

Aprovechamiento de especies nativas del género *Piper* para el control de hongos fitopatógenos asociados al cultivo de pitahaya amarilla (*Selenicereus megalanthus* K. Schum ex Vaupel): Una alternativa para su conservación.



Pontificia Universidad
JAVERIANA
Bogotá

ANA MARIA FIGUEROA GUALTEROS

Trabajo de grado para optar por el título de Magister en
Conservación y Uso de la Biodiversidad
Modalidad de: investigación

Directora

Juliet Angélica Prieto Rodríguez, Ph. D

Pontificia Universidad Javeriana
Facultad de Estudios Ambientales y Rurales
Maestría en Conservación y Uso de la Biodiversidad

2022

Aprovechamiento de especies nativas del género *Piper* para el control de hongos fitopatógenos asociados al cultivo de pitahaya amarilla (*Selenicereus megalanthus* K. Schum ex Vaupel): Una alternativa para su conservación.

ANA MARIA FIGUEROA GUALTEROS

Trabajo de grado para optar por el título de Magister en
Conservación y Uso de la Biodiversidad
Modalidad de: investigación

Directora

Juliet Angélica Prieto Rodríguez, Ph. D

Evaluadora

Diana Lucía Maya Vélez, Ph. D

Evaluador

Wilman Antonio Delgado Ávila, Ph. D

Pontificia Universidad Javeriana
Facultad de Estudios Ambientales y Rurales
Maestría en Conservación y Uso de la Biodiversidad

2022

Nota de Advertencia: Artículo 23 de la Resolución N° 13 de Julio de 1946.

“La Universidad no se hace responsable por los conceptos emitidos por sus alumnos en sus trabajos de tesis. Solo velará por qué no se publique nada contrario al dogma y a la moral católica y por qué las tesis no contengan ataques personales contra persona alguna, antes bien se vea en ellas el anhelo de buscar la verdad y la justicia”.

Aprovechamiento de especies nativas del género *Piper* para el control de hongos fitopatógenos asociados al cultivo de pitahaya amarilla (*Selenicereus megalanthus* K. Schum ex Vaupel): Una alternativa para su conservación.

RESUMEN

Una de las necesidades que el ser humano afronta está relacionada con el control de plagas y enfermedades de los cultivos agrícolas para proveer alimentos inocuos y suficientes para toda la población, aspecto que se ha convertido en un reto debido a que los microorganismos fitopatógenos causan daños significativos en el rendimiento y calidad de los productos esperados. Tal es el caso de la producción de pitahaya amarilla en Colombia, una fruta de importancia económica que participa en el mercado de exportación y se ve afectada por el ataque de hongos fitopatógenos. La presente investigación contribuye en la búsqueda de sustancias provenientes de las especies del género *Piper* nativas del departamento del Huila con potencial actividad biológica para el control de hongos fitopatógenos asociados a los cultivos de pitahaya amarilla, para fomentar el interés por la conservación de las especies y sus servicios ecosistémicos (SE) a partir de su uso y conocimiento. La metodología propuesta incluyó la colecta de 10 especies del género *Piper* para la obtención de sus aceites esenciales (AE) y su correspondiente caracterización química por medio de cromatografía de gases (CG-EM). Posteriormente se realizaron ensayos de inhibición de crecimiento micelial (ICM) de los aceites y algunos compuestos identificados sobre los 5

hongos aislados previamente. Finalmente se realizó la valoración sociocultural de los SE de las plantas de *Piper* a partir de encuestas y entrevistas para promover el interés por su conservación futura y potenciales oportunidades de aprovechamiento en la agricultura. Los resultados evidenciaron que los aceites de *P. semperflorens*, *P. artanthe* y *P. auritum* inhibieron el crecimiento de los 5 hongos de estudio en más del 60% en concentraciones menores a 183 $\mu\text{L/L}$ aire. La caracterización química permitió identificar 108 constituyentes mayoritarios. Los monoterpenos oxigenados terpinen-4-ol y timol también causaron efectos inhibitorios sobre el crecimiento de todos los hongos con CI_{50} inferiores a 230 μM . La valoración sociocultural hace un aporte importante acerca de las percepciones, usos y conocimientos que las personas poseen acerca de estas especies y que a su vez está relacionado directamente con el bienestar humano y los intereses en la conservación del recurso. En conclusión se demuestra que las plantas del género *Piper* son especies importantes en el mantenimiento de los SE y buenas candidatas para la obtención de productos naturales que contribuyen al manejo de enfermedades causadas por hongos y facilitan el camino hacia una agricultura de conservación.

ABSTRACT

A need that the human being faces is related to the pests control and agricultural crops diseases to provide safe and sufficient food for all population, aspect that has become a challenge due to the fact that phytopathogenic microorganisms cause significant damage to the yield and quality of the expected products. Such is the case of yellow pitahaya production in Colombia, a fruit of economic importance that participates in the export market and is affected by phytopathogenic fungi attack. This research contributes to search substances from natives species *Piper* genus of Huila department with potential biological activity to phytopathogenic fungi control associated with yellow pitahaya crops, to promote interest in the conservation of species and its ecosystem services (ES) from its use and knowledge. The proposed methodology included the collection of 10 species *Piper* genus to obtain their essential oils (EO) and their corresponding chemical characterization by means of chromatography gas (GC-MS). Subsequently, mycelial growth inhibition tests (MGI) of the oils and some identified compounds were carried out on the 5 previously isolated fungi. Finally, the sociocultural assessment of the ES of *Piper* plants was carried out based on surveys and interviews to promote interest in their future conservation and opportunities potentials for use in agriculture. The results showed that the oils of *P. semperflorens*, *P. artanthe* and *P. auritum* inhibited the growth of the 5 study fungi by more than 60% at concentrations lower than 183 $\mu\text{L/L}$ air. Chemical characterization allowed to identify 108 major constituents. The oxygenated monoterpenes terpinen-4-ol and thymol also caused inhibitory effects on the

growth of all fungi with IC_{50} below 230 μ M. The sociocultural assessment makes an important contribution about the perceptions, uses and knowledge that people have about these species and which in turn is directly related to human well-being and interests in resource conservation. In conclusion, it is shown that the plants *Piper* genus are important species in the maintenance of ES and good candidates for obtaining natural products that contribute to the management of fungal diseases and facilitate path towards conservation agriculture.

1. INTRODUCCIÓN

La agricultura es una actividad humana que recibe los beneficios directos de los servicios ecosistémicos (SE), es también una de las más influyentes en su sostenibilidad y se ve directamente afectada por los cambios globales. Uno de los principales retos para los futuros sistemas de producción es fomentar la coexistencia de múltiples servicios tanto para la agricultura como desde la agricultura (Chabert & Sarthou, 2020), pues más allá de la producción de alimentos, fibra o combustible (Brussaard *et al.* 2010; Power, 2010) esta actividad suministra y demanda otros servicios como la fertilidad del suelo, ciclaje de nutrientes, disponibilidad hídrica y polinización (Zhang *et al.*, 2007). Esta coexistencia de servicios se puede lograr mediante cambios importantes en la forma de producción convencional de manera que se busque garantizar la oferta de productos que contribuyan con la seguridad alimentaria y que al mismo tiempo se conserve la biodiversidad (Chabert & Sarthou, 2020).

Actualmente, la agricultura que depende de grandes cantidades de insumos químicos para garantizar la producción y rentabilidad amenaza los procesos asociados a la biodiversidad (Lyu *et al.*, 2021; Humbert *et al.*, 2016). Por ejemplo, aumenta las emisiones de gases de efecto invernadero (Li *et al.*, 2013; Morsy & Aboelkhair, 2021), la acidificación del suelo (Guo *et al.*, 2010), la bioacumulación, la contaminación hídrica superficial y subterránea, entre otros (Huang *et al.*, 2016; Zhang *et al.*, 2013; Verbel, 2011; FAO, 2018). Lo anterior es una evidencia de que la producción de alimentos es un desafío actual por el aumento de la población mundial y la escases de recursos naturales (como agua y tierra fértil); se considera

que es la actividad que relaciona directamente al ser humano con la naturaleza e irónicamente también es la que causa mayor impacto sobre las funciones ecológicas y SE (Ribaudó *et al.*, 2020; Liere & Philpott, 2017).

La agricultura es una actividad económica importante en Colombia, según los indicadores del banco mundial para el 2020, este sector representó el 6.8% del producto interno bruto (PIB) en el país (FAO, 2020; MinAgricultura, 2020). Entre los cultivos representativos a nivel nacional, se encuentra la pitahaya amarilla (*Selenicereus megalanthus* K. Schum ex Vaupel), la cual se empezó a cultivar con fines de exportación y diversificación en zonas cafeteras (Crucí *et al.*, 2011). Esta fruta es catalogada por el Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural como un producto importante dentro de la “Apuesta Exportadora Agropecuaria” y se contempla de manera prioritaria para promover su consumo dentro del “Programa Nacional de Fomento al Consumo de Frutas y Hortalizas” (Cañar *et al.*, 2014; Medina & Kondo, 2012). En la última década se ha convertido en uno de los principales productos endémicos de exportación para Colombia. Cuenta con más de 1861 ha cultivadas que representan aproximadamente 17773 ton de producción anual en el país (MinAgricultura, 2020). A pesar de su importancia económica, se ha evidenciado que su producción se ve afectada por microorganismos patógenos, principalmente hongos, que causan enfermedades en la fruta o la planta, reduciendo su producción, calidad, valor comercial y viabilidad de exportación, por este motivo las pérdidas pueden llegar al 70% y el aumento en los costos de producción para su control químico pueden

incrementarse hasta un 40% (ICA, 2021; FAO, 2018; Salazar-González *et al.*, 2016; Mejía *et al.*, 2013).

Las principales enfermedades que se han reportado en pitahaya son la pudrición basal del fruto causada por *Fusarium oxysporum*, antracnosis causada por *Colletotrichum gloeosporioides* y pudrición parda causada por *Geotrichum sp.* (ICA, 2016). Además, se han reportado enfermedades secundarias como la muerte descendente causada por *Phoma sp.*, tizón causada por *Alternaria spp.*, y pudrición blanda causada por *Cladosporium spp.* (Vásquez *et al.*, 2007). Para el control de estos agentes fitopatógenos los agricultores emplean principalmente fungicidas conformados por sustancias sintéticas como el benomilo, mancozeb o captan, que son poco selectivas, tóxicas para el medio ambiente y moderadamente peligrosas para la salud humana (Grillo, 2015; Godoy & Canteri, 2004). Por este motivo en algunos países y recientemente en Colombia se han restringido o prohibido algunos plaguicidas de uso agrícola (ICA, 2021), y a pesar de esto la FAO señala que en los últimos 29 años el uso a nivel mundial de estos productos se incrementado en un 180% e incluye a Colombia entre los 10 países que consumen la mayor cantidad de plaguicidas de uso agrícola con una cifra de 53080 t/año (FAO, 2021). Lo anterior, despierta el interés en el desarrollo de nuevos productos antifúngicos, eficaces y seguros para el control de fitopatógenos que aseguren la productividad, conserven la biodiversidad, mantengan los SE y reduzcan la dependencia de insumos químicos (Wezel *et al.*, 2015; Garnett *et al.*, 2013; Chabert & Sarthou, 2020).

En este sentido, la alternativa de obtener fungicidas derivados de metabolitos secundarios y compuestos bioactivos de las plantas son una opción prometedora como método de control (Hoogendoorn *et al.*, 2018; Vizcaíno-Páez *et al.*, 2016; Muharini *et al.*, 2015; Da Silva *et al.*, 2014). Colombia como país megadiverso posee una amplia variedad de plantas entre las que se encuentra la familia Piperaceae, reconocida por sus usos etnobotánicos, funciones ecológicas, SE, importancia económica y variada composición química (Strutzenberger *et al.*, 2017; Montoya-Bustamante *et al.*, 2016; Baliga *et al.*, 2013; Salazar *et al.*, 2013; Arango & Iságama, 2012; Jaramillo & Callejas, 2004). El género *Piper* es el más representativo de la familia, posee una amplia distribución en la región pantropical con alrededor de 2000 especies, de las cuales aproximadamente 415 se pueden encontrar como plantas nativas en Colombia (Bernal *et al.*, 2019). Poseen una amplia expresión fenotípica, hábitos de crecimiento y algunas especies pueden crecer hasta los 4000 msnm (Isnard *et al.*, 2012; Jaramillo & Callejas, 2004; Chew, 1992). Algunas especies del género *Piper* son conocidas desde la antigüedad por los usos que les han sido atribuidos lo cual ha mostrado importancia para la industria alimenticia, farmacéutica y química. Por ejemplo, de *Piper nigrum* L. se obtiene la pimienta negra empleada como especia en la gastronomía (Orav *et al.*, 2004). *Piper longum* L. y *Piper betle* L. han sido utilizadas en Asia e India para el tratamiento de diversas enfermedades respiratorias y gastrointestinales (Baliga *et al.*, 2013; Sunila & Kuttan, 2004), y en general, otras especies de *Piper* han sido empleadas por parte de pueblos nativos para controlar afecciones de salud asociadas al sistema digestivo, circulatorio, tratamiento del cáncer, leishmaniasis, malaria, asma, reumatismo, entre otras (García, 1992; Milliken & Albert, 1997). Por

otra parte, diversos estudios evidencian que estas especies poseen compuestos químicos de tipo terpenos, fenilpropanos, amidas, flavonoides, derivados de ácido benzoico, entre otros, que se consideran como posibles responsables de la actividad biológica de estas plantas. (Chitiva *et al.* 2021; Parra *et al.* 2019; Ávila *et al.* 2011). En este sentido, algunas investigaciones se han enfocado en evaluar la actividad biológica de *Piper* para el control de microorganismos, dentro de los cuales los hongos fitopatógenos asociados a pitahaya no han sido la excepción, esto ha permitido determinar su potencial antifúngico sobre especies del género *Fusarium* principalmente (Chitiva *et al.*, 2021; Gonzales & Bustos, 2017; Correa *et al.*, 2015; Tangarife *et al.*, 2014, Ávila *et al.*, 2011).

Sobre las consideraciones anteriores, es evidente que estas especies juegan un papel importante en la prestación de servicios ecosistémicos para el bienestar humano, por lo cual es importante valorar y conservar su biodiversidad (Rincón-Ruiz *et al.*, 2014). En este contexto, el objetivo principal de esta investigación fue establecer el potencial de los aceites esenciales de especies nativas del género *Piper* en el control de hongos fitopatógenos asociados a pitahaya amarilla para fomentar la conservación de las especies a partir de la valoración social sobre su uso y conocimiento a partir de dos objetivos específicos fundamentales: i. determinar el potencial antifúngico de AE obtenidos de *Piper* y algunos de sus compuestos para el control de hongos fitopatógenos asociados al cultivo de pitahaya amarilla y ii. caracterizar los servicios ecosistémicos de las especies del género *Piper* a partir de la valoración sociocultural con base en las percepciones, usos y conocimientos de las especies por parte de los actores locales, como

lineamientos para su futuro uso sostenible en el desarrollo de sustancias naturales con potencial aplicación agrícola o herramienta para fomentar la conservación de este recurso en el ecosistema.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. Área de estudio

La investigación se realizó desde octubre de 2020 hasta agosto de 2021 en el municipio de la Argentina (2°11'51" N 75°58'50" W) ubicado al sur occidente del departamento del Huila, Colombia (Figura 1), sobre las estribaciones de la serranía de las minas, en la cordillera central a 1560 m.s.n.m. Este municipio posee diversidad de pisos térmicos y por ende climas que oscilan desde muy frío a medio húmedo. Su topografía está caracterizada por áreas montañosas, alternada por valles, mesetas, colinas y pequeños cañones. Tiene una temperatura promedio de 18 °C, factor que influye en la calidad del suelo y alta vocación agrícola, actividad económica de la cual depende la población para su sustento (DANE, 2021).

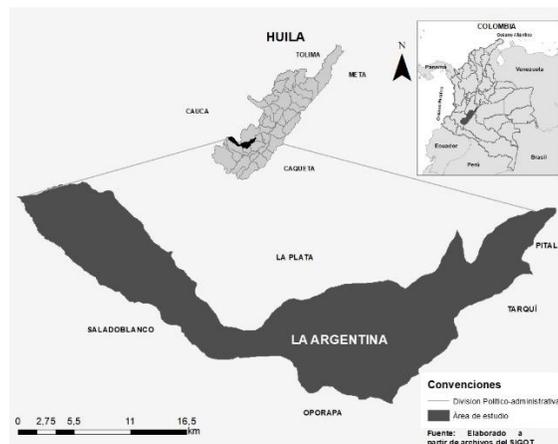


Figura 1. Mapa del municipio de La Argentina. (Fuente: Elaboración propia a partir de archivos del SIGOT).

Los sitios de colecta del material vegetal de especies de *Piper* fueron seleccionados con base en la revisión de la literatura realizada para identificar las áreas en las cuales estaban reportadas las especies (SiB, 2020; Bernal *et al.*, 2019). Las muestras de pitahaya con afectación por hongos fitopatógenos fueron tomadas de cultivos pertenecientes a productores vinculados a la asociación ProPitaya. La valoración sociocultural de los servicios ecosistémicos se realizó por medio de entrevistas semiestructuradas a informantes claves y de encuestas en diferentes grupos poblacionales del área de estudio.

2.2. Determinación del potencial antifúngico de AE obtenidos de *Piper* para el control de los hongos fitopatógenos asociados al cultivo de pitahaya amarilla

2.2.1. Cepas fúngicas

Los hongos usados para los bioensayos fueron aislados de tallos y frutos de pitahaya amarilla con sintomatología de enfermedades vasculares (Fig. 2). Las cepas aisladas se caracterizaron según el género con ayuda de las claves taxonómicas de hongos filamentosos de Barnett & Hunter (1998) y las encontradas en Mycobank (2021). La caracterización molecular de los hongos se realizó por medio de un servicio externo con la corporación colombiana de investigación agropecuaria AGROSAVIA en la que se amplió y secuenció por la técnica Sanger la región de espacios transcritos internos (ITS) usando los cebadores generales ITS1 e ITS4 y los resultados se compararon con los

reportadas en GenBank. Los hongos aislados y purificados se conservaron en incubadora a 28 °C y ausencia de luz. Después de los ensayos preliminares se seleccionó PDA como el medio de cultivo óptimo para el desarrollo de las estructuras de los hongos en estudio (Curvelo & Rojas, 2010). Cada medio de cultivo fue suplementado con cloranfenicol a una concentración de 100 mg/L. Las cepas fueron usadas a los 4 días de crecimiento para *Fusarium oxysporum* y *Fusarium incarnatum*, 5 días para *Alternaria burnsii* y 7 días para *Cladosporium sp.* y *Geotrichum sp.*

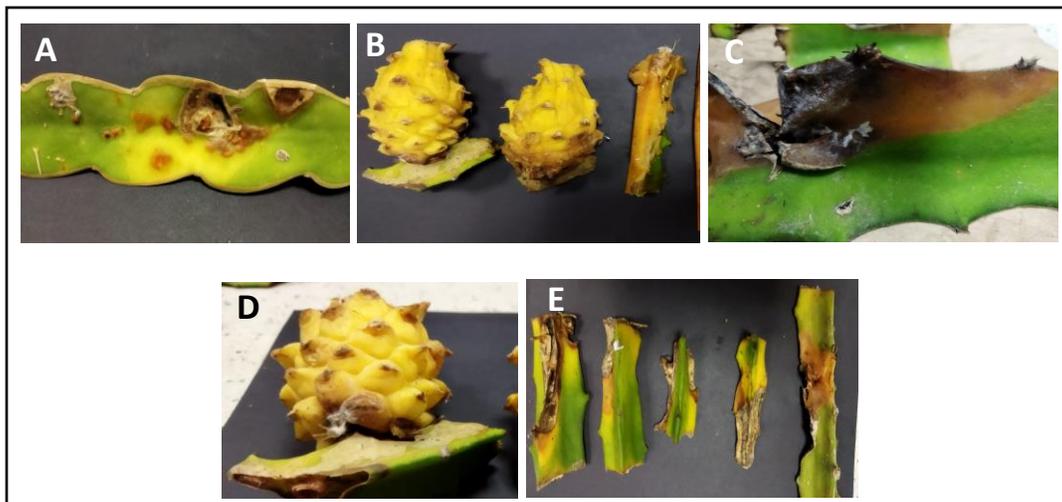


Figura 2. Sintomatología de hongos fitopatógenos en pitahaya amarilla. A) tallos con pudrición parda superficial. B) fruto y tallo con ablandamiento y clorosis. C) tallos con manchas concéntricas y necróticas. D) madurez prematura del fruto. E) tallos con clorosis. (Fuente: propia).

2.2.2. Colecta de material vegetal y extracción de AE

Se colectaron especies de *Piper* cerca del casco urbano del municipio de La Argentina, Huila en las coordenadas 2°11'08"N 75°59'24"W en temporada de lluvia

(fin de abril e inicio de mayo de 2021). Un espécimen de cada muestra colectada fue enviada al herbario de la Universidad de Antioquia para su clasificación taxonómica. Las hojas frescas (3000 g) de cada especie colectada se cortaron en pequeños trozos para la extracción de sus AE mediante el método de arrastre con vapor de agua (Fig. 3). Este procedimiento tuvo una duración de 2 h. Al final los aceites obtenidos se secaron sobre Na₂SO₄ y almacenaron en viales ámbar de 5 mL a 4 °C. El rendimiento de los AE obtenidos estuvo entre 0.3% y 0.7%. En la Tabla 1 se indican las especies colectadas y el código asignado para cada aceite obtenido.

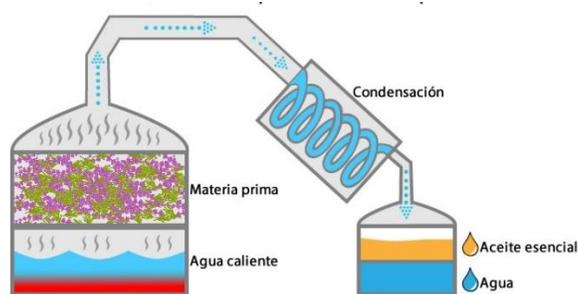


Figura 3. Proceso de extracción de AE por arrastre con vapor de agua. (Fuente: imagen de internet)

Tabla 1. Especies del género *Piper* colectadas

No.	Especie	Código AE
1	<i>P. semperflorens</i> C. DC.	Sp. S
2	<i>P. marequitense</i> C. DC.	Sp. Ma
3	<i>P. asperiusculum</i> Kunth.	Sp. A

4	<i>P. pertomentellum</i> Trel. & Yunck.	Sp. P
5	<i>P. tenue</i> Kunth.	Sp. T
6	<i>P. eriopodon</i> (Miq.) C.DC.	Sp. E
7	<i>P. artanthe</i> C.DC.	Sp. Art
8	<i>P. lanceifolium</i> Kunth.	Sp. L
9	<i>P. marginatum</i> Jacq.	Sp. M
10	<i>P. auritum</i> Kunth.	Sp. Au

2.2.3. Ensayo de Inhibición del Crecimiento Micelial (ICM)

El potencial antifúngico frente a *F. oxysporum*, *F. incarnatum*, *A. burnsii*, *Cladosporium sp.* y *Geotrichum sp.* de los AE obtenidos de las especies de *Piper* se determinó mediante el ensayo de ICM adaptando la técnica de difusión en disco de Kirby-Bauer con algunas modificaciones (Koneman *et al.*, 2004). Se emplearon cajas Petri 90 x 15 mm, en cada una se colocó un disco de 5 mm de agar cubierto con la cepa fúngica activa en el centro de la caja y a 2 cm de distancia del inóculo se ubicaron los discos de papel filtro de 5 mm previamente esterilizados (Fig. 4). Una alícuota de 15 µL (concentración máxima evaluada correspondiente a 183 µL/L aire) de cada AE se aplicó sobre los discos de papel filtro dispuestos en cada caja y sobre cada uno se adicionaron máximo 5 µL por disco. Este mismo ensayo se llevó a cabo para evaluar el potencial antifúngico de los compuestos mayoritarios identificados en la caracterización química. Para determinar la ICM de estos compuestos se tomó una alícuota de 15 µL (concentración máxima evaluada correspondiente a 50 ppm). Al finalizar, las cajas

Petri se sellaron inmediatamente con vinipel y se incubaron bajo las condiciones establecidas previamente (4 días para *F. oxysporum* y *F. incarnatum*, 5 días para *A. burnsii* y 7 días para *Cladosporium sp.* y *Geotrichum sp.*). Como control positivo se empleó benomilo a 50 ppm y para el control negativo no se agregó ninguna sustancia sobre los discos de papel filtro. Al cabo del tiempo de incubación las cajas se escanearon y el área de crecimiento micelial se obtuvo mediante el software de análisis Imagen J (Image Processing and Analysis en Java) y se comparó con el control negativo. Para determinar el porcentaje de inhibición del crecimiento micelial (%ICM) se empleó la Eq.1 y el dato se reportó como %ICM ± S (Desviación Estándar) según Chitiva *et al.*, 2021.

$$\%ICM = C - T / C * 100 \text{ (Eq.1)}$$

Donde: C es el crecimiento radial del hongo en el control negativo y T es el crecimiento radial del hongo en el tratamiento.



Figura 4. Ensayo de ICM. A) disco de PDA con cepa fúngica activa. B) discos de papel filtro. (Fuente: propia).

Los AE y compuestos que presentaron inhibición > 60% fueron evaluados en concentraciones de 122, 61, 30.5, 15.2, 7.6 y 3.8 $\mu\text{L/L}$ aire y de 100, 25, 12.5, 6.25 ppm, respectivamente (adaptado de Prieto *et al.*, 2010; Lee *et al.*, 2007). Con los resultados obtenidos se determinó la concentración inhibitoria 50 (CI_{50}) mediante un análisis de regresión no lineal haciendo uso del software GraphPad Prism 8. Los resultados reportados corresponden a la media de 3 repeticiones y un intervalo de confianza de 95%.

2.2.4. Caracterización química de los aceites esenciales

2.2.4.1. Preparación de la muestra

Para el análisis de cada AE evaluado se tomaron 25 μL y se llevó a un volumen final de 1 mL con n-hexano. La solución estándar de alcanos se preparó disolviendo 25 μL de una solución de hidrocarburo homólogo (C 7 - C 40) a un volumen final de 1 mL con n-hexano.

2.2.4.2. Análisis por CG-EM

El análisis cromatográfico se realizó utilizando un cromatógrafo de gases Shimadzu GC serie 2010 Plus con detector selectivo de masas Shimadzu TQ 8040 y FID GC-2010 Shimadzu, que se operó a 70 eV, utilizando un analizador cuadrupolo, en modo de barrido completo a 1666 barrido s^{-1} . Los espectros de masas se adquirieron entre 30 y 600 m/z (Anexo 1). El análisis se realizó con dos columnas ortogonales en polaridad (HP-5MS y HP-INNOWAX).

En el primer análisis se utilizó una columna HP-5MS (5%-fenilpoli(metilxilosano)), 60 m \times 0,25 mm \times 0,25 μm) con inyección en modo Split (20:1) durante 1.5 min.

La rampa de temperatura comenzó a 40 °C durante 2 min, luego se aumentó a 125 °C (4 °C/min) y se mantuvo constante durante 2 min. Luego se incrementó a 160 °C (4 °C/min) se mantuvo constante 5 min, posteriormente se incrementó a 280 °C (5 °C/min) y se mantuvo constante por 8 min. En el segundo análisis se utilizó una columna HP-INNOWAX (polietilenglicol (PEG), 60 m x 0,25 mm x 0,25 µm) con inyección en modo Split (20:1) durante 1.5 min. La rampa de temperatura comenzó a 45 °C durante 4 min, luego se aumentó a 120 °C (3 °C/min) permaneciendo constante durante 2 min. Finalmente, se aumentó a 250 °C (4 °C/min) manteniéndola constante 8 min. El volumen de inyección utilizado en cada análisis fue de 1 µL (Oviedo-Sarmiento *et al.*, 2021).

2.2.4.3. Determinación de la composición química de los AE

La determinación de los constituyentes químicos se realizó por medio del cálculo del índice de retención lineal (IRL) (Eq. 2) y la comparación de los espectros de masas obtenidos con los reportados en el libro de Adams, 2017, Pherobase y NIST 14.L.

$$\text{IRL} = 100n + 100 (t_{RX} - t_{Rn} / t_{RN} - t_{Rn}) \text{ (Eq. 2)}$$

Donde: n: número de átomos de carbono del n-alcano que eluye antes del compuesto de interés; t_{RX} : tiempo de retención del compuesto de interés; t_{Rn} : tiempo de retención del n-alcano que eluye antes del compuesto de interés; t_{RN} : tiempo de retención del n-alcano que eluye después del compuesto de interés.

2.3. Caracterización de los servicios ecosistémicos de las especies del género *Piper* a partir de la valoración sociocultural

2.3.1. Consideraciones éticas

Antes de iniciar la investigación se solicitó el consentimiento informado de cada uno de los participantes y se aseguró mantener la confidencialidad de sus datos personales, indagar solamente sobre los aspectos socioculturales asociados al uso y conocimiento de las especies de *Piper* en estudio y emplear los resultados únicamente con fines académicos.

2.3.2. Diseño de investigación y recopilación de información

2.3.2.1. Encuesta

Se realizó un muestreo aleatorio estratificado proporcional con intervalo de confianza del 95% para determinar el tamaño de la muestra ($n = 58$) de una población de 277 personas. Se diseñó y validó mediante prueba piloto un cuestionario que se aplicó a través de encuestas presenciales para obtener información sobre la valoración sociocultural de los SE de las especies de *Piper* por parte de los grupos poblacionales a saber, agricultores (40%), operadores turísticos (7%), grupos ambientalistas (2%), resguardos indígenas (2%), entidades públicas (2%) y estudiantes (47 %) pertenecientes a la institución educativa Elisa Borrero de Pastrana del grado once. El cuestionario de encuesta tuvo la siguiente estructura: i. introducción de conceptos clave sobre el concepto de valoración sociocultural, SE, entre otros, para garantizar que estuvieran familiarizados con los términos que abarca el tema de estudio como lo sugiere Plieninger *et al.*, 2013. ii. información sociodemográfica de los encuestados. iii. generalidades de *Piper* (en donde se indagó acerca del conocimiento de estas especies, características morfológicas, tipos de usos, parte de la planta utilizada, razón de uso y modo de

uso individual y colectivo según lo propuesto por Lykke *et al.*, 2004 con algunas adaptaciones. iv. valoración de SE de las especies en estudio. v. problemáticas ambientales asociadas con la reducción de estas especies en el ecosistema y finalmente, vi. interés por la conservación, en la que se indagó acerca de las acciones concretas en pro de la conservación de las especies en estudio que se hubieran desarrollado de forma personal, colectiva o por parte de alguna institución con relación a este recurso en el área de estudio. Durante el desarrollo de las encuestas ocurrió que algunas personas no estuvieron en la capacidad de responder algunas preguntas por falta de conocimiento, por lo que fue necesario proseguir a la sección vi. interés por la conservación en la que se realizó una socialización preliminar de los resultados obtenidos de la actividad biológica de los AE sobre los hongos fitopatógenos aislados de pitahaya, para dar información grosso modo de los beneficios que proveen las plantas de *Piper* y su uso potencial así como su importancia en el ecosistema para conocer finalmente el interés por la conservación y valoración de estas especies por parte de los encuestados.

2.3.2.2. Entrevista

Mediante entrevistas semiestructuradas a informantes clave (N = 6) seleccionados a través de la técnica de muestreo en cadena, se obtuvo información relacionada con las percepciones, conocimientos, usos, conflictos ambientales y valoración de los SE de las especies de *Piper*. Los informantes claves pertenecían a diversos grupos poblacionales (2 productores de pitahaya, 1 operador turístico, 1 representante de grupo ambientalista Antawara, 1 médico tradicional del resguardo Nuevo Amanecer y 1 representante de la oficina de desarrollo rural de

la alcaldía del mismo municipio). Se eligieron para facilitar al investigador la comprensión en el alcance de los conocimientos sobre las plantas de *Piper* en el contexto de estudio y por la relación directa o potencial con las especies. El desarrollo de la entrevista tuvo la siguiente estructura propuesta por Cárdenas *et al.*, 2013 que consta de i. presentación, ii. introducción, iii. desarrollo, iv. conclusión y v. cierre. En el caso de las personas que por su falta de conocimiento no respondieron todas las preguntas se siguió el procedimiento descrito en las encuestas con el fin de conocer como cambiaba su percepción final con relación a estas especies.

2.3.3. Procesamiento de información

2.3.3.1. Análisis de encuesta

La información obtenida en las encuestas se organizó en una matriz en la que registró cada respuesta debidamente codificada de acuerdo con las opciones establecidas. En el caso de las preguntas que indagaron por la valoración de los servicios ecosistémicos obtenidos de las especies de *Piper* se definió una escala ordinal (bajo, medio, alto) y se asignaron códigos de 1 a 3 respectivamente (adaptado de Cárdenas *et al.*, 2013). En lo relacionado con los tipos de uso, se asignaron categorías según su naturaleza (medicinal, veterinario, ornamental, alimentario y ritual) basadas en el método de Andel (2006). La frecuencia de las partes de la planta utilizada (F) se evaluó a través de la tasa de respuesta de acuerdo con la Eq. 3. El valor de uso se determinó a través de los criterios que indican cómo se utilizan las partes de la planta y cómo se distribuye el conocimiento de estos usos entre los encuestados, por medio de Eq. 4 descrita

por Byg & Baslev (2004), que señala la importancia de las categorías de uso mediante el valor de diversidad de uso (UD) para conocer el grado de homogeneidad del conocimiento por grupo poblacional entre las categorías definidas. La Eq. 5 muestra el grado de acuerdo entre los informantes sobre la forma de uso (UMC). Por último se evaluó el nivel de constancia (FL) que indica el fin específico de uso de las plantas aprovechadas mediante la Eq. 6 según Friedman (1986). Finalmente, los datos codificados se analizaron por medio de diagramas de barras y radiales.

Tabla 2. Ecuaciones matemáticas utilizadas para la determinación de las generalidades de las especies de *Piper*

No.	Eq.	Variables
3	$F = (S/N) \cdot 100$	S: el número de encuestados que respondieron positivamente al uso de una parte de la planta; N: el número total de encuestados. F = 0 indica que la parte de la planta no se utiliza; F = 100 cuando la parte es utilizada por todos los encuestados.
4	$UD = U_{CX} / U_{Ct}$	U _{CX} : el número de respuestas registradas por categoría de uso; U _{Ct} : el número total de respuestas para todas las categorías de usos.
5	$UMC = Mx/Mt$	Mx : número de respuestas para una forma de uso; Mt : número total de respuestas para todas las formas de uso.

6	FL (%) = (n/N)*100	Donde n es el número de encuestados para un uso específico y N es el número total de encuestados.
---	-----------------------	---

2.3.3.2. Análisis de entrevistas

El análisis de la información obtenida se realizó mediante la transcripción minuciosa de las entrevistas (3.5 h) para facilitar la codificación de las variables de estudio y sus categorías en una matriz seleccionando la información de interés y descartando aquella que no fue relevante para el tema de estudio. Las variables obtenidas finalmente se expresaron a través de frases con las cuales se elaboró un diagrama que representa el modelo mental colectivo de los entrevistados y las relaciones entre variables mediante flechas de color azul y rojo, las cuales hacen referencia a su polaridad positiva (+) o negativa (-), respectivamente, sobre la variable afectada (adaptado de Cárdenas *et al.*, 2013).

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Determinación del potencial antifúngico de AE obtenidos de *Piper* para el control de los hongos fitopatógenos asociados al cultivo de pitahaya amarilla

3.1.1. Cepas fúngicas

Se aislaron 5 cepas de hongos que fueron caracterizadas macro y microscópicamente como especies de los géneros *Fusarium*, *Alternaria* y *Cladosporium* y *Geotrichum*. Los resultados obtenidos de las secuencias de genes se compararon con las reportadas en GenBank encontrándose que tienen un 99%

de identidad con *Fusarium oxysporum*, *Fusarium incarnatum*, *Alternaria burnsii*. En el caso de *Cladosporium sp.* y *Geotrichum sp.* solamente se pudo caracterizar a nivel de género.

En la Figura 5.A se observa una colonia de *Cladosporium sp.* que presentó micelio color verde oscuro polvoriento muy adherido a la superficie del medio de cultivo, a nivel microscópico, se observaron conidios elípticos y algunos con forma de limón e hifas poco septadas y dematiáceas. Este fitopatógeno fue aislado de tallos y frutos que presentaban pudrición parda superficial responsable de la enfermedad conocida como fumagina, la cual cubre totalmente la parte afectada reduciendo su calidad y provocando su pérdida (Bensh *et al.*, 2021; Qi *et al.*, 2020). Se evidencia en la literatura que *Cladosporium sp.* ha sido reportado como hongo fitopatógeno en pitahaya variedad amarilla y roja (*Hylocereus undatus* L.) (Vilaplana *et al.*, 2020; Vásquez *et al.*, 2007).

El fitopatógeno perteneciente a *Geotrichum sp.* presentó a nivel microscópico estructuras llamadas arthroconidios que son producidas por la fragmentación de las hifas por lo cual poseen forma rectangular, unicelulares y hialinas. A nivel macroscópico presentó micelio blanco y polvoriento (Figura 5.B). Provoca en el fruto ablandamiento de la cáscara y clorosis con borde color amarillo en tallos, característico de la enfermedad llamada pudrición blanda. Su patogenicidad es menor a la causada por especies del género *Fusarium* y solo se ha reportado como patógeno para pitahaya roja (*Hulocereus undatus*) (Vásquez, 2007) por lo que este reporte se convierte en el primero para pitahaya amarilla (*Selenicereus megalanthus*).

F. oxysporum presentó a nivel macroscópico micelio blanco y algodonoso y microconidios ovalados y hialinos como se observa en la Figura 5.C. es conocido por causar en el fruto una enfermedad con apariencia de madurez prematura denominada pudrición basal del fruto, que surge en el sitio de unión del fruto con la penca (Salazar-González *et al.*, 2016; ICA, 2016; Varón, 2006). Además de estar presente en Colombia también se ha reportado en Nicaragua, Argentina, Corea del Sur y Malasia en pitahaya amarilla y otras variedades (Moreno *et al.*, 2021; Mohd Hafifi *et al.*, 2019; Wright *et al.*, 2007; Choi *et al.*, 2007).

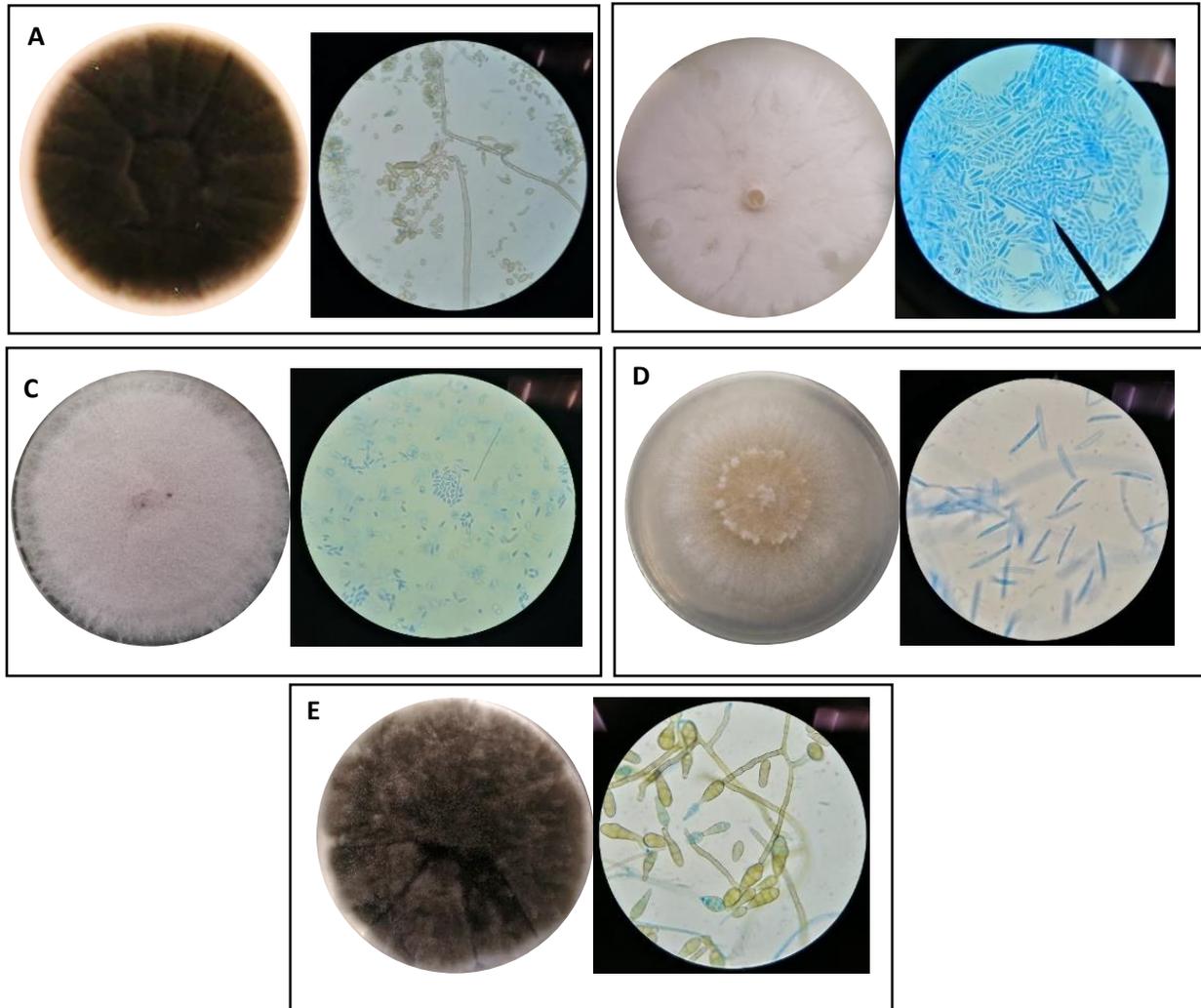


Figura 5. Cepas de hongos fitopatógenos a nivel micro y macroscópicas empleadas en los bioensayos. **A)** *Cladosporium* sp. **B)** *Geotrichum* sp. **C)** *F. oxysporum*. **D)** *F. incarnatum*. **E)** *A. burnsii*. (Fuente: propia).

F. incarnatum fue aislado de tallos que presentaron clorosis y madurez prematura similar a *F. oxysporum*. A nivel macroscópico la colonia presentó micelio color amarillo claro en el centro y blanco hacia los bordes. A nivel microscópico se observaron macroconidios con forma de medialuna, hialinos y poco septados (Figura 5.D). Se ha reportado a *Fusarium semitectum* como sinonimia de *F. incarnatum* y causante de la podredumbre en el tallo para la variedad de pitahaya roja (*Hylocereus monacanthus*) (Hawa et al., 2013). *F. incarnatum* también se ha reportado como patógeno en otras variedades de pitahaya roja (*Hylocereus polyrhizus*) (Aziz, 2018), pero además de esta evidencia no se encontró otro estudio en el que se indique como fitopatógeno asociado a pitahaya amarilla, por lo que esta investigación se convierte en el primer reporte para esta variedad.

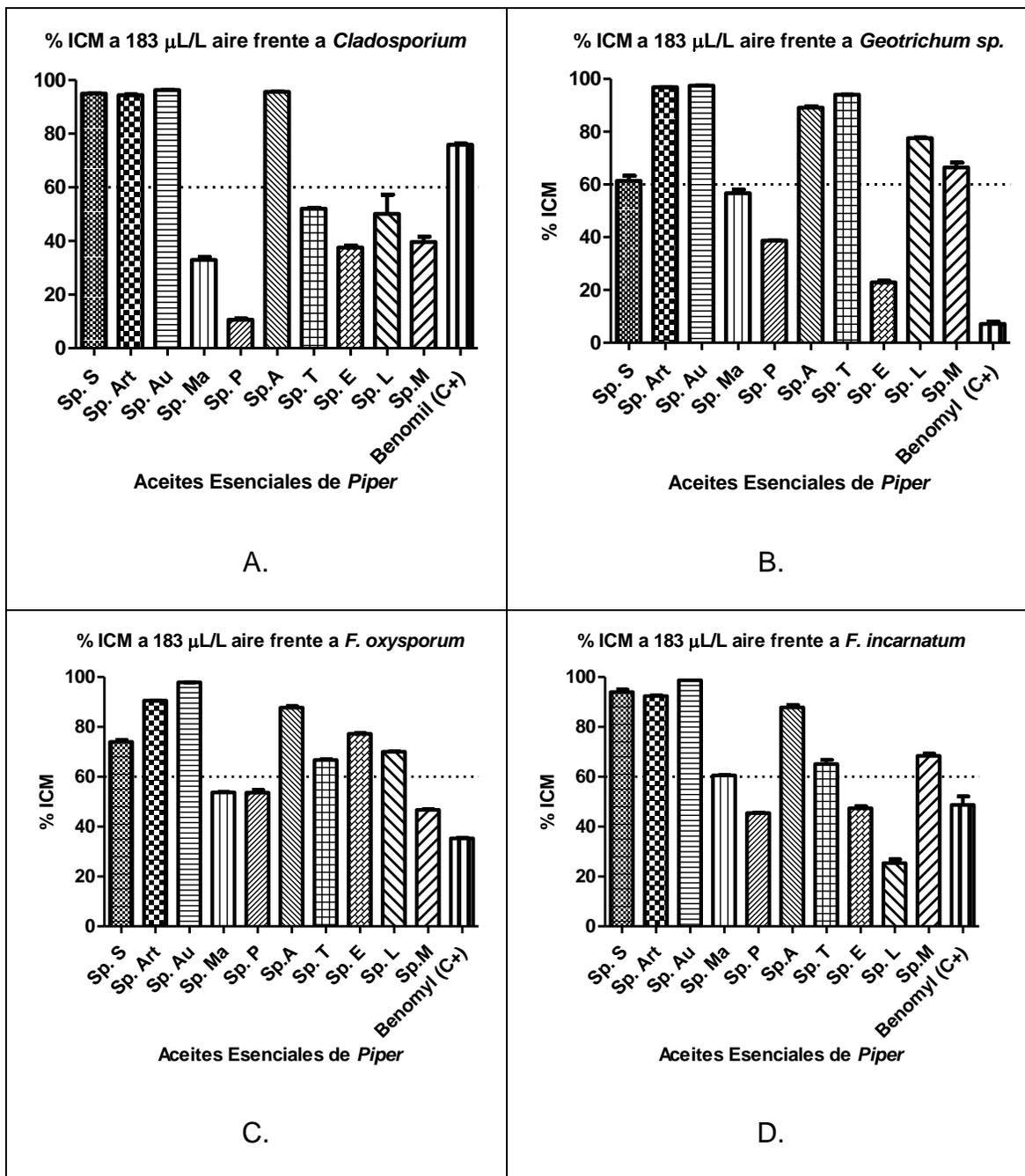
En la Figura 5.E se observa a *A. burnsii* el cual presenta micelio verde oscuro y algodonoso; a nivel microscópico, conidios simples, laterales a las hifas o terminales, rectos y curvos, con paredes lisas de color café claro (Paul et al., 2015). Fue aislado de tallos que presentaron manchas negras concéntricas y necróticas con bordes de color amarillo claro, característico de la enfermedad conocida como tizón de alternaria, la cual se reportó por primera vez en Estados Unidos en pitahaya roja (*Hylocereus undatus*) (Patel & Zhang, 2017). Aunque no se evidenciaron reportes de esta especie en particular en pitahaya amarilla, existen algunos registros que dan cuenta de la presencia de otras especies de

Alternaria en esta especie (Vilaplana *et al.*, 2017; Valencia-Chamorro *et al.*, 2016) y en pitahaya roja (*Hylocereus undatus*) (Castro *et al.*, 2017 y 2018).

3.1.2. Ensayo de Inhibición del Crecimiento Micelial (ICM) de AE

En este estudio se evaluó mediante el ensayo de ICM el potencial antifúngico de los AE obtenidos de 10 especies colectadas del género *Piper* sobre los cinco hongos fitopatógenos aislados de pitahaya amarilla, encontrándose que los aceites mostraron diversos grados de acción inhibitoria sobre los hongos probados. En la Figura 6 se muestran los %ICM de los AE sobre cada fitopatógeno, evidenciando que a una concentración de 183 $\mu\text{L/L}$ aire 5 de los 10 AE tuvieron potencial frente al menos uno de los fitopatógenos, y que 3 aceites inhibieron en un porcentaje mayor del 60% el crecimiento micelial de los cinco hongos. Entre los AE que superaron el 60% de ICM de los cinco fitopatógenos se encuentran los obtenidos de *P. semperflorens* C. DC., *P. artanthe* C. DC. y *P. auritum* Kunth. Los AE de las especies *P. pertomentellum* y *P. marequitense* no mostraron actividad significativa sobre ninguno de los hongos evaluados. Los resultados del tamizaje de actividad antifúngica también muestran que 5 aceites causaron ICM >60% sobre *Cladosporium* sp. (Figura 6.a), 7 aceites lograron inhibir en más del 60% el crecimiento micelial de *Geotrichum* sp. y *F. oxysporum* (Figura 6.b – 6.c), la inhibición mayor al 60% de *F. incarnatum* la alcanzaron 6 aceites (Figura 6.d) y sobre *A. burnsii* se logró una inhibición de más del 60% con 6 aceites (Figura 6.e). Adicionalmente, los %ICM se compararon utilizando la prueba de análisis de varianza ANOVA con una significancia estadística de $P \leq 0.05$ (Anexo 2) complementada con el análisis post hoc de Dunnett. Los resultados de

actividad de aceites y compuestos mayoritarios sobre cada hongo evaluado frente al control positivo benomilo (Anexo 3), muestran que hay diferencias significativas entre la actividad antifúngica en todas las comparaciones excepto benomilo vs *P. pertomentellum* y benomilo vs. *P. eriopodon* para *F. incarnatum*.



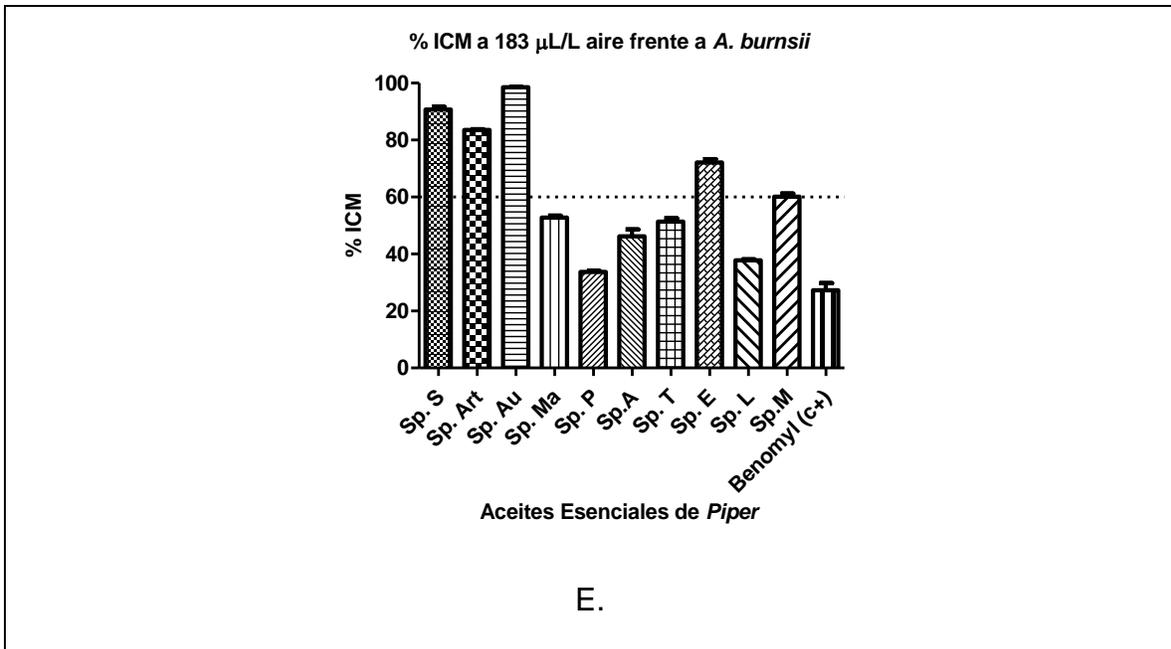


Figura 6. Porcentaje de inhibición de crecimiento micelial causados por los aceites esenciales de *Piper* evaluados a 183 µL/L aire sobre cada uno de los hongos fitopatógenos.

Con base en los resultados de ICM se halló la CI_{50} de los aceites con potencial para inhibir a cada uno de los fitopatógenos. En la Tabla 3 se muestran los resultados. Los aceites con mayor potencial para inhibir a *Cladosporium sp.* corresponden a *P. auritum*, *P. artanthe*, *P. semperflorens* y *P. asperiusculum* con CI_{50} entre 0.1 y 1.4 µL/L aire, siendo el aceite de *P. auritum* el más activo. En cuanto a *Geotrichum sp.* se encuentra que *P. auritum*, *P. asperiusculum*, *P. lanceifolium* y *P. artanthe* son los más promisorios para su control con CI_{50} entre 0.2 y 2.1 µL/L aire. El mejor efecto inhibitorio sobre *F. oxysporum* corresponde a los aceites de *P. auritum*, *P. artanthe*, *P. lanceifolium*, *P. asperiusculum* y *P. eriopodon* (CI_{50} entre 0.4 y 1.7 µL/L aire). Para *F. incarnatum* los aceites *P. auritum*, *P. semperflorens*, *P. artanthe* y *P. asperiusculum* son los que presentan

mayor potencial de inhibición sobre este hongo, encontrándose que sobre este se tienen la menores CI_{50} . Finalmente, para *A. burnsii* los aceites *P. auritum* y *P. semperflorens* presentaron los mejores efectos inhibitorios con CI_{50} menores a 2.0 $\mu\text{L/L}$ aire.

Tabla 3. Concentraciones inhibitorias medias (CI_{50}) obtenidas de los AE del género *Piper* con potencial para el control de los hongos fitopatógenos.

AE	Hongos				
	<i>Cladosporium</i>	<i>Geotrichum</i>	<i>F.</i>	<i>F.</i>	<i>A. burnsii</i>
	<i>sp.</i>	<i>sp.</i>	<i>oxysporum</i>	<i>incarnatum</i>	
	CI_{50} $\mu\text{L/L}$ aire				
<i>P. semperflorens</i>	0.35 ± 0.04	9.45 ± 0.95	8.39 ± 0.36	1.21 ± 0.03	1.52 ± 0.11
<i>P. marequitense</i>	NA	NA	NA	7.77 ± 0.39	NA
<i>P. asperiusculum</i>	1.32 ± 0.02	0.66 ± 0.02	1.21 ± 0.31	1.66 ± 0.66	NA
<i>P. tenue</i>	NA	4.68 ± 0.02	2.82 ± 0.02	9.85 ± 1.43	NA
<i>P. eriopodon</i>	NA	NA	1.71 ± 0.03	NA	8.11 ± 0.01
<i>P. artanthe</i>	0.30 ± 0.01	2.10 ± 0.10	0.54 ± 0.09	1.47 ± 0.07	4.72 ± 0.28
<i>P. lanceifolium</i>	NA	1.85 ± 0.02	1.11 ± 0.02	NA	NA
<i>P. marginatum</i>	NA	4.91 ± 0.99	NA	7.80 ± 0.14	5.16 ± 1.48
<i>P. auritum</i>	0.10 ± 0.03	0.21 ± 0.03	0.38 ± 0.19	0.07 ± 0.01	0.26 ± 0.08

Los valores de CI_{50} están expresados como la media de 3 repeticiones ± S (Desviación Estándar). NA = No

Activo. ($P > 0.05$).

En la literatura se reportan pocos estudios de la actividad de AE de *Piper* sobre los fitopatógenos de estudio. En el caso de *P. marginatum* solo se encuentra reporte del extracto etanólico de hojas sobre *Alternaria sp.* (Macêdo *et al.*, 2018), por lo que se considera que este es el primer reporte del aceite esencial de hojas sobre *A. burnsii*. Con respecto a la actividad antifúngica sobre *Cladosporium sp.* se observó en la literatura que el extracto metanólico de hojas de *P. marginatum* fue activo en especies de *Cladosporium cladoesporioides* y *Cladosporium sphaerospermum* a una cantidad inhibitoria mínima de 1 µg, mientras que en este estudio se encontró que el AE de esta especie solo causó una inhibición del crecimiento micelial en un 40% sobre *Cladosporium sp.* (Reigada *et al.*, 2007). Por otro lado, el género *Fusarium* es uno de los hongos cosmopolitas que más afecta la producción de diversos cultivos de importancia económica como la pitahaya razón por la cual ha sido estudiado en mayor proporción. En este sentido, Chacón *et al.*, 2021 evaluaron la actividad del AE de hojas de *P. auritum* sobre *F. oxysporum* encontrando que el porcentaje de inhibición superó el 75%, así mismo Fernández *et al.*, 2012 determinaron que el extracto de hojas de esta especie inhibió el 100% del crecimiento micelial para este hongo en una concentración de 4 mg/mL, esto coincide con los resultados de esta investigación, pues el AE de hojas de *P. auritum* alcanzó el 97% de inhibición del crecimiento micelial sobre el mismo hongo evaluado a una concentración de 183 µL/L aire. Para *P. artanthe* se encuentra que el AE de la parte aérea presentó %ICM muy bajo (11.3 ± 5.9) a una concentración de 176.5 µL/L de aire sobre *F. oxysporum* según Olaya, 2020 y en la presente investigación se determinó que el AE de hojas de esta especie presentó ICM >85% a una concentración de 122 µL/L de aire y su $CI_{50} = 0.5 \mu\text{L/L}$

de aire para el mismo fitopatógeno. Se destaca la investigación de Patiño-Bayona *et al.*, 2018 quienes reportaron por primera vez la actividad biológica del extracto de varios órganos de *P. pertomentellum* afirmando que esta especie tiene potencial para inhibir el crecimiento de hongos fitopatógenos como *Fusarium oxysporum*, no obstante, los resultados obtenidos en este estudio indicaron que el AE de hojas de *P. pertomentellum* no presentó inhibición del crecimiento mayor al 60% sobre *F. oxysporum* ni sobre los demás hongos evaluados a una concentración de 183 µL/L de aire. Por otra parte aunque el AE de *P. marginatum* no alcanzó un %ICM >60 sobre *F. oxysporum* al utilizar una alícuota de 15 µL, Alves *et al.*, 2011 determinaron que la actividad de este aceite alcanzó el 68% de inhibición con una alícuota de 10 µL, siendo la diferencia de los resultados de actividad atribuible al método de extracción u origen del material vegetal. Es importante resaltar que los resultados obtenidos en la presente investigación constituyen el primer reporte de actividad antifúngica de los 10 AE del género *Piper* sobre *Cladosporium sp.*, *Geotrichum sp.*, *F. incarnatum* y *A. burnsii*, así como de *P. asperiusculum*, *P. pertomentellum*, *P. tenue*, *P. eriopodon*, *P. semperflorens*, *P. marequitense*, *P. artanthe*, *P. lanceifolium* sobre *F. oxysporum*.

3.1.3. Caracterización química de AE

El análisis CG-FID y CG-EM de los 10 AE obtenidos de especies de *Piper* permitió determinar la presencia de 108 compuestos, correspondientes al 72-99% de la composición total. En la Tabla 4 se presentan los componentes mayoritarios que integran cada uno de los aceites, según el orden de elución obtenido con la columna DB-5MS y en el Anexo 4 se encuentra la composición química total

determinada para cada uno de los aceites esenciales. Los resultados indican que los aceites obtenidos de *P. semperflorens*, *P. tenue*, *P. eriopodon* y *P. auritum* se caracterizan por estar constituidos mayoritariamente por monoterpenos. Los aceites provenientes de *P. marequitense*, *P. pertomentellum* y *P. marginatum* contienen principalmente sesquiterpenos, mientras que los aceites esenciales obtenidos de *P. asperiusculum* y *P. artanthe* tienen fenilpropanos como componentes mayoritarios. Los componentes encontrados en los AE de las especies del género *Piper* estudiadas están de acuerdo con la quimiotaxonomía del género.

Tabla 4. Componentes mayoritarios identificados por cromatografía de gases en los 10 AE de *Piper*.

Aceite esencial	Componentes mayoritarios
<i>P. semperflorens</i>	α -pineno (3.97%), canfeno (13.53%), limoneno (5.08%), β -felandreno (3.06%), trans- β -ocimeno (3.96%), alcanfor (12.49%), piperitona (19.99%), ledol (7.85%).
<i>P. marequitense</i>	δ -elemeno (3.46%), β -elemeno (17.95%), α -guaieno (22.60%), 1,4-cadineno (6.11%), humuleno (3.43%), elemol (3.91%) isoleideno (4.97%), germacreno D-4ol (3.37%).
<i>P. asperiusculum</i>	Limoneno (5.21%), 1,8-cineol (11.69%), γ -terpineno (3.39%), miristicina (39.34%), dillapiol (25.76%).
<i>P. pertomentellum</i>	Trans- β -ocimeno (6.08%), cis- β -ocimeno (5.00%), δ -elemeno (26.58%), β -cariofileno (6.96%), germacreno D (13.19%), ledol (4.94%).

<i>P. tenue</i>	α -tujeno (3.95%), α -pineno (4.69%), β -pineno (4.77%), α -felandreno (4.61%), α -terpineno (5.02%), silvestreno (7.27%), trans- β -ocimeno (4.08%), cis- β -ocimeno (7.78%), γ -terpineno (8.78%), terpinoleno (4.26%), terpinen-4-ol (9.92%), β -cariofileno (6.31%).
<i>P. eriopodon</i>	α -pineno (13.83%), β -pineno (10.46%), limoneno (30.10%), cis-calamaneno (4.47%).
<i>P. artanthe</i>	α -pineno (8.32%), β -pineno (8.92%), α -copaeno (4.64%), γ -amorfenol (4.06%), miristicina (53.83%).
<i>P. lanceifolium</i>	α -copaeno (4.95%), β -cariofileno (13.54%), γ -amorfenol (10.08%), δ -cadineno (3.48%), α -cadineno (4.92%), viridiflorol (4.91%), β -eudesmol (11.53%), 7-epi- α -eudesmol (5.34%), agarospirol (3.46%), trans-farnesol (12.89%), α -eudesmol (3.43%).
<i>P. marginatum</i>	δ -elemeno (4.28%), β -cariofileno (8.73%), α -cariofileno (14.24%), biciclogermacreno (6.79%), trans-nerolidol (7.30%).
<i>P. auritum</i>	Mirceno (6.26%), α -terpineno (3.36%), p-cimeno (13.10%), γ -terpineno (11.76%), timol (30.35%), carvacrol (13.78%).

La composición química del AE de *P. eriopodon* coincide parcialmente con la composición reportada en estudios previos. En el caso del estudio realizado por Ustáriz y colaboradores se reporta que el AE obtenido de hojas por hidrodestilación contiene principalmente monoterpenos, siendo los componentes mayoritarios α -pineno (7%), β -pineno (9.3%) y 1,8-cineol (37.2 %) (Ustáriz *et al.*, 2020), y en el estudio desarrollado por Castañeda y colaboradores se reporta que

este AE contiene principalmente a los fenilpropanos dillapiol y miristicina, sin embargo, los autores no mencionan el órgano de la planta del que se obtuvo el AE por hidrodestilación asistida por microondas (Castañeda *et al.*, 2007). En cuanto a lo reportado por Ávila y colaboradores se evidencia que la composición del AE de *P. eriopodon* difiere de lo reportado previamente y se destaca la presencia en más del 80% del alquenil fenol llamado gibilimbol B (Ávila *et al.*, 2018). Las diferencias encontradas en la composición del AE de esta especie puede atribuirse al método de extracción, origen del material vegetal o tipo de órgano utilizado para la obtención. Para el aceite esencial de *P. auritum* se encuentran varios estudios en los que se reporta que el componente mayoritario del aceite obtenido por hidrodestilación corresponde a safrol con una abundancia relativa >70% y como constituyentes minoritarios se reportan a timol y eugenol (Monzote *et al.*, 2010, Conde-Hernández *et al.*, 2017); Pineda por su parte reportó que además de este compuesto, se encuentra el p-cimeno, γ -terpineno como en el AE obtenido en la presente investigación. Chacón y colaboradores hallaron que del AE obtenido de la parte aérea por medio hidrodestilación el compuesto mayoritario fue el timol y que el safrol se encontraba en menor proporción (Chacón *et al.*, 2021). Estas diferencias en la composición del aceite de *P. auritum* sugiere que el método de extracción empleado puede estar relacionado.

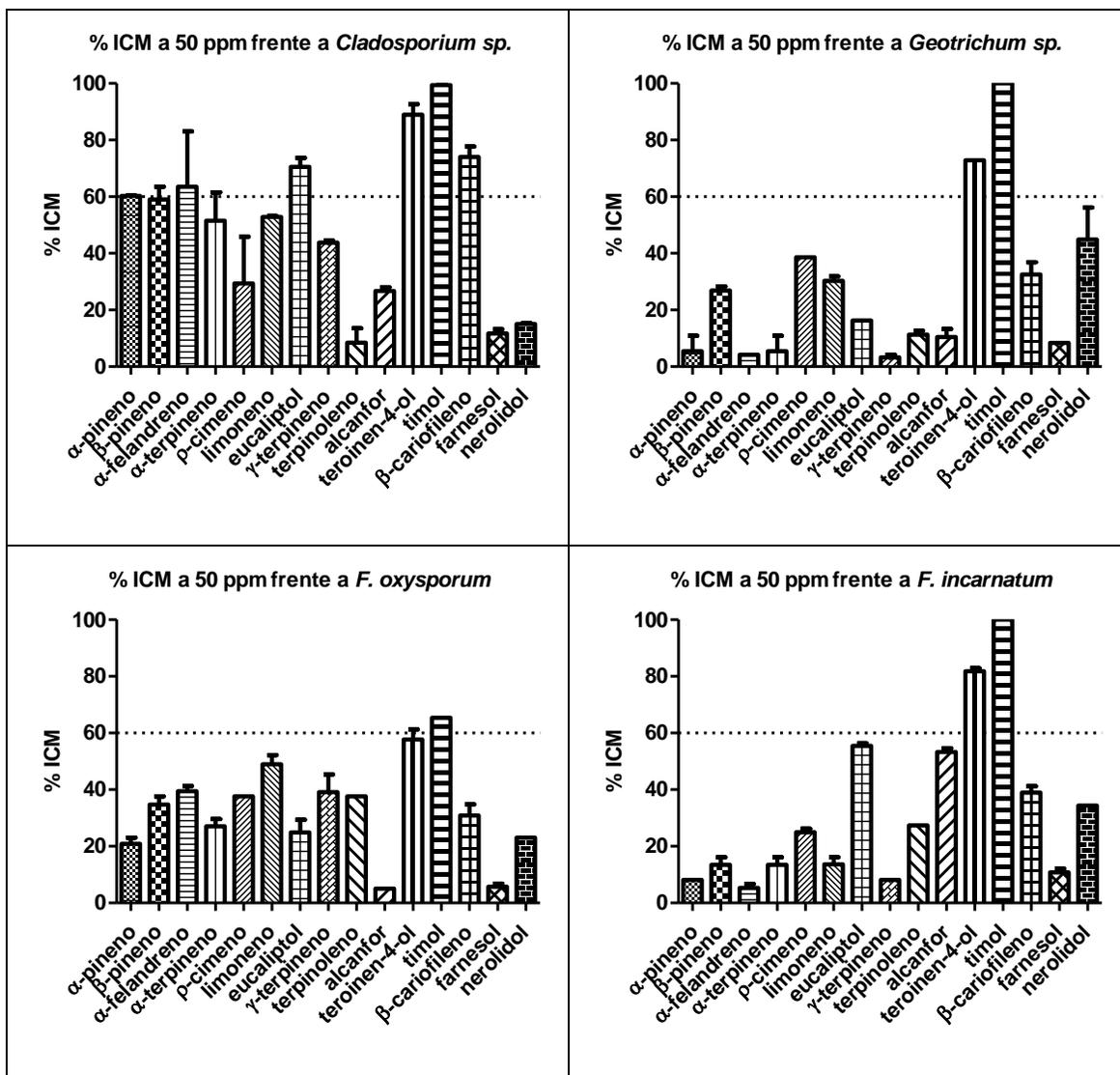
El aceite correspondiente a *P. lanceifolium* se caracterizó por contener principalmente sesquiterpenos, resultados que coinciden con lo reportado en los estudios desarrollados por Benitez y colaboradores y por Mundina y colaboradores (Mundina *et al.*, 2001; Benitez *et al.*, 2009), encontrándose que el β -cariofileno

corresponde al componente mayoritario. El AE de *P. marginatum* también se compone principalmente por sesquiterpenos y la composición química determinada es similar a la reportada en dos estudios en los que se menciona que biciclogermacreno, β -cariofileno, δ -elemeno y γ -cadineno son los constituyentes mayoritarios (Alves *et al.*, 2011; Autran *et al.*, 2009). Respecto al AE de *P. artanthe* se encontró que se caracteriza por contener como componente mayoritario la miristicina, resultados que difieren de los reportados por Avella y Ríos-Mota y Ávila y colaboradores quienes por medio de hidrodestilación obtuvieron el AE de la parte aérea de la planta encontrando que el apiol fue componente mayoritario con una abundancia relativa de 14.52% y la cantidad de miristicina presente fue inferior al 7% (Ávila *et al.*, 2018; Avella & Ríos-Mota, 2010). Es importante resaltar que los resultados de la composición tentativa de los aceites esenciales obtenidos de hojas de *P. semperflorens*, *P. marequitense*, *P. pertomentellum*, *P. tenue* y *P. asperiusculum* se reportan por primera vez en esta investigación.

3.1.4 Ensayo de ICM de los compuestos de *Piper* seleccionados

De los 108 compuestos identificados se seleccionaron 15 para los ensayos de ICM sobre los hongos de estudio de acuerdo con la disponibilidad en stock. Los compuestos seleccionados fueron α -pineno, β -pineno, α -felandreno, α -terpineno, p -cimeno, limoneno, eucaliptol, γ -terpineno, terpinoleno, alcanfor, terpinen-4-ol, timol, β -cariofileno, farnesol y nerolidol. En la Figura 7 se observa el %ICM de dichos compuestos sobre cada fitopatógeno evaluado. Los resultados indican que solamente timol y terpinen-4-ol tuvieron la capacidad de inhibir el crecimiento de todos los hongos en más del 60% a la concentración máxima evaluada (50 ppm).

Sin embargo, es importante resaltar que eucaliptol y β -cariofileno causaron altos porcentajes de inhibición del crecimiento en *Cladosporium* sp.



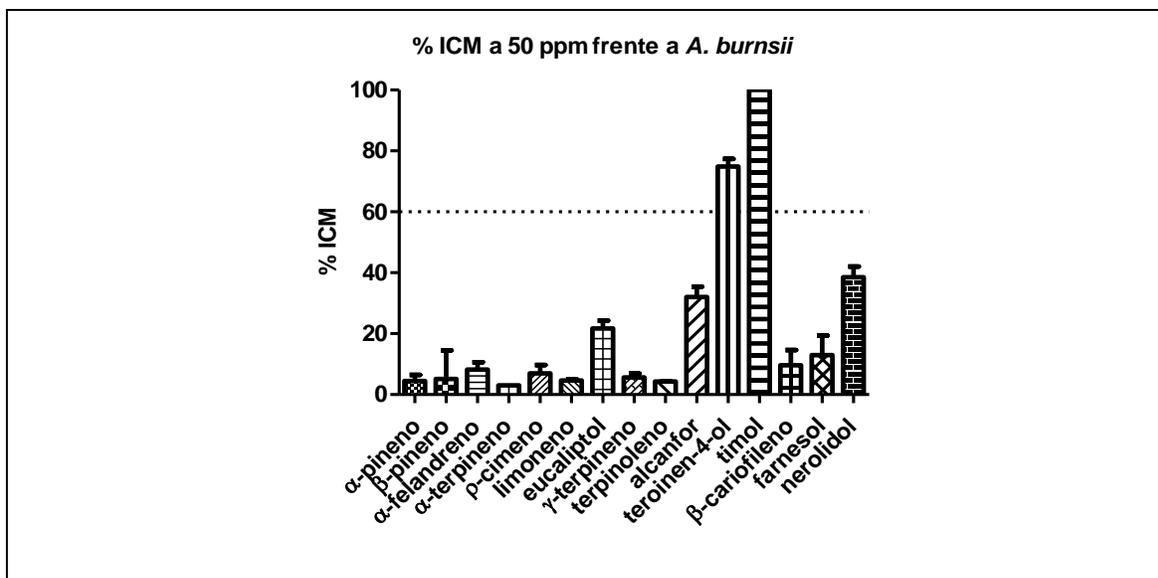


Figura 7. Porcentaje de inhibición de crecimiento micelial causados por los compuestos de *Piper* sobre cada uno de los hongos fitopatógenos evaluados

En la Tabla 5 se presentan solamente las CI_{50} para terpinen-4-ol y timol, por ser las únicas moléculas activas sobre todos los fitopatógenos en estudio, indicando que sobre *Cladosporium sp.* los dos compuestos exhibieron las CI_{50} más bajas de todos hongos, lo que sugiere que son dos sustancias muy efectivas para su control. En cuanto a los fitopatógenos *A. burnsii*, *Geotrichum sp.*, *F. oxysporum* y *F. incarnatum* se observa que estos son más susceptibles al timol, pues este compuesto exhibió las menores CI_{50} en comparación con terpinen-4-ol. Estos resultados son comparados con un estudio de actividad antifúngica de las dos moléculas en estudio sobre *F. oxysporum* obteniendo resultados promisorios de estos compuestos (Morcia *et al.*, 2011). Adicionalmente, la molécula terpinen-4-ol es potencial y segura para el desarrollo de fungicidas botánicos contra especies del género *Alternaria* y otros hongos fitopatógenos razón por la cual es respaldada legalmente en Europa para fomentar la agricultura sostenible (Yousafi *et al.*, 2021;

Brilhante *et al.*, 2016). Otro estudio reporta que se evaluó la actividad antifúngica del timol y se demostró que inhibe completamente el crecimiento micelial y la esporulación de especies del género *Fusarium* (Tucuch *et al.*, 2021; Alzate *et al.*, 2008). Para los fitopatógenos *Cladosporium sp.*, *Geotrichum sp.*, *F. incarnatum* y *A. burnsii* no se han evidenciado estudios previos que demuestren la actividad antifúngica de estos compuestos por lo que se considera que este es el primer reporte para dichas especies.

Tabla 5. Concentraciones inhibitorias medias (CI₅₀) de los compuestos de *Piper* para el control de los hongos fitopatógenos en estudio.

Compuestos	Hongos									
	<i>Cladosporium sp.</i>		<i>Geotrichum sp.</i>		<i>F. oxysporum</i>		<i>F. incarnatum</i>		<i>A. burnsii</i>	
	CI ₅₀ µg/mL	CI ₅₀ µM								
Terpinen-4-ol	< 0.1	<	17.6 ±	91.2	35.8 ±	114.8	15.9 ±	229.6	2.1 ±	102.4
		1.0	3.9	± 1.1	3.2	± 1.2	3.0	± 1.2	0.2	± 1.1
Timol	< 0.1	<	3.3 ±	13.0	1.6 ±	21.5	7.2 ±	11.0	2.1 ±	48.5
		1.0	0.5	± 0.3	0.1	± 0.2	0.1	± 0.1	0.2	± 0.3

Los valores de CI₅₀ están expresados como la media de 3 repeticiones ± S (Desviación Estándar).

NA = No Activo. ($P > 0.05$).

3.2. Caracterización de los servicios ecosistémicos de las especies del género *Piper* a partir de la valoración sociocultural

3.2.1. Análisis de datos a partir de las encuestas

Se encuestaron 58 personas residentes del municipio de La Argentina, Huila, las cuales estuvieron clasificadas en diversos grupos poblacionales a saber, el 26% correspondió a agricultores, 50% estudiantes, 19% indígenas, 1.6% operadores

turísticos, 1.7% representantes de entidades y 1.7% grupos ambientalistas. El 60% de los encuestados manifestaron pertenecer a alguna asociación pública o privada tales como la Corporación Autónoma Regional del Alto Magdalena CAM, Antawara, Aguasurocci, Cafesoar, ProPitaya y Red de Turismo Rural Sostenible del Huila. En total, 53% pertenecían al género masculino y 47 % al femenino. La edad promedio de los encuestados fue de 33 años y la mayoría tuvieron algún nivel de educación formal, 26 habían superado grado 11, 9 nivel universitario, 2 postgrado y solamente 2 no tenían ningún nivel de estudio.

Inicialmente se indagó acerca de la importancia que tienen las plantas en el bosque y se determinó que el 91% del total de los encuestados señaló que este recurso es el componente fundamental en el ecosistema. Seguidamente las personas identificaron por medio de fotografías alguna estructura (hojas, tallos, inflorescencias), nombres comunes, usos y demás conocimientos y se obtuvo que el 51.7% correspondiente a 30 personas pudo identificar alguna estructura y de estas 25 afirmaron conocer su nombre, los más comunes fueron cordoncillo y desvanecedora. Del total de personas que reconoció alguna estructura, se determinó que el 50% pudo reconocer a través de fotografías las inflorescencias (cordoncillos), pero más del 85% no pudo reconocer las hojas ni los tallos. Entre otras características físicas, las personas reconocieron que estas especies crecen como enredaderas y arbustos menores a 6 m de altura, poseen cordoncillos color blanco y amarillo, alargados, delgados, hoja opaca o rugosa con tricomas. La dificultad para reconocer las especies de *Piper* y sus estructuras se puede asociar con la pérdida progresiva de saberes, esto indica la relación con el

desconocimiento de los SE que proveen estas especies y el desinterés en conservarlas y gestionarlas de manera sostenible en pro del bienestar humano (Corlett, 2016)

En lo relacionado con el uso de este recurso, en la Figura 8 se presentan los datos de la frecuencia de uso de las partes de la planta (F), que indica que las hojas (F = 96.8%) es la estructura más utilizada, los tallos (F = 45.2%) al igual que los cordoncillos (F = 61.3%) son utilizados regularmente, mientras que la raíz (F = 3.2%) fue la parte menos utilizada. En la Figura 9 se observa la frecuencia de uso de las partes de la planta según el grupo poblacional en donde se evidencia que todos los indígenas usan las hojas, cordoncillos y tallos (F = 100%); los agricultores usan en mayor medida la hoja (F = 93.3%) en comparación con el cordoncillo (F = 46.7%) y muy poco el tallo (F = 20%); el grupo ambientalista usa en igual proporción las hojas, cordoncillos y raíz (F = 100%), mientras que los estudiantes usan muy poco la hoja (F = 3.4%) y desprecia el uso de las otras partes (F = 0), esto mismo sucedió con los operadores turísticos y representantes de entidades públicas quienes no hacen uso de ninguna de las partes de las plantas. Lo anterior coincide con reportes previos de la literatura en el que se evidencia que el desuso de un recurso ecosistémico, en este caso particular de las especies de *Piper*, se puede asociar con la pérdida de conocimientos tradicionales y la dificultad de acceso a la información científica disponible por la poca transmisión de resultados de investigación obtenidos a la población interesada (Corlett, 2016; Menegoz *et al.*, 2013).

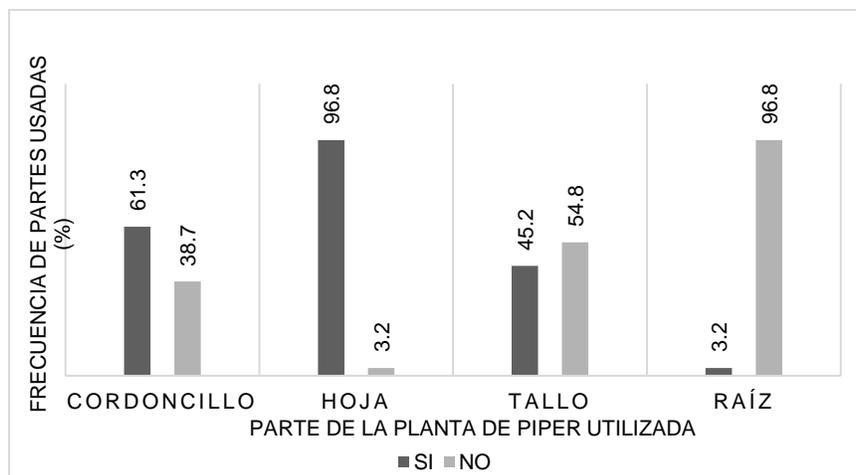


Figura 8. Frecuencia de uso de las partes de la planta de *Piper* (F)

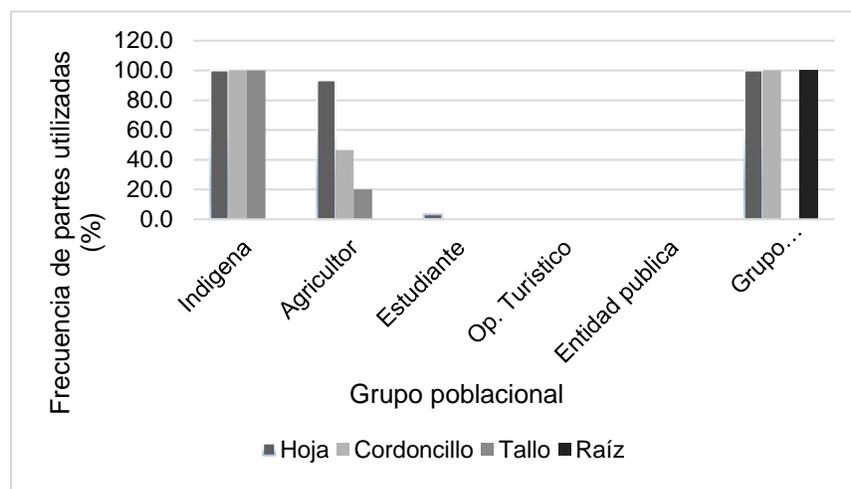


Figura 9. Frecuencia de las partes de la planta de *Piper* utilizada (F) por grupo poblacional

En cuanto al porcentaje de categorías de uso se destaca que el 96.8% de los encuestados afirmaron conocer y usar la planta con fines medicinales, seguido por el uso ornamental con 16.1%, alimentario 12.9%, veterinario 6.5% y por último ritual con 3.2% (Figura 10), lo que indica que es un recurso con potencial en bioprospección que puede contribuir de manera importante en la provisión de

materias primas y recursos para el beneficio humano (Sen & Rengaiian, 2021). Los valores de Diversidad de Uso (UD) de las categorías definidas para el uso según los grupos poblacionales revelan que UD = 1 (uso homogéneo entre grupos) y UD = 0 (poco homogéneo). Los resultados indican que la mayor UD en el grupo de los indígenas corresponde a la categoría medicinal (UD = 1). Para los agricultores los valores UD no son homogéneos ya que para la categoría medicinal UD = 0.87 y veterinario UD = 0.13. En el grupo de los estudiantes la diversidad de uso estuvo distribuida con valores iguales a UD = 0.33 para las categorías medicinal, ornamental y alimentario. Esto mismo sucedió para el grupo ambientalista y su UD = 0.33 para las categorías medicinal, ornamental y ritual. Para el grupo operadores turísticos y representantes de entidades públicas no se pudo establecer UD ya que como se mencionó anteriormente estos grupos no usan de ninguna manera las plantas de *Piper*. Los resultados de UD para indígenas y agricultores indican que estos grupos reconocen y conservan usos medicinales asociados a estas especies porque mantienen contacto estrecho con ellas en su cotidianidad en comparación con los demás grupos poblacionales (Menegoz *et al.*, 2013).

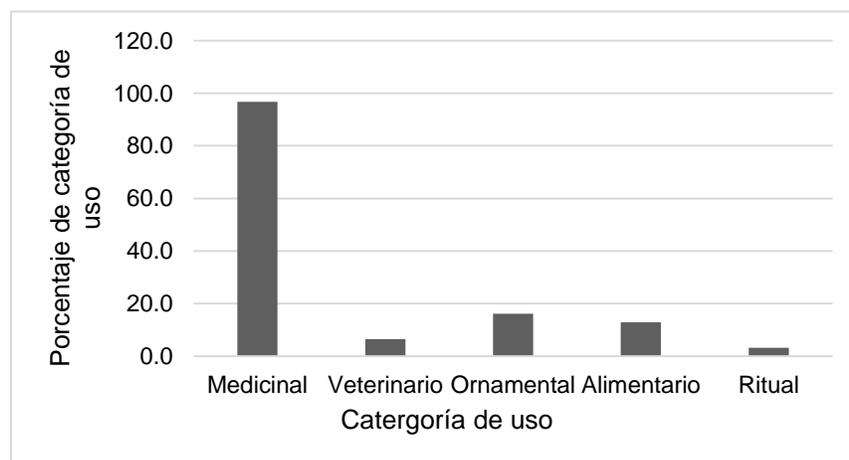


Figura 10. Porcentaje de categorías de uso de especies de Piper en estudio

Las formas de uso son variadas. Las hojas son la principal parte utilizada y se emplean principalmente para elaborar infusiones y cataplasmas, aunque también se realizan baños con infusiones y en menor medida se preparan bebidas o en decocción (Fig. 11). En cuanto a las formas de uso por grupos poblacionales (UMC) se destaca que los indígenas emplean las plantas especialmente para baños con infusiones (73%), los agricultores para infusiones (57%), los estudiantes para elaborar cataplasmas (100%), el grupo ambientalista para infusiones (100%), mientras que los operadores turísticos y entidades públicas no manifestaron ninguna forma de uso (Tabla 6), lo anterior permitió entender la importancia del contexto cultural en el conocimiento tradicional de las comunidades acerca de estas especies y comprender las relaciones ser humano – naturaleza como aspecto fundamental de las contribuciones de la naturaleza a las personas (Díaz *et al.*, 2018).

En cuanto a la razón de uso (%), se determinó que el 24% correspondió a la curación de granos infectados, 17% a la desinflamación de golpes, 14% a tratamiento de enfermedades del sistema urinario, 10% al cuidado de lesiones, heridas y golpes al igual que para el tratamiento de dolor de rodilla, artritis y reumatismo, 7% a tratamiento de alergias en la piel de bebés, desinfección y cuidado de heridas, golpes y control de fiebre y tan sólo el 3% a tratamiento de enfermedades de la piel en general (Figura 12), este reconocimiento de diferentes razones de uso de las plantas y los sistemas de conocimiento asociados (indígenas y sociedad en general) puede influir positivamente en la toma de

decisiones acerca del manejo de estas especies para lograr un desarrollo sostenible (Díaz *et al.*, 2015).

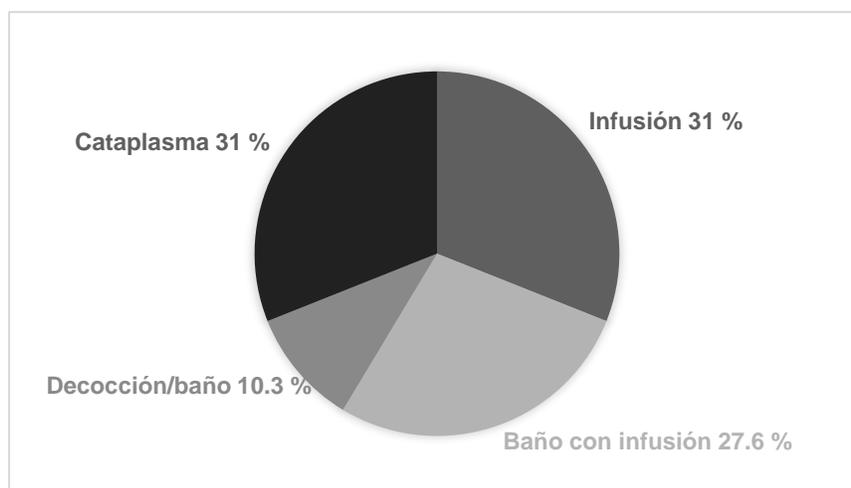


Figura 11. Porcentaje de formas de uso de las partes de la planta de *Piper* utilizada

Tabla 6. Valores de consenso (UMC) para formas de uso de *Piper*

Forma de uso	Indíg.	Agri.	Est.	Op. Turístico	Ent. Públicas	Grupo ambientalista
Infusión	0.09	0.57	-	-	-	1.00
Baño con infusión	0.73	-	-	-	-	-
Decocción/baño	0.18	0.07	-	-	-	-
Cataplasmas	-	0.36	1.00	-	-	-

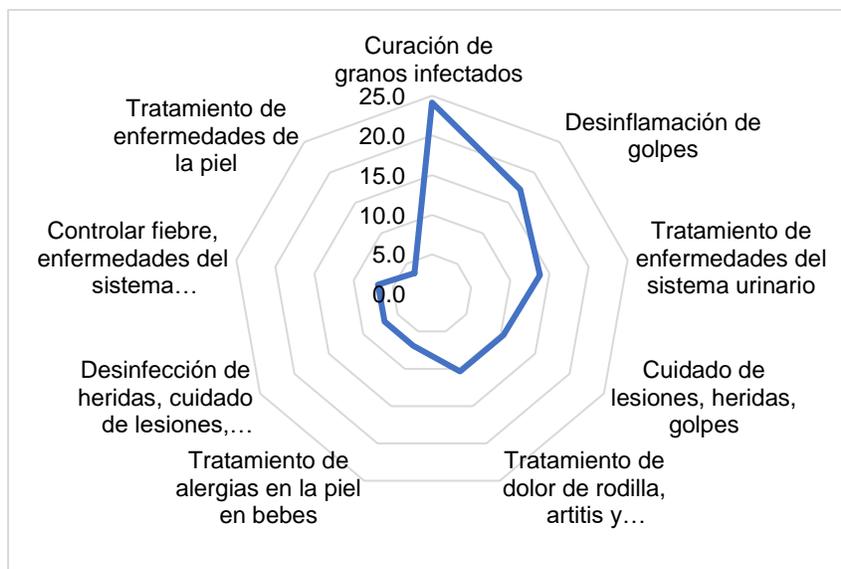


Figura 12. Nivel de constancia de razones de uso

Con base en la revisión de literatura se identificaron 14 SE de las especies de *Piper*, de los cuales los encuestados solamente reconocieron y valoraron 13 de manera independiente por parte de cada encuestado. Se determinó que la mayoría de SE fueron calificados con valoración alta, excepto regulación de la erosión que fue medio y biocombustible que fue bajo (Fig. 13), estos resultados coinciden con la revisión de literatura que resalta la importancia ecológica y sociocultural de las especies de *Piper* (Sen & Rengaijan, 2021). En lo relacionado con las problemáticas ambientales asociadas con la reducción en la cantidad de las especies de *Piper* en el ecosistema, el total de los encuestados afirmó que todas las opciones evaluadas incidían en más del 60% (Figura 14). Particularmente, en el caso de la deforestación el 89.7% señalaron que es una problemática que se ha incrementado en los últimos años. Finalmente, en la Figura 15 se muestra la valoración del impacto de algunas actividades económicas

identificadas en el área de estudio (expansión agrícola, expansión urbana, tala ilegal y turismo insostenible) sobre la conservación de estas plantas en el ecosistema, evidenciando que la tala ilegal y la expansión agrícola son las más altas de todas, esto a su vez permite comprender el impacto de la actividad agrícola y su relación con la deforestación y la contaminación ambiental por el uso excesivo de productos químicos empleados para la producción y rentabilidad de los cultivos (Lyu *et al.*, 2021; Huang *et al.*, 2016).

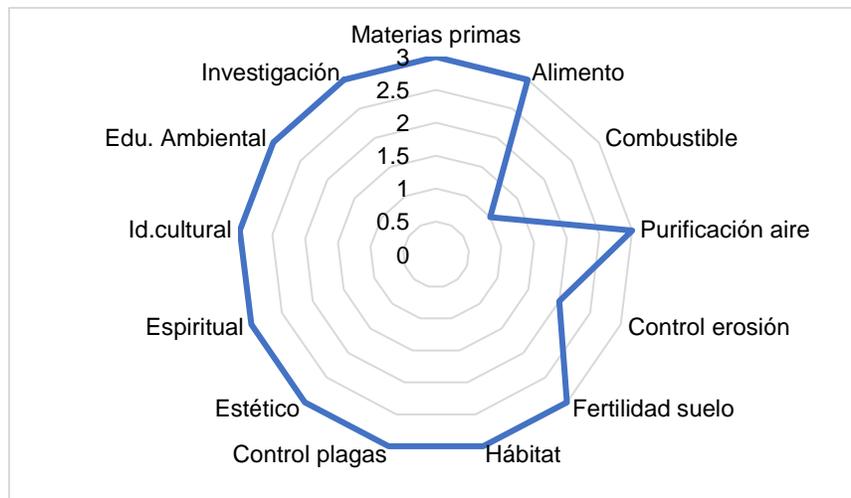


Figura 13. Valoración de los SE asociados a las especies de *Piper*.

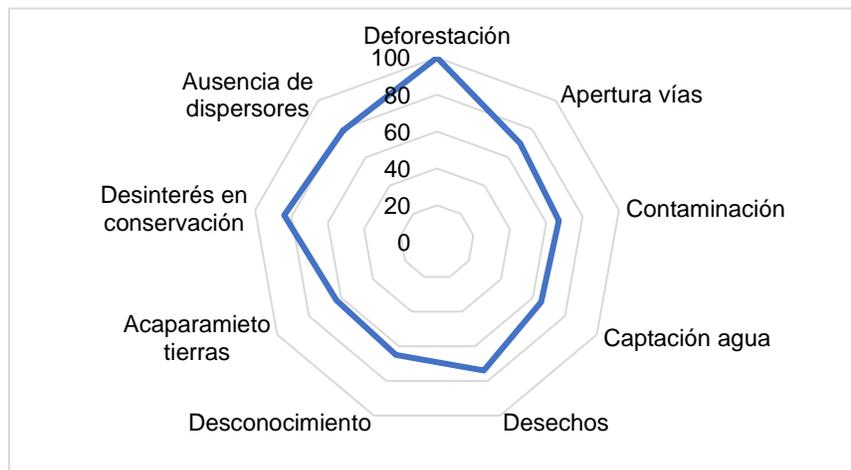


Figura 14. Problemáticas ambientales relacionadas con la reducción de plantas de *Piper* en el ecosistema.

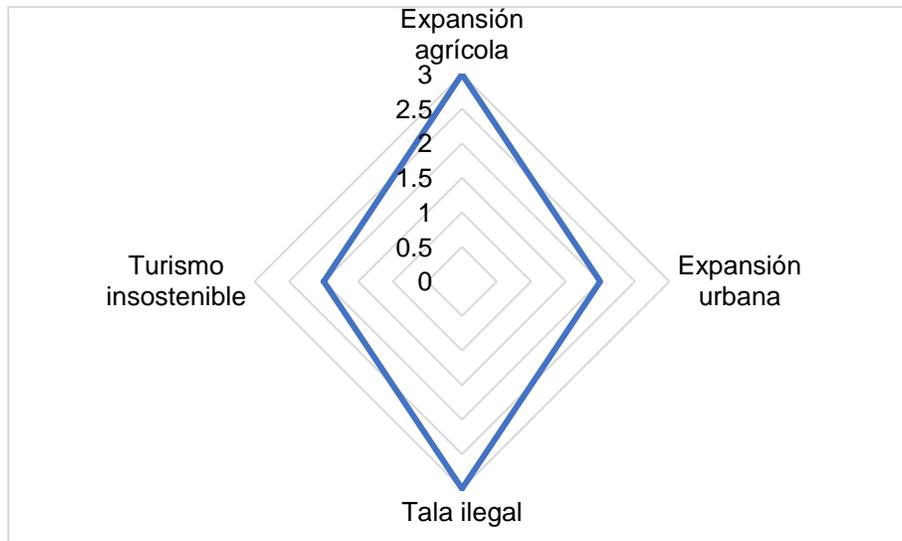


Figura 15. Valoración del impacto de algunas actividades económicas sobre la conservación de plantas de *Piper* en el ecosistema.

Finalmente, para conocer el interés por la conservación de las especies de *Piper* y sus SE, se pidió a todos los encuestados que después de la socialización preliminar de los datos obtenidos de actividad antifúngica de los aceites, su importancia en el desarrollo de esta investigación y sus funciones ecológicas, valoraran en una escala de 1 a 3 (bajo, medio, alto respectivamente) su interés por la conservación de los SE frente a los cuales estarían dispuestos a trabajar. De los 14 SE propuestos inicialmente, solamente se seleccionaron 10 sobre los cuales los encuestados estaban dispuestos a trabajar para conservarlos. Los SE de alto valor (3) fueron provisión de medicinas o recursos genéticos, purificación del aire, hábitat para otras especies, control de enfermedades/plagas, educación

ambiental e investigación científica, mientras que los de bajo valor (1) fueron provisión de alimentos, leña/combustible, disfrute espiritual e identidad cultural (Fig. 16).

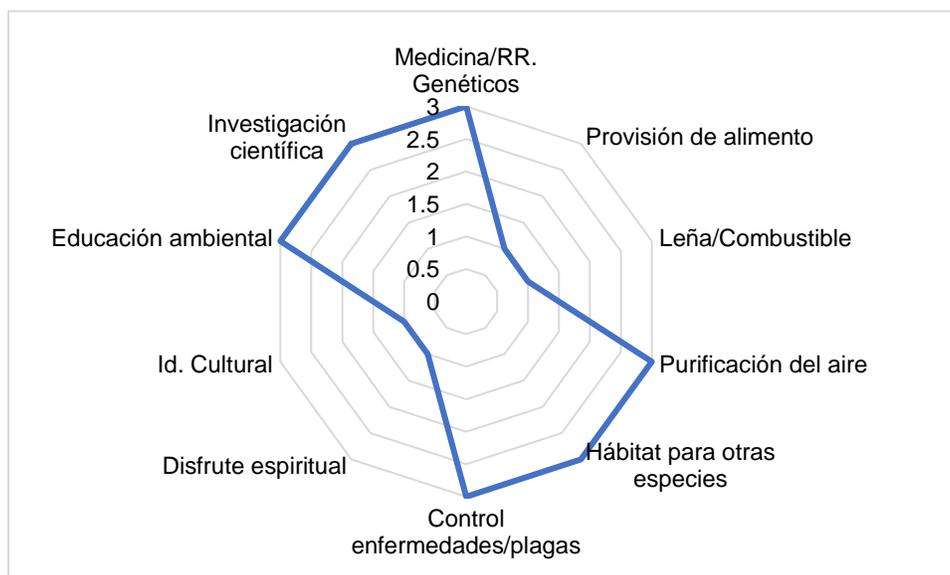


Figura 16. Valoración del interés por la conservación de los SE de las especies de *Piper*

Al evaluar en los encuestados el interés por la conservación de estas especies y los SE que generan, se determinó que el 43% ha realizado alguna acción de conservación por iniciativa propia, entre las que se pueden señalar actividades de manejo forestal (evitar tala, conservación in situ), trasplante, reforestación y conservación ex situ - en jardín-, pues reconocían de manera previa los SE que proporcionan estas especies para el beneficio del ser humano (MEA, 2005).

Los resultados de la actividad biológica de los aceites de *Piper* generaron cambios positivos en la percepción de los encuestados, principalmente en el grupo de los

agricultores y ambientalistas, quienes coincidieron en que los hallazgos de esta investigación, sirven como línea base para complementar la elaboración de los biopreparados artesanales que emplean para el control de algunas plagas agrícolas. Esto argumenta la razón por la cual el 88% de los encuestados afirmaron estar dispuestos a aportar en el futuro recursos económicos para la conservación de estas plantas, pues reconocen su importancia ecológica en el ecosistema y los beneficios que se pueden obtener a través de su uso y conservación (Barboza-Márquez *et al.*, 2007; Salazar *et al.*, 2013); en lo que respecta al 12% restante de los encuestados, aunque manifestaron no estar de acuerdo en aportar recursos económicos para este fin, afirmaron estar dispuestos a aportar capital humano en actividades que conlleven a la conservación de estas especies. En este sentido, las personas asociaron el interés por la conservación con oportunidades de investigación como una vía para potenciar aplicaciones en la medicina y agricultura (Chitiva *et al.*, 2021; Zhang *et al.*, 2020; Ladino, 2017; Parra 2011; Tangarife *et al.*, 2014) y como opción para gestionar el uso sostenible de este recurso, de manera que las presiones antrópicas no amenacen su existencia en los ecosistemas.

3.2.2. Construcción de un diagrama como representación del modelo mental colectivo acerca de las percepciones de las especies de *Piper* por parte de los actores clave

El desarrollo de las entrevistas, permitió identificar 8 variables y 27 categorías (Anexo 5) relacionadas con la valoración sociocultural de los SE de las plantas del género *Piper*. Con base en lo anterior se construyó el modelo mental colectivo que

permitió conocer como la valoración de los SE de estas especies inciden en el interés por la conservación, el uso sostenible la biodiversidad y el bienestar humano, aspectos fundamentales en el marco de la Evaluación de los Ecosistemas del Milenio (MEA, 2005). En la Figura 17, se observa que existen 4 variables que afectan positivamente la valoración de los SE de las plantas de *Piper*, esto influye de manera positiva en la conservación de las especies y genera beneficios que las personas pueden obtener directa o indirectamente como materias primas para medicinas, hábitat para otras especies, equilibrio ecosistémico, identidad cultural, purificación del aire y oportunidades de investigación/experimentación, además de favorecer los posibles escenarios en bioprospección. No obstante, existen otras variables que afectan negativamente la valoración de los SE asociados a las especies en estudio. En primer lugar se puede señalar el desconocimiento de las plantas de *Piper* como variable importante en la valoración de los SE, que esta influenciada por la pérdida de conocimientos o usos asociados debido a que se ha producido una pérdida en la transmisión de saberes a las generaciones actuales, a esto se le atribuye la poca capacidad de algunas personas para identificar las plantas en el ecosistema por sus características particulares o nombres comunes. En segundo lugar, cabe mencionar la variable problemáticas asociadas, la cual está influenciada por la tala ilegal, expansión agrícola, desinterés por conservar el recurso y dificultad de acceso a la información técnica/científica relacionada con las especies, aspectos que afectan negativamente su conservación. Adicionalmente, esta variable afecta negativamente los posibles escenarios futuros debido a que puede existir pérdida de estas y otras especies o recursos naturales, ocasionando desequilibrio

ecosistémico y vacíos de conocimiento. Hay que mencionar además que, existen dos ciclos de retroalimentación positiva. El primero es entre las variables beneficios que se obtienen de plantas de *Piper*, valoración de SE y conservación de especies de *Piper*, el segundo involucra esta última variable con los posibles escenarios y beneficios que se pueden obtener de las plantas en cuestión, lo cual indica que es importante la relación entre estos aspectos para conservar la biodiversidad, valorar los SE y mantener el bienestar humano tal como lo plantea lo contempla la evaluación de los servicios ecosistémicos (MEA, 2005).

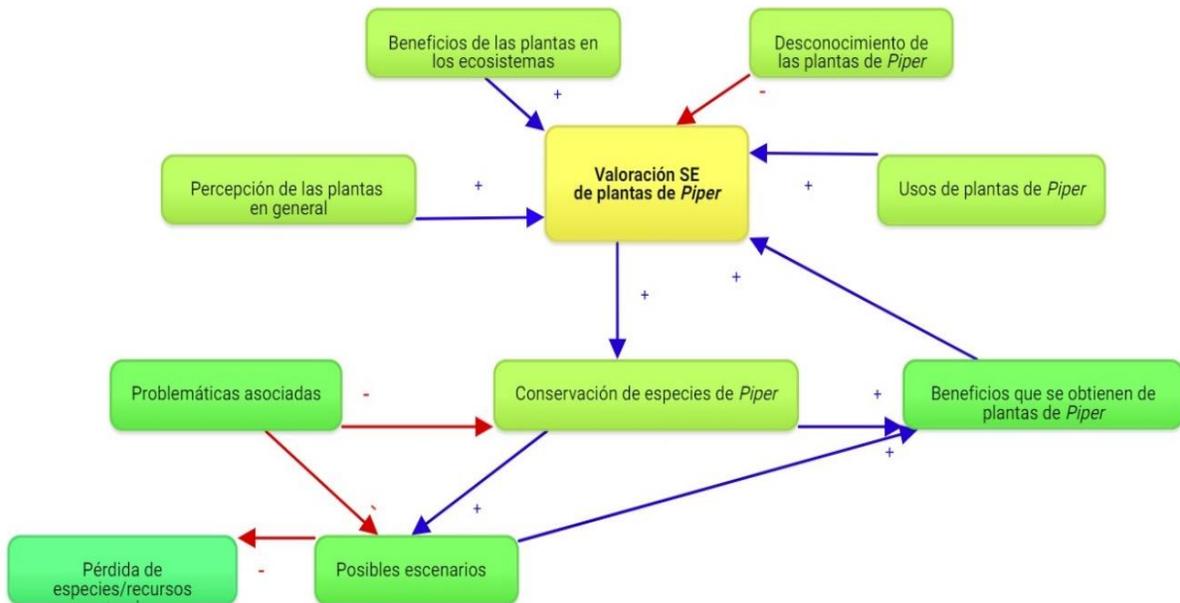


Figura 17. Diagrama que representa el modelo mental colectivo sobre la valoración de los SE de las plantas de *Piper* a partir de información obtenida de actores clave.

4. CONCLUSIONES

En este estudio se determinó el potencial antifúngico de 10 especies del género *Piper* sobre 5 cepas de hongos fitopatógenos pertenecientes a los géneros *Fusarium*, *Cladosporium*, *Alternaria* y *Geotrichum* aislados del cultivo de pitahaya amarilla (*Selenicereus megalanthus* K. Schum. ex Vaupel). Los resultados indicaron que los aceites con mayor potencial antifúngico fueron los obtenidos de *P. semperflorens* C.DC., *P. artanthe* C.DC. y *P. auritum* Kunth, los cuales lograron inhibir en más del 60% el crecimiento de los todos los hongos evaluados con concentraciones inferiores a 183 $\mu\text{L/L}$ aire. De los 15 compuestos evaluados, solamente los monoterpenos oxigenados terpinen-4-ol y timol tienen potencial para causar efectos inhibitorios sobre el crecimiento de todos los hongos con CI_{50} inferiores a 230 μM . Lo anterior demuestra que las especies de *Piper* son buenas candidatas para la obtención de productos naturales y seguros que contribuyan al manejo de enfermedades causadas por hongos fitopatógenos, como una oportunidad para la transición a la agricultura sostenible. En lo concerniente a la valoración sociocultural de las especies de *Piper* esta investigación permitió reducir los vacíos de conocimiento existente sobre la importancia y valoración de los SE asociados a estas plantas y su relación directa con el bienestar humano, esto generó en los actores involucrados el interés por la conservación futura de estas especies y una visión de oportunidades para el aprovechamiento sostenible en la agricultura para el control de agentes fitopatógenos que afectan la producción de cultivos de importancia económica en el departamento del Huila. Además se concluye que las *Piper* son un género reconocido en el ámbito científico y poco en el ámbito local (área de estudio).

4.1. Alternativas de conservación de las especies de *Piper* en el área de estudio

Promover la educación ambiental para aumentar el conocimiento acerca de estas especies y la importancia de los SE que contribuyen al bienestar humano.

Crear proyectos piloto para extrapolar resultados obtenidos a nivel *in vitro* a campo.

Incluir estas especies en proyectos de reforestación o recuperación de suelos aprovechando sus ventajas biológicas y ecológicas por ser plantas nativas, de rápido crecimiento, interacciones importantes con otras especies como aves o murciélagos, hábitos de crecimiento variado, entre otras.

Fomentar la conservación *in situ* (evitar tala) y *ex situ* (en jardín) y proyectar estrategias para su uso sostenible como la elaboración de productos artesanales para el aprovechamiento de sus propiedades terapéuticas.

Agradecimientos

A Dios por el don maravilloso de la vida. A mi esposo y mi familia por su apoyo incondicional. A la administración del departamento Huila por los recursos designados y a MinCiencias por su gestión durante para esta convocatoria 840 de 2019. Al grupo de investigación GIFUJ por permitirme desarrollar el trabajo de laboratorio en sus instalaciones, especialmente a mis profesores Juliet Prieto y Óscar Patiño, compañeros Stephanie Mahecha y Yohum Losada por sus enseñanzas y colaboración. Y a todas las personas que amablemente dispusieron el tiempo para el desarrollo de las encuestas y entrevistas.

BIBLIOGRAFÍA

Adams, R. P. (2017). *Identification of essential oil components by gas chromatography/mass spectrometry* (Vol. 456). Carol Stream, IL: Allured publishing corporation.

Alves, D. S. M.R., Lima, A. R., Freitas, F. C., Guimaraes, S. A. & Alves, F. V. (2011). Atividade Fungicida do Óleo Essencial de Piper marginatum L. (Piperaceae) Sobre Fusarium oxysporum (Schlecht) in Vitro. *Saúde e pesquisa* 4(1), 11-13.

Andel, T. V. (2006). Non-timber forest products: the value of wild plants. *Agrodok*, 39. Obtenido de <https://publications.cta.int/fr/publications/publication/1337/management-entrepreneurship/>

Andrade, T., Thies, W., Rogeri, P., Kalko, E. & Mello, M. (2013). Hierarchical fruit selection by Neotropical leaf-nosed bats (Chiroptera: Phyllostomidae). *Journal of Mammalogy*, 94(5), 1094-1101. Obtenido de: <http://www.jstor.org/stable/24575402>

Arango, J. U. & Iságama, M. E. (2012). Flora etnoodontológica de las comunidades indígenas Emberá del Atrato Medio antioqueño. *Revista Facultad de Odontología Universidad de Antioquia*, 23(2), 321-333. Obtenido de: http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0121-246X2012000100010&lng=en&tlng=es.

Autran, E. S., Neves, I. A., da Silva, C. S. B., Santos, G. K. N., da Câmara, C. A. G. & Navarro, D. M. A. F. (2009). Chemical composition, oviposition deterrent and

larvicidal activities against *Aedes aegypti* of essential oils from *Piper marginatum* Jacq. (Piperaceae). *Bioresource Technology*, 100(7), 2284-2288
<https://doi.org/10.1016/j.biortech.2008.10.055>.

Avella, E. & Rios-Motta, J., (2010). Main constituents and cytotoxic activity of the essential oil of *Piper artanthe*. *Chemistry of Natural Compounds* 46: 651–653.
doi:10.1007/s10600-010-9703-5

Ávila, M. C., Delgado, W. A., y Cuca, L. E. (2018). Fitoquímica de piperáceas de la región del Sumapaz medio y bajo occidental. En Universidad de Cundinamarca (Eds.), *Plantas de la familia piperaceae del Sumapaz medio y bajo occidental*. (pp. 147-184). Colombia: Universidad de Cundinamarca.
<https://doi.org/10.36436/9789585203204>

Ávila, M. C., Patiño, O. J., Prieto, J. A., Delgado, W. A., y Cuca, L. E. (2011). Flavonoides con actividad antifúngica aislados de *Piper septuplinervium* (Miq.) C. DC. (Piperáceas). *Revista Colombiana de Química*, 40(1), 25-33. Obtenido de:
<https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=3090/309026686002>

Aziz, K. M. (2018). Effects of torch ginger essential oil on pathogens, quality and storage of dragon fruit [*Hylocereus polyrhizus* (Weber) Britton & Rose]. Obtenido de
<http://psasir.upm.edu.my/id/eprint/76141/1/FP%202018%2065%20-%20IR.pdf>

Baliga, M. S., Fazal, F., Priya M. R., Ratnu, V. S. & Rai, M. P. (2013). The Wrongly Maligned Medicinal and Recreational Plant Possesses Potent Gastrointestinal and Hepatoprotective Effects. En Watson, R. R., Preedy, V. R., (Eds.) *Bioactive Food as Dietary Interventions for Liver and Gastrointestinal*

Disease, *Academic Press*, 673-684, doi.org/10.1016/B978-0-12-397154-8.00035-X.

Balvanera, P. (2012). Los servicios ecosistémicos que ofrecen los bosques tropicales. *Ecosistemas* 21(1), 136-147

Barboza-Márquez, K., Aguirre, L. & Peñaranda, F. (2007). *Historia Natural, Distribución y Conservación de los Murciélagos de Bolivia*. Eds: Editorial Centro de Ecología y Difusión Simón I. Patiño. Bolivia.

Barnett, H. L., & Hunter, B. B. (1998). *Illustrated Genera of Imperfect Fungi*. 4th Ed. Saint Paul: American Phytopathological Society

Bensch K., Braun U., Groenewald J.Z., Crous P.W. (2021). The genus *Cladosporium*. *Studies in Mycology*, 72, 1-401 <https://doi.org/10.3114/sim0003>.

Berglihn, E. C. & Gómez-Baggethun, E. (2021). Ecosystem services from urban forests: The case of Oslomarka, Norway. *Ecosystem Services*, 51. doi: 10.1016/j.ecoser.2021.101358

Bernal, R., Gradstein, S.R. & Celis, M. (Eds.). (2019). *Catálogo de plantas y líquenes de Colombia*. Instituto de Ciencias Naturales, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá. <http://catalogoplantasdecolombia.unal.edu.co>

Brilhante, R. S. N., Caetano, É. P., Lima, R. A. C., de Marques, F. J., Castelo-Branco, D., Melo, C. V. S., de Guedes, G. M., Oliveira, J. S., de Camargo, Z. P., de Moreira, J. L. B., Monteiro, A. J., Bandeira, T., Cordeiro, R. de A., Rocha, M. F. G., & Sidrim, J. J. C. (2016). Terpinen-4-ol, tyrosol, and β -lapachone as potential

antifungals against dimorphic fungi. *Brazilian Journal of Microbiology*, 47(4), 917-924. Doi.org/10.1016/j.bjm.2016.07.015

Brussaard, L., Caron, P., Campbell, B., Lipper, L., Mainka, S., Rabbinge, R., Babin, D., Pulleman, M. (2010). Reconciling biodiversity conservation and food security: scientific challenges for a new agriculture. *Curr Opin Environ Sustain.* 2, 34–42.

Byg, A., & Balslev, H. (2004). Diversity and Use of Palms in Zahamena, Eastern Madagascar. *Biodiversity & Conservation*, 10(6), 951-970
10.1023/A:1016640713643

Callejas, R. & Betancur, J. (1997). Especies Nuevas de Piperaceae de los Andes al Sur de Colombia. *Novon*, 7(1), 17-24. doi:10.2307/3392067

Cañar, D., Caetano, C., & Bonilla, M. (2014). Caracterización fisicoquímica y proximal del fruto de pitahaya amarilla [*Selenicereus megalanthus* (k. schum. ex vaupel) moran] cultivada en Colombia. *Revista Agronomía*, 22(1), 77-87.

Cárdenas, J. C., Castañeda, J. L., Castillo, D., Laverde, C., Pereira, M. F. y Rodríguez, L. Á. (2013). Encuestas y Entrevistas. En *Métodos complementarios para la valoración de la biodiversidad: una aproximación interdisciplinar*. (Eds.) Instituto de Investigaciones de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt y Universidad de los Andes. (pp. 112-153).

Cárdenas-Laverde, D. , Barbosa-Cornelio, R. & Coy-Barrera, E. (2021). Antifungal activity against fusarium oxysporum of botanical end-products: An integration of chemical composition and antifungal activity datasets to identify antifungal bioactives. *Plants*, 10(12), 2563. <http://dx.doi.org/10.3390/plants10122563>

Castañeda, M. I., Muñoz, A., Martínez, J. R & Stanschenko, E. E. (2007). Estudio de la composición química y la actividad biológica de los aceites esenciales de diez plantas aromáticas colombianas. *Scientia et Technica*, 1(33). <https://doi.org/10.22517/23447214.5845>

Chabert, A. & Sarthou, J. P. (2020). Conservation agriculture as a promising trade-off between conventional and organic agriculture in bundling ecosystem services. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 292. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2019.106815>.

Chacón, C., Bojórquez-Quintal, E., Caamal-Chan, G., Ruíz-Valdiviezo, V. M., Montes-Molina, J. A., Garrido-Ramírez, E. R., Rojas-Abarca, L. M. & Ruiz-Lau, N. (2021). Actividad antifúngica in vitro y composición química de Piper auritum Kunth Essential Aceite contra Fusarium oxysporum y Fusarium equiseti. *Agronomía* 11(6),1098. <https://doi.org/10.3390/agronomy11061098>

Chakor, J. N., Musso, L., Sardi, P. & Dallavalle, S. (2012). Synthesis and structure-activity relationships of antifungal crassinervic acid analogs. *Chemistry & Biodiversity*, 9(1), 41–47. <https://doi.org/10.1002/cbdv.201100288>

Chew, W. L. (1992). *Studies in Malesian Piperaceae II. Blumea: Biodiversity, Evolution and Biogeography of Plants*, 37(1), 159-164.

Chitiva-Chitiva, L. C., Ladino-Vargas, C., Cuca-Suárez, L. E., Prieto-Rodríguez, J. A., & Patiño-Ladino, O. J. (2021). Actividad antifúngica de componentes químicos de Piper pesaresanum C. DC. y Derivados contra Hongos Fitopatógenos del Cacao. *Moléculas* , 26 (11), 3256. <http://dx.doi.org/10.3390/molecules26113256>

Choi, H. W., Chung, I. M., Sin, M. H., Kim, Y. S., Sim, J. B., Kim, J. W., Kim, K. D, & Chun, S. C. (2007). The effect of spent mushroom sawdust compost mixes, calcium cyanamide and solarization on basal stem rot of the cactus *Hylocereus trigonus* caused by *Fusarium oxysporum*. *Crop Protect.*, 26, 162-168
[10.1016/j.cropro.2006.04.017](https://doi.org/10.1016/j.cropro.2006.04.017)

Conde-Hernández, L. A., Espinosa-Victoria, J. R. & Guerrero-Beltrán, J. Á. (2017). Supercritical extraction of essential oils of *Piper auritum* and *Porophyllum ruderale*. *The Journal of Supercritical Fluids*, 127, 97-102.
<https://doi.org/10.1016/j.supflu.2017.03.026>

Corlett, R. T. 2016. Plant diversity in a changing world: Status, trends, and conservation needs. *Plant Diversity* 38, 10–16.
<https://doi.org/10.1016/j.pld.2016.01.001>.

Correa, N. Y. M., Palomino G. L. R. & Marino, M. O. (2015). Actividad antioxidante y antifúngica de piperaceae de la flora colombiana. *Revista Cubana de Plantas Medicinales*, 20(2), 167-181. Obtenido de:
http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1028-47962015000200003&lng=es&tlng=es.

Creucí, M. C. (2011). Enfoque multidisciplinario para solución en el agro colombiano: El caso Pitahaya amarilla *Selenicereus megalanthus*. *Revista de la Asociación Colombiana de Ciencias Biológicas*, 1(23).

Curvelo, L. & Rojas, J. (2010). Revisión preliminar de medios de cultivo empleados en estudios de microorganismos de los phylums ascomycetes, Deuteromycetes y

oomycetes como agentes causantes de enfermedades en plantas (tesis de pregrado). Datos no publicados. Colombia. Facultad de ciencias. Pontificia Universidad Javeriana.

Da Silva, J. K., Silva, J. R., Nascimento, S. B., da Luz, S. F., Meireles, E. N., Alves, C. N., Ramos, A. R. & Maia, J. G. (2014). Antifungal activity and computational study of constituents from Piper divaricatum essential oil against Fusarium infection in black pepper. *Molecules*. 19(11),17926-42. doi: 10.3390/molecules191117926.

Daily, G. C. (1997). *Nature's Services: Societal Dependence on Natural Ecosystems*. (Eds.) Washington, DC: Island Press, (pp. 392).

DANE. Departamento Nacional de Planeación. (2019). *Ficha territorial de La Argentina Huila 2019*. Bogotá, Colombia. Obtenido de <http://www.laargentina-huila.gov.co/informacion-adicional/ficha-territorial-de-la-argentina-huila-2019>

Dawkins, L., Dolan, D., Fraser, M., Herrero, I., Hoffmann, P., Smith, P.K., Thornton, C., Toulmin, S.J. & Vermeulen, H.C.J. (2013). Godfray Sustainable intensification in agriculture: premises and policies. *Sci. Mag.*, 341, 33-34
10.1126/science.1234485

De Groot, R. S., Wilson, M. A., & Boumans, R. M. J. (2002). A typology for the classification, description and valuation of ecosystem functions, goods and services. *Ecological Economics*, 41(3), 393–408. [https://doi.org/10.1016/S0921-8009\(02\)00089-7](https://doi.org/10.1016/S0921-8009(02)00089-7)

Díaz, S., Demissew, S., Carabias, J., Joly, C., Lonsdale, M., Ash, N., Zlatanova, D. (2015). The IPBES Conceptual Framework – connecting nature and people. *Current*

Opinion in Environmental Sustainability, 14, 1–16.

<https://doi.org/10.1016/j.cosust.2014.11.002>

Díaz, S., Pascual, U., Stenseke, M., Martín-López, B., Watson, R. T., Molnár, Z. & Shirayama, Y. (2018). Assessing nature's contributions to people. *Science*, 359(6373), 270–272. <https://doi.org/10.1126/science.aap8826>

Dyer, L.A. & Palmer, A. D. N. (2004). Piper: a model genus for studies of phytochemistry, ecology, and evolution. (Eds.) Kluwer Academic/ Plenum Publisher, New York. (pp. 214).

FAO. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación. (2020). *El estado mundial de la agricultura y la alimentación 2020: Superar los desafíos relacionados con el agua en la agricultura*. Roma. <https://doi.org/10.4060/cb1447es>

FAO. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación. (2018). *Los contaminantes agrícolas: una grave amenaza para el agua del planeta*. Obtenido de <https://www.fao.org/news/story/es/item/1141818/icode/>

Fernández, M. D. S., Hernández-Ochoa, F., Carmona-Hernández, O., Luna-Rodríguez, M., Barrientos-Salcedo, C., Asselin, H. & Lozada-García, J.A. (2020). Chitosan-induced production of secondary metabolites in plant extracts of *Piper auritum*, and the in vitro fungicidal activity against *Fusarium oxysporum* f. sp. *vanillae*. *Mexican Journal of Phytopathology* 39. doi:10.18781/r.mex.fit.2006-6

Friedman J, Yaniv Z, Dafni A & Palewitch D. (1986). A preliminary classification of the healing potential of medicinal plants, based on a rational analysis of an ethno

pharmacological field survey among Bedouins in the Negev Desert, Israel. *Ethnopharmacology journal*. 16, 275–87. doi 10.1016/0378-8741(86)90094-2

García, B. H., (1992). Flora Medicinal de Colombia, Botánica Médica, vol. Tomo 1. (Eds.) Tercer Mundo, Bogotá (pp. 222 – 232).

Garnett, T., Appleby, M.C., Balmford, A., Bateman, I.J., Benton, T.G., Bloomer, P., Burlingame, B. M., Godoy, C. & Canteri, M. (2004). Efeitos protetor, curativo e erradicante de fungicidas no controle da ferrugem da soja causada por *Phakopsora pachyrhizi*, em casa de vegetação. *Fitopatologia brasileira*, 29 (1), 97-101. <https://doi.org/10.1590/S0100-41582004000100016>

González. R, G. C. & Bustos. M, S. D. (2017). *Evaluación De La Actividad Biológica De Dos Extractos Vegetales De Piper Arthante Y Piper Eriopodon Para El Control De Fusarium Oxysporum En Plántulas De Gulupa (Passiflora Edulis Sims)* (Tesis de pregrado). Datos no publicados. Universidad de Cundinamarca, Colombia.

Grillo, R. (2015). Impacto ambiental do uso de fungicidas na agricultura. (Tesis Ph.D). Universidade de Lisboa, Faculdade de Farmácia, Mestrado Integrado em Ciências Farmacêuticas. Brasil. Obtenido de <http://hdl.handle.net/10451/27003>

Havens, K., Kramer, A. T., & Guerrant J. (2014). Getting Plant Conservation Right (or Not): The Case of the United States. *International Journal of Plant Sciences* 175, 3–10. <https://doi.org/10.1086/674103>

Hawa, M., Salleh, B. & Latiffa Z. (2013). Characterization and intraspecific variation of *Fusarium semitectum* (Berkeley and Ravenel) associated with red-fleshed dragon

fruit (*Hylocereus polyrhizus* [Weber] Britton and Rose) in Malaysia. *African Journal of Biotechnol*, 9, 273-284.

Henao-Henao, E. D., Hernández-Medina, C. A., Salazar-González, C., Velasco-Belalcazar, M. L., & Gómez-López, E. D. (2018). Identificación molecular de aislamientos de *Fusarium* asociados a maracuyá en el Valle del Cauca, Colombia. *Agronomía Mesoamericana*, 29, 1. <https://doi.org/10.15517/ma.v29i1.27114>

Hoogendoorn, K., Barra, L., Waalwijk, C., Dickschat, J. S., Van der Lee, T. A. & Medema, M. H. (2018). Evolución y diversidad de grupos de genes biosintéticos en *Fusarium*. *Fronteras en microbiología* 9, 1158.

Huang, S., Lv, W., Bloszies, S., Shi, Q., Pan, X., & Zeng, Y. (2016). Effects of fertilizer management practices on yield-scaled ammonia emissions from croplands in China: a meta-analysis. *Field crops research*, 192, 118-125.

ICA. Instituto Colombiano Agropecuario. (2021). *Plaguicidas químicos*. Bogotá, Colombia: ICA. Obtenido de <https://www.ica.gov.co/areas/agricola/servicios/regulacion-y-control-de-plaguicidas-quimicos>

Isnard, S., Prospero, J., Wanke, S., Wagner, S. T., Samain, M. S., Trueba, S., Frenze, L., Neinhuis, C. & Rowe, N. P. (2012). Growth Form Evolution in Piperales and Its Relevance for Understanding Angiosperm Diversification: An Integrative Approach Combining Plant Architecture, Anatomy, and Biomechanics, *International Journal of Plant Sciences*, 173(6), 610-639. Obtenido de: <https://www.journals.uchicago.edu/doi/pdf/10.1086/665821>.

Jaramillo, A. M., P. (2001). Phylogeny and Patterns of Floral Diversity in the Genus Piper (Piperaceae). *American Journal of Botany* 88, 706-716.
<https://doi.org/10.1016/j.tetasy.2007.05.006>

Jaramillo, M. A. & Callejas, R. (2004). Current Perspectives on the Classification and Phylogenetics of the Genus Piper L. En Dyer, L.A. & Palmer A.D.N. *Piper: A Model Genus for Studies of Phytochemistry*. (Eds.) Springer, Boston, MA. Kluwer Academic / Plenum Publishers Ecology, and Evolution. (pp. 179-198).

Jiménez-Herrero, L. M. (2011). Los sistemas socioecológicos: entendiendo las relaciones entre la biodiversidad y el bienestar humano. *Biodiversidad en España: Base de la sostenibilidad ante el cambio global*, 1417, 105–118.
<https://doi.org/10.1016/B978-84-8174-950-2.50006-3>.

Oviedo-Sarmiento, J. S., Bustos, C. J. J., Delgado, Á. W. A., Cuca-Suárez, L. E., Herrera, D. E., Patiño-Ladino, O. J., Prieto-Rodríguez & J. A (2021). Fumigant toxicity and biochemical effects of selected essential oils toward the red flour beetle, *Tribolium castaneum* (Coleoptera: Tenebrionidae), *Pesticide Biochemistry and Physiology*, 179. doi.org/10.1016/j.pestbp.2021.104941.

Castro, J. A, Avincola, A. S., Endo, E. H., Veronezi, S. M, Dias, F. B. P, Machinski, M., Pilau, E. J, Abreu, B. A. (2018). Mycotoxigenic potential of *Alternaria alternata* isolated from dragon fruit (*Hylocereus undatus* Haw.) using UHPLC-Qtof-MS. *Postharvest Biology and Technology*, 141, 71-76,
<https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2018.03.012>

Castro, J. C., Harue, E., de Souza, M. R., Benassi, Z. E, Polonio, J. C., Pamphile, J. A, Ueda-Nakamura, T., Vataru, N. C., Prado, D. B, Benício, A. & de Abreu, F. (2017). Bioactivity of essential oils in the control of *Alternaria alternata* in dragon fruit (*Hylocereus undatus* Haw.) *Industrial Crops and Products*, 97, 101-109. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2016.12.007>.

Koneman, E. W., Allen, S. D., Janda, W. M., Schreckenber, P. C. & Winn, W.C. (2004). Diagnóstico microbiológico. Sexta edición. (Eds.) Editorial Médica Panamericana, Buenos Aires, Argentina. (pp. 1696).

Ladino, V. C. (2017). Potencialidad del género *Piper* como fuente de sustancias para el control de hongos fitopatógenos. (tesis MsC). Datos no publicados. Colombia. Facultad de Ciencias. Universidad Nacional de Colombia.

Lago, J. H., Ito, A. T., Fernandes, C. M., Young, M. C. & Kato, M. J. (2012). Secondary metabolites isolated from *Piper chimonantifolium* and their antifungal activity. *Nature agriculture research*, 26(8), 770-773. <https://doi.org/10.1080/14786419.2011.561435>

Leach, A. M., Galloway, J. N., Bleeker, A., Erisman, J. W., Kohn, R. & Kitzes, J. (2012). A nitrogen footprint model to help consumers understand their role in nitrogen losses to the environment. *Environmental Development*, 1(1), 40-66. <https://doi.org/10.1016/j.envdev.2011.12.005>

Lee, S. O., Choi, G.J., Jang, K. S., Lim, H. K., Cho, K. Y. & Kim, J. C. (2007). Antifungal Activity of Five Plant Essential Oils as Fumigant Against Postharvest and

Soilborne Plant Pathogenic Fungi. *The Plant Pathology Journal. Korean Society of Plant Pathology*. 23(2), 97-102. <https://doi.org/10.5423/ppj.2007.23.2.097>

Liere, H., Jha, S., Philpott, S.M. (2017). Intersection between biodiversity conservation, agroecology, and ecosystem services. *Agroecology and Sustainable Food Systems* 41, 723–760. doi:10.1080/21683565.2017.1330796

López, M. D. C., Solano, C. V. & Martínez, R. H. (2014). Fusarium spp. asociadas a clavel (*Dianthus caryophyllus* L.) en Baja California, México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 8, 1409-1415.

Lykke, A. M., Kristensen, M. K. & Ganaba, S. (2004). Valuation of local use and dynamics of 56 woody species in the Sahel. *Biodiversity and Conservation*, 13, 1961–1990. <https://doi.org/10.1023/B:BIOC.0000035876.3958^a.1a>

Lyu, Y., Raugei, M., Zhang, X., Mellino, S., & Ulgiati, S. (2021). Environmental cost and impacts of chemicals used in agriculture: An integration of energy and Life Cycle Assessment. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 151. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2021.111604>

Macêdo, C. G., Sousa, B. C. M. D., Fraga, S. S., Lourido, K. A., Lustosa, D. C., Silva, E. O. D. & Castro, K. C. F. (2018). Fitoquímica e atividade antifúngica do extrato de folhas de *Piper marginatum* no controle de fitopatógenos. *Revista Iberoamericana de Ciências Ambientais*, 9, 70–77. doi:10.6008/cbpc2179-6858.2018.006.0009

Moreno, M. L., Luna, L. V. & Escobar, L. N. (2021). Aislamiento e identificación del Agente Causal de la Pudrición Basal en Frutos de Pitahaya (*Selenicereus*

megalanthus) Cultivada en el Departamento del Huila. *Revista Agropecuaria y Agroindustrial La Angostura*, 7(1), 22–27. <https://doi.org/10.23850/raa.v7i1.3727>

Martínez-Salgado, S. J., Andrade-Hoyos, P., Romero-Arenas, O., Villa-Ruano, N., Landeta-Cortés, G., & Rivera-Tapia, J. A. (2021). In vitro control of *Fusarium* sp. associated with onion crop through *Trichoderma harzianum*. *Revista mexicana de fitopatología*, 39(2), 314-328. DOI <https://doi.org/10.18781/R.MEX.FIT.2101-4>

Martín-López, B., Gómez-Baggethun, E., García-Llorente, M., & Montes, C. (2014). Compensación entre dominios de valor en la evaluación de servicios de los ecosistemas *Ecol. Indic.*, 37, 220 – 228. doi.org/10.1016/j.ecolind.2013.03.003.

MEA. Millennium Ecosystem Assessment. (2005). Ecosystems and human well-being: Biodiversity synthesis. World Resources Institute., Washington, D.C.

Medina, J. A. & Kondo, T. (2012). Listado taxonómico de organismos que afectan la pitaya amarilla, *Selenicereus megalanthus* (K. Schum. ex Vaupel) Moran (Cactaceae) en Colombia. *Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 13(1), 41-46.

Mejía, H., Muriel, R. S., Montoya, C., y Reyes, S. C. (2013). Caracterización Morfológica in situ de Genotipos de *Hylocereus* spp. (Fam.: Cactaceae) de Antioquia y Córdoba (Colombia). *Rev. Fac. Nal. Agronomía Medellín*, 66(1), 6845-6854.

Obtenido de: <https://revistas.unal.edu.co/index.php/refame/article/view/39255/46754>

Mello, M. A. R., Schittini, G. M., Selig, P. & Bergallo, H. G. (2004). Prueba de los efectos del clima y la fructificación de las especies de gaitero (Piperaceae) sobre los patrones reproductivos del murciélago *Carollia perspicillata* (Phyllostomidae). *Acta*

Chiropterologica 6, 309–318. Disponible en línea: <https://doi.org/10.3161/001.006.0209>

Mikich, S. B, Bianconi, G. V, Maia, B. H. & Teixeira, S. D. (2003). Attraction of the fruit-eating bat *Carollia perspicillata* to *Piper gaudichaudianum* essential oil. *Journal of Chemical Ecology*, 29, 2379-2383. doi:10.1023/a:1026290022642

Menegoz, C., Cerda, C. & Saavedra, B. (2013). Conocimiento, uso y valoración de la flora vascular de tierra del fuego: el ejemplo de Karukinka. *Anales del Instituto de la Patagonia*, 41, 7–21. doi:10.4067/s0718-686x2013000100001

Milliken, W., y Albert, B. (1997). The Use of Medicinal Plants by the Yanomami Indians of Brazil, Part II. *Economic Botany*, 51(3), 264-278. Obtenido de: <http://www.jstor.org/stable/4255967>

MinAgricultura. Ministerio de agricultura y desarrollo rural. (2020). *El sector agropecuario creció 6,8% e impulsó la economía colombiana en el primer trimestre de 2020.* Colombia. Obtenido de <https://www.minagricultura.gov.co/noticias/Paginas/El-sector-agropecuario-creci%C3%B3-6,8-e-impuls%C3%B3-la-econom%C3%ADa-colombiana-en-el-primer-trimestre-de-2020-.aspx>

MinAgricultura. Ministerio de agricultura y desarrollo rural. Agronet. (2020). *Evaluaciones Agropecuarias, del Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural.* Bogotá, Colombia: ministerio de agricultura. Obtenido de <https://www.agronet.gov.co/71gricultura/Paginas/home.aspx?cod=4#>

Mohd H. A, Y. Kee, M. M. (2019). First Report of *Fusarium oxysporum* as a Causal Agent of Stem Blight of Red-Fleshed Dragon Fruit (*Hylocereus polyrhizus*) in Malaysia. *Plant Disease*, 103(5). doi 10.1094/PDIS-07-18-1249-PDN

Montoya-Bustamante, S., Rojas-Díaz, V., & Torres-González, A. M. (2016). Interacciones entre murciélagos frugívoros (Chiroptera: Phyllostomidae) y *Piper tuberculatum* (Piperaceae) en un bosque seco tropical en el Valle del Cauca, Colombia. *Revista de Biología Tropical*, 64 (2), 701+. <https://link.gale.com/apps/doc/A466284886/IFME?u=anon~6a690780&sid=googleScholar&xid=5d5e4d84>

Monzote, L., García, M., Montalvo, A. M., Scull, R., Miranda, M., 2010. Chemistry, cytotoxicity and antileishmanial activity of the essential oil from *Piper auritum*. *Memórias do Instituto Oswaldo Cruz*, 105: 168–173. doi:10.1590/s0074-02762010000200010

Morcía, C., Malnati, M. & Terzi, V. (2012). In vitro antifungal activity of terpinen-4-ol, eugenol, carvone, 1,8-cineole (eucalyptol) and thymol against mycotoxigenic plant pathogens. *Food Additives & Contaminants: Part A*, 29(3), 415-422. <https://doi.org/10.1080/19440049.2011.643458>

Muharini, R., Liu, Z., Lin, W. & Proksch, P. (2015). New amides from the fruits of *Piper retrofractum*. *Tetrahedron Letters*, 56(19), 2521–2525. <https://doi.org/10.1016/j.tetlet.2015.03.116>

Mundina, M., Vila, R., Tomi, F., Tomàs, X., Ciccíó, J. F., Adzet, T., Cañigüeral, S. (2001). Composition and chemical polymorphism of the essential oils from *Piper*

lanceaefolium. *Biochemical Systematics and Ecology*, 29(7), 739–748.
doi:10.1016/s0305-1978(00)00103-4

Mycobank (2021). Mycobank database. Fungal Databases, Nomenclature & Species Banks. Disponible en: <http://www.mycobank.org/>

Naz, T., Mosaddik, A., Rahman, M. M., Muhammad, I., Haque, M. E., & Cho, S. K. (2012). Antimicrobial, antileishmanial and cytotoxic compounds from *Piper chaba*. *Natural product research*, 26(11), 979-986.
<https://doi.org/10.1080/14786419.2010.535166>

NIST. National Institute of Standards and Technology. The NIST Web Book. Disponible en <http://www.https://webbook.nist.gov/>

Olaya, C. I. Y. (2020). Estudio fitoquímico de la parte aérea de la especie *Piper artanthe* c.dc. (piperaceae) y determinación de su actividad antifúngica frente al hongo *Fusarium oxysporum* f. sp. *passiflorae* (tesis MsC). Datos no publicados. Colombia. Facultad de ciencias. Universidad Nacional de Colombia.

Orav, A., Stulova, I., Kailas, T., Muurisepp, M. (2004). Effect of Storage on the Essential Oil Composition of *Piper nigrum* L. fruits of different ripening states. *Journal Agriculture Food Chem*, 52, 2582-86.

Parra, J. E. (2011). Contribución al estudio fitoquímico de la parte aérea de *Piper* cf. *Cumanense* Kunth (Piperaceae) (tesis MsC). Datos no publicados. Colombia. Facultad de ciencias. Universidad Nacional de Colombia. Obtenido de <http://bdigital.unal.edu.co/8097/1/197504.2011.pdf>

Parra, J. E., Patiño, O. J., Prieto, J. A., Delgado, W. A. & Cuca, L. E. (2013). A new benzoic acid derivative isolated from *Piper cf. cumanense* Kunth (Piperaceae) *Phytochemistry letters*, 6, 590-592. doi: 10.1016/j.phytol.2013.07.014

Patel, S. & Zhang S. (2017). First report of *Alternaria* blight of pitahaya (*Hylocereus undatus*) caused by *Alternaria* sp. in South Florida of the United States. *Plant Disease*, 101(6). Doi 10.1094/PDIS-11-16-1607-PDN

Patiño-Bayona, W. R., Plazas, E., Bustos-Cortés, J., Prieto-Rodríguez, J. A., Patiño-Ladino, O. J. (2021). Essential Oils of Three *Hypericum* Species from Colombia: Chemical Composition, Insecticidal and Repellent Activity Against *Sitophilus zeamais* Motsch. (Coleoptera: Curculionidae). *Records of natural products*, 15(2), 111-121. : <http://doi.org/10.25135/rnp.192.20.05.1665>

Patiño-Bayona, W., Prieto Rodríguez, J., Cuca Suárez, L., Ávila Murillo, M., & Patiño Ladino, O. (2018). Chemical and biological characterization of ethanolic extracts obtained from *Piper asperiusculum* and *Piper pertomentellum*. *Revista Cubana de Plantas Medicinales*, 23(1). Obtenido de <http://revplantasmedicinales.sld.cu/index.php/pla/article/view/576/241>

Paul, N.C., Deng, J.X., Lee, H.B. & Yu, S.-H. (2015). Characterization and Pathogenicity of *Alternaria burnsii* from Seeds of *Cucurbita maxima* (Cucurbitaceae) in Bangladesh. *Mycobiology* 43, 384–391. doi:10.5941/myco.2015.43.4.384

Pherobase. *Database of pheromones and semiochemicals*. Disponible en <http://www.pherobase.com/>

Pino, B. N., Meléndez, L. E. M. & Stashenko, E. E. (2009). Essential oil composition from two species of Piperaceae family grown in Colombia. *Journal of Chromatography Scientia*, 47(9), 804-7. doi: 10.1093/chromsci/47.9.804.

Plieninger, T., Bieling, C., Ohnesorge, B., Schaich, H., Schleyer, C. & Wolff, F. (2013). Exploring Futures of Ecosystem Services in Cultural Landscapes through Participatory Scenario Development in the Swabian Alb, Germany. *Ecology and Society* 18. doi:10.5751/es-05802-180339

Power, A. G. (2010). Ecosystem services and agriculture: tradeoffs and synergies. *Philosophical Transactions of the Royal Society. Biological Sciences* 365, 2959–2971. doi:10.1098/rstb.2010.0143

Prieto, J., Pabón, L., Patiño, O., Delgado, W., & Cuca, L. (2010). Constituyentes químicos, actividad insecticida y antifúngica. *Revista colombiana de química*, 39(2), 199-209. Obtenido de <https://revistas.unal.edu.co/index.php/rcolquim/article/view/20329>

Qi, S.-H., Xu, Y., Xiong, H.-R., Qian, P.-Y. & Zhang, S. (2020). Antifouling and antibacterial compounds from a marine fungus *Cladosporium* sp. F14. *World Journal of Microbiology and Biotechnology* 25, 399–406. doi:10.1007/s11274-008-9904-2

Quijano-Abril, M. A., Callejas-Posada, R. & Miranda-Esquivel, D. R. (2006). Areas of endemism and distribution patterns for Neotropical Piper species (Piperaceae). *Journal of Biogeography* 33, 1266-1278.

Ramírez, L. (2019). *El Huila ya exporta pitahaya amarilla. Al campo*. Bogotá, Colombia: Caracol radio. Obtenido de https://caracol.com.co/programa/2019/12/08/al_campo/1575805208_630342.html

Reyes, N. A., (2019). Evaluación de la actividad antifúngica de extractos del género piper contra moniliophthora perniciosa, agente causal de escoba de bruja en cacao (tesis de pregrado). Datos no publicados. Obtenido de <https://cutt.ly/JgbcmgK>

Reigada, J. B., Tcacenco, C. M., Andrade, L. H., Kato, M. J., Andre, L. M. & Lago, J. H. G. (2007). Chemical constituents from Piper marginatum Jacq. (Piperaceae)-antifungal activities and kinetic resolution of (RS)-marginatumol by Candida antarctica lipase (Novozym 435) *Tetrahedron*, 18, 1054-1058. <https://doi.org/10.1016/j.tetasy.2007.05.006>

Ribaudo, M., Greene, C., Hansen, L. & Hellerstein, D. (2020). Ecosystem services from agriculture: Steps for expanding markets. *Ecological Economics*, 69(11), 2085-2092. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2010.02.004>.

Rincón-Ruíz, A., Echeverry-Duque, M., Piñeros, A. M., Tapia, C. H., David, A., Arias-Arévalo, P. & Zuluaga, P. A. (2014). Valoración integral de la biodiversidad y los servicios ecosistémicos: Aspectos conceptuales y metodológicos. (Eds.) Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt (IAvH). Bogotá, D. C. Colombia (pp. 151).

Salazar, D., Kelm, D., & Marquis, R. (2013). Directed seed dispersal of Piper by Carollia perspicillata and its effect on understory plant diversity and folivory. *Ecology*, 94(11), 2444-2453. Obtenido de <http://www.jstor.org/stable/23597206>

Salazar-González, C., Serna-Cock, L. & Gómez-López, E. (2016). Molecular characterization of *Fusarium* associated with basal rot of the fruit of pitahaya (*Selenicereus megalanthus*). *Agron. Mesoam*, 27 (2), 277-285. doi: 10.15517/am.v27i2.21269

Sen, S. & Rengaiyan, G. A (2021). Review on the Ecology, Evolution and Conservation of *Piper* (Piperaceae) in India: Future Directions and Opportunities. *Bot. Rev.* <https://doi.org/10.1007/s12229-021-09269-9>

Sunila, E. S. & Kuttan, G. (2004). Immunomodulatory and antitumor activity of *Piper longum* Linn. and piperine. *Journal Ethnopharmacol*;90(2-3), 339-46.

Tangarife, C. V., Correa, B. J. B., Roa, L. V. C., Pino, B. N., Betancur, G. L. A., Durán, D. C., Stashenko, E. E. & Mesa, A. M. S. (2014) Anti-dermatophyte, anti-*Fusarium* and cytotoxic activity of essential oils and plant extracts of *Piper* genus, *Journal of Essential Oil Research*, 26:3, 221-227, doi 10.1080/10412905.2014.882279

Tucuch-Pérez, M. A., Bojorquez-Vega, J. J., Arredondo-Valdes, R., Hernández-Castillo, F. D., & Anguiano-Cabello, J. C. (2021). Actividad biológica de extractos vegetales del semidesierto mexicano para manejo de *Fusarium oxysporum* de tomate: Efectividad de extractos vegetales sobre *Fusarium oxysporum*. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*, 8(2). <https://doi.org/10.19136/era.a8n2.2745>

Ustáriz, F. F. J., Lucena, U. M. E. , Urbina, C. F. G., Villamizar, S., Danny, M., Rojas, F., Beltrán, L., Cordero, de R., Y. E., Ustáriz, L. J. E., González, R. L. C. & Araujo,

B. L. M. (2020). Composition and antibacterial activity of the piper eriopodon (miq.) c.dc. essential oil from the venezuelan andes. *Pharmacology 2*, 13-22. Obtenido de https://pharmacologyonline.silae.it/files/archives/2020/vol2/PhOL_2020_2_A002_Ustariz.pdf

Valencia-Chamorro, S., Páez, D. I., Guevara, J., I. & Vilaplana, R., P. (2016). Aislamiento, identificación, y evaluación de los hongos más agresivos aislados de pitahaya amarilla (*selenicereus megalanthus*) en el periodo poscosecha/isolation, identification, and evaluation of the most aggressive fungi isolated from yellow pitahaya (*selenicereus megalanthus*) in postharvest period. *Vitae*, 23, 810-S814.

Varón, F. (2006). Enfermedades de la pitahaya y su manejo. *Rev. Asiava* 73:19-21.

Vásquez, H. M. V, Arévalo, G. L. L. & Saucedo, V. C. (2007). Control de Enfermedades Fungosas en Frutos de Pitahaya (*Hylocereus undatus* L.) con Metiljasmonato. *Proc. Interamer. Soc. trop. hort.* 51, 97-103.

Vilaplana, R., Páez, D. & Valencia-Chamorro, S. (2017). Control of black rot caused by *Alternaria alternata* in yellow pitahaya (*Selenicereus megalanthus*) through hot water dips. *Food Science and Technology*, 82, 162-169 doi.org/10.1016/j.lwt.2017.04.042.

Vizcaíno-Páez, S., Pineda, R., García, C., Gil, J. & Durango, D. (2016). Metabolism and anti fungal activity of saffrole, dillapiole, and derivatives against *Botryodiplodia theobromae* and *Colletotrichum acutatum*. *Boletín Latinoamericano y del Caribe de Plantas Medicinales y Aromáticas*, 15(1), 1-17.

Wezel, A., Soboksa, G., McClelland, S., Delespesse, F. & Boissau, A. (2015). The blurred boundaries of ecological, sustainable, and agroecological intensification: a review. *Agron. Sustain. Dev* 35, 1283 – 1295. [10.1007/s13593-015-0333](https://doi.org/10.1007/s13593-015-0333)

Wright, E. R., Rivera, M. C., Ghirlanda, A. & Lori, G. A. (2007). Podredumbre basal de *Hylocereus undatus* causada por *Fusarium oxysporum* en Buenos Aires, Argentina. *Enfermedad de las plantas*, 91 (3), 323-323. <https://doi.org/10.1094/PDIS-91-3-0323A>

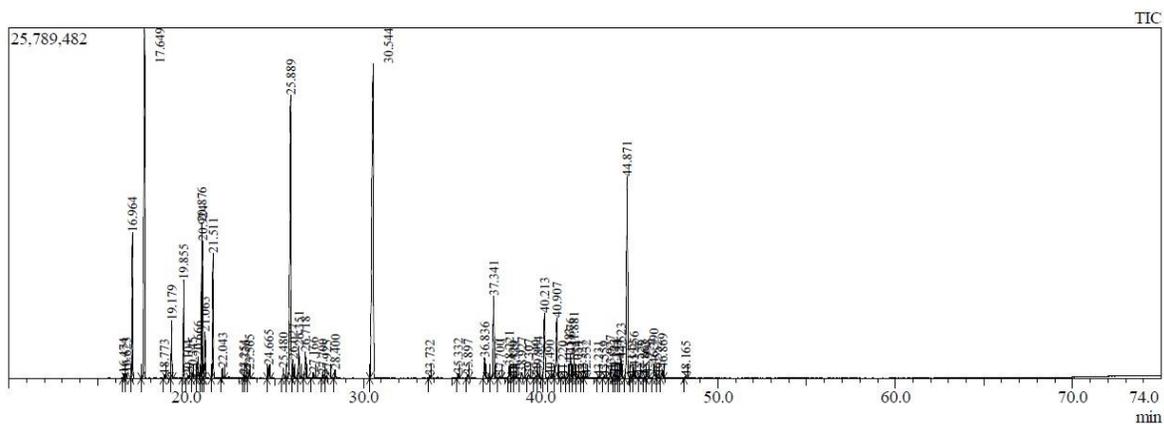
Xue, J. F., Pu, C., Liu, S. L., Zhao, X., Zhang, R., Chen, F. & Zhang, H. L. (2016). Carbon and nitrogen footprint of double rice production in Southern China. *Ecological indicators*, 64, 249-257.

Yousafi, Q., Shahzad, M. S., Saleem, S., Sajid, M. W., Hussain, A., Mehmood, A., Abid, A. D., Qandeel, A., Shahid, A., Khan, M. S., Mazhar, S., Ahmed, A. E. & Syaad, K. M. A. (2021). Terpinen-4-ol from *Trachyspermum ammi* is a potential and safer candidate molecule for fungicide development against *Alternaria solani*. *Journal of King Saud University – Science*, 31(1), 101747 <https://doi.org/10.1016/j.jksus.2021.101747>

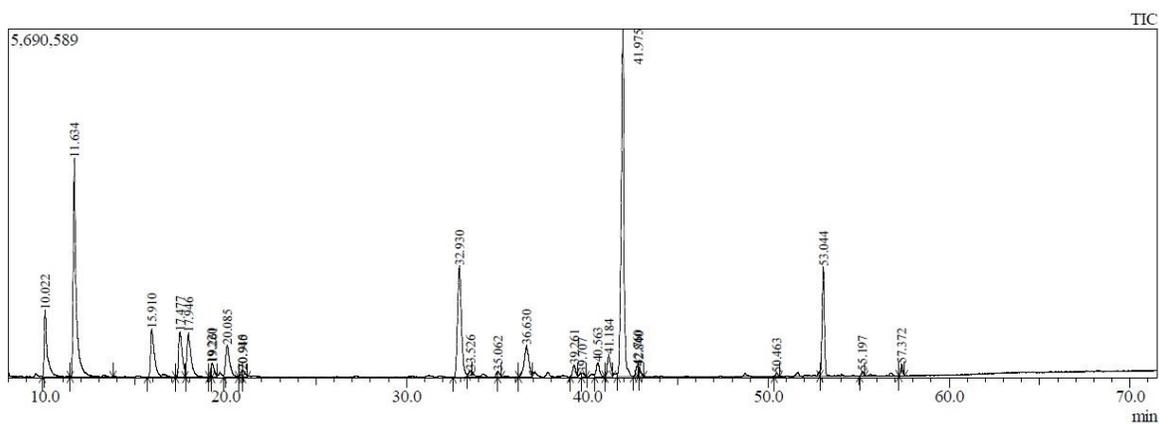
Zhang, W., Ricketts, T. H., Kremen, C., Carney, K., Swinton, S. M. (2007). Ecosystem services and dis-services to agriculture, *Ecological Economics*, 64(2), 253-260 <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2007.02.024>.

ANEXOS

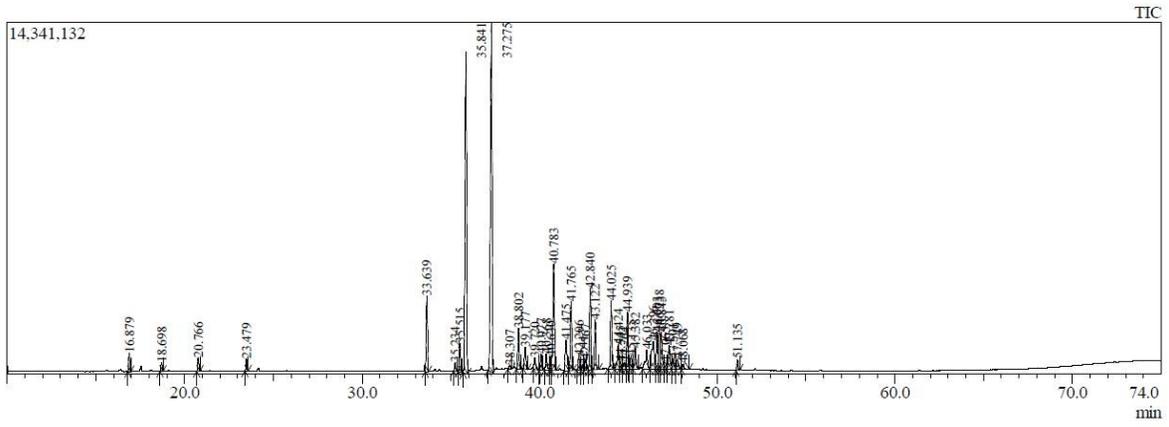
Anexo 1. Perfiles cromatográficos obtenidos para los AE en la columna DB-5MS y HP-INNOWAX.



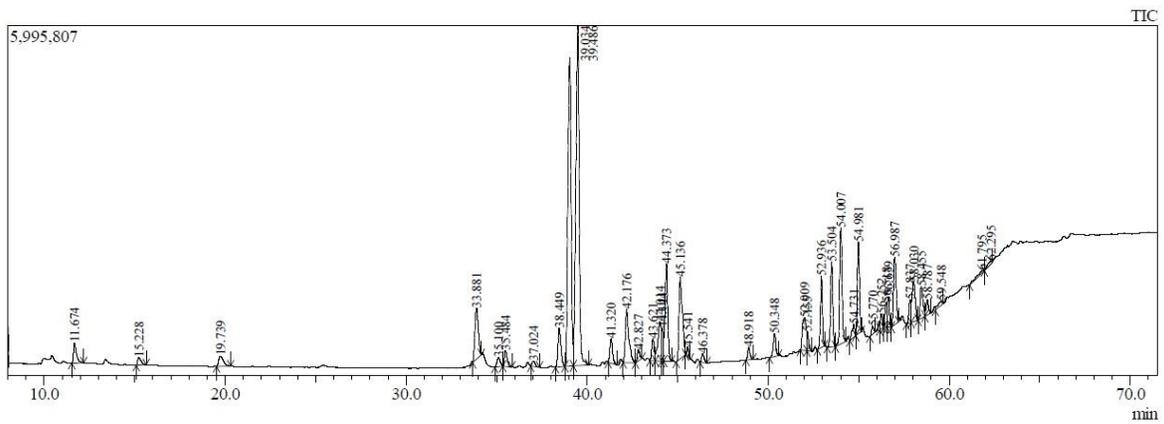
A) Perfil cromatográfico obtenido para el AE de *P. semperflorens*. Columna: apolar (DB-5MS)



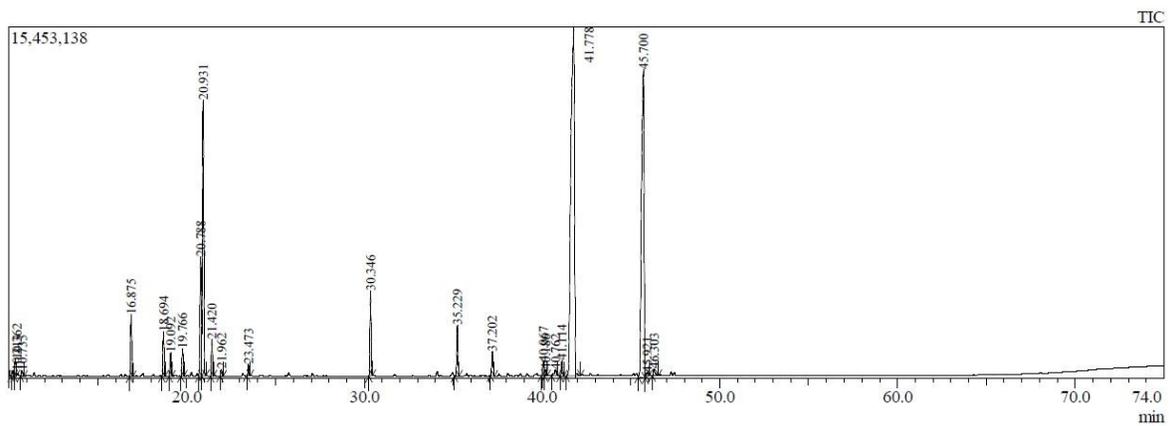
B) Perfil cromatográfico obtenido para el AE de *P. semperflorens*. Columna: polar (HP-INNOWAX)



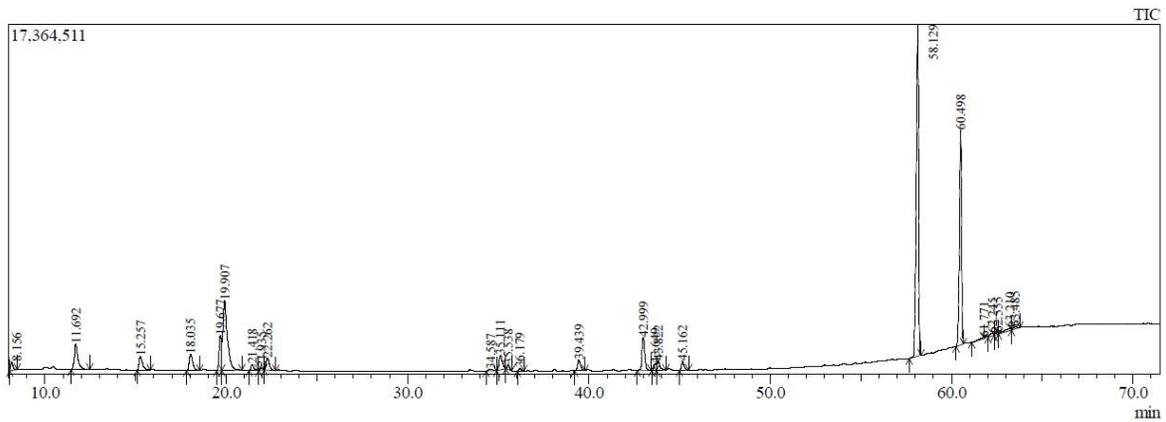
C) Perfil cromatográfico obtenido para el AE de *P. marequitense*. Columna: apolar (DB-5MS)



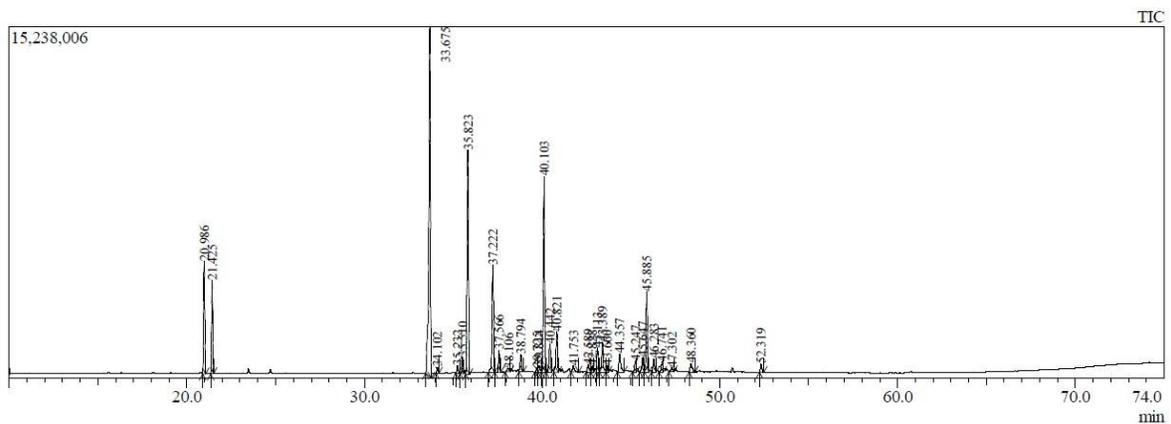
D) Perfil cromatográfico obtenido para el AE de *P. marequitense*. Columna: polar (HP-INNOWAX)



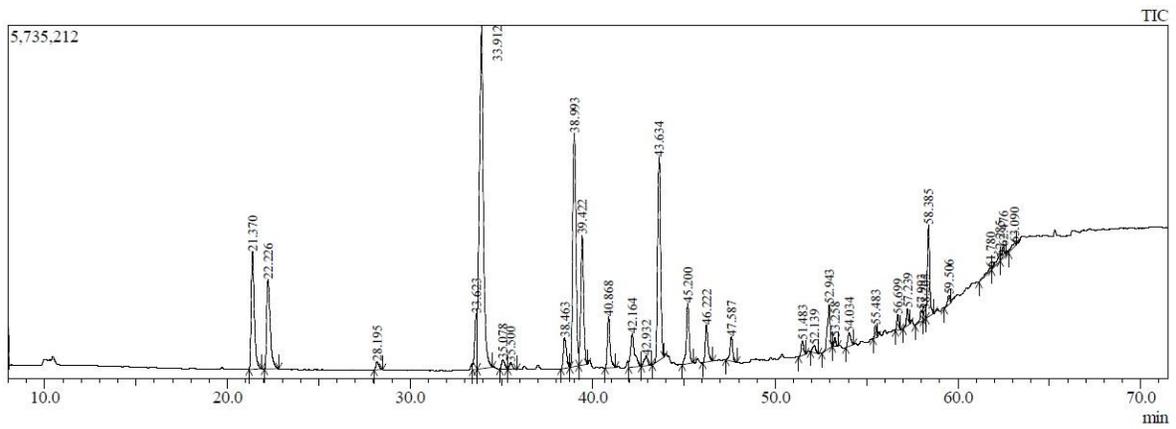
E) Perfil cromatográfico obtenido para el AE de *P. asperiusculum*. Columna: apolar (DB-5MS)



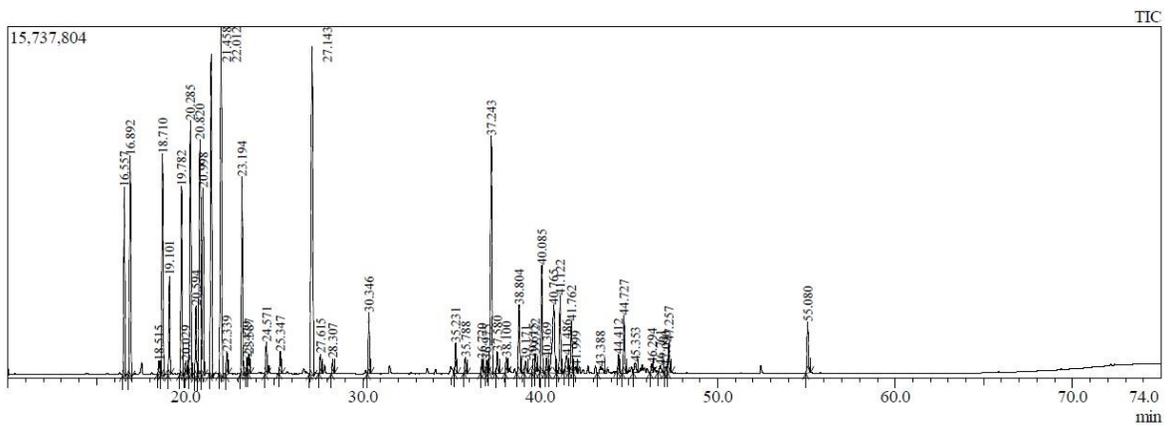
F) Perfil cromatográfico obtenido para el AE de *P. asperiusculum*. Columna: polar (HP-INNOWAX)



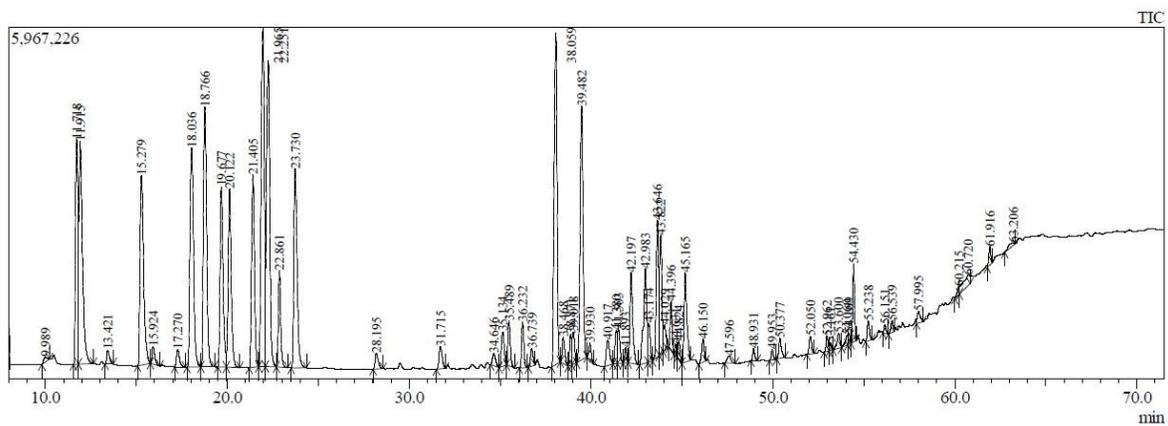
G) Perfil cromatográfico obtenido para el AE de *P. pertomentellum*. Columna: apolar (DB-5MS)



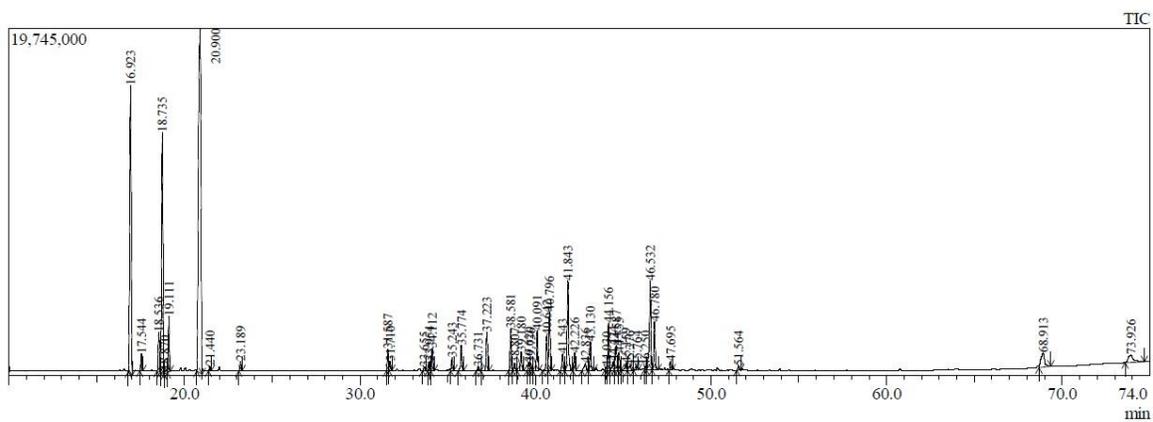
H) Perfil cromatográfico obtenido para el AE de *P. pertomentellum*. Columna: polar (HP-INNOWAX)



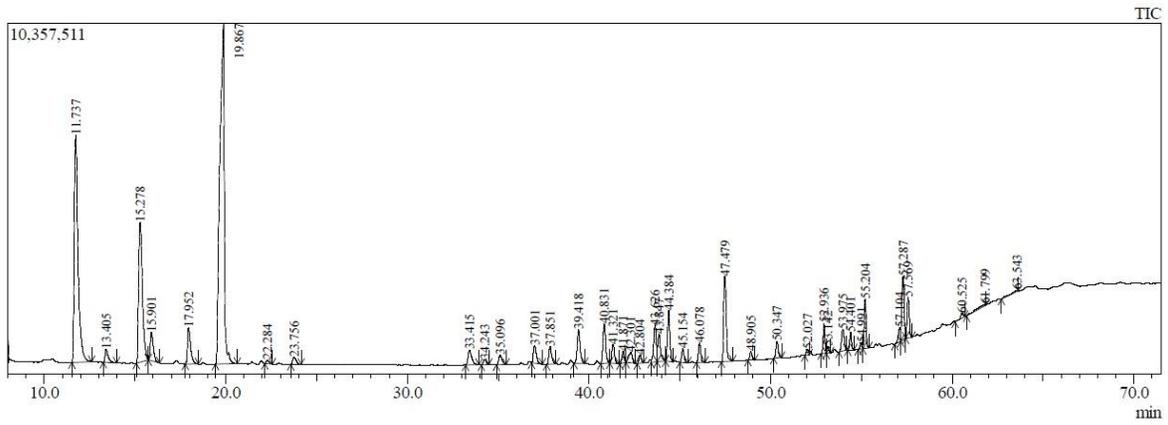
I) Perfil cromatográfico obtenido para el AE de *P. tenue*. Columna: apolar (DB-5MS)



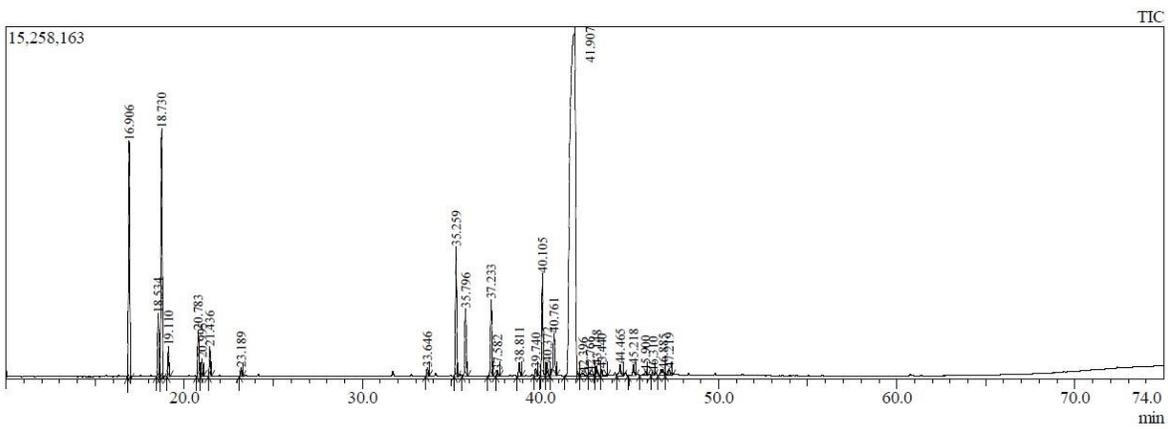
J) Perfil cromatográfico obtenido para el AE de *P. tenue*. Columna: polar (HP-INNOWAX)



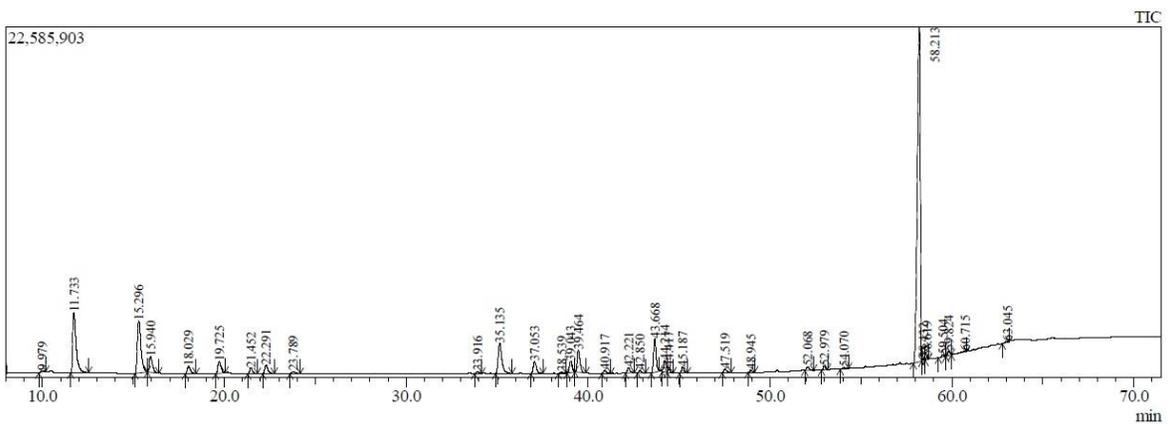
K) Perfil cromatográfico obtenido para el AE de *P. eriopodon*. Columna: apolar (DB-5MS)



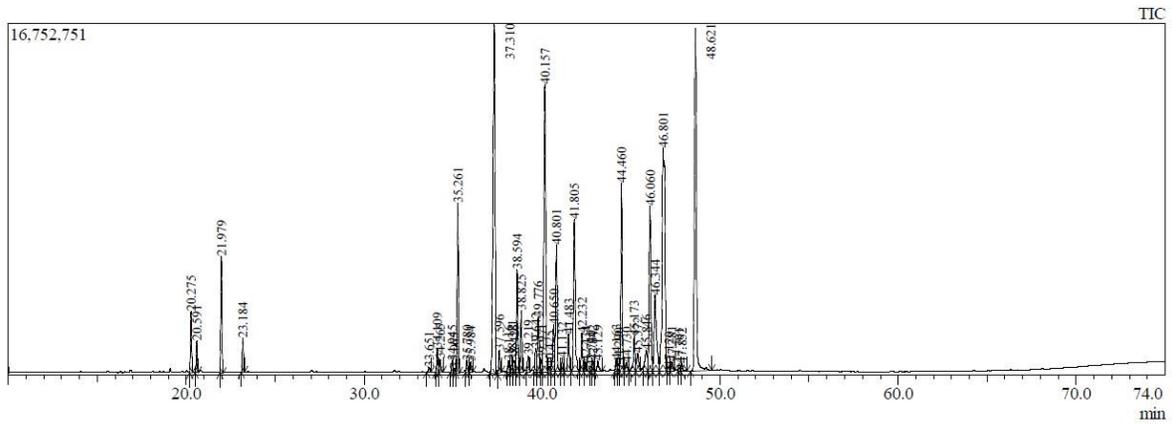
L) Perfil cromatográfico obtenido para el AE de *P. eriopodon*. Columna: polar (HP-INNOWAX)



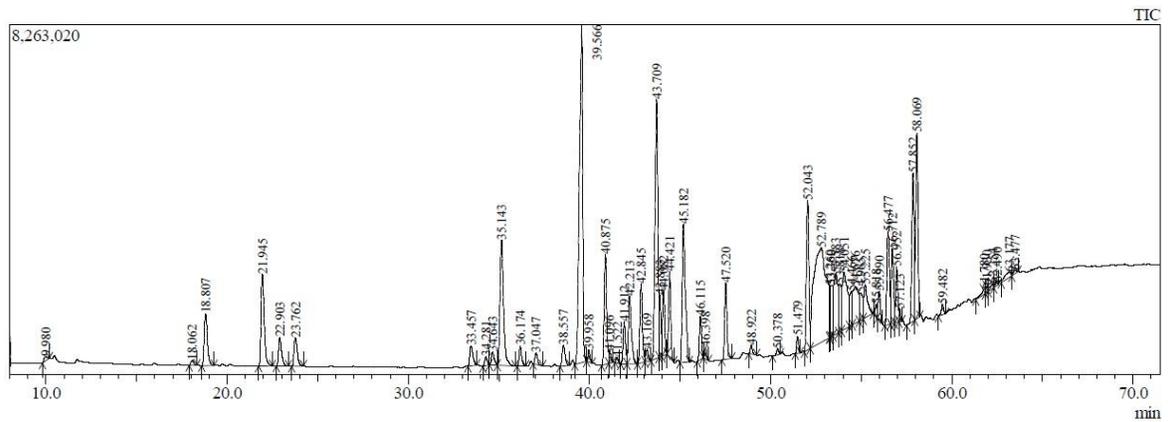
M) Perfil cromatográfico obtenido para el AE de *P. artanthe*. Columna: apolar (DB-5MS)



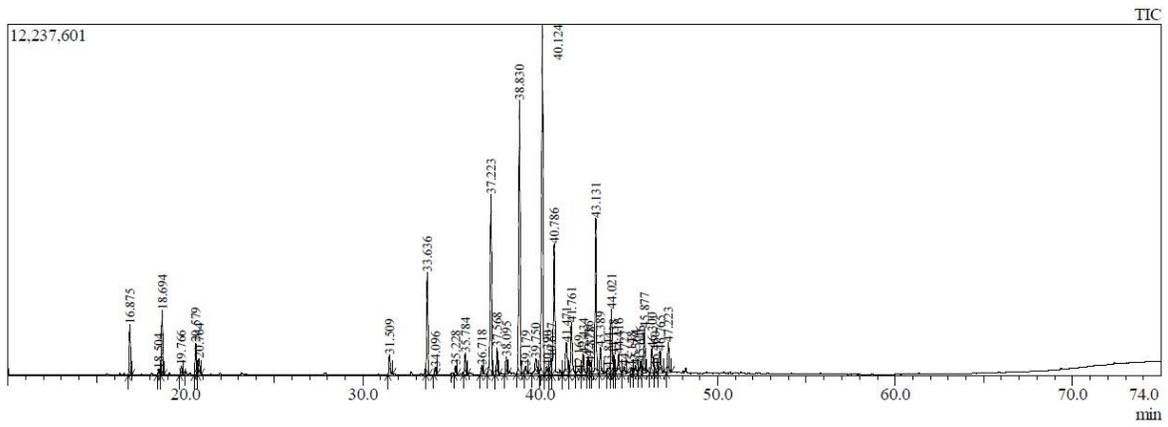
N) Perfil cromatográfico obtenido para el AE de *P. artanthe*. Columna: polar (HP-INNOWAX)



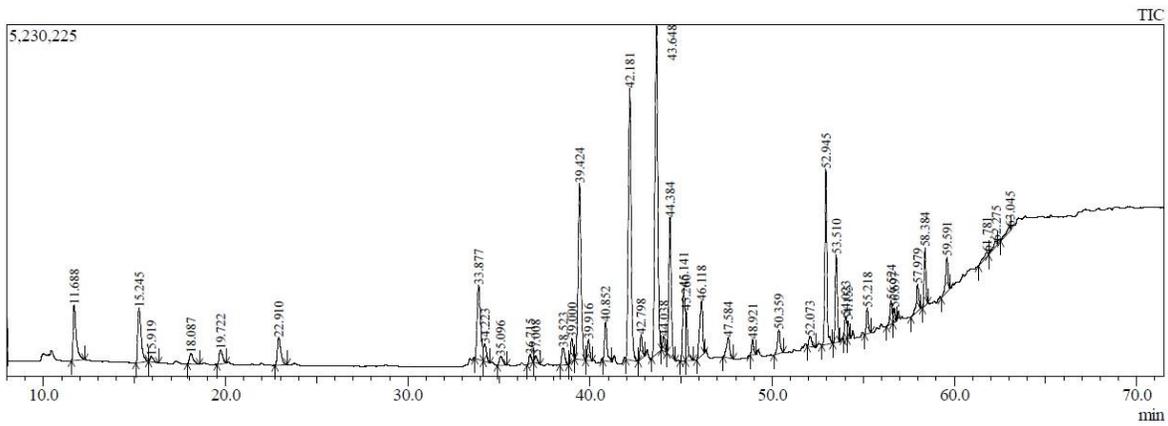
O) Perfil cromatográfico obtenido para el AE de *P. lanceifolium*. Columna: apolar (DB-5MS)



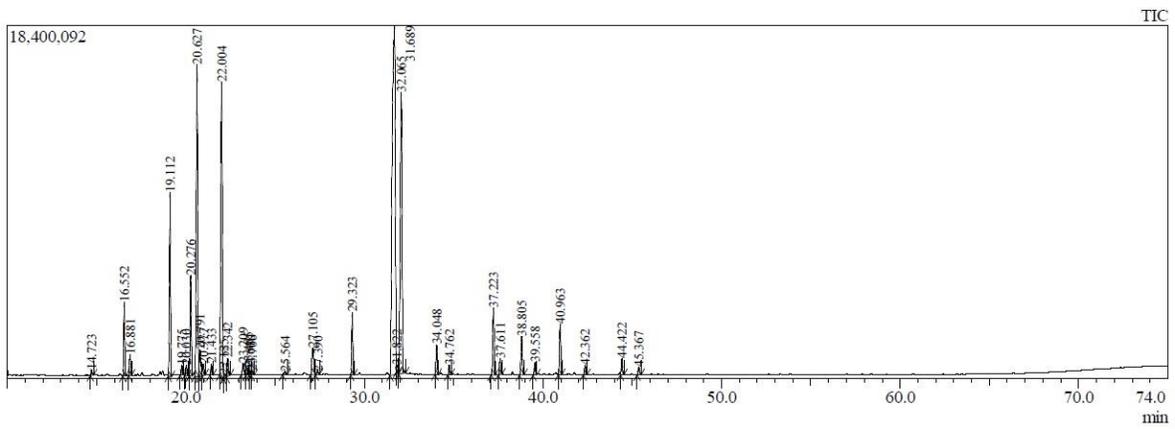
P) Perfil cromatográfico obtenido para el AE de *P. lanceifolium*. Columna: polar (HP-INNOWAX)



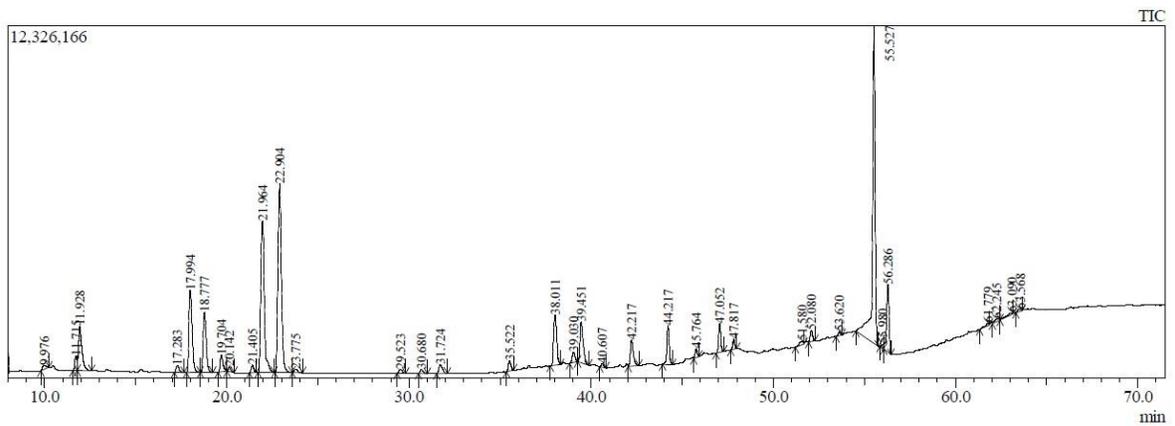
Q) Perfil cromatográfico obtenido para el AE de *P. marginatum*. Columna: apolar (DB-5MS)



R) Perfil cromatográfico obtenido para el AE de *P. marginatum* Columna: polar (HP-INNOWAX)



S) Perfil cromatográfico obtenido para el AE de *P. auritum*. Columna: apolar (DB-5MS)



T) Perfil cromatográfico obtenido para el AE de *P. auritum*. Columna: polar (HP-INNOWAX)

Anexo 2. Análisis de varianzas de medias ANOVA de AE y compuestos evaluados sobre los hongos fitopatógenos de estudio.

1way ANOVA					
Table Analyzed	Cladosporium sp.				
One-way analysis of variance					
P value	P<0.0001				
P value summary	***				
Are means signif. different? (P < 0.05)	Yes				
Number of groups	11				
F	181.7				
R squared	0.9880				
ANOVA Table	SS	df	MS		
Treatment (between columns)	28380	10	2838		
Residual (within columns)	343.6	22	15.62		
Total	28720	32			
Dunnett's Multiple Comparison Test	Mean Diff.	q	Significant? P < 0.05?	Summary	95% CI of diff
Benomilo vs Sp. S	-19.13	5.930	Yes	***	-28.68 to -9.584
Benomilo vs Sp. Ma	42.88	13.29	Yes	***	33.33 to 52.43
Benomilo vs Sp. A	-19.83	6.147	Yes	***	-29.38 to -10.28
Benomilo vs Sp. P	65.23	20.22	Yes	***	55.68 to 74.78
Benomilo vs Sp. T	23.80	7.376	Yes	***	14.25 to 33.35
Benomilo vs Sp. E	38.27	11.86	Yes	***	28.72 to 47.82
Benomilo vs Sp. Art	-18.50	5.733	Yes	***	-28.05 to -8.951
Benomilo vs Sp. L	25.73	7.975	Yes	***	16.18 to 35.28
Benomilo vs Sp. M	36.23	11.23	Yes	***	26.68 to 45.78
Benomilo vs Sp. Au	-20.47	6.343	Yes	***	-30.02 to -10.92

A) Análisis de varianza ANOVA de ICM de AE de *Piper* frente a *Cladosporium sp.*

1way ANOVA					
Table Analyzed	Geotrichum sp.				
One-way analysis of variance					
P value	P<0.0001				
P value summary	***				
Are means signif. different? (P < 0.05)	Yes				
Number of groups	11				
F	970.3				
R squared	0.9977				
ANOVA Table	SS	df	MS		
Treatment (between columns)	28620	10	2862		
Residual (within columns)	64.88	22	2.949		
Total	28680	32			
Dunnett's Multiple Comparison Test	Mean Diff.	q	Significant? P < 0.05?	Summary	95% CI of diff
Benomilo vs Sp. S	-54.23	38.68	Yes	***	-58.38 to -50.08
Benomilo vs Sp. Ma	-49.53	35.33	Yes	***	-53.68 to -45.38
Benomilo vs Sp. A	-81.97	58.46	Yes	***	-86.12 to -77.82
Benomilo vs Sp. P	-31.57	22.51	Yes	***	-35.72 to -27.42
Benomilo vs Sp. T	-86.87	61.95	Yes	***	-91.02 to -82.72
Benomilo vs Sp. E	-15.77	11.24	Yes	***	-19.92 to -11.62
Benomilo vs Sp. Art	-89.73	64.00	Yes	***	-93.88 to -85.58
Benomilo vs Sp. L	-70.37	50.18	Yes	***	-74.52 to -66.22
Benomilo vs Sp. M	-59.30	42.29	Yes	***	-63.45 to -55.15
Benomilo vs Sp. Au	-90.30	64.40	Yes	***	-94.45 to -86.15

B). Análisis de varianza ANOVA de ICM de AE de *Piper* frente a *Geotrichum sp.*

1way ANOVA					
Table Analyzed	F. oxysporum				
One-way analysis of variance					
P value	P<0.0001				
P value summary	***				
Are means signif. different? (P < 0.05)	Yes				
Number of groups	11				
F	1676				
R squared	0.9987				
ANOVA Table	SS	df	MS		
Treatment (between columns)	11530	10	1153		
Residual (within columns)	15.13	22	0.6876		
Total	11540	32			
Dunnett's Multiple Comparison Test	Mean Diff.	q	Significant? P < 0.05?	Summary	95% CI of diff
Benomilo vs Sp. S	-38.67	57.11	Yes	***	-40.67 to -36.66
Benomilo vs Sp. Ma	-18.40	27.18	Yes	***	-20.40 to -16.40
Benomilo vs Sp. A	-52.40	77.40	Yes	***	-54.40 to -50.40
Benomilo vs Sp. P	-18.30	27.03	Yes	***	-20.30 to -16.30
Benomilo vs Sp. T	-31.40	46.38	Yes	***	-33.40 to -29.40
Benomilo vs Sp. E	-41.93	61.94	Yes	***	-43.94 to -39.93
Benomilo vs Sp. Art	-55.20	81.53	Yes	***	-57.20 to -53.20
Benomilo vs Sp. L	-34.70	51.25	Yes	***	-36.70 to -32.70
Benomilo vs Sp. M	-11.43	16.89	Yes	***	-13.44 to -9.430
Benomilo vs Sp. Au	-62.53	92.36	Yes	***	-64.54 to -60.53

C) Análisis de varianza ANOVA de ICM de AE de *Piper* frente a *F. oxysporum*.

1way ANOVA					
Table Analyzed	F. incarnatum				
One-way analysis of variance					
P value	P<0.0001				
P value summary	***				
Are means signif. different? (P < 0.05)	Yes				
Number of groups	11				
F	308.4				
R squared	0.9929				
ANOVA Table					
	SS	df	MS		
Treatment (between columns)	17310	10	1731		
Residual (within columns)	123.5	22	5.613		
Total	17430	32			
Dunnett's Multiple Comparison Test					
	Mean Diff.	q	Significant? P < 0.05?	Summary	95% CI of diff
Benomilo vs Sp. S	-45.23	23.38	Yes	***	-50.96 to -39.51
Benomilo vs Sp. Ma	-11.80	6.100	Yes	***	-17.52 to -6.075
Benomilo vs Sp. A	-39.07	20.20	Yes	***	-44.79 to -33.34
Benomilo vs Sp. P	3.267	1.689	No	ns	-2.458 to 8.992
Benomilo vs Sp. T	-16.40	8.478	Yes	***	-22.12 to -10.68
Benomilo vs Sp. E	1.333	0.6893	No	ns	-4.392 to 7.058
Benomilo vs Sp. Art	-43.70	22.59	Yes	***	-49.42 to -37.98
Benomilo vs Sp. L	23.30	12.04	Yes	***	17.58 to 29.02
Benomilo vs Sp. M	-19.70	10.18	Yes	***	-25.42 to -13.98
Benomilo vs Sp. Au	-50.00	25.85	Yes	***	-55.72 to -44.28

D) Análisis de varianza ANOVA de ICM de AE de *Piper* frente a *F. incarnatum*.

1way ANOVA					
Table Analyzed	A. burnsii				
One-way analysis of variance					
P value	P<0.0001				
P value summary	***				
Are means signif. different? (P < 0.05)	Yes				
Number of groups	11				
F	358.9				
R squared	0.9939				
ANOVA Table	SS	df	MS		
Treatment (between columns)	17090	10	1709		
Residual (within columns)	104.8	22	4.762		
Total	17200	32			
Dunnett's Multiple Comparison Test	Mean Diff.	q	Significant? P < 0.05?	Summary	95% CI of diff
Benomilo vs Sp. S	-63.43	35.60	Yes	***	-68.71 to -58.16
Benomilo vs Sp. Ma	-25.50	14.31	Yes	***	-30.77 to -20.23
Benomilo vs Sp. A	-18.90	10.61	Yes	***	-24.17 to -13.63
Benomilo vs Sp. P	-6.433	3.611	Yes	*	-11.71 to -1.161
Benomilo vs Sp. T	-24.07	13.51	Yes	***	-29.34 to -18.79
Benomilo vs Sp. E	-44.80	25.14	Yes	***	-50.07 to -39.53
Benomilo vs Sp. Art	-56.27	31.58	Yes	***	-61.54 to -50.99
Benomilo vs Sp. L	-10.50	5.893	Yes	***	-15.77 to -5.227
Benomilo vs Sp. M	-32.80	18.41	Yes	***	-38.07 to -27.53
Benomilo vs Sp. Au	-71.23	39.98	Yes	***	-76.51 to -65.96

E) Análisis de varianza ANOVA de ICM de AE de *Piper* frente a *A. burnsii*.

1way ANOVA					
Table Analyzed	Cladosporium sp.				
One-way analysis of variance					
P value	P<0.0001				
P value summary	***				
Are means signif. different? (P < 0.05)	Yes				
Number of groups	3				
F	202.3				
R squared	0.9854				
ANOVA Table	SS	df	MS		
Treatment (between columns)	6464	2	3232		
Residual (within columns)	95.85	6	15.98		
Total	6560	8			
Dunnett's Multiple Comparison Test	Mean Diff.	q	Significant? P < 0.05?	Summary	95% CI of diff
Benomilo vs Timol	49.13	15.06	Yes	***	39.79 to 58.48
Benomilo vs Terpinen-4-ol	-13.13	4.024	Yes	*	-22.48 to -3.791

F). Análisis de varianza ANOVA de ICM de compuestos (timol y terpinen-4-ol) de *Piper* frente a *Cladosporium* sp.

1way ANOVA					
Table Analyzed	Geotrichum sp.				
One-way analysis of variance					
P value	P<0.0001				
P value summary	***				
Are means signif. different? (P < 0.05)	Yes				
Number of groups	3				
F	9852				
R squared	0.9997				
ANOVA Table	SS	df	MS		
Treatment (between columns)	13680	2	6842		
Residual (within columns)	4.167	6	0.6944		
Total	13690	8			
Dunnett's Multiple Comparison Test	Mean Diff.	q	Significant? P < 0.05?	Summary	95% CI of diff
Benomilo vs Timol	-92.87	136.5	Yes	***	-94.81 to -90.92
Benomilo vs Terpinen-4-ol	-65.77	96.66	Yes	***	-67.71 to -63.82

G) Análisis de varianza ANOVA de ICM de compuestos (timol y terpinen-4-ol) de *Piper* frente a *Geotrichum* sp.

1way ANOVA					
Table Analyzed	F.oxysporum.				
One-way analysis of variance					
P value	P<0.0001				
P value summary	***				
Are means signif. different? (P < 0.05)	Yes				
Number of groups	3				
F	225.2				
R squared	0.9869				
ANOVA Table					
	SS	df	MS		
Treatment (between columns)	6011	2	3006		
Residual (within columns)	80.09	6	13.35		
Total	6091	8			
Dunnett's Multiple Comparison Test					
	Mean Diff.	q	Significant? P < 0.05?	Summary	95% CI of diff
Benomilo vs Timol	-58.27	19.53	Yes	***	-66.81 to -49.73
Benomilo vs Terpinen-4-ol	-50.57	16.95	Yes	***	-59.11 to -42.03

H). Análisis de varianza ANOVA de ICM de compuestos (timol y terpinen-4-ol) de *Piper* frente a *F. oxysporum*.

1way ANOVA					
Table Analyzed	F. incarnatum.				
One-way analysis of variance					
P value	P<0.0001				
P value summary	***				
Are means signif. different? (P < 0.05)	Yes				
Number of groups	3				
F	4094				
R squared	0.9993				
ANOVA Table					
	SS	df	MS		
Treatment (between columns)	14530	2	7265		
Residual (within columns)	10.65	6	1.774		
Total	14540	8			
Dunnett's Multiple Comparison Test					
	Mean Diff.	q	Significant? P < 0.05?	Summary	95% CI of diff
Benomilo vs Timol	-92.87	85.38	Yes	***	-95.98 to -89.75
Benomilo vs Terpinen-4-ol	-74.67	68.65	Yes	***	-77.78 to -71.55

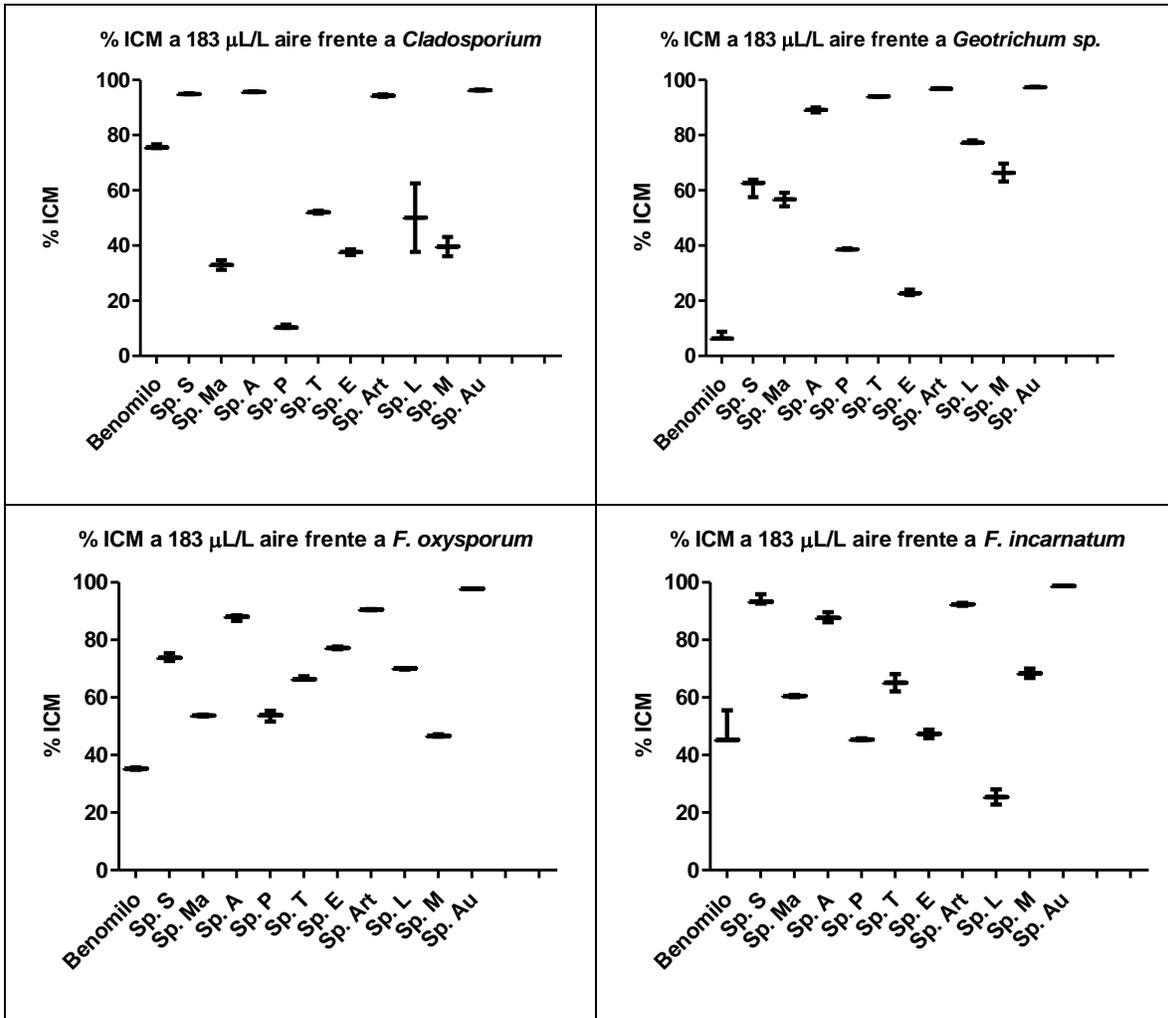
I) Análisis de varianza ANOVA de ICM de compuestos (timol y terpinen-4-ol) de *Piper* frente a *F. incarnatum*.

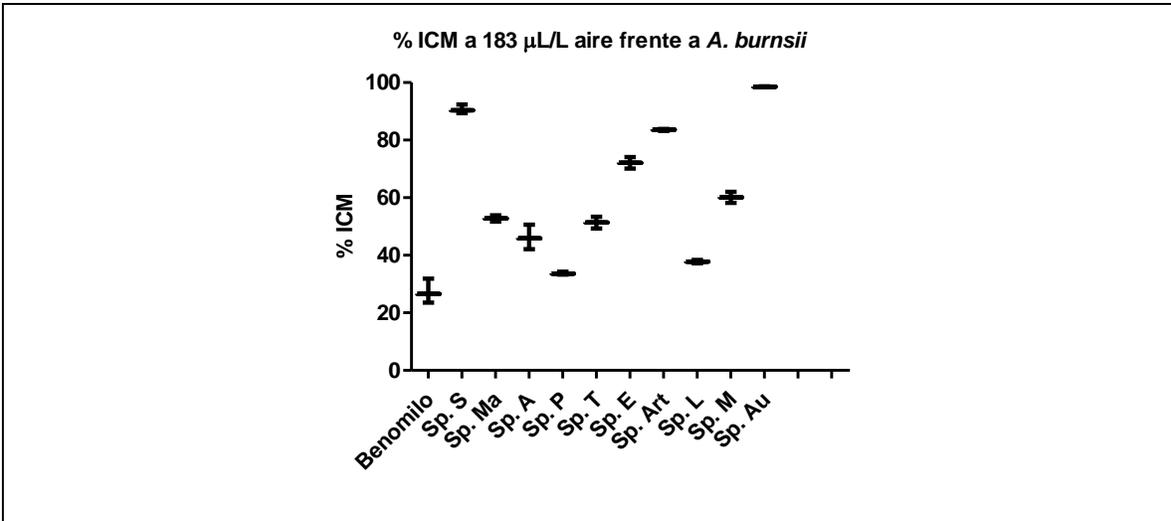
1way ANOVA					
Table Analyzed	A. burnsii.				
One-way analysis of variance					
P value	P<0.0001				
P value summary	***				
Are means signif. different? (P < 0.05)	Yes				
Number of groups	3				
F	987.4				
R squared	0.9970				
ANOVA Table	SS	df	MS		
Treatment (between columns)	13840	2	6920		
Residual (within columns)	42.05	6	7.009		
Total	13880	8			
Dunnett's Multiple Comparison Test	Mean Diff.	q	Significant? P < 0.05?	Summary	95% CI of diff
Benomilo vs Timol	-92.87	42.96	Yes	***	-99.05 to -86.68
Benomilo vs Terpinen-4-ol	-67.70	31.32	Yes	***	-73.89 to -61.51

J) Análisis de varianza ANOVA de ICM de compuestos (timol y terpinen-4-ol) de

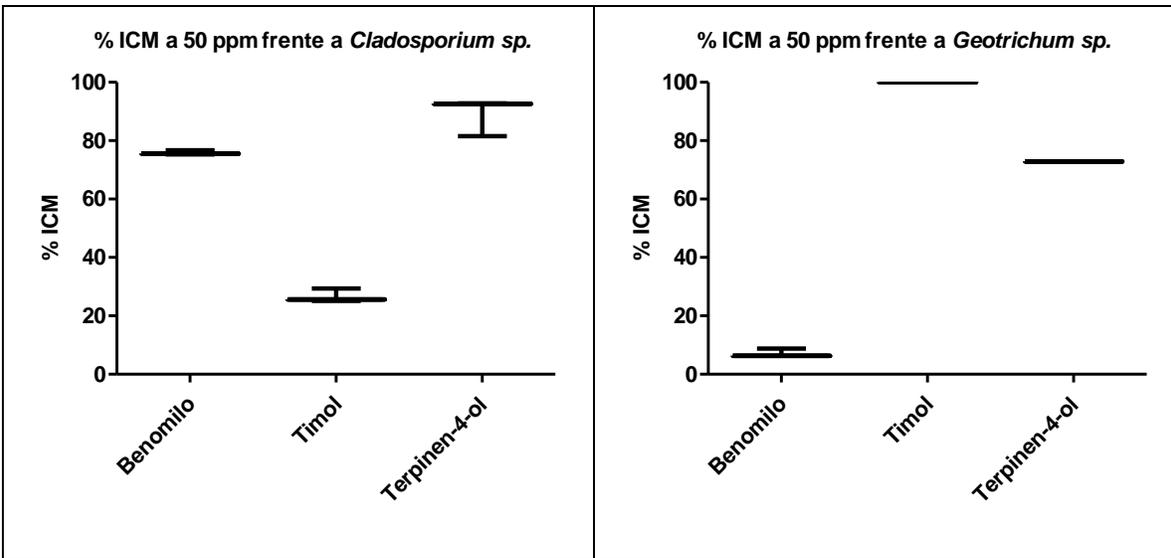
Piper frente a *A. burnsii*.

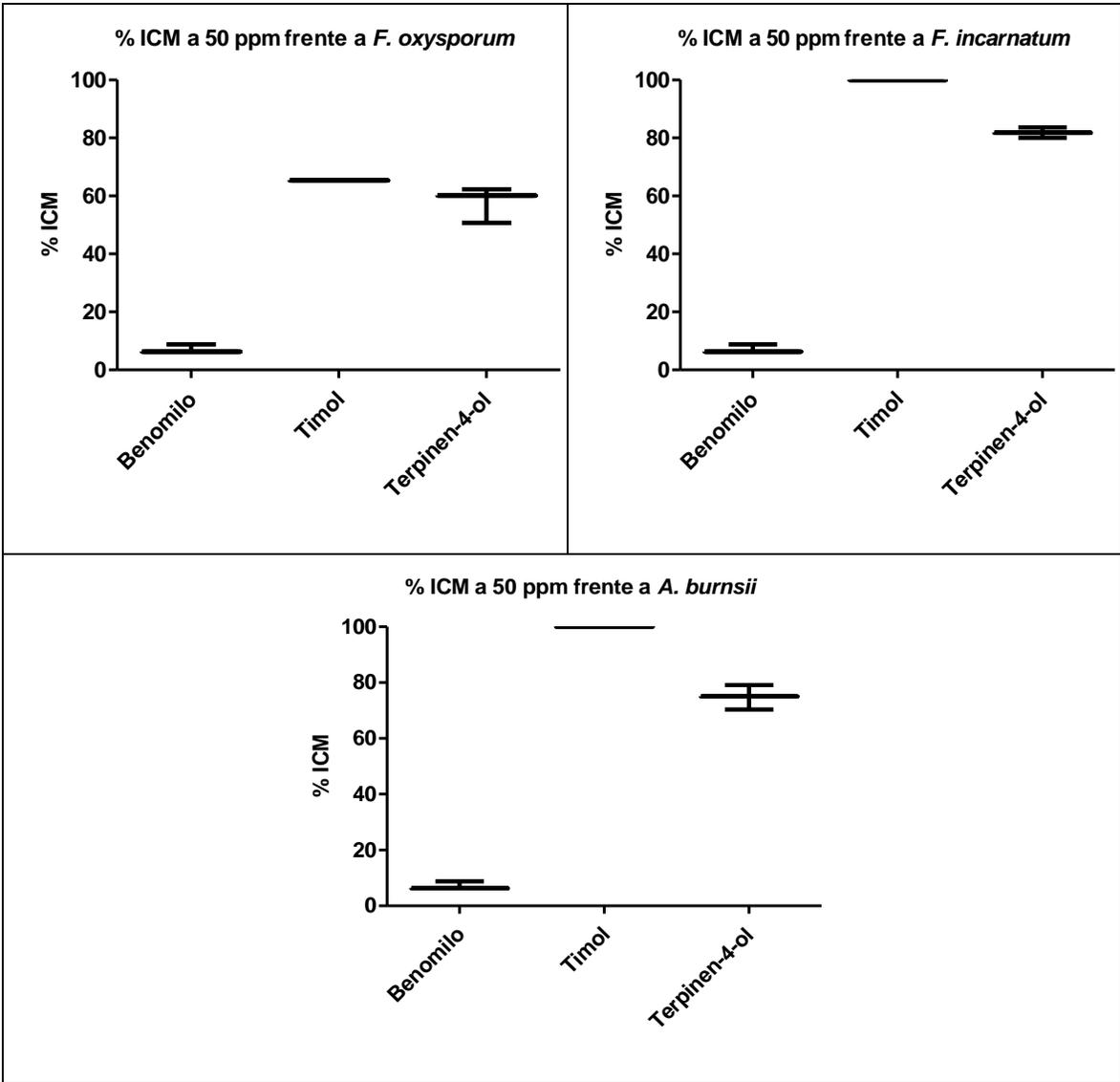
Anexo 3. Diagrama de cajas (Boxplot) de la comparación de la actividad antifúngica sobre cada hongo evaluado con respecto a benomilo. Prueba Dunnett ($P \leq 0.05$).





A) comparación actividad antifúngica de AE de *Piper* frente a benomilo (C+) para cada hongo evaluado.





B) comparación actividad antifúngica de compuestos de *Piper* frente a benomilo

(C+)

Anexo 4. Composición química total determinada para cada uno de los AE de *Piper*.

N.º	Compuesto	DB-5	Teórico	DB-WAX	Teórico	Sp. S	Sp. Ma	Sp.A	Sp.Au	Sp.L	Sp.P	Sp.M	Sp.T	Sp.E	Sp.Art
		IR ^c	IR ^b	IR ^a	IR ^b										
1	α-tujeno	935	931	1048	1038	0.15	-	-	2.41	-	-	-	3.95	-	-
2	α-pineno	943	939	1001	1007	3.97	-	2.32	0.69	-	-	2.04	4.69	13.83	8.32
3	α-fencheno	943	951	-	-	-	0.79	-	-	-	-	-	-	-	-
4	Canfeno	962	953	1086	1077	13.53	-	-	-	-	-	-	-	0.65	-
5	Sabineno	983	969	1142	1147	-	-	-	-	-	-	-	-	1.6	2.2
6	β-pineno	987	989	1127	1124	-	-	1.67	-	-	-	2,62	4.77	10.46	8.92
7	Mirceno	997	991	1186	1187	1.42	-	0.87	6.26	-	-	-	2.01	2.17	1.01
8	α-felandreno	1016	1005	1186	1194	2.68	-	1.04	-	-	-	-	4.01	-	-
9	α-terpineno	1026	1018	1202	1208	-	-	-	3.36	1.32	-	-	5.62	-	-
10	p-cimeno	1034	1022	1229	1229	0.66	-	-	13.1	0.69	-	1.28	1.54	-	-
11	Limoneno	1039	1031	1227	1229	5.08	0.61	5.21	1.16	-	-	0.71	-	30.1	1.72
12	Silvestreno	1040	1030	-	-	-	-	-	-	-	-	-	7.27	-	-
13	β-felandreno	1043	1029	1230	1241	3.06	-	-	-	-	-	-	-	-	-
14	1,8-cineol	1043	1033	1225	1224	-	-	11.69	-	-	-	-	-	-	-
15	Trans-β-ocimeno	1044	1044	1274	1270	3.69	-	1.37	-	-	6.08	-	4.08	-	0.61
16	cis-β-ocimeno	1055	1050	1257	1252	1.4	-	-	-	-	5.00	-	7.78	-	1
17	γ-terpineno	1069	1062	1267	1268	-	-	3.39	11.76	2.57	-	-	8.78	-	-
18	Hidrato de cis-sabineno	1078	1070	1469	1465	-	-	-	0.72	-	-	-	0.5	-	-
19	α-terpinoleno	1099	1088	-	-	-	-	-	-	0.75	-	-	4.26-	-	-
20	Linalool	1106	1098	1551	1551	-	0.53	-	-	-	-	-	-	-	-
21	Terpinoleno	-	-	1304	1315	-	-	-	-	0.95	-	-	-	-	-
22	Trans-2-mentenol	1132	1140	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.69	-	-
23	Alcanfor	1163	1146	1494	1498	12.49	-	-	-	-	-	-	-	-	-
24	Isoborneol	1174	1160	1640	1660	1.08	-	-	-	-	-	-	-	-	-
25	Borneol	1182	1169	-	-	0.93	-	-	-	-	-	-	-	-	-
26	Terpinen-4-ol	1181	1177	1609	1616	-	-	-	1.41	-	-	-	9.92	-	-
27	Éter metílico de carvacrol	1245	1244	-	-	-	-	-	2.13	-	-	-	-	-	-
28	Piperitona	1260	1252	1738	1739	19.99	-	-	-	-	-	-	1.31	-	-
29	Anetol	1299	1289	1830	1828	-	-	-	-	-	-	0.88	-	-	-

30	Timol	1303	1289	-	-	-	-	-	30.35	-	-	-	-	-	-
31	Carvacrol	1303	1298	2246	2246	-	-	-	13.78	-	-	-	-	-	-
32	δ -elemeno	1354	1339	1515	1501	-	3.46	-	-	-	26.58	4.28	-	-	-
33	Acetato de timol	1365	1355	1365	1355	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-
34	α -copaeno	1366	1376	1543	1546	-	-	2.01	-	4.59	-	-	0.66	0.54	4.64
35	α -cubebeno	1366	1355	1505	1480	-	-	-	-	-	-	-	-	0.92	-
36	β -cubebeno	1392	1390	1551	1558	-	-	-	-	-	-	-	0.75	1.04	-
37	β -elemeno	1403	1393	1620	1595	-	17.95	-	-	-	1.02	1.04	-	-	-
38	β -copaeno	1408	1430	-	-	-	-	-	-	0.61	-	-	-	1.21	-
39	α -ylangeno	1409	1419	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2.85
40	α -gurjuneno	1432	1409	-	-	0.72	-	-	-	-	-	-	-	-	-
41	β -cariofileno	1441	1428	1648	1657	3.22	-	-	2.51	13.54	6.96	8.73	6.31	1.72	2.94
42	α -guaiano	1442	1439	-	-	-	22.6	-	-	-	-	-	-	-	-
43	γ -elemeno	1448	1434	-	-	-	-	-	-	-	1.33	-	-	-	-
44	α -cariofileno	1476	1454	1680	1680	-	-	-	1.49	1.6	1.15	14.24	1.79	-	0.54
45	Alloaromadendreno	1460	1461	1656	1650	-	1.21	1.01	-	-	-	0.77	-	0.88	-
46	3,5-Cadinadieno	1471	1461	-	-	-	-	-	-	2.68	-	-	-	-	-
47	Germacreno D	1484	1480	1773	1772	-	0.89	0.6	-	-	13.19	1.22	-	-	-
48	Valenceno	1496	1490	-	-	-	0.7	-	-	-	-	-	-	-	-
49	γ -amorfenol	1497	1495	1622	1622	2.8	-	-	-	10.08	-	1.07	2.57	1.82	4.06
50	γ -muuroloeno	1497	1496	-	-	-	-	-	-	1.57	-	-	-	-	-
51	Biciclogermacreno	1521	1500	1778	1738	2.84	-	-	-	-	-	6.79	2.77	2.58	-
52	α -guaiano	1512	1502	-	-	-	-	-	-	-	-	0.67	-	-	-
53	Guaia-1(10),11-dieno	1521	1509	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2.12
54	Cubebol	1518	1518	-	-	-	0.64	-	-	-	-	0.98	-	0.75	-
55	γ -cadineno	1518	1513	-	-	0.54	-	-	-	-	-	-	-	1.67	-
56	cis- α -bisaboleno	1520	1514	-	-	-	-	-	1.83	-	-	-	-	-	-
57	Miristicina	1523	1520	-	-	0.91	-	39.34	-	-	-	-	-	-	53.83
58	β -sesquiphelandreno	1518	1521	-	-	-	-	-	-	1.61	-	-	-	-	-
59	δ -cadineno	1522	1522	1801	1808	-	-	0.64	-	3.48	0.51	2.88	1.18	-	-
60	Cadina-1(10),4-dieno	1523	1523	-	-	1.21	-	-	-	-	-	-	1.97	-	-
61	Cis-calameneno	1527	1528	1874	1880	-	-	-	-	-	-	-	-	4.47	-
62	1,4-cadinadieno	1524	1531	-	-	-	6.11	-	-	-	-	-	-	0.75	-
63	α -cadineno	1538	1538	-	-	-	2.02	-	-	4.92	-	-	-	-	-
64	δ -amorfenol	-	-	1708	1714	-	-	-	-	1.06	-	-	-	-	-
65	Humuleno	-	-	1715	1710	-	3.43	-	-	-	-	-	-	-	-
66	Elemol	1554	1547	2079	2078	-	3.91	-	-	-	0.58	0.58	-	-	-
67	Epiglobulol	1555	1548	-	-	-	0.7	-	-	-	-	1.31	-	-	-

68	Cis-cadina-1,4-diene	1556	1548	-	-	-	-	-	-	0.92	-	-	-	-	-
69	Trans-nerolidol	1561	1564	-	-	-	0.54	-	-	-	1.51	7.3	-	1.21	-
70	Maaliol	1564	1566	-	-	-	-	-	-	-	-	1.12	-	-	-
71	Germacreno B	1570	1560	1874	1864	-	-	-	-	-	2.34	-	-	-	-
72	Cis-nerolidol	1577	1565	2006	2010	-	2.4	-	-	-	-	-	-	-	-
73	Germacreno D-4-ol	1589	1574	-	-	-	3.37	-	-	-	-	3.01	-	-	-
74	Espatulanol	1594	1578	2140	2129	-	-	-	-	-	1.6	0.78	-	2.01	-
75	Viridiflorol	1611	1592	2112	2112	-	-	-	0.58	4.91	-	-	-	-	-
76	Citronelol	-	-	1762	1764	-	-	-	-	-	-	-	2.10	-	-
77	Isoledeno	-	-	1762	1723	-	4.97	1.27	-	-	-	-	-	-	-
78	Antraceno	-	-	1763	1763	-	-	-	-	-	-	-	-	1.49	-
79	Acido-mirístico	-	-	1768	1768	-	2.36	-	-	-	-	-	-	-	-
80	Guaiol	1602	1600	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.78	-
81	Ledol	1610	1602	2062	2065	7.85	-	-	-	-	4.94	2.19	1.31	-	-
82	Óxido de cariofileno	1610	1606	2025	2023	-	1.45	-	-	-	0.8	-	-	0.51	0.59
83	1,2-epóxido-humuleno	1611	1607	-	-	-	-	-	-	0.75	-	0.54	-	-	-
84	Dillapiol	1618	1622	-	-	-	-	25.76	-	-	-	-	-	-	-
85	β -eudesmol	1626	1630	2255	2248	-	2.8	-	-	11.53	-	1.34	-	-	-
86	γ -eudesmol	1631	1630	2183	2182	-	0.69	-	-	-	-	-	-	-	-
87	τ -cadinol	1635	1640	2193	2165	0.64	-	-	-	-	-	-	-	1.3	-
88	Cubenol	1636	1642	-	-	-	-	-	-	1.04	-	-	-	-	-
89	Torreyol	1646	1644	2216	2219	-	-	-	-	-	-	0.7	-	-	-
90	Vulgarona	1647	1647	-	-	-	1.55	-	-	-	-	-	-	-	-
91	Pogostol	1652	1651	-	-	-	-	-	-	0.99	-	-	-	-	-
92	Agarospinol	1647	1646	-	-	-	-	-	-	3.46	-	-	-	-	-
93	γ -eudesmol	1650	1651	-	-	-	2.67	-	-	-	-	-	-	-	-
94	α -cadinol	1657	1653	2251	2211	-	-	-	-	-	-	1.31	-	-	-
95	Acetato de τ -cadinol	1658	1654	-	-	-	-	-	-	-	-	1.55	-	-	-
96	Valerianol	1660	1658	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2.31	-
97	7-epi- α -eudesmol	1663	1662	-	-	-	-	-	-	5.34	-	-	-	-	-
98	Bulnesol	1667	1666	-	-	-	2.27	-	-	-	-	-	-	-	-
99	Foeniculina	1677	1677	-	-	-	1.68	-	-	-	-	-	-	-	-
100	γ -dodecalactona	1682	1685	-	-	-	0.76	-	-	-	-	-	-	-	-
101	Trans-carveol	-	-	1876	1876	-	-	-	-	-	1.21	-	-	-	-
102	trans-Farnesol	1740	1742	-	-	-	-	-	-	12.89	-	-	-	-	-
103	Nootkatona	1807	1800	2249	2250	-	0.54	-	-	-	-	-	-	-	-
104	Acetato de nerolidol	-	-	2058	2055	-	2.59	-	-	-	-	-	-	-	-
105	1-epi-cubebol	-	-	2096	2090	-	-	-	-	-	2.01	-	-	-	1.19

106	Intermedeol	-	-	2222	2222	-	-	-	-	-	0.62	-	-	-	-
107	α -eudesmol	-	-	2224	2230	-	-	-	-	3.43	-	-	-	2.88	-
108	Apiol	-	-	2472	2472	-	-	0.84	-	-	-	-	-	-	-
Porcentaje determinado (%)						90.86	96.19	99.03	94.54	99.29	75.42	71.93	92.59	90.84	95.35

Anexo 5. Codificación de variables obtenidas con los resultados de las entrevistas a actores clave.

Valoración SE de plantas de *Piper*

No.	Variables	Categorías
1	Beneficios de las plantas en los ecosistemas.	Purificación del aire: captura CO ₂ , liberación O ₂ .
		Nichos ecológicos.
		Identidad cultural.
		Materias primas/Medicinas.
		Alimento.
		Belleza del paisaje.
2	Percepción de las plantas en general.	Sensaciones, emociones: Paz, tranquilidad, armonía, felicidad, disfrute espiritual, pureza, descanso, biofilia.
3	Desconocimiento de las plantas <i>Piper</i> .	No puede identificar diferentes especies.
		Regularmente identifica algunas especies.
		Perdida de conocimiento.
		Nombres.
		Características de las plantas.
		Características del ecosistema.
4	Usos de las plantas <i>Piper</i> .	Medicinales (formas de uso y partes usadas).
		Rituales (creencias).
5	Problemáticas asociadas a las plantas.	Tala.
		Información que no está al alcance.
		Expansión agrícola.

		Desinterés y/o desconocimiento.
6	Beneficios que se obtienen de las plantas de <i>Piper</i> .	SE: Materias primas para medicina, hábitat para animales, investigación y/o experimentación.
		Equilibrio ecosistémico.
7	Posibles escenarios por falta de conservación.	Perdida de especies.
		Perdida de recursos naturales.
8	Conservación de las especies de <i>Piper</i>	Recurso potencial en bioprospección.
		Biodiversidad.
		Sostenibilidad y/o equilibrio ecosistémico.
		Investigación.