstract: Several Mesoamerican cultures have used *Inga jinicuil* as traditional medicine for the treatment of gastrointestinal, inflammatory, and infectious issues. The aims of this contribution were to elucidate the phytochemical profile of the organic extracts from the bark and leaves of *I. jinicuil* and to assess the anti-inflammatory and antibacterial properties of these extracts. The preliminary chemical profile was determined by HPLC-PDA and GC-MS; the anti-inflammatory activity was evaluated with a mouse ear edema model, whereas the antibacterial activity was screened against several bacteria. The phytochemical profile of both organs (bark and leaves) of *I. jinicuil* led to the identification of 42 compounds, such as polyphenolic, flavonoids, triterpenes, prenol-type lipids, and aliphatic and non-aliphatic esters. This molecular diversity gave moderate anti-inflammatory activity ($67.3 \pm 2.0\%$, dichloromethane bark extract) and excellent antibacterial activity against *Pseudomonas aeruginosa* and methicillin-resistant *Staphylococcus aureus* (MIC values of <3.12 and 50 µg/mL, respectively). These results contribute to the chemotaxonomic characterization and the rational use in traditional medicine of *Inga jinicuil* Schldtl & Cham. ex G. Don.

Keywords: *Inga jinicuil*; phytochemical profile; HPLC-PDA; GC-MS; anti-inflammatory; antimicrobial

1. Introduction

Anti-inflammatory and antimicrobial properties have been attributed to a great diversity of plants used in traditional medicine, from which many commercial drugs have been developed [1]. These properties have been related to the presence of secondary metabolites such as tannins, terpenes, and flavonoids, among many others [2]. Currently, medicinal plants are a valuable alternative and, in agreement with the WHO strategies on complementary and traditional medicine, it is necessary to perform studies aimed at identifying their bioactive compounds and confirming their pharmacological activity in order to guarantee their safe, effective, and rational use [3].

Even though there are several alternatives for the treatment of inflammation, some anti-inflammatory drugs, such as aspirin, ketorolac, naproxen, or piroxicam, have adverse effects (e.g., the risk of developing intestinal bleeding) [2]; therefore, a constant search for new

anti-inflammatory treatments is critical in order to achieve an increased pharmacological response with the lowest degree of unwanted side effects [4]. The rise of microbial strains resistant to current antibiotics similarly presses the medical field to find new, effective compounds. These issues have led to the search for alternatives derived from natural sources to help in either the prevention or treatment of infectious problems [5].

Related to the above statements, a promissory prospect is the tropical species *Inga jinicuil* Schlttdl & Cham. ex G. Don, known in Mexico as “cuijnicuil”, “cuajnicuil”, or “jinicuil”, and named in the Maya-Chontal language as “bujte”. This plant belongs to the *Leguminosae* family and is classified as a multi-purpose tree in Mesoamerican indigenous communities, where it is mainly used as a shade tree in agroecosystems for cocoa and coffee plantations [6,7]. It is also an ornamental tree present in many gardens, parks, and roads, and it is highly recommended for repopulating watersheds [6]. The cotton pulp that covers the seeds can be consumed fresh or used in jellies and drinks [8]. Some indigenous communities of the Maya-Chontal region in Mexico and in the Amazon boil the seeds in salt water and use it as an appetizer or complement in traditional stews [6,7]. The aerial parts are used for healing purposes for the treatment of parasitic and infectious problems [6,8]. A mixture of seeds and leaves is also used as both an antidiarrheal and antirheumatic remedy [6]; in rural communities of Veracruz and Tabasco, Mexico, this plant is also utilized for gastrointestinal diseases by taking an infusion made from the pod and bark [7,8].

There are few reports on the phytochemical and biological activity of the *Inga* genus. For instance, a recent report highlights the antibacterial activity of the organic extracts from the leaves of *I. semialata*, which had an inhibitory effect on the growth of *Staphylococcus aureus*, *Staphylococcus epidermidis*, *Micrococcus luteus*, and *Klebsiella pneumoniae* associated with recurrent infections; the analysis of the extracts revealed the presence of gallic acid, epicatechin, and rutin [9]. There is also a series of reports aimed at the phytochemical and pharmacological analysis of *I. edulis* and *I. laurina*, where antimicrobial and antioxidant activities have been associated mainly with the presence of phenolic compounds [10–13]. In the case of *I. edulis*, the dichloromethane extract from leaves exerts a moderate antibacterial activity (MIC 7.0 mg/mL) against two strains of *S. aureus*; whereas for *I. laurina*, its effect against some strains of aerobic and anaerobic micro-organisms has been reported. The chemical composition of the active extract was determined by GC-MS, finding terpenoids, fatty acids, and esters [10–13]. Despite the extensive use of *I. jinicuil* in traditional medicine in southeastern Mexico, only the antimicrobial activity of hexanic and chloroform extracts from the seeds has been reported. These extracts proved to be active against *S. aureus* 25,923 and *Listeria monocytogenes* 244, with an MIC of 100 µg/mL for each micro-organism [14]; however, to date, no studies have been found about the phytochemical composition of the bark and leaves of this plant, nor on the evaluation of its anti-inflammatory activity. Therefore, the objectives of this work were to analyze the phytochemical profile of organic extracts from the bark and leaves of *I. jinicuil* via chromatographic methods, to evaluate their anti-inflammatory activity in the phorbol ester (TPA)-induced mouse ear edema test, and to expose its antibacterial activity against strains of clinical importance.

2. Results and Discussion

The yield of the extracts from *Inga jinicuil* are shown in Table 1. Three types of extracts (in order of increasing polarity) were acquired from bark (Hexane Ij-BH, Dichloromethane Ij-BD, & Hydroalcoholic Ij-BHac) and three more from leaves (Hexane Ij-LH, Dichloromethane Ij-LD, & Hydroalcoholic Ij-LHac). It was found that, in general, the extracts from leaves provided higher yields when compared to bark extracts, with the hydroalcoholic extract from leaves being the one with the highest percentage.

Table 1. Percentages obtained from *Inga jinicuil* extracts.

Extract	<i>n</i> -Hexane (% Yield)	Dichloromethane (% Yield)	Hydroalcoholic (% Yield)
Bark extract	0.095	0.82	0.25
Leaf extract	0.95	1.02	4.65

2.1. HPLC and UV-Vis Spectra Analysis of Polar Extracts from *Inga jinicuil*

HPLC analysis helped to determine the presence of terpenic and flavonoid-type compounds in both the dichloromethane and hydroalcoholic extracts from *I. jinicuil*. The chromatograms of the four polar extracts (**Ij-LD**, **Ij-LHac**, **Ij-BD**, and **Ij-BHac**) are presented in Figure 1. A total of 21 peaks related to terpenic and flavonoid-type compounds were observed. Table 2 presents a summary of the following information: retention times, main absorption bands of the UV-Vis spectra, and the presence of each peak in the four extracts analyzed.

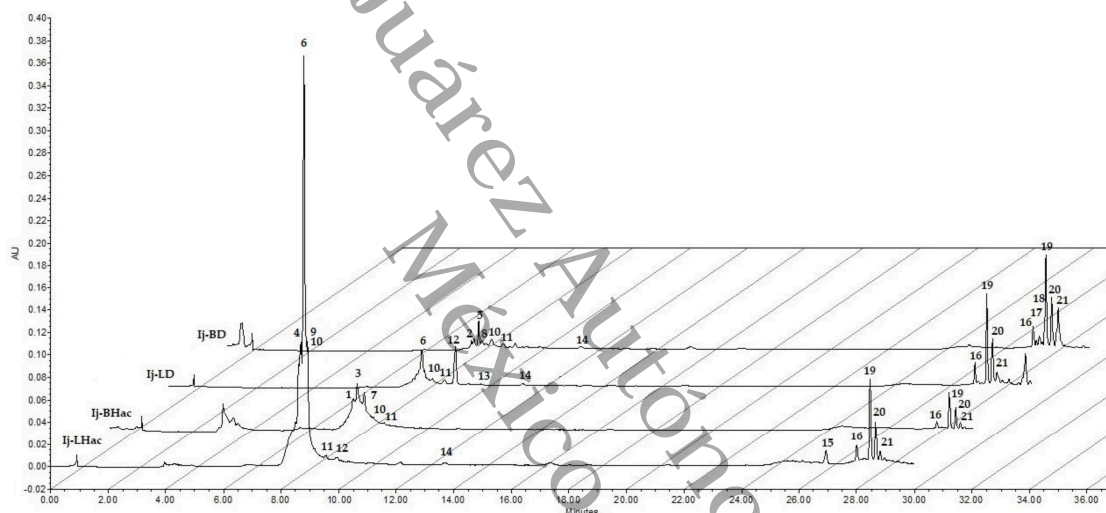


Figure 1. HPLC chromatograms of bark (**Ij-BD**, **Ij-BHac**) and leaf (**Ij-LD**, **Ij-LHac**) extracts. The peaks are numbered in ascending order according to their retention times ($\lambda = 270$ nm).

As seen in Figure 1, the peaks in the chromatograms can be differentiated into two main groups based on their retention time (t_R): the first group consists of 14 peaks with t_R between 8 and 12 min, while the second group has 7 peaks with t_R from 26 to 29 min.

Based on the retention times and the absorption bands in the UV-Vis spectra (Figures S1–S4) of the peaks shown in Table 2, it was possible to perform a preliminary analysis of each of the metabolites present in the extracts by comparing those parameters with known standards and data from the literature. Accordingly, for Peak 1, the observed absorption bands at 220.4, 261.6, and 294.7 nm were equal with those of the protocatechuic acid standard, which when analyzed in identical chromatographic conditions presented the same t_R (8.46 min). Since Peak 2 showed chromatographic behavior similar to 1 along with the analysis of the UV-Vis bands and the literature, it is inferred that it may be a derivative of protocatechuic acid [15,16].

Regarding Peaks 3 and 7, when their t_R and UV-Vis absorption bands were compared with the gallic acid standard ($t_R = 7.46$ min, $\lambda_{\max} = 220.4, 272.2$ nm), a good match was found in the UV-Vis spectrum; however, the differences in retention times suggested the presence of gallic acid derivatives [17,18].

The analysis of the UV-Vis bands for Peaks 4, 6, and 9 indicated that these compounds may be of the flavonoid type; this inference was strengthened when they were compared with an apigenin standard ($t_R = 16.76$ min, $\lambda_{\max} = 211, 267.5, 338.6$ nm) and an identical

match was found in their UV-Vis spectra. The differences in retention times led us to potentially consider these peaks as glycosylated analogs of this flavone [19,20].

Table 2. Preliminary phytochemical profile by HPLC-UV-Vis analysis of polar extracts from bark and leaves of *I. jinicuil*.

Peak	Retention Time (min)	Absorption Bands (nm)	Extract(s) *	Compound Affinity **	Ref.
1	8.46	220.4, 261.6, 294.7	■	Protocatechuic acid	Standard [15,16]
2	8.58	249.8, 273.6	●	Protocatechuic acid derivative	Standard [15,16]
3	8.58	218.1, 276.9	■	Gallic acid derivative	Standard [17,18]
4	8.66	212.2, 251.5, 352.9	□	Glycosylated Flavone. Apigenin derivative	Standard [19,20]
5	8.75	219.2, 249.8, 273.4	●	Lignane	Standard [21,22]
6	8.81	215.7, 269.8, 337.4	○ □	Glycosylated Flavone. Apigenin derivative	Standard [19,20]
7	8.85	219.2, 279.3	■	Gallic acid derivative	Standard [17,18]
8	8.86	215.7, 308.9	●	Coumaric acid derivative	Standard [23]
9	8.91	207.5, 269.8, 335.1	□	Glycosylated Flavone. Apigenin derivative	[19,20]
10	9.18	249.8	○ □ ● ■	Terpene	[24]
11	9.58	245.1	○ □ ● ■	Terpene	[24]
12	9.96	209.9, 294.7, 338.6	○ □	Coumarin derivative	[25–27]
13	10.03	276.9	○	Epigallocatechin Gallate derivative	Standard [28]
14	12.30	235.7, 266.3	○ □ ●	Terpene	[24]
15	26.91	219.2, 273.4, 293.5	□	Vanillic acid derivative	[29,30]
16	28.01	204, 248.6	○ □ ● ■	Terpene	[24]
17	28.11	278.1	●	Epigallocatechin Gallate derivative	[28]
18	28.21	245.1, 278.1, 327.9	●	Coumarin derivative	[25–27]
19	28.43	201.7, 261.6	○ □ ● ■	Salicylate derivative	Standard [31]
20	28.65	200.5, 263.9	○ □ ● ■	Salicylate derivative	Standard [31]
21	28.81	263.9	○ □ ● ■	Salicylate derivative	Standard [31]

* Extracts: Bark extracts, ● (Ij-BD), ■ (Ij-BHac); Leaf extracts, ○ (Ij-LD), □ (Ij-LHac). ** Compounds were suggested by a preliminary comparison of retention time (t_R) and UV-Vis bands with standards and literature data.

For the case of Peak 5, its UV-Vis pattern was comparable to those reported for lignane-type compounds. Similarly, Peak 8 presented characteristic bands associated with derivatives of coumaric acid [23]. On the other hand, for Peaks 12 and 18, their UV-Vis spectra were characteristic of those reported for coumarin-type compounds [25–27].

Regarding the analysis of the UV-Vis spectra of Peaks 10, 11, 14, and 16, it was possible to associate them with previous reports for terpene derivatives [24]. Likewise, Peaks 13 and 17 were consistent with bibliographical data of epigallocatechin gallate derivatives [28], and Peak 15 may be associated with vanillic acid derivatives [29,30]. Finally, the absorption bands of Peaks 19, 20, and 21 were associated with salicylate derivatives [31].

Considering the above information, Peaks 10, 11, 16, 19, 20, and 21, attributed to terpenes and salicylates, were detected in the four extracts analyzed, whereas Peak 14, which was also recognized as a terpene, was found in three extracts (absent in Ij-BHac). The two leaf extracts shared the presence of Peaks 6 and 12, which were consistent with apigenin and coumarin derivatives, respectively. Despite this, as can be appreciated in Table 2, around 60% of the metabolites identified in the polar extracts of the bark and leaves of *Inga jinicuil* were only found in one extract.

It should be noted that, to date, no reports have been found on secondary metabolites present in bark or leaves from *I. jinicuil*, so this work represents a first approach for the phytochemical study of these organs of the plant. However, there are reports about the phytochemical composition for other species of the *Inga* genus, where the presence of a high content of polyphenols with an important antioxidant capacity has been demonstrated [31]. For *I. semialata* and *I. edulis*, the analysis of leaf extracts allowed the identification of compounds such as: epicatechin, apigenin C-di-hexoside, myricetin-O-hexose-deoxyhexose,

myricetin-*O*-deoxyhexose, and vicenin-2 [9,32]. Likewise, other studies on leaf extracts from *I. edulis*, reported the presence of four triterpenes (lupeol, α -amirin, olean-18-ene acid, and frideline), three flavonoids, eight phenolic acids, an anthocyanin derived from delphinidin-3-glycoside, and a mixture of five acylated anthocyanins. It is important to highlight the fact that gallic acid, methyl gallate, protocatechuic acid, and quercetin were also identified [33]. For *I. laurina*, there is a presence of flavonoids 3-*O*-(2''-*O*-galloyl)- α -rhamnopyranoside and myricetin-3-rhamnoside in leaf extracts [19], as well as gallic acid, myricetin derivatives, quercetin glycoside, and glycoside myricetin-3-*O*-rhamnosid from ethanolic extracts of leaves from this plant [20].

In view of the above-mentioned studies, our preliminary assessment of the phytochemical profile of *Inga jinicuil* allowed the identification of a chemotaxonomic resemblance with other species of the same genus, since a shared presence of phenolic and terpenic compounds, such as gallates, protocatechuic acid, and its derivatives, as well as flavonoids such as apigenin, can be recognized. It should be emphasized that in published work, the phytochemical research reports on *I. semialata*, *I. edulis*, and *I. laurina* refer mainly to polar leaf extracts, whereas the phytochemical analysis of bark has been oriented to non-polar extracts (as discussed below). Therefore, this report also contributes to the identification of secondary metabolites in polar extracts from this organ for a species of the *Inga* genus.

2.2. Chemical Profile of Hexane Extracts from Bark and Leaves of *I. jinicuil* by GC-MS

The analysis of the GC-MS chromatograms of **Ij-BH** and **Ij-LH** [Figure 2A,B] allowed the identification of 21 compounds, where 7 of them were only found in the bark extracts, 11 compounds only appeared in the analysis of the leaf extracts, and 3 were common to the extracts of both organs. Table 3 presents a list of the compounds detected arranged according to their elution order. The most abundant compounds detected for **Ij-BH** were prenol, α -tocopherol (relative abundance: 40.49%), and triterpene 24-methylenecycloartan-3-one (38.61%); these compounds represented approximately 80% of the content of this extract. For the **Ij-LH** extract, the triterpenes included lup-20 (29)-en-3-one (26.74%) and lupeol (16.44%), as well as the aliphatic compound hentriacontane (16.66%), all of which constituted nearly 60% of its metabolic content. The compounds identified in both extracts were hexadecanoic acid methyl ester, hexadecanoic acid ethyl ester, and octadecanoic acid methyl ester. It is worth mentioning that these three compounds were found in greater abundance in **Ij-BH**.

It is worth noting that this is the first report of a GC-MS analysis of hexanic extracts from *Inga jinicuil*. However, similar studies have been documented for other species of the *Inga* genus; such is the case for *I. edulis*, where triterpene compounds including lupeol and stigmaterol, as well as aliphatic compounds, have been identified from extracts of the bark and leaves [33,34]. Likewise, extracts from the bark and leaves of *I. laurina* have shown the presence of terpenes such as phytol, the aliphatic nonacosane, and esterified aliphatic acids [35], whereas in a hexanic fraction obtained from the leaves of *I. semialata*, the main compounds isolated were triterpenes, such as lupeol, α -amyrin, oleanolic acid, and friedelin [30]. In this report, the presence of esterified aliphatic acids was identified and, as in other species of the *Inga* genus, the presence of lupeol has been established. However, the following compounds: hentriacontane, α -tocopherol, lup-20 (29)-en-3-one and 24-methylenecycloartan-3-one, are reported for the first time for this genus.

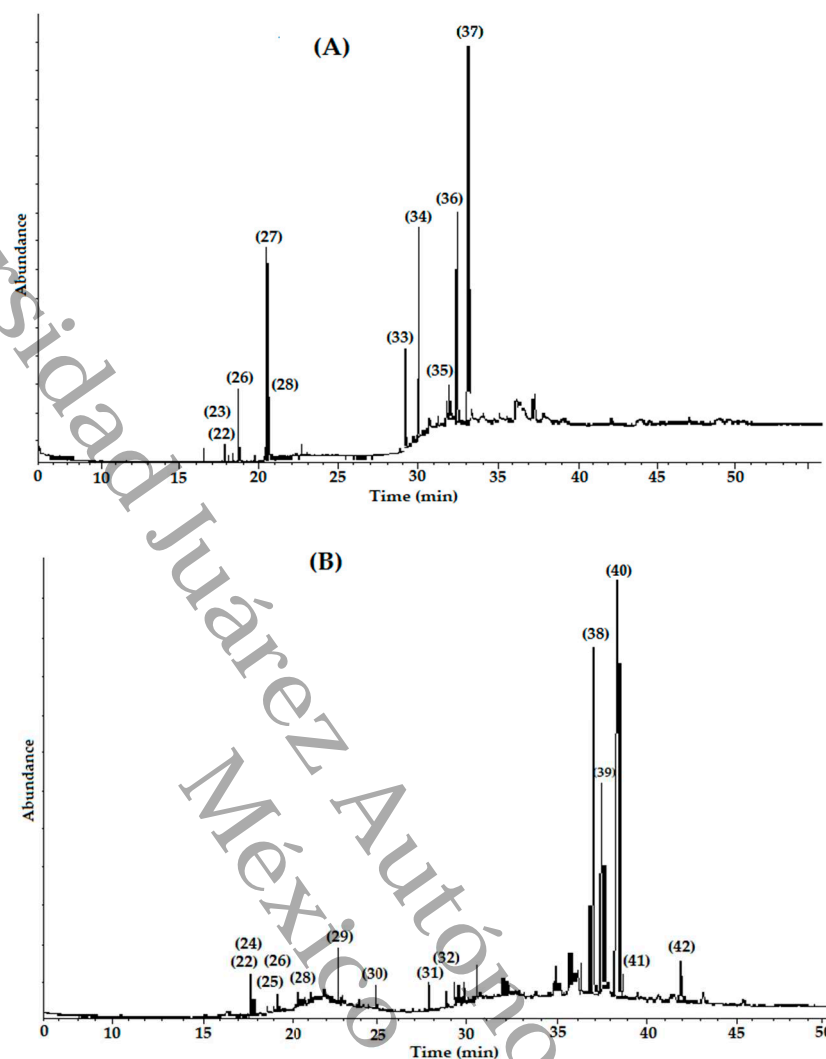


Figure 2. GC chromatograms of the hexanic extracts: (A) Ij-BH and (B) Ij-LH. The peaks are numbered in ascending order according to their retention times.

2.3. Anti-Inflammatory Activity of Organic Extracts from *Inga jinicuil*

The results corresponding to the anti-inflammatory study of the organic extracts are presented in Figure 3. At the same dose of 1.0 mg/ear, all of the extracts showed anti-inflammatory activity. For the bark extracts, the percentages of inhibition were: **Ij-BH** $34.6 \pm 3.0\%$, **Ij-BD** $67.3 \pm 2.0\%$, and **Ij-BHac** $24.4 \pm 1.0\%$, and for leaf extracts, the corresponding percentages were: **Ij-LH** $34.9 \pm 1.3\%$, **Ij-LD** $23.0 \pm 1.0\%$, and **Ij-LHac** $49.6 \pm 1.0\%$. For indomethacin (**Indo**), which was employed as the reference drug, the inhibition percentage was $75.5 \pm 2.2\%$. As can be seen, the two extracts with the greatest anti-inflammatory activity were **Ij-BD** followed by **Ij-LHac**, and the statistical comparison between the anti-inflammatory activities of the extracts and the reference drug revealed significant differences ($p < 0.05$). No extract reached an effect equal to or greater than that of **Indo** (Indomethacin). However, the comparison using the Tukey test of the effect of the extracts and the reference drug showed that there were no significant differences ($p < 0.05$) between some of the extracts, such as **Ij-BH** compared to **Ij-LH** and **Ij-BHac** compared to **Ij-LD**.

Table 3. Phytochemicals identified in hexanic extracts from the bark (Ij-BH) and leaves (Ij-LH) of *Inga jinicuil* by GC-MS.

Peak	Retention Time (min)	Molecular Weight (amu)	Extract(s) (% in the Sample) *	Compound **
22	17.80 17.75	268.5 268.5	▲ (1.07), △ (1.18)	2-pentadecanone,6,10,14-trimethyl
23	17.80	296.5	▲ (1.07)	3,7,11,15-Tetramethyl-2-hexadecen-1-ol
24	18.55	270.5	△ (1.04)	Hexadecanoic acid, methyl ester
25	18.61	276.3	△ (0.88)	7,9-Di-tert-butyl-1-oxaspiro(4,5)deca-6,9-diene-2,8-dione
26	18.68, 18.61	270.5	▲ (3.83), △ (0.88)	Hexadecanoic acid, ethyl ester
27	20.51	296.5	▲ (11.74)	Phytol
28	20.60, 20.47	298.5	▲ (3.14), △ (0.44)	Octadecanoic acid, methyl ester
29	22.53	324.5	△ (1.35)	4,8,12,16-tetramethylheptadecan-4-olide
30	24.63	390.6	△ (0.80)	1,2-benzenedicarboxylic acid diisooctyl ester
31	27.76	380.6	△ (1.62)	15-Tetracosenoic acid, methyl ester
32	29.19	518.7	△ (1.02)	Tetradecanoic acid, 3,3a,4,6a,7,8,9,10,10a,10b-decahydro-3a, 10a, dihydroxy-5-(hydroxymethyl)-2, 10-dimethyl-3-oxobenz [e] azulen-8-yl ester
33	29.21	410.7	▲ (5.98)	Squalene
34	30.05	408.8	▲ (12.55)	Nonacosane
35	31.95	416.7	▲ (3.74)	β-Tocopherol
36	32.44	436.8	▲ (16.66)	Hentriacontane
37	33.07	430.7	▲ (40.49)	α-Tocopherol
38	36.91	424.7	△ (26.74)	Lup-20 (29)-en-3-one
39	37.39	426.7	△ (16.43)	Lupeol
40	38.35	438.7	△ (38.61)	24-Methylenecycloartan-3-one
41	38.64	412.7	△ (2.27)	Stigmast-4-en-3-one
42	41.85	440.7	△ (4.99)	9,19-Cyclolanostan-3-ol,24-methylene-, (3β)-

* Extracts: Bark extract (▲ (Ij-BH) and leaf extract (△ (Ij-LH)). ** Compared with the National Institute of Standards and Technology (NIST) 1.7 Library.

Even when species such as *I. laurina*, *I. edulis*, *I. marginata*, and *I. jinicuil* are employed to treat stomach and inflammatory disorders in traditional medicine, few studies have been conducted to confirm their attributed pharmacological properties. However, recent reports have shown the presence of flavonoids and other phenolic compounds in several of these species that may be associated with pharmacological effects [36]. The present study represents a preliminary approach in the assessment of the anti-inflammatory activity of *I. jinicuil*, with the bark extracts exerting a more consistent effect and Ij-BD showing the highest activity. It is noteworthy to mention that the chemical profile of this extract showed the presence of salicylates, terpenoids, and derivatives of epigallocatechin gallate, as well as derivatives of protocatechuic and coumaric acids, which may be associated with its biological effect [24,28,31]. In the case of the extracts from leaves, Ij-LHac showed the best inhibitory effect, and the analysis of its metabolic content revealed the presence of polyphenolic compounds, terpenoids, coumarins, vanillic acid derivatives, and flavonoid-type compounds such as apigenin derivatives, all of which have reported anti-inflammatory effects [19,34,37]. Furthermore, previous reports regarding several of the metabolites present in both extracts have postulated an anti-inflammatory activity that proceeds via the inhibition of cyclooxygenase enzymes (COX) [38–40], which happens to be the known mechanism of the reference drug (Indo) [40]. Finally, it is important to mention that the two extracts with the highest activity have the presence of terpenes and salicylates in common; these compounds are recognized for their analgesic and anti-inflammatory effects [24,31].

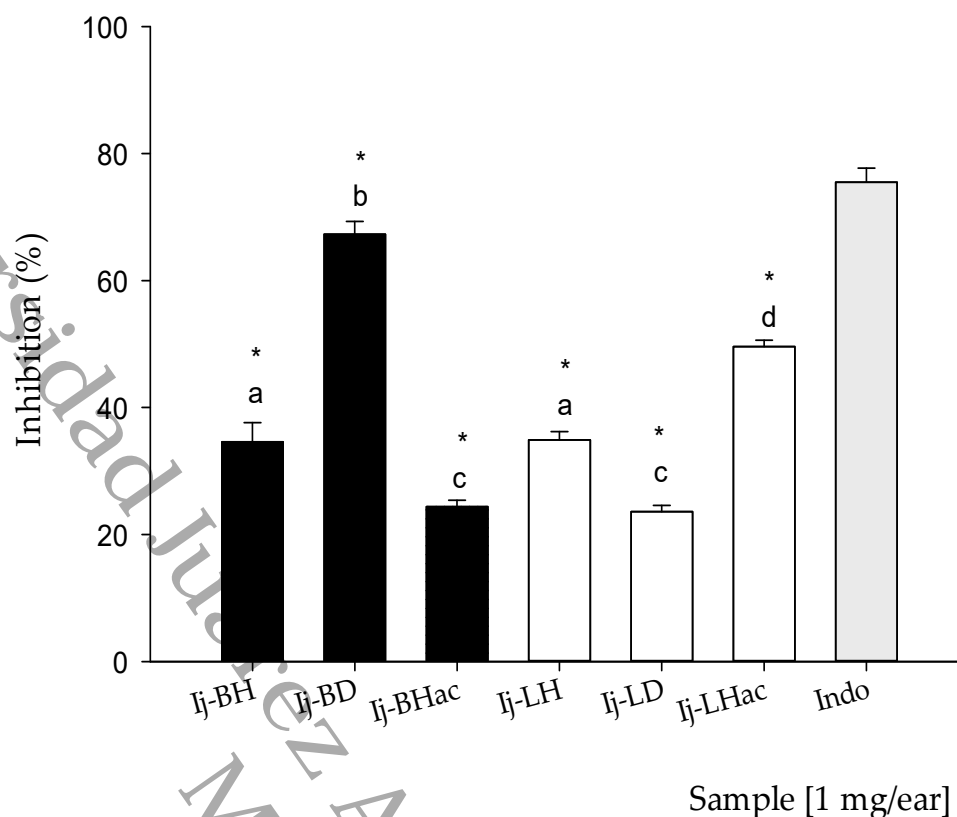


Figure 3. Percentage inhibition of inflammation (%) of Ij-BH, Ij-BD, Ij-BHac, Ij-LH, Ij-LD, and Ij-LHac extracts from *Inga jinicuil* and Indo (Indomethacin) in edema induced by TPA in mouse ear at 1.0 mg/ear. Values are presented as means \pm standard error of the means (SEM). $n = 5$. ANOVA, with post-test Dunnett with $* p \leq 0.05$ in comparison with Indo and Tukey test, where different letters indicate significant differences among them.

2.4. Antibacterial Activity of *Inga jinicuil* Organic Extracts

The antibacterial activity of bark and leaf *Inga jinicuil* extracts were evaluated on clinically important micro-organisms. As showed in Table 4, the three extracts of bark (Ij-BH, Ij-BD, and Ij-BHac) exhibited excellent activity against *Pseudomonas aeruginosa* (Pa) and methicillin-resistant *Staphylococcus aureus* (Sa1), with MIC values of <3.12 and $50 \mu\text{g}/\text{mL}$, respectively. Only Ij-BH showed activity against *Staphylococcus epidermidis* (Se1). Similarly, Ij-LD and Ij-LHac had good activity against *Pseudomonas aeruginosa* (Pa; MIC $< 3.12 \mu\text{g}/\text{mL}$), methicillin-resistant *Staphylococcus aureus* (Sa1; MIC = $50 \mu\text{g}/\text{mL}$) and *Staphylococcus epidermidis* (Se1; MIC = $200 \mu\text{g}/\text{mL}$).

The results obtained are interesting considering that in 2017 the WHO published a list of “priority pathogens” resistant to antibiotics, which include *Pseudomonas aeruginosa* (resistant to carbapenems) and *Staphylococcus aureus* (resistant to methicillin), emphasizing the urgent need for the search for new agents against these micro-organisms [5].

The antibacterial activity of bark and leaf extracts against *Pseudomonas aeruginosa* (Pa) and methicillin-resistant *Staphylococcus aureus* (Sa1) can be attributed to the presence of several secondary metabolites: hentriacontane and α -tocopherol in Ij-BH, and polyphenols, flavonoids, and terpenoids in both Ij-BD and Ij-BHac [41]. Special attention may be paid to the presence of gallate and coumarin derivatives, since their antibacterial mechanism has been described at the cell membrane level by repressing the transport system of proteins and inhibiting the biofilm formation in clinical strains of Sa1 [17,42,43]. Furthermore, coumarin derivatives are considered as potential antibacterial agents that act as inhibitors to several binding proteins of Sa1 and potential competitive inhibitors of the DNA-gyrase [44,45]. It is worth noting that the chemical moiety responsible for the antibacterial activity of coumarins is the basic structure of benzopyrone, which resembles the structure of benzopyridone

present in antibacterial drugs derived from quinolone [44,45]. Therefore, the wide range of chemical structures found in these extracts may represent a potential source of molecular templates for new antibacterial drugs.

Table 4. Antibacterial activity (MIC $\mu\text{g}/\text{mL}$) of extracts from *Inga jinicuil*.

Extract	Bacterial Strains									
	Gram-Positive					Gram-Negative				
	Sa1	Sa2	Se1	Se2	Sh	Ec1	Ec2	Ef	Kp	Pa
Ij-LH	>200	>200	>200	>200	>200	>200	>200	>200	>200	>200
Ij-LD	50	>200	200	>200	>200	>200	>200	>200	>200	<3.12
IjLHac	50	>200	>200	>200	>200	>200	>200	>200	>200	<3.12
Ij-BH	50	>200	50	>200	>200	>200	>200	>200	>200	<3.12
Ij-BD	50	>200	>200	>200	>200	>200	>200	>200	>200	<3.12
IjBHac	50	>200	>200	>200	>200	>200	>200	>200	>200	<3.12
C1	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
C2	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
C+	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–

Sa1: methicillin-resistant *S. aureus*; Sa2: *S. aureus*; Se1: *S. epidermis*; Se2: *S. epidermis*; Sh: clinically isolated *S. haemolyticus*; Ec1: *E. coli*; Ec2: *E. cloacae*; Ef: *E. fecalis*; Kp: *K. pneumoniae*; Pa: *P. aeruginosa*; C1 and C2: controls of viability (*: bacterial growth); C+: positive control (Gentamicine 100 $\mu\text{g}/\text{mL}$; –: not bacterial growth).

3. Materials and Methods

3.1. Plant Material and Extraction of *Inga jinicuil*

Aerial parts of *Inga jinicuil* Schltdl & Cham. ex G. Don were collected in July 2019, in Libertad, Cunduacán, Tabasco, Mexico (10 m.a.s.l., latitude $18^{\circ}10'53.06$ N, longitude $93^{\circ}22'28.13$ W). A specimen was deposited at the Herbarium of the Academic Division of Biological Sciences of the Universidad Juárez Autónoma de Tabasco for its taxonomic identification (voucher number: 36576).

Plant material was dried at room temperature in the dark for 72 h, with drying and spraying in Pulvex MP300 milled (4–6 mm). The extracts were obtained by maceration with *n*-hexane, dichloromethane, and a 60:40 ethanol:water mixture 1:4; the maceration procedure was performed three times for each solvent in order to ensure an exhaustive extraction. These extracts were filtered, concentrated in a rotary evaporator (Heidolph G3, Schwabach, Germany), and then lyophilized (Heto Drywinner DW3) to give the bark (*n*-Hexane Ij-BH, Dichloromethane Ij-BD, Hydroalcoholic Ij-BHac) and leaf extracts (*n*-Hexane Ij-LH, Dichloromethane Ij-LD, Hydroalcoholic Ij-LHac).

3.2. HPLC Analysis

Chromatographic analysis was carried out in a Waters 2695 separation module system with a Waters 2695 photodiode matrix detector and Empower Pro software (Waters Corporation, Milford, MA, USA). Chemical separation was performed using a Supelcosil LC-F column (4.6 mm \times 250 mm i.d., particle size 5 μm) (Sigma-Aldrich, Bellefonte, PA, USA). The mobile acid phase was performed using 0.5% trifluoroacetic, aqueous solution (solvent A), and acetonitrile (solvent B) gradient: 0–1 min, 0% of B; 2–3 min, 5% of B; 4–20 min, 30% of B; 21–23 min, 50% of B; 24–25 min, 80% of B; 26–27 min, 100% of B; 28–30 min, 0% of B. The flow rate was 0.9 mL/min with a volume of 10 μL sample. Absorbance was measured at 270 nm [46]. A preliminary identification of the peaks resolved was performed by comparison with t_R and UV-Vis characteristic bands of known standards and literature data.

3.3. GC-MS Analysis of Hexane Extracts

The chemical composition of Ij-BH and Ij-LH was analyzed on Gas Chromatography-Mass Spectrometry (GC-MS) equipment, consisting of an Agilent 6890 plus gas chromato-

graph coupled to a simple quadrupole mass spectrometry detector, model 5972N (Agilent Technology, Santa Clara, CA, USA).

Volatile compounds were separated on an HP 5MS capillary column (25 m long, 0.2 mm i.d., with 0.3- μ m film thickness). Oven temperature was set at 40 °C for 2 min, then programmed at 40–260 °C for 10 °C/min, and maintained for 20 min at 260 °C. Mass detector conditions were as follows: interphase temperature, 200 °C, and mass acquisition range, 20–550. Injector and detector temperatures were set at 250 and 280 °C, respectively. Splitless injection mode was carried out with 1 μ L of each fraction (3 mg/mL solution). The carrier gas was helium at a flow rate of 1 mL/min. The identification of volatiles was performed, comparing their mass spectra with those of the National Institute of Standards and Technology (NIST) 1.7 Library and comparing these with data from the literature [47].

3.4. Pharmacological Activity

3.4.1. Anti-Inflammatory Activity

Male ICR mice with a weight range of 25–30 g, from Envigo RMS, S.A. de C.V., were used throughout the experiments. These animals were maintained in the Bioterium of Centro de Investigación Biomédica Del Sur (CIBIS-IMSS) under a 12 h light-dark cycle and constant temperature (23–25 °C) with free access to food and water. The animals were treated under the Mexican federal regulations for care and use of laboratory animals, NOM-062-ZOO-1999 Guidelines [48], and international ethical guidelines for the care and use of experimental animals [49]; the number of animals ($n = 5$) and the intensity of the noxious stimuli utilized were the minimum necessary to demonstrate the consistent effects of the pharmacological treatments. The animal studies were approved by the Ethics Committee of the Mexican Social Security Institute (R-2020-1702-008).

Auricular inflammation was induced following the method previously described [50]. The dose evaluated for the extracts was 1.0 mg/ear. A control group received acetone as vehicle, and Indomethacin (Indo, Sigma-Aldrich, Toluca, Mexico) 1.0 mg/ear was utilized as an anti-inflammatory positive control. All treatments were dissolved in acetone and applied topically on both ears immediately after the solution of 12-O-tetradecanoylphorbol-13-acetate (TPA, Sigma-Aldrich, Toluca, México) as an inflammatory agent. Six hours after the administration of TPA, the animals were euthanized by cervical dislocation.

Circular sections 6 mm in diameter were taken from both the treated (t) and non-treated (nt) ears, which were weighed to determine the inflammation. The percentage of inhibition was obtained employing the expression below:

$$\% \text{ Inhibition} = [\text{Dw control} - \text{Dw treated} / \text{Dw control}] \times [100]$$

where $\text{Dw} = \text{wt} - \text{wnt}$; wt is the weight of the section of the treated ear; and wnt the weight of untreated ear section.

3.4.2. Antibacterial Activity

The extracts were evaluated against bacterial strains ATCC: methicillin-resistant *Staphylococcus aureus* (Sa1; ATCC 43330), *Staphylococcus aureus* (Sa2; ATCC 29213), *Staphylococcus epidermis* (Se1; ATCC 12228), *Staphylococcus epidermis* (Se2; ATCC 35984), *Enterococcus faecalis* (Ef; ATCC 29212), *Escherichia coli* (Ec1; ATCC 25922), *Enterobacter cloacae* (Ec2; ATCC 700323), *Klebsiella pneumoniae* (Kp; ATCC 700603), *Pseudomonas aeruginosa* (Pa; ATCC 27853), and the clinically isolated *Staphylococcus haemolyticus* (Sh; 1038). The strains were reseeded in antibiotic agar No. 1 (Bioxon, Mexico) for 24 h at 37 °C. The strain of clinical isolate was provided from the General Hospital of Acapulco, State of Guerrero, Mexico, to the Bacteria Bank of the Autonomous University of Guerrero (UAGro).

For the trials, cultures with 24 h of incubation (37 °C) were used and about 3–4 colonies were taken of each strain and diluted in Müeller–Hinton broth (MHb; Bioxon, Toluca, Mexico). The inoculums were adjusted using the 0.5 MacFarland scale (1.5×10^8 UFC/mL). Subsequently, dilution with distilled water was performed to obtain 1×10^4 UFC/mL.

The MIC of extracts was determined by the microtiter broth dilution method [51]. Briefly, the samples (50 mg/mL) were dissolved in a DMSO–water mixture (20:80), and the tested concentrations were 3.37, 6.75, 12.5, 25, 50, 100, and 200 µg/mL. The samples were added to sterile microplates of 96 wells, along with 200 µL of MHb and 2 µL of inoculum (1×10^4 UFC/mL). The viability controls used were: MHb + DMSO + inoculum and MHb + inoculum; Gentamicin (C^+ , 100 µg/mL; Sigma Aldrich, Mexico) was employed as the reference antibiotic. The plates were incubated at 37 °C for 24 h, and after incubation the MIC was determined by adding 30 µL of a solution (0.05%) of 3-(4,5-dimethylthiazol-2-yl)-2,5-diphenyl tetrazolium bromide (MTT, Sigma-Aldrich, Hong Kong, China) in every well, of which purple development was observed if there was viability of bacteria and colorless if there was no feasibility. All assays were performed in triplicate.

3.5. Statistical Analysis

For the analysis of the anti-inflammatory activity, the data were expressed as the mean \pm standard error of the mean (SEM), and statistical significance was determined using an analysis of variance (ANOVA) with a confidence level of 95% ($* p \leq 0.05$), followed by the one-tailed Dunnett test compared to Indo and the Tukey test. All analyses was performed using IBM SPSS statistics ver. 23.0 statistical program (GraphPad Software, IBM, San Diego, CA, USA).

4. Conclusions

This report presents the biological activity of organic extracts obtained from the bark and leaves of *I. jinicuil*. The anti-inflammatory activity tests showed moderate to good effects, with the dichloromethane extract from bark showing the highest activity, followed by the hexanic extract from leaves. Based on the findings of anti-inflammatory activity, it is possible to propose the exploration of the potential antinociceptive effect of the tested extracts, using an appropriate pharmacological model. Likewise, it was found that the three extracts from the bark of this plant have excellent antibacterial activity (primarily against methicillin-resistant *Staphylococcus aureus* and *Pseudomonas aeruginosa* strains) and this leads us to consider the possibility of extending antibacterial activity tests to a greater number of microbiological strains of clinical interest. On the other hand, it should be mentioned that, to our knowledge, this is the first approach to the phytochemical profiling of bark and leaves of *I. jinicuil*, which is consistent with the chemotaxonomic profiles reported for other species of *Inga* and suggest the presence of polyphenolic compounds, flavonoids, triterpenes, and lipid prenols, as well as aliphatic and esterified aliphatic lipids; these natural products may be responsible for both bioactivities assessed in this work. These results allow predicting a wide potential for future studies aimed at the isolation and structural characterization of compounds that might serve as molecular templates with specific biological activities. Finally, it is important to highlight that these results systematically contribute to the use in traditional Mexican medicine of a highly important sociocultural and nutritional species such as *Inga jinicuil* Schltdl & Cham. ex G. Don.

Supplementary Materials: The following are available online at <https://www.mdpi.com/article/10.3390/plants11060794/s1>, Figure S1: UV-spectra of the main compounds of (Ij-BD) *I. jinicuil*; Figure S2: UV-spectra of the main compounds of (Ij-BHac) *I. jinicuil*; Figure S3: UV-spectra of the main compounds of (Ij-LD) *I. jinicuil*; Figure S4: UV-spectra of the main compounds of (Ij-LHac) *I. jinicuil*.

Author Contributions: Conceptualization, M.G.-C., C.E.L.-G. and A.G.-R.; methodology, A.J.G.-G., R.L.-R. and P.Á.-F.; validation, M.H.-R. and M.D.P.-G.; formal analysis, A.Z.; investigation, A.G.-R. and A.B.; resources, A.J.G.-G., R.L.-R. and M.R.F.; data curation, E.J.M.-S. and M.R.F.; writing—original draft preparation, A.J.G.-G., R.L.-R. and E.A.B.-G.; writing—review and editing, A.G.-R., C.E.L.-G. and A.B.; visualization, M.H.-R. and P.Á.-F.; supervision, M.D.P.-G.; project administration, M.G.-C., A.G.-R. and C.E.L.-G.; funding acquisition, A.G.-R., M.G.-C. and A.Z. All authors have read and agreed to the published version of the manuscript.

Funding: This research was funded by PRODEP, grant number UJAT-EXB-242.

Institutional Review Board Statement: The animal studies were approved by the Ethics Committee of the Mexican Social Security Institute (R-2020-1702-008).

Informed Consent Statement: Not applicable.

Data Availability Statement: Data is contained within the article and Supplementary Material.

Acknowledgments: The authors wish to thank Arturo Pérez, Jonathan Orduño, and Ixchel Palacios (CIBIS-IMSS), and Dora Elena Aguilar Dominguez and Wilbert Pérez Fuentes (DACB-UJAT) for technical and analytical assistance; al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por la beca otorgada con No. de CVU: 703106; R.L.-R. (478597) was supported by CONACYT postdoctoral fellowship (866998).

Conflicts of Interest: The authors declare no conflict of interest.

References

1. Maione, F.; Russo, R.; Khan, H.; Mascolo, N. Medicinal plants with anti-inflammatory activities. *Nat. Prod. Res.* **2015**, *30*, 1343–1352. [CrossRef] [PubMed]
2. Heydari, H.; Saltan, I.G.; Eryilmaz, M.; Bahadır, A.Ö.; Yilmaz, S.S.; Tekin, M.; Çoban, T. Antimicrobial and Anti-Inflammatory Activity of Some *Lathyrus* L. (Fabaceae) Species Growing in Turkey. *Turk. J. Pharm. Sci.* **2019**, *16*, 240–245. [CrossRef] [PubMed]
3. WHO. *WHO Traditional Medicine Strategy: 2014–2023*; WHO Press, World Health Organization: Hong Kong, China, 2013; pp. 15–19.
4. Ghasemian, M.; Owlia, S.; Owlia, M.B. Review of Anti-Inflammatory Herbal Medicines. *Adv. Pharmacol. Sci.* **2016**, *2016*, 9130979. [CrossRef] [PubMed]
5. WHO. Global Priority List of Antibiotic-Resistant Bacteria to Guide Research, Discovery, and Development of New Antibiotics. Available online: https://www.who.int/medicines/publications/WHO-PPL-Short_Summary_25Feb-ET_NM_WHO.pdf (accessed on 11 January 2022).
6. Vargas, S.G.; Pire, R. *Inga jinicuil Schtdl*; Multiuso, A., Ed.; Universidad Juárez Autónoma de Tabasco: Villahermosa, Mexico, 2017; pp. 2–4, ISBN 978-607-606-393-4.
7. Alejandro, M.A.M.; Campillo, L.M.G.; Méndez, R.M. El Uso de las Plantas Medicinales en las Comunidades Maya-Chontales de Nacajuca, Tabasco, México. *Polibotánica* **2010**, *29*, 213–2062. Available online: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-27682010000100011&lng=es&nrm=iso (accessed on 13 January 2022).
8. Maldonado, M.F. *Flora Medicinal del Estado de Tabasco: Uso, Manejo y Conservación*, 2nd ed.; Instituto para el Desarrollo de Sistemas de Producción del Trópico Húmedo de Tabasco: Villahermosa, Tabasco, Mexico, 2005; p. 50, ISBN 968-7991-24-0.
9. Maziero, M.; Lovato, M.O.; Lorenzoni, V.V.; Moraes, G.G.; Dornelles, R.C.; Sagrillo, M.R.; Horner, R.; Manfron, M.P. Phytochemical Study, an Evaluation of the Antioxidant Potential and the Antimicrobial Activity of *Inga semialata* (Vell.) C. Mart. Hydroalcohol Extract. *Nat. Prod. Res.* **2019**, *34*, 192–196. [CrossRef]
10. Pompeu, D.R.; Rogez, H.; Monteiro, K.M.; Tinti, S.V.; Carvalho, J.E. Capacidad antioxidante e triagem farmacológica de extratos brutos de folhas de *Byrsonima crassifolia* e de *Inga edulis*. *Acta Amaz.* **2012**, *42*, 165–172. [CrossRef]
11. Dib, H.X.; de Oliveira, D.G.L.; de Oliveira, C.F.R.; Taveira, G.B.; de Oliveira Mello, E.; Verbisk, N.V.; Chang, M.R.; Corrêa, D., Jr.; Gomes, V.M.; Macedo, M.L.R. Biochemical Characterization of a Kunitz Inhibitor from *Inga edulis* Seeds with Antifungal Activity against *Candida* spp. *Arch. Microbiol.* **2019**, *201*, 223–233. [CrossRef]
12. Alves do Nascimento, V.H.; Guimarães Sobrinho, A.C.; De Oliveira Souza, C.; Silva de Souza, J.N.; Sousa, C.L. Determination of Phenolic Compounds with Antimicrobial Activity of *Byrsonima crassifolia* and *Inga edulis* Leaves Extracts. *Ens. Ciênc.* **2021**, *25*, 21–28. [CrossRef]
13. Lima, N.; Santos, V.; La Porta, F. Chemodiversity, Bioactivity and Chemosystematics of the Genus *Inga* (FABACEAE): A Brief Review. *Rev. Virtual Quim.* **2018**, *10*, 459–473. [CrossRef]
14. Rugerio, M.O.; Hernández, M.H.H.; Suárez, R.A.; Vargas, D.M.E.; Daniel, A.B. Estudio químico y antimicrobiano de *Inga jinicuil* del estado de Tlaxcala. In Proceedings of the 7th Reunión Internacional de Investigación de Productos Naturales “Dr. Pedro Joseph-Nathan”, Revista Latinoamérica de Química, Morelia, Mexico, 18–20 May 2011; Navarete, A., Ed.; Mixim, Naucalpan de Juárez, Mexico, 2011; C-95, p. 149. Available online: <https://www.yumpu.com/es/document/view/27637927/latinoamericana-de-quimica-revista-latinoamericana-de-> (accessed on 13 January 2022).
15. Sun, J.; Liang, F.; Bin, Y.; Li, P.; Duan, C. Screening Non-Colored Phenolics in Red Wines Using Liquid Chromatography/Ultraviolet and Mass Spectrometry/Mass Spectrometry Libraries. *Molecules* **2007**, *12*, 679–693. [CrossRef]
16. Robbins, R.J. Phenolic Acids in Foods: An Overview of Analytical Methodology. *J. Agric. Food Chem.* **2003**, *51*, 2866–2887. [CrossRef] [PubMed]
17. Gabe, V.; Kacergius, T.; Abu-Lafi, S.; Kalesinskas, P.; Masalha, M.; Falah, M.; Abu-Farich, B.; Melninkaitis, A.; Zeidan, M.; Rayan, A. Inhibitory Effects of Ethyl Gallate on *Streptococcus mutans* Biofilm Formation by Optical Profilometry and Gene Expression Analysis. *Molecules* **2019**, *24*, 529. [CrossRef] [PubMed]

18. Martins, C.M.; de Moraes, S.A.L.; Martins, M.M.; Cunha, L.C.S.; da Silva, C.V.; Martins, C.H.G.; Leandro, L.F.; de Oliveira, A.; de Aquino, F.J.T.; do Nascimento, E.A.; et al. Chemical Composition, Antifungal, and Cytotoxicity Activities of *Inga laurina* (Sw.) Willd Leaves. *Sci. World J.* **2019**, *2019*, 9423658. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
19. Falcoski, T.O.R.; Lima, N.M.; Navegante, G.; Serafim, R.B.; Sorbo, J.M.; Valente, V.; Santos, V.N.C.; Santos, R.A.; Silva, D.H.S.; Soares, C.P. Genotoxicity, Cytotoxicity and Chemical Profile from *Inga laurina* (Fabaceae). *Nat. Prod. Res.* **2021**, *35*, 676–680. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
20. Kumar, S.; Pandey, A.K. Chemistry and Biological Activities of Flavonoids: An Overview. *Sci. World J.* **2013**, *2013*, 162750. [[CrossRef](#)]
21. Sun, Y.; Zeng, Q.-H.; Lu, H.-Q.; Meng, F.-C.; Shen, Y.; Zeng, W.-Y.; Chi, H.; Zhou, Y.-Q.; Chen, M. Two New Lignans from *Zanthoxylum armatum*. *Nat. Prod. Res.* **2020**, *2020*, 1–6. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
22. Guo, K.; Tong, C.; Fu, Q.; Xu, J.; Shi, S.; Xiao, Y. Identification of Minor Lignans, Alkaloids, and Phenylpropanoid Glycosides in *Magnolia officinalis* by HPLC-DAD-QTOF-MS/MS. *J. Pharm. Biomed. Anal.* **2019**, *170*, 153–160. [[CrossRef](#)]
23. Holser, R.A. Principal Component Analysis of Phenolic Acid Spectra. *ISRN Spectrosc.* **2012**, *2012*, 493203. [[CrossRef](#)]
24. Renuka, B.; Sanjeev, B.; Ranganathan, D. Evaluation of Phytoconstituents of *Caralluma nilagiriana* by FTIR and UV-VIS Spectroscopic Analysis. *J. Pharmacogn. Phytochem.* **2016**, *5*, 105–108. Available online: <https://www.phytojournal.com/archives?year=2016&vol=5&issue=2&ArticleId=813> (accessed on 18 January 2022).
25. Fatima, S.; Mansha, A.; Asim, S.; Shahzad, A. Absorption Spectra of Coumarin and Its Derivatives. *Chem. Pap.* **2022**, *76*, 627–638. [[CrossRef](#)]
26. Hroboňová, K.; Sádecká, J. Coumarins Content in Wine: Application of HPLC, Fluorescence Spectrometry, and Chemometric Approach. *J. Food Sci. Technol.* **2020**, *57*, 200–209. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
27. Li, G.J.; Wu, H.J.; Wang, Y.; Hung, W.L.; Rouseff, R.L. Determination of Citrus Juice Coumarins, Furanocoumarins and Methoxylated Flavones Using Solid Phase Extraction and HPLC with Photodiode Array and Fluorescence Detection. *Food Chem.* **2019**, *271*, 29–38. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
28. Sun, S.; He, G.; Yu, H.; Yang, J.; Borthakur, D.; Zhang, L.; Shen, S.; Das, U.N. Free Zn²⁺ Enhances Inhibitory Effects of EGCG on the Growth of PC-3 Cells. *Mol. Nutr. Food Res.* **2008**, *52*, 465–471. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
29. Wodnicka, A.; Huzar, E. Synthesis and Photoprotective Properties of New Salicylic and Vanillic Acid Derivatives. *Curr. Chem. Lett.* **2017**, *6*, 125–134. [[CrossRef](#)]
30. Lima, N.M.; de Marqui, S.R.; Silva, D.H.S. Phytochemical, Metabolic Profiling and Antiparasitic Potential from *Inga semialata* Leaves (Fabaceae). *Nat. Prod. Res.* **2020**, *2020*, 1–6. [[CrossRef](#)]
31. Hussain, M.A.; Badshah, M.; Iqbal, M.S.; Tahir, M.N.; Tremel, W.; Bhosale, S.V.; Sher, M.; Haseeb, M.T. HPMC-Salicylate Conjugates as Macromolecular Prodrugs: Design, Characterization, and Nano-Rods Formation: Rapid Communication. *J. Polym. Sci. A Polym. Chem.* **2009**, *47*, 4202–4208. [[CrossRef](#)]
32. Alves, G.A.D.; Fernandes, S.D.; Venteu, T.T.; de Souza, R.O.; Rogez, H.; Fonseca, M.J.V. Obtainment of an Enriched Fraction of *Inga edulis*: Identification Using UPLC-DAD-MS/MS and Photochemopreventive Screening. *Prep. Biochem. Biotechnol.* **2020**, *50*, 28–36. [[CrossRef](#)]
33. Tchuenmogne, A.M.T.; Donfack, E.V.; Kongue, M.D.T.; Lenta, B.N.; Ngouela, S.; Tsamo, E.; Sidhu, N.; Dittrich, B.; Laatsch, H. Ingacamerounol, A New Flavonol and Other Chemical Constituents from Leaves and Stem Bark of *Inga edulis* Mart. *Bull. Korean Chem. Soc.* **2013**, *34*, 3859–3862. [[CrossRef](#)]
34. Lima, N.M.; Andrade, T.J.A.S.; Silva, D.H.S. Dereplication of Terpenes and Phenolic Compounds from *Inga edulis* Extracts Using HPLC-SPE-IT, RP-HPLC-PDA and NMR Spectroscopy. *Nat. Prod. Res.* **2022**, *36*, 488–492. [[CrossRef](#)]
35. Furtado, F.B.; de Aquino, F.J.T.; Nascimento, E.A.; de Martins, C.M.; de Moraes, S.A.L.; Chang, R.; Cunha, L.C.S.; Leandro, L.F.; Martins, C.H.G.; Martins, M.M.; et al. Seasonal Variation of the Chemical Composition and Antimicrobial and Cytotoxic Activities of the Essential Oils from *Inga laurina* (Sw.) Willd. *Molecules* **2014**, *19*, 4560–4577. [[CrossRef](#)]
36. Marqui, S.; Santos, L.; Young, M.; Torres, L.; Bolzani, V.; Moraes, M.; Soares, C.; Silva, D. Chemopreventive Potential of Rhamnosyl Depsides from *Inga laurina*. *Planta Med.* **2010**, *76*, 47. [[CrossRef](#)]
37. Nogueira, K.M.; de Souza, L.K.M.; Medeiros, J.V.R. Technological Prospection of Anti-Inflammatory Vanilic Acid Activity, with Emphasis on Its Semisynthetic Derivative Isopropyl Vanilate. *Res. Soc. Dev.* **2021**, *10*, e35910313451. [[CrossRef](#)]
38. Enciso, E.; Arroyo, J. Efecto antiinflamatorio y antioxidante de los flavonoides de las hojas de *Jungia rugosa* Less (matico de puna) en un modelo experimental en ratas. *An. Fac. Med.* **2013**, *72*, 231. [[CrossRef](#)]
39. Howes, M.J.R. Phytochemicals as Anti-Inflammatory Nutraceuticals and Phytopharmaceuticals. In *Immunity and Inflammation in Health and Disease*; Chatterjee, S., Jungraithmayr, W., Bagchi, W., Eds.; Academic Press: Cambridge, UK, 2018; pp. 363–388. [[CrossRef](#)]
40. Molehin, O.R.; Adeyanju, A.A.; Adefegha, S.A.; Oyeyemi, A.O.; Idowu, K.A. Protective Mechanisms of Protocatechuic Acid against Doxorubicin-Induced Nephrotoxicity in Rat Model. *J. Basic Clin. Physiol. Pharmacol.* **2019**, *30*, 20180191. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
41. Pistelli, L.; Bertoli, A.; Noccioli, C.; Mendez, J.; Musmanno, R.A.; Di Maggio, T.; Coratza, G. Antimicrobial Activity of *Inga fendleriana* Extracts and Isolated Flavonoids. *Nat. Prod. Commun.* **2009**, *4*, 1679–1683. [[CrossRef](#)]

42. Favela-Hernández, J.M.J.; Clemente-Soto, A.F.; Balderas-Rentería, I.; Garza-González, E.; del Camacho-Corona, M.R. Potential Mechanism of Action of 3'-Demethoxy-6-O-Demethyl-Isoguaiacin on Methicillin Resistant *Staphylococcus aureus*. *Molecules* **2015**, *20*, 12450–12458. [CrossRef]
43. Wang, D.; Jin, Q.; Xiang, H.; Wang, W.; Guo, N.; Zhang, K.; Tang, X.; Meng, R.; Feng, H.; Liu, L.; et al. Transcriptional and Functional Analysis of the Effects of Magnolol: Inhibition of Autolysis and Biofilms in *Staphylococcus aureus*. *PLoS ONE* **2011**, *6*, e26833. [CrossRef]
44. Pisano, M.B.; Kumar, A.; Medda, R.; Gatto, G.; Pal, R.; Fais, A.; Era, B.; Cosentino, S.; Uriarte, E.; Santana, L.; et al. Antibacterial Activity and Molecular Docking Studies of a Selected Series of Hydroxy-3-Arylcoumarins. *Molecules* **2019**, *24*, 2815. [CrossRef]
45. Kampranis, S.C.; Gormley, N.A.; Tranter, R.; Orphanides, G.; Maxwell, A. Probing the Binding of Coumarins and Cyclothialidines to DNA Gyrase. *Biochemistry* **1999**, *38*, 1967–1976. [CrossRef]
46. De Araújo, R.S.A.; Barbosa, F.J.M.; Scotti, M.T.; Scotti, L.; da Cruz, R.M.D.; Falcão, S.V.D.S.; de Siqueira, J.J.P.; Mendonça, J.F.J.B. Modulation of Drug Resistance in *Staphylococcus aureus* with Coumarin Derivatives. *Scientifica* **2016**, *2016*, 6894758. [CrossRef]
47. Adam, R.P. *Identification of Essential Oils Components by Gas Chromatography/Mass Spectrometry*, 4th ed.; Allured Business Media: Carol Stream, IL, USA, 2007; pp. 1–804. ISBN 978-193-263-32-14.
48. SAGARPA. Norma Oficial Mexicana NOM-062-ZOO-1999. Especificaciones Técnicas para la Producción, Cuidado y Uso de los Animales de Laboratorio (Technical Specifications for the Production, Care, and Use of Laboratory Animals). *México Diario Oficial de la Federación*. 22 August 2001. Available online: https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/203498/NOM-062-ZOO-1999_220801.pdf (accessed on 2 February 2022).
49. Zimmermann, M. Ethical guidelines for investigations of experimental pain in conscious animals. *Pain* **1983**, *16*, 109–110. [CrossRef]
50. Payá, M.; Ferrándiz, M.L.; Sanz, M.J.; Bustos, G.; Blasco, R.; Rios, J.L.; Alcaraz, M.J. Study of the Antioedema Activity of Some Seaweed and Sponge Extracts from the Mediterranean Coast in Mice. *Phytother. Res.* **1993**, *7*, 159–162. [CrossRef]
51. Salazar, P.D.T.; Castro, A.N.; Moreno, G.M.E.; Nicasio, T.M.P.; Perez, H.J.; Alvarez, F.P. Antibacterial and Anti-Inflammatory Activity of Extracts and Fractions from *Agave cupreata*. *Int. J. Pharmacol.* **2017**, *13*, 1063–1070. [CrossRef]



ANEXO II. Espectros UV-Vis obtenidos en CLAR

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco.
México.

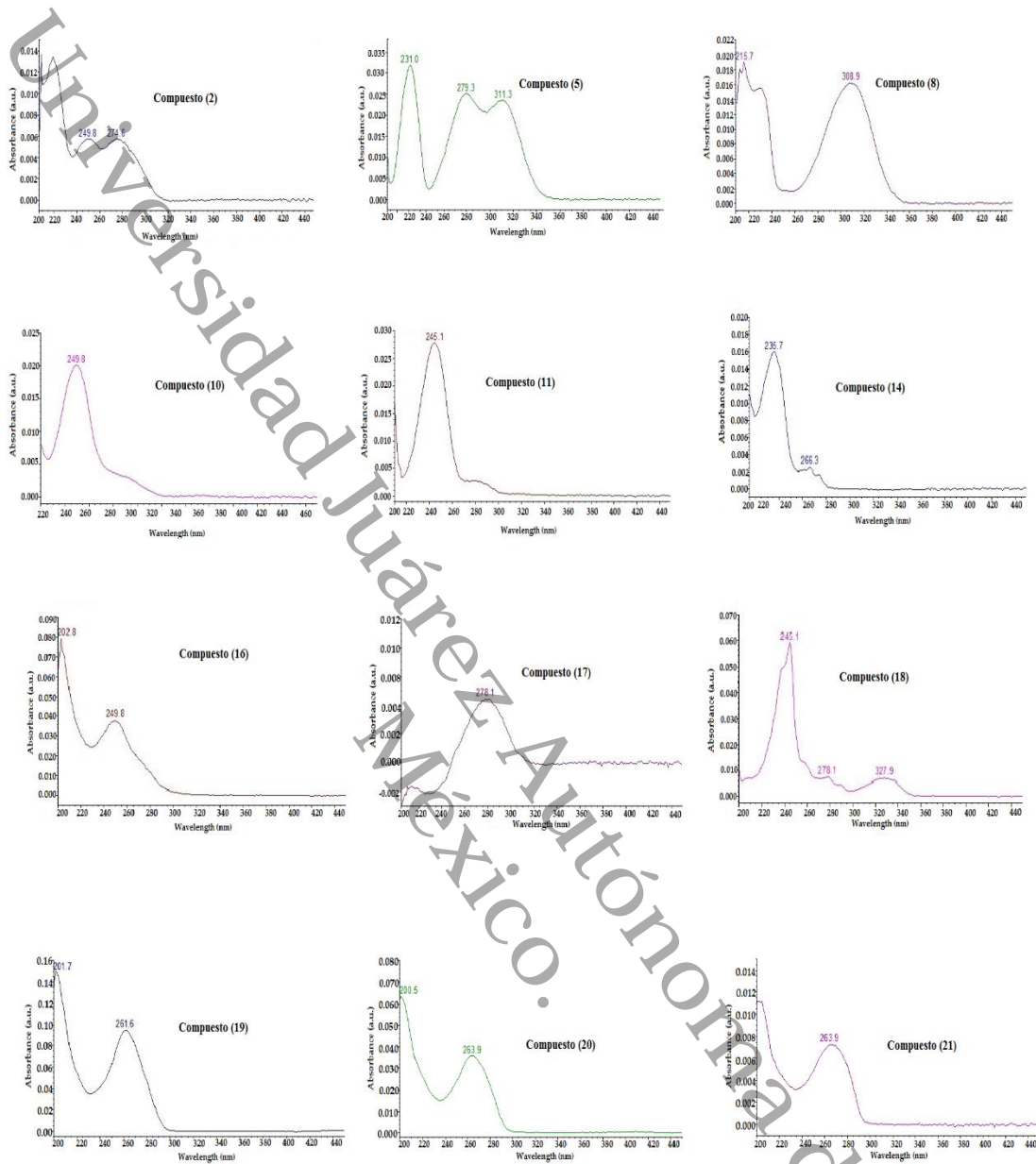


Figura A1: Espectros UV de los principales compuestos de (Ij-CD) *I. jinicuil*

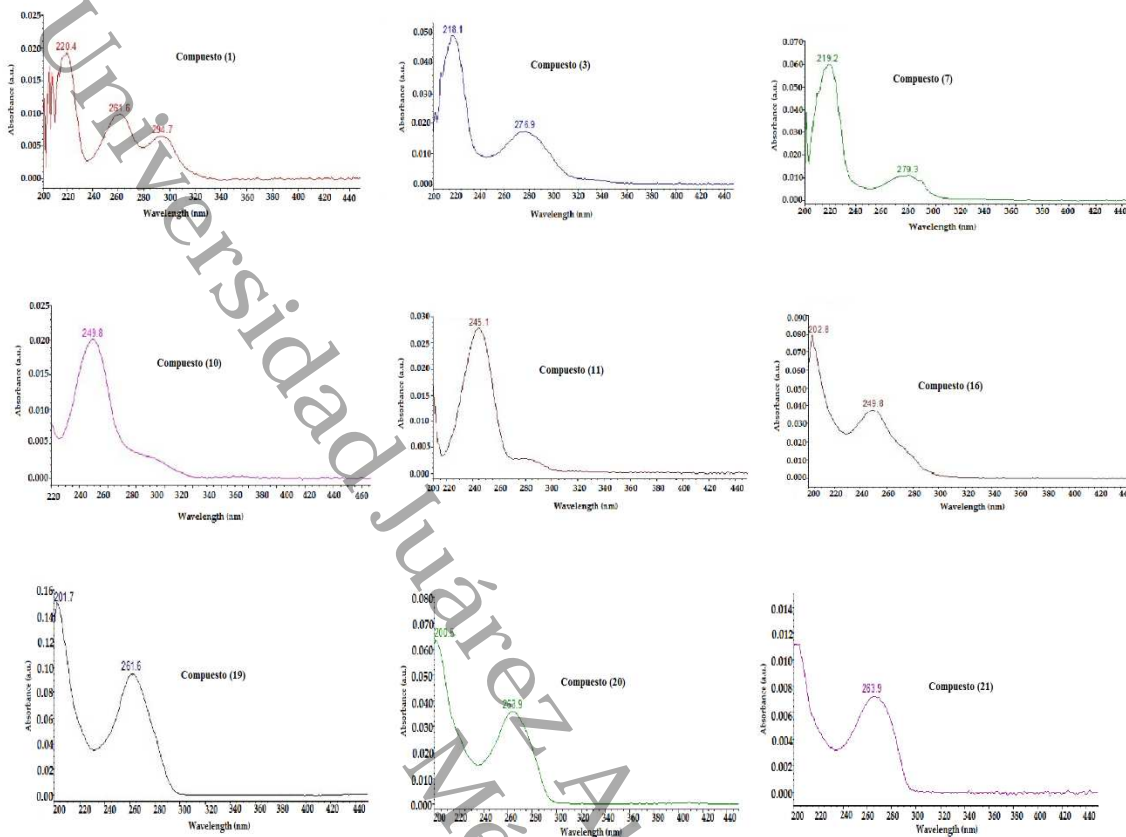


Figura A2: Espectros UV de los principales compuestos de (Ij-CHac) *I. jinicuil*

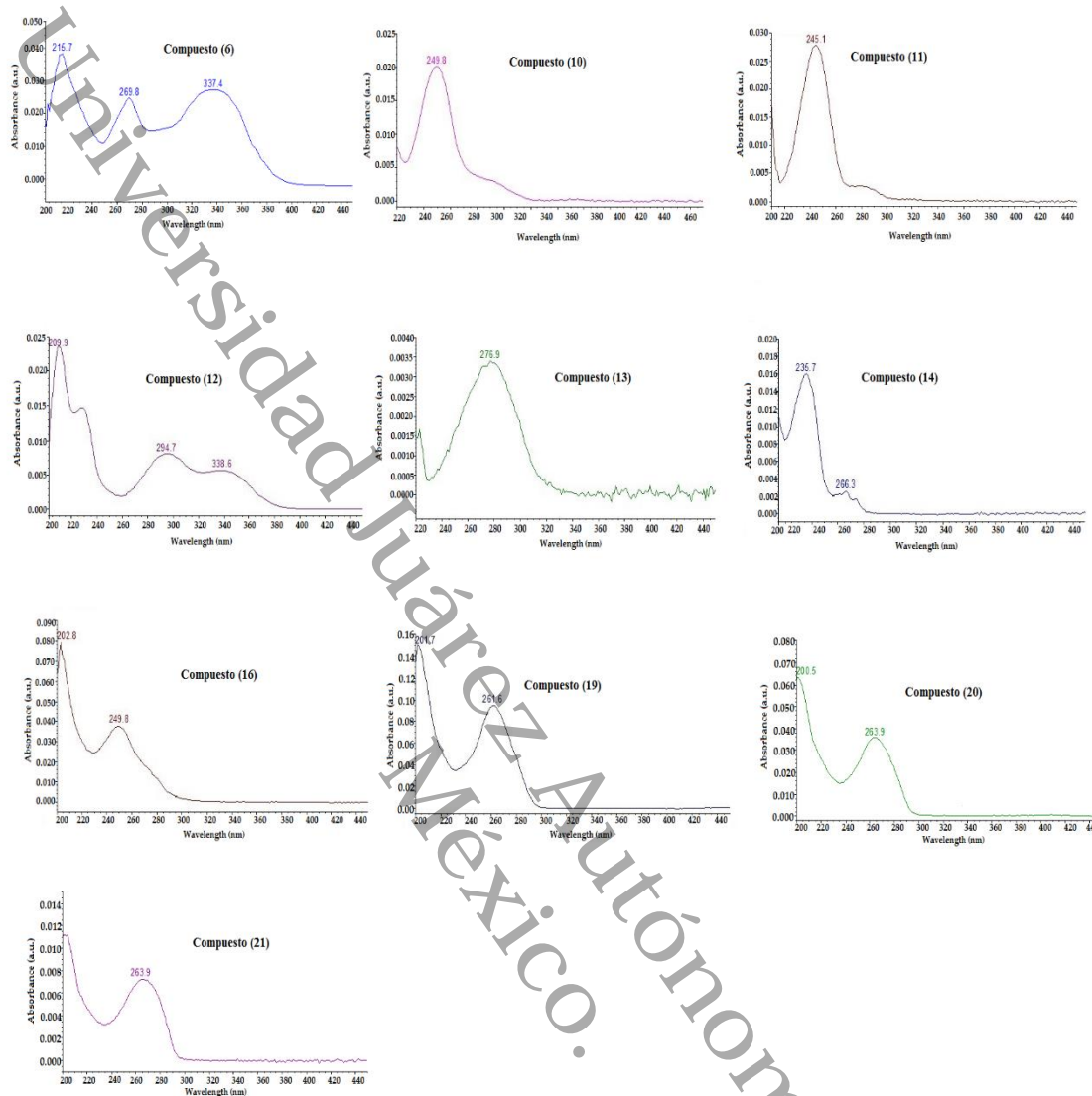


Figura A3: Espectros UV de los principales compuestos de (Ij-HD) *I. jinicuil*

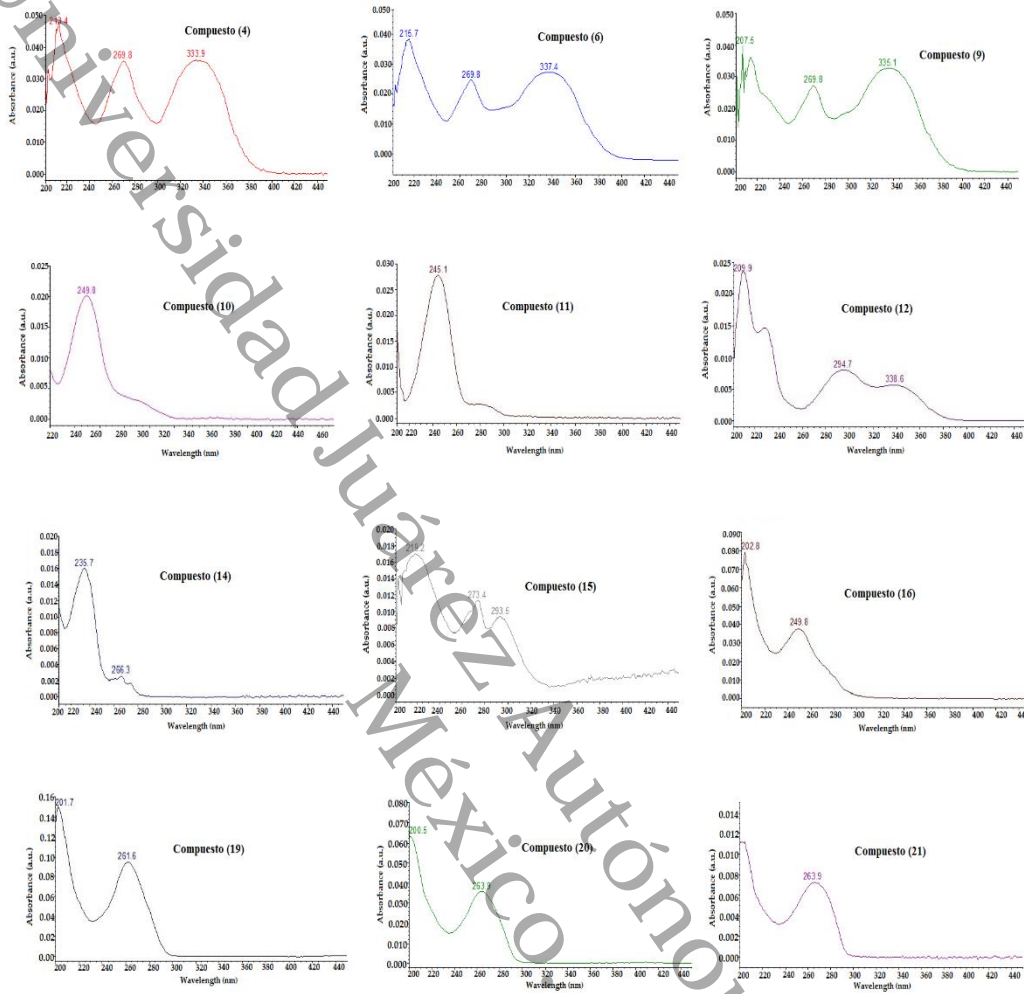
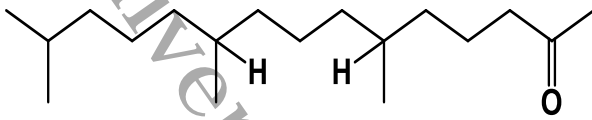


Figura A4: Espectros UV de los principales compuestos de (Ij-HHac) *I. jinicuil*

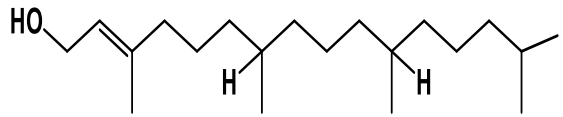


ANEXO III. Estructuras de los compuestos detectados en CG-EM

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco.
México.



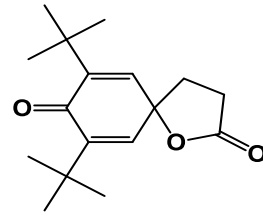
(22) 6,10,14-trimetilpentadecan-2-ona



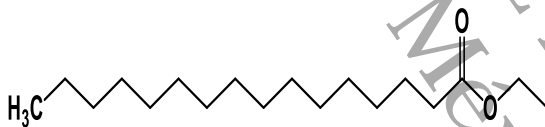
(23) 3,7,11,15-tetrametilhexadec-2-en-1-ol



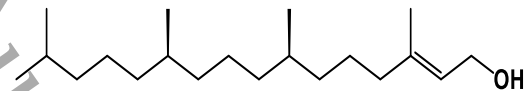
(24) Ácido hexadecanoico, metil éster



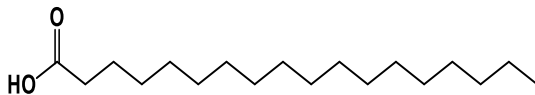
(25) 7,9-di-terc-butil-1-oxaspiro(4,5) deca-6,9-dieno-2,8-diona



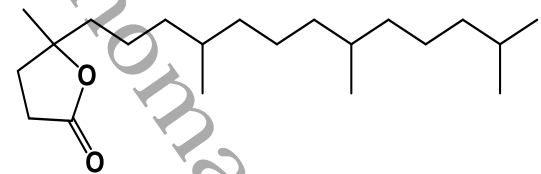
(26) Ácido hexadecanoico, etil éster



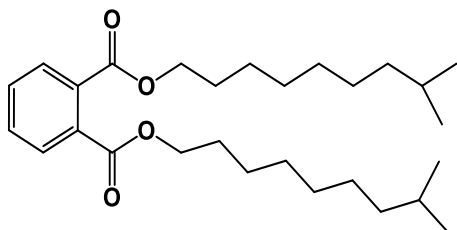
(27) Fitol



(28) Ácido octadecanoico, metil éster



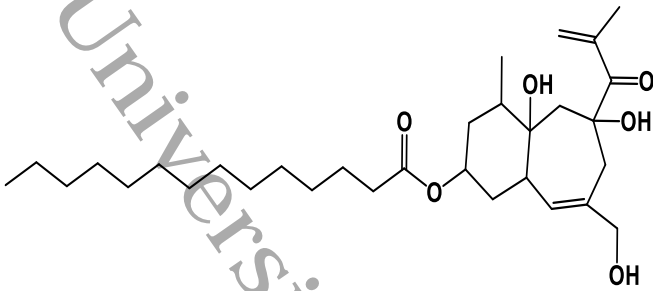
(29) 4,8,12,16-tetrametilheptadecan-4-ol



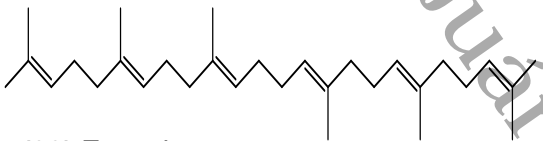
(30) Ácido 1,2-bencenodicarboxílico, éster diisooctilo



(31) Ácido 15-tetracosenoico, éster metílico



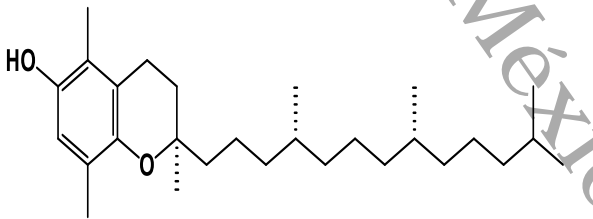
(32) Ácido tetradecanoico, 3,3a,4,6a,7,8,9,10,10a,10b,-decahidro-3a,10a, dihidroxi-5-(hidroximetil)-,210-dimetil-3-oxobenz[e]azulen-8-yl éster



(33) Escualeno



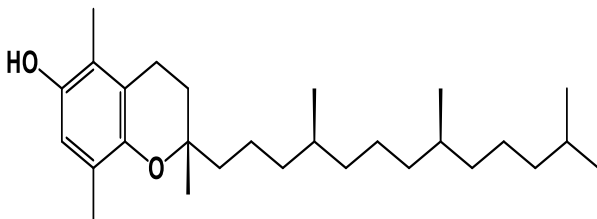
(34) Nonacosano



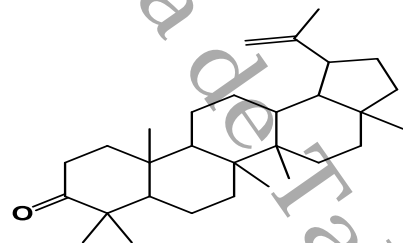
(35) β-Tocoferol



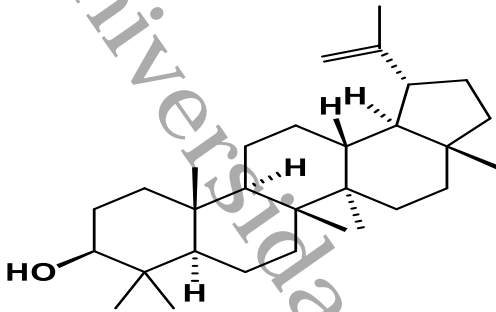
(36) Hentriacontano



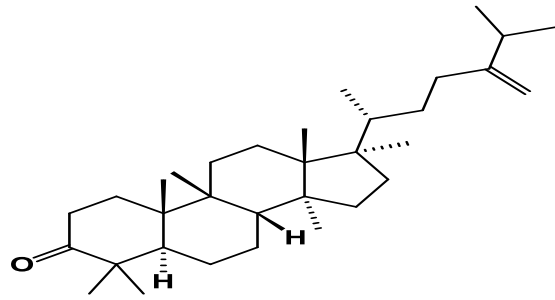
(37) α-Tocoferol



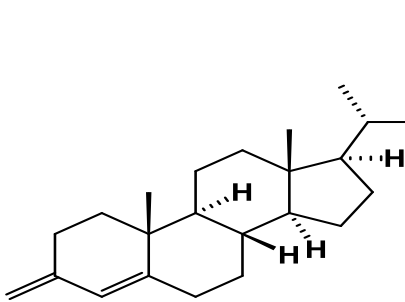
(38) Lup-20(29)-en-3-ona



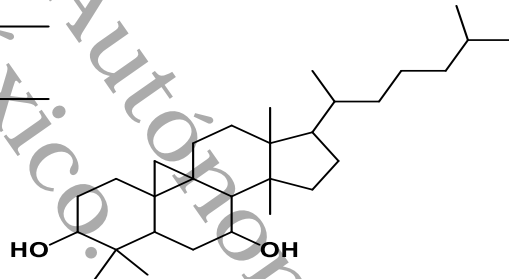
(39) Lupeol



(40) 24-metilencicloartan-3-ona



(41) Estigmast-4-en-3-ona



(42) (3β)-9,19-ciclolanostano-3-ol,24-metileno

Ammy Joana Gallegos García.pdf

 Universidad Juárez Autónoma de Tabasco

Detalles del documento

Identificador de la entrega

trn:oid:::3117:535961229

Fecha de entrega

3 dic 2025, 1:59 p.m. GMT-6

Fecha de descarga

15 abr 2026, 6:26 p.m. GMT-6

Nombre del archivo

Ammy Joana Gallegos García.pdf

Tamaño del archivo

4.2 MB

91 páginas

20.313 palabras

137.978 caracteres

20% Similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para ca...




Filtrado desde el informe

- ▶ Bibliografía
- ▶ Texto citado
- ▶ Texto mencionado
- ▶ Coincidencias menores (menos de 8 palabras)
- ▶ Abstract

Exclusiones


- ▶ N.º de coincidencias excluidas

Fuentes principales

- 20%  Fuentes de Internet
- 16%  Publicaciones
- 0%  Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

Marcas de integridad




N.º de alerta de integridad para revisión

-  **Caracteres reemplazados**
233 caracteres sospechosos en N.º de páginas
Las letras son intercambiadas por caracteres similares de otro alfabeto.

Los algoritmos de nuestro sistema analizan un documento en profundidad para buscar inconsistencias que permitirían distinguirlo de una entrega normal. Si advertimos algo extraño, lo marcamos como una alerta para que pueda revisarlo.

Una marca de alerta no es necesariamente un indicador de problemas. Sin embargo, recomendamos que preste atención y la revise.

Fuentes principales

- 20%  Fuentes de Internet
- 16%  Publicaciones
- 0%  Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

Fuentes principales

Las fuentes con el mayor número de coincidencias dentro de la entrega. Las fuentes superpuestas no se mostrarán.

1	Internet	
mdpi-res.com		14%
2	Internet	
www.amipronat.org.mx		5%
3	Internet	
www.mdpi.com		1%