



**Benemérita Universidad Autónoma de Puebla**  
**Vicerrectoría de Investigación y Estudios de Posgrado**  
**Facultad de Ingeniería Química**



## **Maestría en Ingeniería Química**

### **TESIS**

“Extracción y análisis fisicoquímico de componentes bioactivos  
de muérdago”

#### **PRESENTA:**

I.Q Maria Fernanda Villarreal Onofre

#### **PARA OBTENER EL GRADO DE:**

Maestra en Ingeniería Química

#### **DIRECTOR DE TESIS:**

Dr. Heriberto Hernández Cocoltzi

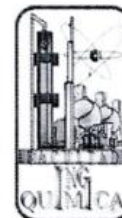
#### **CODIRECTOR DE TESIS:**

Dra. Eva Águila Almanza

SEPTIEMBRE 2025



BENEMÉRITA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE PUEBLA  
VICERRECTORÍA DE INVESTIGACIÓN Y ESTUDIOS DE POSGRADO  
FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA  
SECRETARÍA DE INVESTIGACIÓN Y ESTUDIOS DE POSGRADO  
MAESTRÍA EN INGENIERÍA QUÍMICA



ACTA DE REVISIÓN, LIBERACIÓN E IMPRESIÓN DE TESIS

Nombre de la estudiante: Villarreal Onofre Maria Fernanda

Matrícula: 223470631

Nombre del director: Dr. Heriberto Hernández Cocoltzi

Nombre del codirector: Dra. Eva Aguila Almanza

Título de la Tesis:

“Extracción y análisis fisicoquímico de componentes bioactivos de muérdago”

Comisión Revisora:

Presidente: Dra. Lilia Alejandra Conde Hernández

Firma:

Secretario(a): Dra. Lidia Esmeralda García Díaz

Firma:

Vocal (1): Dra. Eva Aguila Almanza

Firma:

Vocal (2): : Dr. Heriberto Hernández Cocoltzi

Firma:

Los integrantes de la Comisión Revisora expresamos que hemos leído y revisado el manuscrito de la tesis de maestría que presenta la estudiante arriba indicado, por lo que estamos de acuerdo en que se proceda con la impresión definitiva de la tesis y que el (la) estudiante presente su defensa y examen de grado en la fecha, horario y lugar que se indican a continuación.

Fecha de examen: 3 de octubre de 2025

Hora: 11:00 horas

Día de la semana: viernes

Lugar: edificio FQ7/105



**BUAP**

Oficio: FIQ/SIEP/040/2025

**Mtro. Juan Manuel Rosas Tapia**  
**Director de la Dirección de Administración Escolar**  
**Benemérita Universidad Autónoma de Puebla**  
**PRESENTE**

Reciba un afectuoso saludo y al mismo tiempo me permito presentar a usted a los integrantes del jurado de examen que para obtener el grado de Maestro en Ingeniería Química sustentará la :

**I.Q. María Fernanda Villarreal Onofre**

perteneciente a la generación 2023 con número de matrícula 223470631 y cuyo tema de tesis es: "EXTRACCIÓN Y ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICO DE COMPONENTES BIOACTIVOS DE MUÉRDAGO".

Dicho jurado está integrado por:

JURADO	
Presidente	Dr. Lilia Alejandra Conde Hernández
Secretario	Dra. Lidia Esmeralda García Díaz
Vocal	Dra. Eva Aguila Almanza
Vocal	Dr. Heriberto Hernández Cocoltzi

Asimismo, comunico a usted que el alumno cumple con todos los requisitos para poder llevar a cabo su examen de grado, y que los integrantes de este jurado están citados con anticipación para la fecha y lugar indicados a continuación.

FECHA DE EXAMEN: 03 de octubre de 2025  
HORA: 11:00 horas  
LUGAR: Edificio FIQ7/105  
DÍA: viernes

Sin otro particular, me es grato quedar de usted.

Atentamente,  
"Pensar bien, para vivir mejor"  
H. Puebla de Z. a 22 de septiembre de 2025

**Dra. Esmeralda Vidal Robles**  
Secretaria de Investigación y Estudios de Posgrado



c.c.p. Archivo  
E-mail: esmeralda.vidal@correo.buap.mx

Facultad  
de Ingeniería  
Química

Av. San Claudio s/n, Col. San  
Manuel, Ciudad Universitaria,  
Puebla, Pue. C. P. 72590  
(222) 229 55 00  
Ext.s. 7250 y 7251

## AGRADECIMIENTOS

Agradezco a la Secretaría de Ciencia, Humanidades, Tecnología e Innovación (Secihti) por la beca otorgada en el programa de Maestría en Ingeniería Química, CVU: 1303615.

A la Facultad de Ingeniería Química, por abrirme las puertas y seguir contribuyendo a mi formación académica.

Al Dr. Heriberto, por brindarme la oportunidad de desarrollar este trabajo bajo su supervisión, por su compromiso constante, paciencia y disponibilidad en todo momento.

A la Dra. Eva, gracias por motivarme siempre con su buena actitud, por contagiar alegría y buenas vibras desde el momento en que coincidí con usted.

A la Dra. Esmeralda, por su paciencia, apoyo incondicional, así como por compartir su experiencia y conocimientos.

A mi familia por siempre apoyarme en cada decisión, a mis amigos por los momentos de alegría, a mi pareja por la compañía y el amor recibido.

## DEDICATORIA

A mi hermana, por ser la primera en creer que este logro sería posible, por acompañarme en cada momento, por cada palabra de aliento y cada abrazo en los momentos difíciles.

A mi madre, por cuidar siempre de mí, por permitirme sentir tranquilidad mientras afrontaba este reto.

A mi padre, por todo su amor y cuidado, por ser mi ejemplo a seguir.

A mi hijo, el motor de mi corazón.

A mi misma por nunca ceder.

## Tabla de contenido

AGRADECIMIENTOS .....	3
DEDICATORIA .....	4
RESUMEN .....	10
INTRODUCCIÓN .....	11
HIPÓTESIS .....	12
OBJETIVO GENERAL .....	12
OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	12
<b>CAPÍTULO 1 .....</b>	<b>13</b>
MARCO TEÓRICO.....	13
1.1 Generalidades del muérdago .....	13
1.2 Relación ecológica.....	15
1.4 Componentes del muérdago .....	18
1.5 Fundamentos de técnicas de extracción .....	26
1.6 Fundamentos de técnicas cromatográficas .....	31
<b>CAPÍTULO 2 .....</b>	<b>39</b>
METODOLOGÍA.....	39
2.1 Material vegetal .....	39
2.2 Obtención de los componentes bioactivos .....	40
2.3 Separación cromatográfica Flash (Flash-LC).....	40
2.4 Cromatografía analítica (HPLC) .....	41
2.5 Cuantificación de compuestos.....	42
2.6 Pruebas de funcionalidad .....	43
<b>CAPÍTULO 3 .....</b>	<b>45</b>
RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	45
3.1 Taxonomía .....	45
3.2 Separación cromatográfica Flash .....	46
3.3 Cromatografía analítica HPLC .....	47
4.1 Pruebas de funcionalidad .....	54
CONCLUSIONES .....	60
REFERENCIAS.....	61
ANEXOS.....	70

## Índice de Figuras

Figura 1. Ejemplar de muérdago CU BUAP a) Hojas y fruto rojizo, b) Hojas y racimos. ..	13
Figura 2. Especies: a) <i>Loranthacea Struthanthus polyrrhizus</i> , b) <i>Loranthacea Psittacanthus cordatus</i> , c) <i>Misodendron punctulatum</i> , d) <i>Santaleceare Viscum álbum</i> .....	14
Figura 3. Género <i>Struthanthus</i> a) <i>Struthanthus venetus</i> , b) <i>Struthanthus uraguensis</i> , c) <i>Struthanthus polyrhizus</i> . (Regino Zamora 2024). .....	15
Figura 4. Mapa de riesgo por presencia de muérdago [1]. .....	16
Figura 5. Estructura química del fenol. ....	19
Figura 6. Estructura simple de las cumarinas. ....	20
Figura 7. Estructura básica de los flavonoides. ....	21
Figura 8. Estructura básica de un tanino condensado. ....	22
Figura 9. Estructura clásica de los alcaloides. ....	23
Figura 10. Isopreno, estructura básica de los terpenos. ....	24
Figura 11. Esquema extracción por maceración (elaboración propia). ....	27
Figura 12. Esquema de extracción Soxhlet (Weggler et al., 2020 [62])......	29
Figura 13. Componentes del equipo HPLC (Bramhadevu S Chandrashekar). ....	33
Figura 14. Esquema del detector DAD (Figura adaptada de la referencia [75]). ....	35
Figura 15. Esquema analizador QqQ (Elaboración propia). ....	36
Figura 16. Esquema del analizador ToF [79]. ....	37
Figura 17. Componentes del sistema cromatográfico Flash (BÜCHI Labortechnik [82])... ..	38
Figura 18. a) Árbol hospedero, b) Muérdago. ....	39
Figura 19. Mapa satelital del parque bicentenario BUAP. ....	39
Figura 20. Identificación taxonómica. ....	45
Figura 21 a) Extractos separados; cromatogramas b) MCE01, c) MCM01, d) MMA01.....	46
Figura 22. Cromatograma de iones totales (TIC) extractos etanólicos. ....	48
Figura 23. Cromatograma EIC del extracto MCM01A1. ....	50
Figura 24. Diagrama de Veen, extracción de compuestos por disolvente. ....	52
Figura 25. Diagrama de radar: elección de fracciones representativas. ....	53

## Índice de Tablas

Tabla 1. Compuestos bioactivos extraídos con diversos solventes [66].....	31
Tabla 2. Eluyentes utilizados.....	40
Tabla 3. Parámetros de elución extracto de muérdago.....	41
Tabla 4. Parámetros de separación por HPLC.....	42
Tabla 5. Tiempos de retención y composición de la fase móvil en extractos de muérdago.	47
Tabla 6. Compuestos identificados por EIC en los extractos de muérdago. ....	49
Tabla 7. Concentración de cada componente en los extractos. ....	54
Tabla 8. Inhibición al radical DPPH en extractos y fracciones de muérdago. ....	55
Tabla 9 . Índice antifúngico empleando extractos de muérdago sobre <i>Aspergillus niger</i> ....	57
Tabla 10.Índice antifúngico (AI, %) reportado en la literatura y en este estudio. ....	59

## Índice de Anexos

Anexo A. Familia <i>Loranthaceae</i> . .....	70
Tabla A1. Géneros. ....	70
Anexo B. Estructuras químicas de compuestos fenólicos .....	71
Tabla B1. Fenoles simples.....	71
Tabla B2. Ácidos fenólicos (Benzoicos) .....	71
Tabla B3. Ácidos fenólicos (Cinámicos).....	71
Anexo C. Compuestos identificados según la referencia. ....	72
Tabla C1. m/z compuestos de muérdago.....	72
Tabla C2. Matriz presencia/ausencia de compuestos por cada extracto analizado. ....	74
Anexo D. Cromatogramas extractos de muérdago. ....	75
Figura D1. Cromatograma TIC extractos MCE01. ....	75
Figura D2. Cromatograma TIC extractos MCM01. ....	76
Figura D3. Cromatograma TIC extractos MMA01. ....	77
Anexo E. Componentes bioactivos identificados en extractos de muérdago. ....	78
Tabla E1. MCE01 Extracto de muérdago concentrado en etanol.....	78
Tabla E2. MCE01 A1 Extracto de muérdago concentrado en etanol.....	79
Tabla E3. MCE01 B1 Extracto de muérdago concentrado en etanol. ....	80
Tabla E4. MCE01 C1 Extracto de muérdago concentrado en etanol. ....	81
Tabla E5. MCM01 Extracto de muérdago concentrado en metanol. ....	82
Tabla E6. MCM01 A1 Extracto de muérdago concentrado en metanol. ....	83
Tabla E7. MCM01 B1 Extracto de muérdago concentrado en metanol.....	84
Tabla E8. MCM01 C1 Extracto de muérdago concentrado en metanol.....	85
Tabla E9. MMA01 Extracto de muérdago concentrado en metanol/agua. ....	86
Tabla E10. MMA01 A1 Extracto de muérdago concentrado en metanol/agua.....	87
Tabla E11. MMA01 B1 Extracto de muérdago concentrado en metanol/agua. ....	88
Tabla E12. MMA01 C1 Extracto de muérdago concentrado en metanol/agua. ....	89
Figura E2. Cromatograma EIC del extracto MCE01A1.....	79
Figura E3. Cromatograma EIC del extracto MCE01B1.....	80
Figura E4. Cromatograma EIC del extracto MCE01C1.....	81
Figura E5. Cromatograma EIC del extracto MCM01. ....	82

Figura E6. Cromatograma EIC del extracto MCM01A1. ....	83
Figura E7. Cromatograma EIC del extracto MCM01B1.....	84
Figura E8. Cromatograma EIC del extracto MCM01C1.....	85
Figura E9. Cromatograma EIC del extracto MMA01. ....	86
Figura E10. Cromatograma EIC del extracto MMA01A1. ....	87
Figura E11. Cromatograma EIC del extracto MMA01B1. ....	88
Figura E12. Cromatograma EIC del extracto MMA01B1. ....	89
Anexo F. Curvas de calibración y parámetros.....	90
Tabla F1. Parámetros de linealidad Hidrato de catequina. ....	90
Tabla F2. Parámetros de linealidad ácido gálico. ....	91
Tabla F3. Parámetros de linealidad Catecol. ....	92
Tabla F4. Parámetros de linealidad Hidrato de rutina. ....	93
Tabla F5. Parámetros de linealidad Kaempferol. ....	94
Tabla F6. Parámetros de linealidad ácido p-cumárico. ....	95
Tabla F7. Parámetros de linealidad ácido clorogénico. ....	96
Figura F1. Curva de calibración Hidrato de catequina. ....	90
Figura F2. Curva de calibración Ácido gálico.....	91
Figura F3. Curva de calibración catecol. ....	92
Figura F4. Curva de calibración Hidrato de rutina. ....	93
Figura F 5. Curva de calibración Kaempferol ....	94
Figura F6. Curva de calibración ácido p-cumárico. ....	95
Figura F7. Curva de calibración ácido clorogénico.....	96
Anexo G. Prueba de funcionalidad: actividad antifúngica. ....	97

## RESUMEN

El muérdago es una planta hemiparásita ampliamente distribuida alrededor del mundo; considerada como el segundo agente de deterioro de arborícola. Parasita diversas especies de árboles incluyendo jacarandas, álamos, fresnos, olmos, ficus, algunos árboles frutales, entre muchas otras. En la ciudad universitaria de la BUAP, se encuentran en diferentes especies de arbóreas, provocando su progresiva disfunción y muerte. En este trabajo de tesis se reporta la identificación taxonómica del muérdago hospedado en árboles del parque bicentenario, así como el análisis fisicoquímico de los compuestos bioactivos presentes en sus hojas. La extracción de los compuestos se llevó a cabo mediante la técnica de maceración, mientras que la separación de estos se llevó a cabo por cromatografía preparativa tipo Flash. La caracterización cualitativa y cuantitativa de los compuestos se efectuó por medio de HPLC acoplado a espectrometría de masas con detector de arreglo de diodos (HPLC-MS-DAD-QqQ-ToF). Se identificaron veinticuatro compuestos bioactivos siendo los de mayor concentración el ácido gálico, el kaempferol, el hidrato de rutina, el hidrato de catequina y la quercetina; destacando que el kaempferol es el metabolito predominante en los extractos. Además, estos compuestos demostraron actividad antioxidante frente al radical DPPH y actividad antifúngica contra el hongo *Aspergillus niger*.

## INTRODUCCIÓN

Los muérdagos son plantas hemiparásitas que obtienen nutrientes de sus hospederos, árboles de un gran número de especies; en la mayoría de los casos, su presencia origina la muerte del hospedero, causando daño al ecosistema, lo que origina la disminución de fuentes generadoras de oxígeno.

Se ha detectado la presencia de más de 1600 especies de muérdago alrededor del mundo. En México, las plantas hemiparásitas son el segundo agente causal de daño en los ecosistemas forestales. Se estima que existen 18 millones de hectáreas con presencia de estas plantas [1]. Los estados considerados de muy alto riesgo debido a su presencia son: Oaxaca, Durango, Guerrero, Chihuahua y Michoacán; el estado de Puebla se halla en clasificación alta. Las áreas verdes de la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla no son la excepción; una gran cantidad de árboles se encuentran infestados por este hemiparásito. Su presencia suele confundirse con la frondosidad del árbol, asociándolo a un crecimiento saludable.

Si bien existen métodos para combatir a estas plantas, es importante señalar que, al aplicarlos, la materia orgánica del muérdago es desaprovechada y en la mayoría de los casos, las bayas son consumidas por animales y diseminadas en árboles sanos; esto provoca un círculo reservorio-vector-huésped. Los métodos empleados para combatir al muérdago representan un daño al ecosistema, ya que se emplean químicos abrasivos y tóxicos en busca de inhibir el crecimiento de este hemiparásito; o bien, se emplean métodos de control físico, como la generación de incendios para erradicar la plaga. Ninguno de ellos resulta eficiente, ni amigable con el medio ambiente.

El muérdago ha sido ampliamente estudiado en Europa y África; se ha empleado por años en la medicina tradicional, así como en la medicina contemporánea, al recuperar sus extractos y utilizarlos en pro de la salud. En México, existen investigaciones que describen las características sobre esta planta, pero también hay ausencia de esfuerzo para aprovecharla. Por lo que las investigaciones enfocadas en la descripción de las propiedades bioactivas del muérdago mexicano son escasas.

En ciudad universitaria BUAP resulta un problema la continua dispersión de esta planta y hasta ahora, ha sido poco estudiado y no se le ha prestado la atención suficiente para atender y/o aprovechar a este hemiparásito.

El muérdago se ha usado en múltiples países durante cientos de años para tratar afecciones como la epilepsia, el asma, la hipertensión, los dolores de cabeza, los síntomas de la menopausia, la esterilidad, la dermatitis, la artritis y el reumatismo [2].

Considerando el poco conocimiento que se tiene sobre el muérdago mexicano y el gran impacto forestal que ocasiona su constante propagación, es de gran interés estudiar sus características; si bien no para erradicarla, si para aprovecharla. Tomando en cuenta estas consideraciones, en esta tesis se extraen sus componentes bioactivos y se analiza su funcionalidad como antioxidantes y antifúngicos.

### **HIPÓTESIS**

Es posible obtener componentes bioactivos a partir del muérdago con potencial actividad funcional.

### **OBJETIVO GENERAL**

Extraer y analizar los componentes bioactivos del muérdago.

### **OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Recolectar hojas de muérdago de árboles del parque bicentenario.
- Obtener el extracto de muérdago.
- Separar los compuestos del muérdago mediante cromatografía flash.
- Identificar y cuantificar los compuestos del muérdago.
- Evaluar la funcionalidad del extracto obtenido.

# CAPÍTULO 1

---

## MARCO TEÓRICO

### 1.1 Generalidades del muérdago

Las plantas hemiparásitas, también llamadas muérdagos, son plantas que se adhieren a la corteza de sus hospederos, los cuales suelen ser árboles de gran número de especies de donde aprovechan sus nutrientes y el agua necesaria para su supervivencia; gracias a estos recursos, los muérdagos son capaces de realizar su propia fotosíntesis. Estas plantas son conocidas por crecer sobre las ramas de otros árboles o arbustos, donde su presencia en la mayoría de los casos pasa desapercibida. Según la literatura, las especies más estudiadas pertenecen principalmente a las familias *Viscaceae* y *Loranthaceae* [3].

#### 1.1.1 Descripción botánica

La morfología del muérdago incluye las siguientes características: hojas pequeñas, de forma cóncavo-convexa y de color verde oscuro; tallos articulados, adaptados para fijarse a los árboles mediante estructuras especializadas llamadas haustorios, que crecen sobre las ramas; como se muestra en la Figura 1 suelen tener flores pequeñas, agrupadas en racimos, generalmente de color blanco o verde; y frutos en forma de bayas esféricas, de color blanco o verde, que contienen una semilla de consistencia pegajosa [4].



Figura 1. Ejemplar de muérdago CU BUAP a) Hojas y fruto rojizo, b) Hojas y racimos.

### 1.1.2 Distribución geográfica

El muérdago está presente en múltiples hábitats y en casi todos los continentes, algunas especies de muérdago son endémicas, mientras que otras se distribuyen en múltiples zonas geográficas [5]. Se conocen alrededor de 1400 especies de muérdagos alrededor del mundo. En Europa, Asia y el norte de África se haya la especie *Viscum álbum* [6]; en América central, en países como Perú, Argentina, Uruguay y Brasil, predomina la especie *Ligaria cuneifolia* [7], en América del norte, en Estados Unidos y México, especies como *Phoradendron Leucarpum*, *Cladocolea* y *Struthanthus* son comunes [8].

### 1.1.3 Especies de muérdago

Los muérdagos pertenecen principalmente a la familia *Loranthaceae*, aunque también se encuentran en las familias *Misodendraceae* y *Santalaceae*. La Figura 2 ilustra algunas de las especies más conocidas de cada familia.

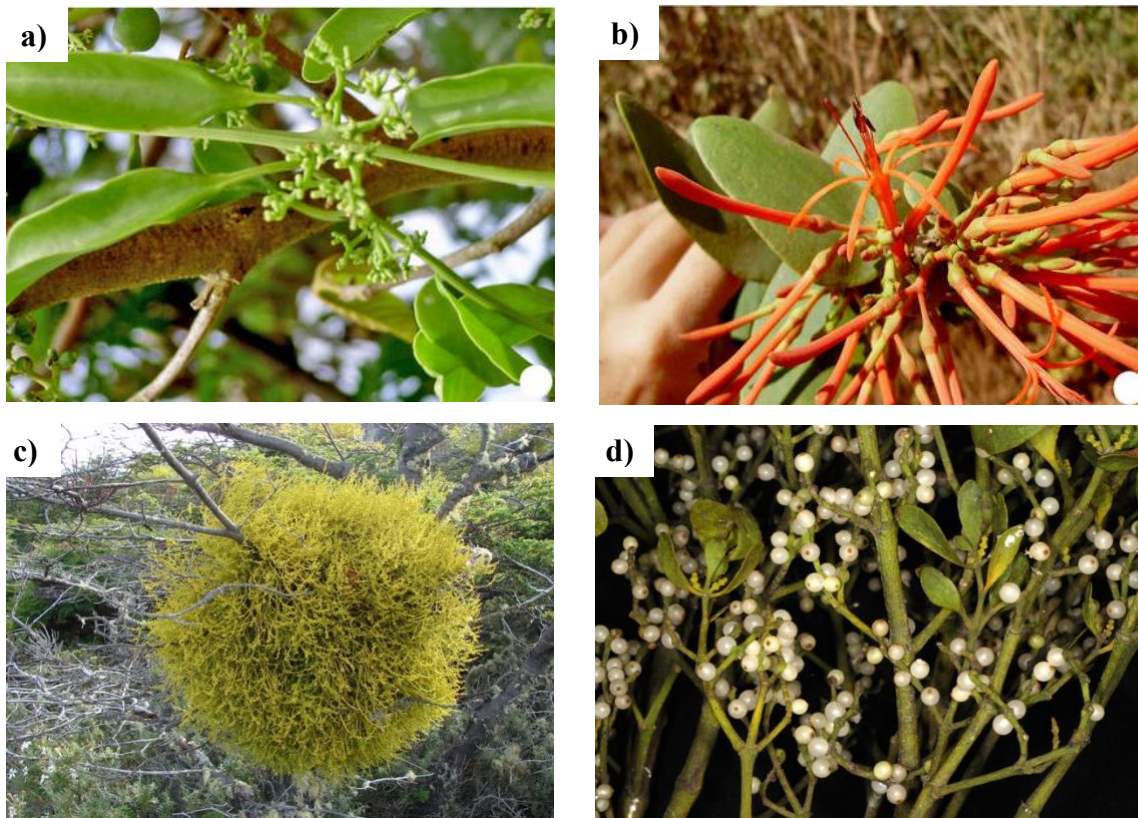


Figura 2. Especies: a) *Loranthaceae Struthanthus polyrrhizus*, b) *Loranthaceae Psittacanthus cordatus*, c) *Misodendron punctulatum*, d) *Santaleceare Viscum álbum*.

## Familia Loranthaceae

Es una familia de plantas generalmente arbustivas, hemiparásitas u holoparásitas; de árboles y arbustos. Presentan hojas simples y bien desarrolladas, enteras carnosas verdes o verde amarillentas a negruzcas, flores unisexuales o hermafroditas, frutos por lo común en baya y semillas. La mayoría intertropicales [9]. Distintos estudios alrededor de mundo han identificado alrededor de 1400 especies repartidas en 74 géneros [10]. Consultar Anexo A.

## Género *Struthanthus*

Este género agrupa alrededor de 70 especies. Distribuidas por México se conocen 14 especies [10]. Son plantas frondosas que crecen en forma de enredadera y se caracterizan por sus tallos cilíndricos y hojas opuestas, producen inflorescencias en forma de espigas o racimos y sus frutos son bayas que contienen semillas cubiertas de una sustancia pegajosa llamada viscina [11]. La Figura 3 muestra una variedad de especies del género *Struthanthus*, destacando sus hojas verdes brillantes, gruesas y correosas, así como la presencia de frutos de color rojizo, similitudes que poseen al pertenecer al mismo género.

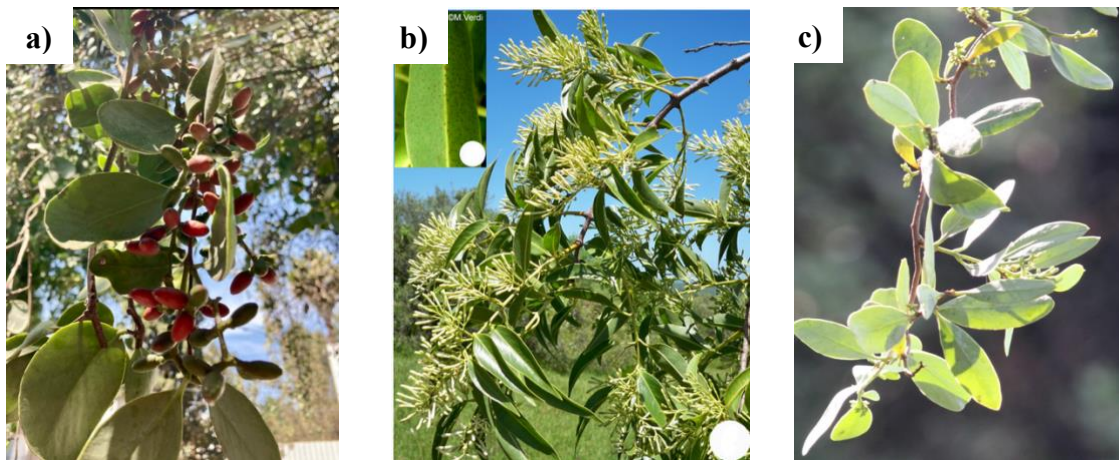


Figura 3. Género *Struthanthus* a) *Struthanthus venetus*, b) *Struthanthus uraguensis*, c) *Struthanthus polyrhizus*. (Regino Zamora 2024).

## 1.2 Relación ecológica

El muérdago se adhiere a los árboles mediante una estructura llamada haustorio, que penetra la corteza del hospedero para absorber agua y nutrientes. Aunque el muérdago es capaz de realizar fotosíntesis, depende en gran medida de su árbol hospedero para sobrevivir [12].

La infestación por muérdago puede reducir significativamente el crecimiento de los árboles, con pérdidas estimadas del 47 % en altura y alrededor del 22 % en diámetro [13]. Además,

puede causar deformaciones en el tallo y las ramas, afectando la integridad estructural del hospedero y aumentando su susceptibilidad a plagas y enfermedades [14]. En muchos casos, estos efectos pueden llevar a la muerte del árbol. A pesar de su impacto negativo en los hospederos, el muérdago desempeña un papel ecológico importante, ya que proporciona alimento y refugio a diversas especies de aves y mamíferos, contribuyendo a la biodiversidad de los ecosistemas [15].

### 1.2.1 Impacto forestal

Las plantas parásitas son el segundo agente causal de daño en los ecosistemas forestales. Se estima que existen 18 millones de hectáreas con presencia de estas plantas. La Figura 4 muestra el nivel de riesgo que representa la infestación de muérdago [1], categorizado en bajo, moderado, alto y muy alto.



Figura 4. Mapa de riesgo por presencia de muérdago [1].

### 1.2.2 Control del muérdago

Dentro de los métodos tradicionales para controlar la infestación y propagación del muérdago en arboles sanos se encuentra:

- Químico: Se emplea la sustancia 2, 4-D, MCP 4-2-metil-4-cloro-fenoxi y Ethepon [16]; este producto causa abscisión de brotes y la muerte foliar en un periodo de 15 a

45 días, sin embargo, los resultados llegan a ser poco exitosos ya que no dañan el sistema endofítico [17].

- Biológico: Se utilizan hongos fitopatógenos; los más promisorios son *Colletotrichum gloeosporoides*, *Neonectria neomacrospora* y *Pestalotiopsis spp.*
- Físico: Las podas consisten en eliminar las ramas con presencia de muérdago, mitigando hasta un 50 por ciento de la copa total del árbol; el producto resultante se pica, entierra o quema para evitar la maduración de los frutos y con ello la dispersión de la semilla hacia áreas sanas.

### 1.3 Historia, simbolismo y usos del muérdago

El muérdago es una planta rica en historia de uso en diversas culturas, destacando su simbolismo y sus aplicaciones en rituales y tradiciones.

- Culturas celtas y druidas: para estas culturas el muérdago era una planta sagrada debido a su capacidad de crecer sin tocar el suelo. Lo consideraban un puente entre el cielo y la tierra; el muérdago, era considerado una planta mágica con propiedades curativas y protectoras [18].
- Mitología nórdica: en la mitología nórdica, el muérdago está asociado al dios Baldr y su madre Frigg, la diosa del amor. La historia relata cómo el beso bajo el muérdago se convirtió en un gesto de cariño tras una tragedia familiar, convirtiéndose en una tradición que se expandió por Europa y América en el siglo XVIII [19].

#### 1.3.1 Usos tradicionales

El muérdago ha sido apreciado a lo largo de los siglos en la medicina tradicional de diversas culturas debido a sus numerosas propiedades terapéuticas. Entre sus principales aplicaciones se destacan el apoyo a la fertilidad y a la regulación del ciclo menstrual [20]; se empleaba para tratar una variedad de dolencias, como los dolores de cabeza, y para favorecer la cicatrización de heridas, ayudando a prevenir infecciones.

#### 1.3.2 Usos contemporáneos

Al contener compuestos bioactivos se ha descubierto que el muérdago posee propiedades altamente funcionales; se ha utilizado en la medicina contemporánea especialmente en el ámbito de las terapias complementarias.

Los extractos de muérdago se utilizan en la medicina alternativa como tratamiento complementario para pacientes con cáncer. Estudios preclínicos han mostrado que el muérdago puede destruir células cancerosas *in vitro* y estimular el sistema inmunológico en animales [21]. El muérdago también se utiliza para mejorar la digestión, aliviando problemas como la indigestión y los cólicos. Sus extractos pueden ayudar a regular la función intestinal y promover una digestión saludable [22].

## 1.4 Componentes del muérdago

Entre los principales componentes del muérdago destacan los compuestos bioactivos, como proteínas, polisacáridos y flavonoides. Estos constituyentes son responsables de las múltiples propiedades atribuidas a la planta, como su potencial antioxidante, inmunomodulador y antibacteriano [23].

### 1.4.1 Compuestos bioactivos

Los compuestos bioactivos, también conocidos como fitoquímicos, son moléculas producidas a partir del metabolismo secundario de las plantas. A diferencia de los metabolitos primarios, que están directamente involucrados en el crecimiento y desarrollo, los metabolitos secundarios cumplen funciones ecológicas esenciales, como la defensa contra patógenos y herbívoros, la atracción de polinizadores y la adaptación a condiciones ambientales adversas [24]. Estos compuestos no solo contribuyen a las propiedades sensoriales de las plantas, como el color, el aroma y el sabor, sino que también poseen efectos funcionales y protectores [24].

Los compuestos bioactivos pueden clasificarse de diversas maneras, sin embargo, entre las categorías más destacadas se encuentran las siguientes:

#### 1.4.1.1 Compuestos fenólicos

Son un grupo amplio y variado de moléculas orgánicas que se distinguen por tener uno o más grupos hidroxilo (-OH) enlazados a un anillo aromático Figura 5, [27] [25].

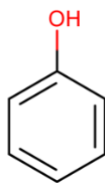


Figura 5. Estructura química del fenol.

### Características

- Presencia en el reino vegetal: Se encuentran en una gran variedad de fuentes naturales, como frutas, verduras, cereales, raíces y plantas medicinales.
- Funciones en las plantas: Desempeñan un papel clave en su desarrollo, reproducción y defensa frente a patógenos y condiciones adversas.
- Impacto en los alimentos: Influyen en el color, sabor y textura de muchos productos vegetales, contribuyendo a su calidad sensorial.
- Propiedades bioactivas: Se ha demostrado que poseen efectos antioxidantes, antimicrobianos, antiparasitarios y antiproliferativos, lo que los hace de interés para la salud humana [23].

### Clasificación

Se han identificado más de 8,000 tipos de compuestos fenólicos, los cuales desempeñan un papel clave en diversos procesos biológicos. Estos compuestos pueden clasificarse según distintos criterios, siendo uno de los más utilizados el basado en su complejidad química.

### Fenoles simples

Este grupo de compuestos se caracteriza por contener un anillo aromático y grupos hidroxílicos en su estructura química (C<sub>6</sub>). La presencia de fenoles en el medio ambiente es consecuencia tanto de acciones naturales como del aporte antropogénico de carácter industrial. La mayoría de los compuestos fenólicos que se pueden encontrar en las aguas residuales son el resultado de diversas actividades industriales y agrícolas.

### Ácidos fenólicos

Los ácidos fenólicos forman un subgrupo dentro de los compuestos fenólicos y se caracterizan por la presencia de un anillo aromático, un grupo hidroxilo (-OH) y un grupo carboxilo (-COOH) en su estructura química.

Representan aproximadamente un tercio de los fenoles presentes en la dieta y pueden encontrarse en las plantas tanto en su forma libre como unidos a otros componentes vegetales

[26]. Cuando estos compuestos están ligados, lo hacen a través de enlaces éster, éter o acetal con diferentes moléculas dentro de la planta [27]. Según su estructura, los ácidos fenólicos se dividen en derivados del ácido benzoico ( $C_6-C_1$ ) y derivados del ácido cinámico ( $C_6-C_3$ ). Los compuestos derivados del ácido benzoico son comunes en la naturaleza, principalmente en su forma libre, ya sea como ácidos, como el ácido vanílico, gálico y protocatéquico, o en forma de aldehídos, como la vainillina y el anisaldehído [28]. Por otro lado, los derivados del ácido cinámico, entre ellos los ácidos *p*-cumárico, cafeico, ferúlico y sinápico, desempeñan un papel crucial en la biosíntesis de estructuras fenólicas más complejas debido a su alta concentración y distribución en diversas fuentes naturales.

Además, los ácidos cinámicos pueden presentarse en formas conjugadas, tales como amidas, ésteres (especialmente de ácidos hidroxílicos como el ácido tartárico y algunos derivados de azúcar) y glicósidos [29]. Las tablas (B1-B3) ubicadas en el Anexo B muestra las estructuras químicas básicas de los compuestos fenólicos.

### Cumarinas

Las cumarinas son un grupo de compuestos ampliamente distribuidos en el reino vegetal y reconocidos por sus diversas y valiosas actividades biológicas [26] [30]. Todas las cumarinas comparten una estructura química característica denominada 2H-1-benzopirán-2-ona ( $C_6-C_3$ ) como se muestra en la Figura 6, conocida comúnmente como cumarina.

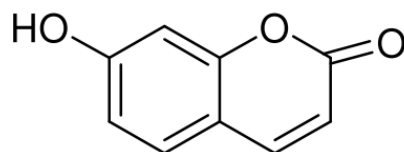


Figura 6. Estructura simple de las cumarinas.

La mayoría de las cumarinas, excepto la cumarina simple, presentan un grupo hidroxilo libre en la posición 7 de su estructura, como ocurre en compuestos como la umbeliferona, la esculetina y la escopoletina. Además, es habitual que en las posiciones 6 u 8 se encuentren sustituyentes isoprenílicos compuestos por 5, 10 o, en menor medida, 15 átomos de carbono [25]. Estos radicales pueden dar lugar a la formación de anillos adicionales de tipo furánico o piránico, debido a su elevada reactividad. Por esta razón, este grupo de cumarinas con cadenas isoprenílicas recibe el nombre de cumarinas complejas, destacando por la diversidad estructural que presentan, especialmente por la presencia de furano y piranocumarinas.

Las cumarinas se encuentran distribuidas en el reino vegetal, presentes especialmente en frutas y hortalizas [31]. Estos compuestos son reconocidos por sus diversas y valiosas actividades biológicas, entre las que destacan sus propiedades antioxidantes y antibacterianas. Un ejemplo de ello es la umbeliferona, que ha demostrado una actividad antioxidante considerable [32], así como efectos antibacterianos [33].

### Flavonoides

Los flavonoides son compuestos de bajo peso molecular que contienen quince átomos de carbono organizados en una estructura C<sub>6</sub>-C<sub>3</sub>-C<sub>6</sub>. Su configuración básica incluye dos anillos aromáticos conectados por una cadena de tres carbonos, que generalmente forma un anillo heterocíclico como se muestra en la Figura 7. Uno de los anillos se origina a partir de la vía del acetato/malonato, mientras que otro anillo proviene de la fenilalanina a través de la ruta del shikimato [34].

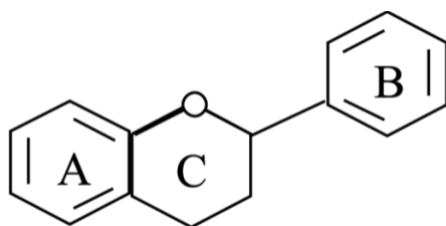


Figura 7. Estructura básica de los flavonoides.

Las modificaciones en uno de los anillos dan lugar a las principales clases de flavonoides, como flavonoles, flavonas, flavanonas, flavanoles (catequinas), isoflavonas, flavanonoles y antocianidinas [35]. Entre ellas, las flavonas y flavonoles presentan la mayor diversidad estructural y el mayor número de compuestos [36]. Además, las variaciones en los anillos A y B generan distintos compuestos dentro de cada clase de flavonoides [37], mediante procesos como oxigenación, alquilación, glicosilación, acilación y sulfonación [38].

### Taninos

Son compuestos fenólicos de elevado peso molecular y representan el tercer grupo más relevante dentro de esta categoría. Se clasifican principalmente en dos tipos: taninos hidrolizables y taninos condensados [39].

Los taninos hidrolizables reciben este nombre porque pueden descomponerse mediante procesos de hidrólisis química o enzimática, separándose en las unidades estructurales que los conforman. Están formados por una fracción polialcohólica —comúnmente glucosa,

aunque también puede ser ácido quínico, glicósidos u otros fenoles— y una fracción fenólica, como el ácido gálico, unidas entre sí mediante enlaces tipo éster [40].

Los taninos condensados son polímeros constituidos por dos o más unidades de flavan-3-ol. Cuando estos compuestos se encuentran en medio ácido originan antocianidinas (reacción de Bate-Smith), de ahí que también sean conocidos como proantocianidinas [41]. La estructura de los principales flavan-3-ols presentes en la naturaleza varía con el número de grupos hidroxilo del anillo B y con la estequiometría del carbono 3 del heterocíclico C. Así, dependiendo de la estequiometría del carbono 3, podemos tener, por ejemplo (+)-catequina o (-)-epicatequina, como se observa en la Figura 8.

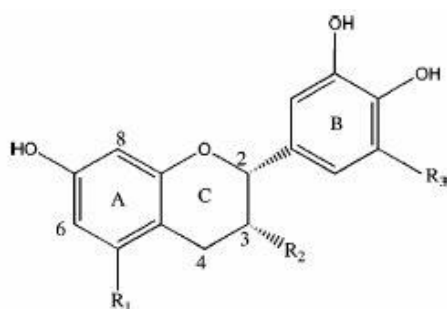


Figura 8. Estructura básica de un tanino condensado.

#### 1.4.1.2 Alcaloides

Los alcaloides son un grupo diverso de compuestos orgánicos naturales que se encuentran principalmente en plantas, pero también en algunos hongos, bacterias y animales. La característica química más distintiva de los alcaloides es la presencia de uno o más átomos de nitrógeno en su estructura, que generalmente forma parte de un anillo heterocíclico como se muestra en la Figura 9. Este nitrógeno les confiere propiedades básicas (alcalinas), de ahí su nombre alcaloide.

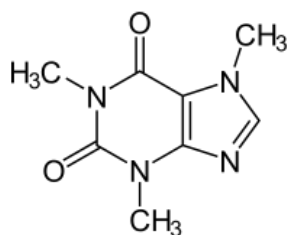


Figura 9. Estructura clásica de los alcaloides.

## Características

- Origen Natural: Se encuentran predominantemente en plantas especialmente en angiospermas, pero también en hongos, bacterias y animales.
- Estructura Química:
  - Nitrógeno: Contienen uno o más átomos de nitrógeno, generalmente en un anillo heterocíclico. La mayoría de los alcaloides son básicos debido al par de electrones no enlazantes del nitrógeno, aunque algunos pueden ser neutros o incluso ácidos.
  - Heterocíclicos: La mayoría de los alcaloides son compuestos heterocíclicos, lo que significa que el nitrógeno forma parte de un anillo [42].
- Complejidad Estructural: Poseen estructuras químicas muy diversas y a menudo complejas.
- Actividad Fisiológica: Se caracterizan por tener una notable actividad farmacológica o tóxica en dosis bajas, lo que les confiere un gran interés en farmacología y medicina [43].
- Formación de Sales: Debido a su basicidad, reaccionan con ácidos para formar sales, que suelen ser más solubles en agua que las bases libres. Esto es importante para su extracción y formulación farmacéutica.
- Precursores Biosintéticos: Se derivan biosintéticamente de aminoácidos, algunos pseudoalcaloides y protoalcaloides tienen rutas biosintéticas diferentes.

## Clasificación

De acuerdo con la estructura molecular y su ruta biosintética, los alcaloides se dividen en tres grupos:

### Alcaloides verdaderos

Cumplen estrictamente con las características de la definición de alcaloides: tienen siempre un nitrógeno intracíclico, son de carácter básico y se presentan en la naturaleza normalmente

formando sales con el ácido acético, oxálico, láctico, málico, tartárico y cítrico y tal vez lo que más la diferencia de los demás grupos es que se forman a partir de un aminoácido [44].

### Protoalcaloides

Pueden ser considerados aminas simples, poseen reacción básica y se forman in vivo a partir de aminoácidos, pero, a diferencia de los alcaloides verdaderos, poseen el nitrógeno en una cadena lateral de la molécula (extracíclico), es decir que no está formando parte del núcleo heterocíclico.

### Pseudoalcaloides

Poseen normalmente todas las características de los alcaloides verdaderos, pero no se forman a partir de aminoácidos. En la mayoría de los casos conocidos se trata de isoprenoides [45].

#### 1.4.1.3 Terpenos y terpenoides

Los terpenos, junto con los compuestos fenólicos, conforman una de las familias más extensas de metabolitos secundarios en las plantas, estando presentes en distintas partes como hojas, flores, tallos y raíces. Los terpenoides se originan a partir de modificaciones químicas como la oxigenación, la hidrogenación o la deshidrogenación de los terpenos. La unidad estructural fundamental de estos compuestos es el isopreno  $[C_5]_n$  donde “n” representa la cantidad de unidades de isopreno en la molécula, cuya estructura se muestra en la Figura 10. Esta variabilidad permite la existencia de una amplia gama de terpenos, que va desde los hemiterpenos  $[C_5]_1$  hasta los tetraterpenos  $[C_5]_8$  e incluso los politerpenos  $[C_5]_{>8}$  [46].

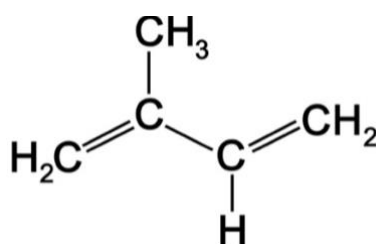


Figura 10. Isopreno, estructura básica de los terpenos.

### Características

- Presencia en el reino vegetal: Los terpenos y terpenoides son compuestos orgánicos naturales que se encuentran principalmente en plantas [47].
- Funciones en las plantas: Los terpenos y terpenoides desempeñan diversas funciones en las plantas, como: Funciones defensivas y protectoras, actuando como compuestos de

defensa contra herbívoros e insectos [48]. Funciones ecológicas, como la atracción de polinizadores y la comunicación entre plantas. Funciones antioxidantes, protegiendo a las plantas contra el estrés oxidativo [49].

- Impacto en los alimentos: Los terpenos y terpenoides presentes en las plantas pueden tener un impacto en los alimentos, ya que: Contribuyen a los aromas y sabores de los alimentos vegetales. Pueden tener propiedades beneficiosas para la salud, como actividad antibacteriana, antioxidante y antitumoral [50].

## Clasificación

### Monoterpenos

Están compuesto por dos unidades de isopreno C10; se han reportado formas acíclicas, monocíclicas y bicíclicas. Son componentes de compuestos de aceites esenciales que otorgan aroma y sabor a las plantas y son vitales para una variedad de ingredientes activos usados en aplicaciones agrícolas, medicinales, cosméticas y alimenticias. Estos ingredientes incluyen el pineno, carveol, alcanfor, mentol y limoneno [51].

### Diterpenos

Son hidrocarburos no volátiles (C20) derivados de cuatro unidades de isopreno, que pueden tener formas lineales, bicíclicas, tetracíclicas, pentacíclicas o macrocíclicas. Los diterpenos se caracterizan por tener grupos cetónicos e hidroxilo polioxigenados ([51]). En los residuos de destilación de plantas aromáticas, los diterpenos fenólicos identificados más importantes son el ácido carnósico, el carnosol y el derivado de metil carnosato.

## Propiedades biológicas

Los compuestos bioactivos tienen la capacidad de interactuar con sistemas biológicos y producir un efecto en la salud. Sus propiedades biológicas son diversas y dependen de su estructura química, dosis y biodisponibilidad. Entre sus principales beneficios se encuentran su actividad antioxidante, antiinflamatoria, antimicrobiana y anticancerígena, lo que ha despertado un gran interés en diversas áreas, incluyendo la industria farmacéutica, la alimentaria y la cosmética [52].

### Ejemplos de sus propiedades biológicas

- Actividad Antioxidante: muchos compuestos bioactivos, especialmente los polifenoles, carotenoides y vitaminas como la C y la E, actúan como antioxidantes. Su mecanismo

principal radica en la neutralización de radicales libres, moléculas altamente reactivas que pueden dañar células, proteínas, lípidos y ADN, contribuyendo al estrés oxidativo y al desarrollo de enfermedades crónicas como el cáncer, enfermedades cardiovasculares y neurodegenerativas [53].

- Propiedades Antiinflamatorias: muchos compuestos bioactivos poseen la capacidad de modular las vías inflamatorias, reduciendo la producción de mediadores proinflamatorios como citoquinas, prostaglandinas y leucotrienos.
- Actividad Antimicrobiana: algunos compuestos bioactivos exhiben propiedades antimicrobianas, lo que significa que pueden inhibir el crecimiento o matar bacterias, hongos, virus y parásitos. Esto los convierte en candidatos prometedores para el desarrollo de nuevos agentes antimicrobianos en un contexto de creciente resistencia a los antibióticos.
- Propiedades Anticancerígenas: un área importante de investigación es el potencial anticancerígeno de los compuestos bioactivos. Pueden actuar a través de múltiples mecanismos, incluyendo la inducción de apoptosis en células cancerosas, la inhibición de la proliferación celular, la supresión de la angiogénesis y la modulación de vías de señalización asociadas al cáncer [54].

## 1.5 Fundamentos de técnicas de extracción

El proceso de extracción puede definirse como la separación de los componentes activos o de interés de una planta u otra fuente; existen desde métodos que utilizan diversos solventes hasta métodos que aprovechan el ultrasonido, las microondas y otras tecnologías a con la finalidad de maximizar la extracción de compuestos bioactivos [55]. El objetivo de la extracción es obtener moléculas que puedan tener diversas aplicaciones, incluyendo fines terapéuticos o como ingredientes funcionales. La variabilidad de los compuestos en las plantas es muy amplia, lo que resalta la importancia de la extracción para su estudio y aplicación [56].

### 1.5.1 Métodos convencionales

Los métodos de extracción convencionales son utilizados ampliamente por las industrias y por los investigadores que buscan la extracción de compuestos obteniendo rendimientos altos y al mismo tiempo, utilizando equipos y/o material simple y accesible. Estos métodos incluyen: la maceración, la extracción por Soxhlet, entre otros; generalmente se utilizan

grandes volúmenes de solventes orgánicos y la extracción se logra mediante tiempos de extracción prolongados [57].

### 1.5.1.1 Maceración

La maceración es un método de extracción sencillo que consiste en remojar el material vegetal crudo previamente pulverizado en un solvente de interés, a temperatura ambiente, durante al menos tres días con agitación intermitente la Figura 11 ilustra este proceso [58]. Una vez completada la extracción, la mezcla se filtra ya sea a través de tamices o una malla con orificios pequeños. Posteriormente se prensa el residuo y el extracto líquido se limpia mediante filtración o decantación después de dejarlo reposar. La maceración se realiza preferentemente en un recipiente tapado para minimizar la pérdida del solvente por evaporación. Es indeseable obtener un extracto ya concentrado por la evaporación del solvente durante el proceso de extracción. El producto se concentra con frecuencia mediante evaporación al vacío.



Figura 11. Esquema extracción por maceración (elaboración propia).

Es crucial seleccionar un solvente adecuado en la maceración, ya que este determinará las clases de fitoquímicos recuperados de las muestras. El solvente también puede permitir la extracción de fitoquímicos termolábiles. El procedimiento tiene como desventaja principal su baja eficiencia y la larga duración del proceso de extracción [58]. Sin embargo, condiciones optimizadas pueden atribuir una eficiencia significativa a esta técnica [59].

#### Ventajas de la maceración

- Simplicidad: Requiere equipo mínimo y es fácil de realizar.
- Costo-efectividad: Generalmente menos costosa que otras técnicas de extracción.

- Baja degradación: Al realizarse a temperatura ambiente (o suavemente calentada), reduce el riesgo de degradación térmica de compuestos sensibles al calor.
- Adecuada para grandes volúmenes: Puede escalarse para procesar grandes cantidades de material.

### Desventajas de la maceración

- Eficiencia de extracción: Generalmente menos eficiente que técnicas como Soxhlet o la extracción asistida por ultrasonido, ya que no utiliza solvente fresco continuamente.
- Tiempo prolongado: Requiere largos períodos de tiempo para una extracción óptima.
- Consumo de solvente: Puede consumir grandes volúmenes de solvente.
- Extracción de impurezas: Puede extraer compuestos no deseados junto con los de interés.

#### 1.5.1.2 Extracción Soxhlet

La extracción Soxhlet es una técnica utilizada para separar uno o más componentes de una muestra sólida mediante un solvente específico. Es un método ampliamente reconocido y sirve como modelo para evaluar el rendimiento de otras técnicas de extracción [60]. El material vegetal molido se coloca en un dedal (una bolsa porosa) hecho de papel filtro resistente o celulosa [61]. Este dedal se inserta en el compartimento del aparato Soxhlet. El solvente de extracción, como etanol o metanol, se coloca en el matraz inferior. Luego, el solvente se calienta, se vaporiza y asciende hasta el dedal que contiene la muestra. Allí, los vapores se condensan en el condensador ubicado en la parte superior del equipo y gotean nuevamente sobre la muestra, facilitando así la extracción de los fitoquímicos, la Figura 12 muestra el esquema de este método de extracción. Este proceso cíclico permite obtener un rendimiento mayor en comparación con las técnicas de extracción por maceración.

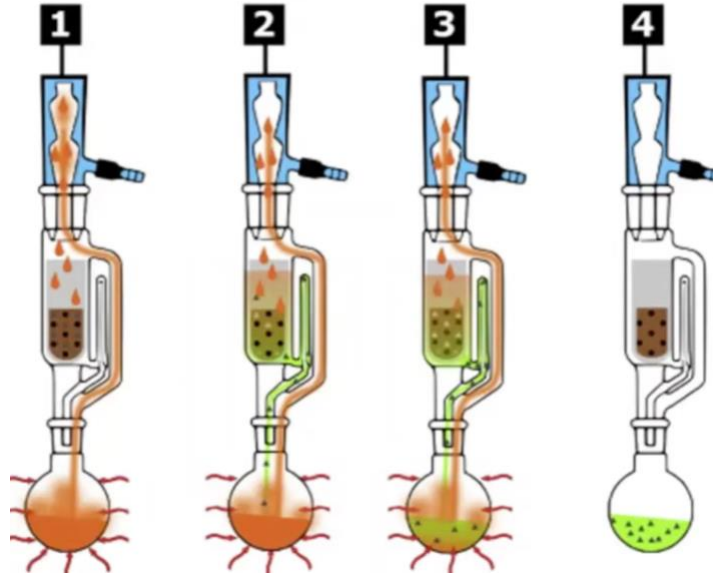


Figura 12. Esquema de extracción Soxhlet (Weggler et al., 2020 [62]).

### Ventajas de la extracción Soxhlet

- Alta eficiencia de extracción: El solvente fresco recircula continuamente sobre la muestra, disolviendo los analitos y asegurando una extracción casi completa de los compuestos solubles.
- Uso reducido de solvente: Aunque el equipo se llena con un volumen inicial de solvente, este se recicla y reutiliza a lo largo del proceso.
- Adecuado para muestras mequeñas: Es eficaz para extraer compuestos de cantidades relativamente pequeñas de muestra sólida.
- Concentración del mtracto: Los analitos extraídos se concentran en el matraz de ebullición, lo que facilita la recuperación y análisis posterior.
- Reproducibilidad: Cuando se realiza bajo condiciones controladas (temperatura de ebullición del solvente, tiempo, etc.), los resultados de la extracción Soxhlet suelen ser altamente reproducibles.

### Desventajas de la extracción Soxhlet

- Degradación de compuestos: La extracción se lleva a cabo a la temperatura de ebullición del solvente utilizado. Si los compuestos de interés son termosensibles, pueden degradarse, descomponerse o alterarse químicamente.
- Tiempo de extracción prolongado: es un proceso lento que puede tardar desde varias horas hasta varios días.

- Consumo de energía: Requiere un calentamiento constante para mantener el solvente en ebullición y un sistema de refrigeración para la condensación.
- No selectiva: Extraerá todos los componentes solubles en el solvente seleccionado, incluidos los compuestos no deseados, lo que puede requerir pasos adicionales de purificación.
- Equipamiento específico: Aunque es estándar en muchos laboratorios, requiere un montaje de vidrio específico (extractor Soxhlet, refrigerante, matraz de fondo redondo, cartucho de tiocelulosa o papel de filtro).

### Selección del solvente

La elección de solventes para la extracción de compuestos bioactivos depende de la tasa de extracción, la diversidad de los compuestos extraídos, el objetivo de la extracción, la seguridad y el costo de estos. Los alcoholes como etanol y metanol son conocidos como disolventes universales empleados en la extracción de compuestos bioactivos para la investigación de sus fitoquímicos [63].

No importa cuál sea el método de extracción utilizado, la naturaleza química de los disolventes de extracción resulta ser una consideración primordial ya que una correcta elección favorecerá la solubilidad de los compuestos y la selectividad de la extracción [64].

Algunas de las propiedades ideales de los solventes utilizados son:

- Baja toxicidad
- Evaporación fácil a bajas temperaturas
- Buena solubilidad
- Alta volatilidad

La Tabla 1 presenta los solventes más utilizados en la extracción de compuestos bioactivos.

Tabla 1. Compuestos bioactivos extraídos con diversos solventes [66].

Solvente	Compuesto bioactivo extraído
Agua	Antocianinas, taninos Terpenoides (saponinas) Taninos, ácidos fenólicos, flavonoides
Etanol	Alcaloides Terpenoides
Metanol	Ácidos fenólicos, taninos Terpenoides (saponinas)
Cloroformo	Terpenoides Flavonoides
Diclorometano	Terpenoides
Éter	Alcaloides Terpenoides
Acetona	Ácidos fenólicos, flavonoides

Entre los solventes existen aquellos considerados verdes, como el agua, que es el más utilizado; si bien el agua es considerada un solvente universal, este no resulta ser selectivo, ya que por su naturaleza química es capaz de separar todas las sustancias hidrófilas, como las saponinas, los polisacáridos y los compuestos fenólicos [65].

El etanol tiene una acción selectiva y se utiliza ampliamente en la extracción de fenoles y flavonoides, por otro lado, el metanol presenta propiedades toxicas inherentes; sin embargo, es un buen disolvente en la extracción de flavonoides, saponinas y fenoles [66].

## 1.6 Fundamentos de técnicas cromatográficas

### 1.6.1 Cromatografía Líquida de alta resolución (HPLC)

La cromatografía es una técnica analítica de separación ampliamente utilizada en química, bioquímica, farmacia y ciencias ambientales. Su principio se basa en la interacción entre los componentes de una mezcla y las fases móvil y estacionaria. En este proceso, los componentes son transportados por la fase móvil a través de la fase estacionaria, donde se separan en función de su distinta afinidad por cada una de ellas [67].

#### Fase estacionaria

La fase estacionaria en HPLC consiste en partículas porosas empaquetadas dentro de una columna, generalmente de acero inoxidable. El tamaño de partícula típico es de 1.7 a 5  $\mu\text{m}$ , lo que proporciona una gran área superficial para la interacción con los analitos y contribuye a la alta eficiencia de separación [68].

- Fase Reversa (RP-HPLC): Es el modo más común. La fase estacionaria es no polar (ej. cadenas de alquilo como C18 o C8 unidas a sílice), mientras que la fase móvil es polar (ej. mezclas de agua con metanol o acetonitrilo). Los compuestos más polares eluyen primero, y los no polares se retienen más tiempo debido a las interacciones hidrofóbicas.
- Fase Normal (NP-HPLC): Utiliza una fase estacionaria polar (ej. sílice desnuda, diol, amino) y una fase móvil no polar (ej. hexano, cloroformo). Los compuestos más polares se retienen más tiempo. Este modo es menos común que la RP-HPLC y se usa para separar compuestos muy polares o isómeros [69].

### Fase móvil

La fase móvil ya sea un solo solvente o una mezcla de solventes transportan a la muestra a través de la columna. Es crucial para la separación, ya que su composición, fuerza iónica y pH afectan la retención de los analitos. Se bombea a través de la columna a altas presiones, hasta 400 bares, para asegurar un flujo constante y eficiente [70].

- Elución Isocrática: La composición de la fase móvil se mantiene constante durante toda la corrida.
- Elución por Gradiente: La composición de la fase móvil se cambia de forma programada durante la corrida. Esto es útil para separar mezclas complejas con analitos de polaridad muy diferente [70].

### Proceso de separación

Una vez que la muestra es inyectada, los analitos son transportados por la fase móvil a través de la columna. La separación ocurre debido a las interacciones diferenciales de los analitos con la fase estacionaria y la fase móvil. Los analitos que interactúan más fuertemente con la fase estacionaria se retienen más tiempo, mientras que aquellos que interactúan más con la fase móvil eluyen más rápidamente [71].

El equipo cromatográfico en HPLC está compuesto por diversos dispositivos:

- Compartimento de fase móvil, conectados a la bomba por una serie de tuberías junto con un sistema de desgasificación.
- Bomba, mantiene constante el flujo de la fase móvil a través de la columna y hacia el detector.

- Inyector, introduce la muestra al sistema sin necesidad de interrumpir el flujo de la fase móvil.
- Columna, donde ocurre la separación. Este dispositivo suele estar acompañado de un termostato con la función de mantener y controlar la temperatura en la columna.
- Detector, encargado de convertir y traducir alguna propiedad física de los analitos en una señal medible.
- Equipo de cómputo, encargado de procesar las señales eléctricas en datos digitalizados que pueden ser analizados [72].

La Figura 13 muestra cada uno de los componentes comunes en un equipo de cromatografía de líquidos HPLC.

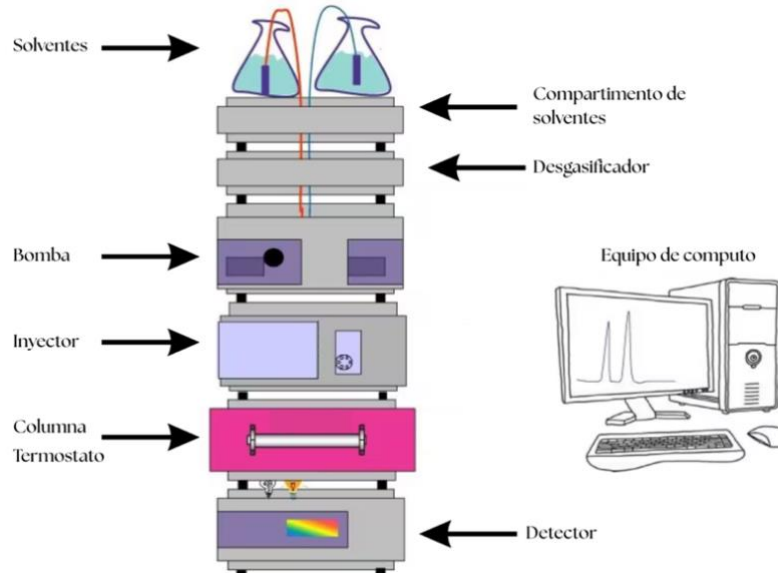


Figura 13. Componentes del equipo HPLC (Bramhadevu S Chandrashekar).

## Detección

Después de pasar por la columna, los analitos separados llegan a un detector que mide una propiedad física o química de cada componente a medida que eluye. Los detectores comunes incluyen:

- Detector de UV-Vis (Ultravioleta-Visible): Mide la absorbancia de la luz ultravioleta o visible por los analitos. Es ampliamente utilizado porque muchos compuestos absorben en este intervalo y es relativamente sensible [73].
- Detector de Índice de Refracción (RID): Mide los cambios en el índice de refracción de la fase móvil a medida que los analitos eluyen. Es universal, pero menos sensible y no es compatible con elución por gradiente.
- Detector de Masas (MS): Proporciona información sobre el peso molecular y la estructura de los analitos, ofreciendo alta sensibilidad y especificidad. Es uno de los detectores más potentes y se utiliza en combinación con HPLC (LC-MS) [74].

## Detector DAD UV-Vis

Un detector Diode Array Detector (DAD) es un tipo de detector de absorbancia UV-Vis utilizado en HPLC que permite adquirir un espectro completo de absorbancia en un rango de longitudes de onda, típicamente de 190 nm a 800 nm para cada punto de tiempo durante una corrida cromatográfica. A diferencia de los detectores UV-Vis de longitud de onda fija o variable, que miden la absorbancia en una o unas pocas longitudes de onda a la vez, el DAD utiliza una matriz de fotodiodos para medir simultáneamente la absorbancia en todo el rango de longitudes de onda [67].

Componentes:

- Lámpara de Deuterio y Tungsteno: Proporciona la fuente de luz UV y visible.
- Celda de Flujo: Un capilar o celda con una trayectoria óptica definida a través del cual fluye el efluente de la columna.
- Red de Difracción (Grating): Dispersa la luz transmitida a través de la celda de flujo en sus longitudes de onda constituyentes.
- Matriz de Fotodiodos (Diode Array): Una serie lineal de pequeños fotodiodos colocados después de la red de difracción. Cada fotodiodo detecta una estrecha banda de longitudes de onda, lo que permite la adquisición simultánea de un espectro completo [69].

La Figura 14 ilustra los componentes claves en los detectores DAD.

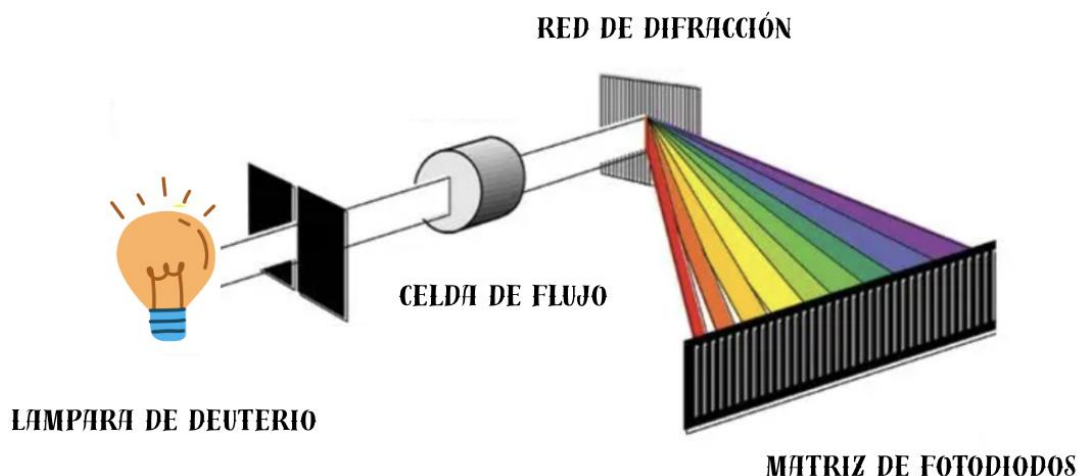


Figura 14. Esquema del detector DAD (Figura adaptada de la referencia [75]).

### Detector de masas

La espectrometría de masas está basada en la obtención de iones a partir de moléculas orgánicas en fase gaseosa; una vez obtenidos estos iones, se separan de acuerdo con su masa y su carga y finalmente se detectan por medio de un dispositivo adecuado. Su fundamento radica en la aplicación de un voltaje a las moléculas de una muestra para la formación de iones que son separados eléctrica y/o magnéticamente de acuerdo con su relación masa-carga ( $m/z$ ), cuya abundancia es registrada por un procesador de datos [76].

### Fuente de ionización

La ionización por electrospray (ESI) es una de las ionizaciones más suaves. Los iones se generan mediante la aplicación de una diferencia de potencial en un spray formado con la disolución de la muestra y un gas inerte ( $N_2$ ). El disolvente que hay en las pequeñas gotas cargadas se va evaporando en una cámara de secado y las moléculas de analito se aproximan y se repelen, hasta que finalmente, cuando la repulsión de las cargas del mismo signo es mayor que la tensión superficial, las gotas explotan. Este proceso permite que los analitos queden libres de disolvente.

### Analizadores de masa

- Cuadrupolo: consiste en pares de varillas metálicas dispuestas simétricamente alrededor de un eje. Se genera un campo eléctrico al aplicar tensión continua a un par de varillas y tensión continua de polaridad opuesta a las otras. Al añadir tensión a ambos pares de varillas, se pueden inducir oscilaciones en los iones que circulan por el instrumento.

Moderando la tensión de aplicada se puede ajustar qué iones atraviesan el sistema y cuáles se filtran. Los espectrómetros de masas de un solo cuadrupolo utilizan un cuadrupolo para filtrar los iones antes de la detección, lo que ofrece capacidades cualitativas y cuantitativas básicas [77].

- Triple cuadrupolo (QqQ): un instrumento básico de triple cuadrupolo consta de dos analizadores cuadrupolo lineales que están conectados a un tercer cuadrupolo, donde se introduce gas de colisión para fragmentar los iones. Los iones de analitos no de interés se descartan en el primer cuadrupolo, el segundo cuadrupolo fragmenta el analito seleccionado y dirige los iones fragmentados al tercer cuadrupolo, donde se escanean de la misma manera que un instrumento de un solo cuadrupolo (Figura 15). Esto produce un espectro MS/MS que puede usarse para confirmar la identidad de los analitos. Alternativamente, el tercer cuadrupolo puede configurarse para monitorear solo iones específicos. Esto aumenta considerablemente la sensibilidad y especificidad del analizador, lo cual es excelente para el análisis cuantitativo.

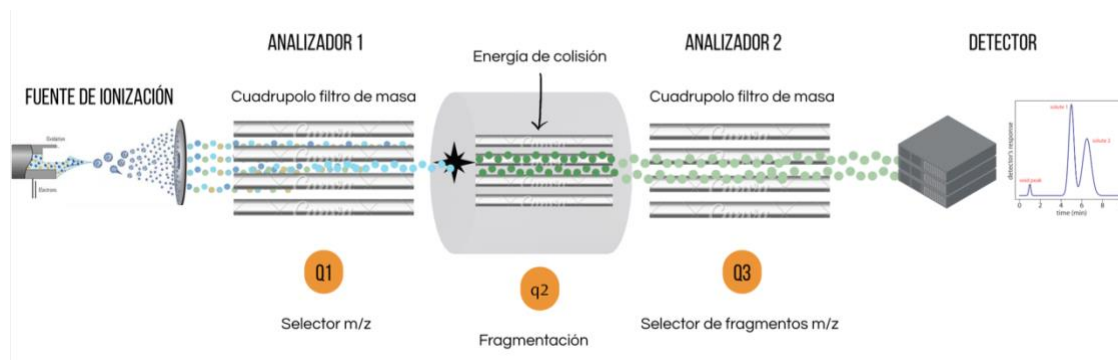


Figura 15. Esquema analizador QqQ (Elaboración propia).

- Tubo de tiempo de vuelo (ToF): es un analizador de masas que utiliza un campo eléctrico para acelerar los iones generados a través del mismo potencial eléctrico y mide el tiempo que tarda cada ion en llegar al detector (Figura 16). Si todos los iones tienen la misma carga, sus energías cinéticas serán idénticas, por lo tanto, la velocidad de cada ion dependerá únicamente de su masa. Esto significa que los iones más ligeros llegan primero al detector, mientras que los más pesados en un tiempo mayor, estos previamente separados por la cromatografía [78].

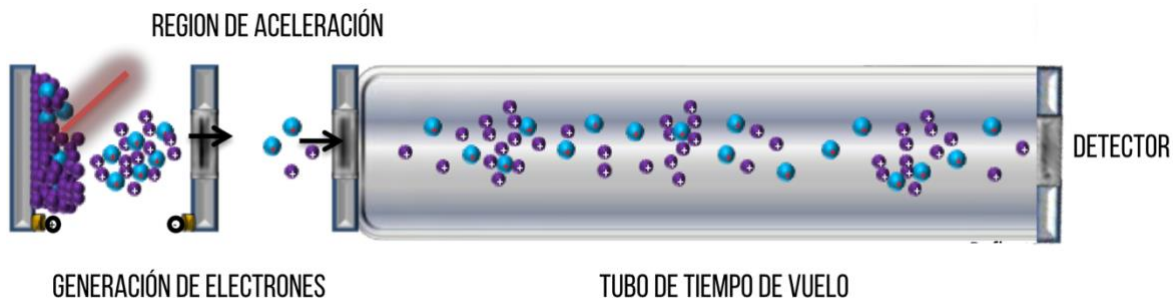


Figura 16. Esquema del analizador ToF [79].

### 1.6.2 Fundamentos de Cromatografía Flash (Flash-LC)

La cromatografía flash se basa en los mismos principios de la cromatografía líquida de columna: la separación de los componentes de una mezcla debido a sus diferentes afinidades por la fase estacionaria y la fase móvil [80]. La diferencia más notable de esta técnica es la capacidad de recolectar los fragmentos de mezcla durante el proceso de separación esto facilitando su purificación.

- Fase Estacionaria: Generalmente se utiliza sílice ( $\text{SiO}_2$ ) como fase estacionaria, empacada en una columna de vidrio o plástico. [81].
- Fase Móvil: La elección de la fase móvil es crucial y se basa en la polaridad de los compuestos a separar y la fase estacionaria utilizada.
- Adsorción y Desorción: Cuando la mezcla de compuestos se introduce en la columna, los componentes interactúan de manera diferente con la fase estacionaria. Los compuestos que tienen mayor afinidad por la fase estacionaria se retienen más tiempo en la columna. Por otro lado, los compuestos que tienen menor afinidad por la fase estacionaria son arrastrados más rápidamente por la fase móvil.
- Elución y Separación: A medida que la fase móvil fluye, los compuestos se van desorbiendo de la fase estacionaria y se mueven a través de la columna. Debido a las diferencias en la velocidad de movimiento, los componentes de la mezcla se separan y salen de la columna en diferentes momentos, lo que permite su recolección individual.

La cromatografía flash se distingue por su rapidez, ya que, emplea presión positiva para impulsar la fase móvil a través de la columna, lo que reduce significativamente el tiempo de separación. Además, es una técnica eficiente, capaz de separar cantidades considerables de

muestra, desde miligramos hasta gramos, en lapsos breves. Su facilidad de uso también destaca, pues los sistemas modernos están automatizados y cuentan con software que permite controlar parámetros como el flujo, el gradiente y la recolección de fracciones. Finalmente, durante el proceso, los eluyentes son monitorizados mediante detectores UV, lo que facilita la identificación de los compuestos conforme van saliendo de la columna [75].

El sistema de cromatografía preparativa Flash está compuesto por:

- Bomba de alta presión (hasta ~50 bar): responsable de impulsar la fase móvil con presión positiva, garantizando flujos estables y rápidos a través de la columna.
- Detector UV configurable: monitoriza el eluyente y permite identificar los compuestos a medida que se eluyen.
- Recolector de fracciones: dispositivo que captura las fracciones separadas de forma automatizada según los parámetros definidos.
- Software de control: interfaz intuitiva para programar y controlar flujo, gradiente, recolección y otros parámetros operativos.
- Accesorios incluidos: normalmente se suministran racks, soporte para cartuchos, plataforma para botellas de solvente y contenedores de retención (Figura 17).

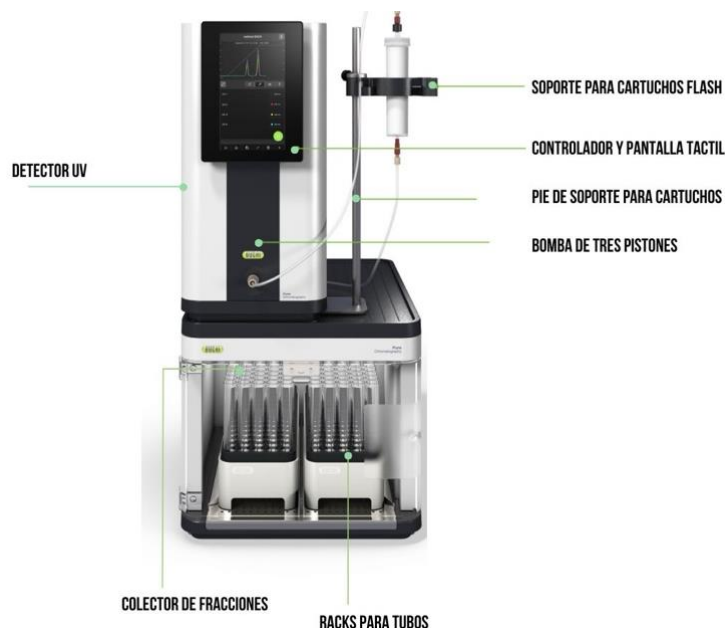


Figura 17. Componentes del sistema cromatográfico Flash (BÜCHI Labortechnik [82]).

# CAPÍTULO 2

## METODOLOGÍA

### 2.1 Material vegetal

Las ramas de muérdago (Figura 18) fueron recolectadas de un solo árbol hospedero ubicado en el Parque Bicentenario de la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, localizado en Avenida San Claudio y 18 sur, CU San Manuel, 72570, Puebla, con coordenadas (19°00'13.5"N 98°12'09.3"W) (Figura 19).

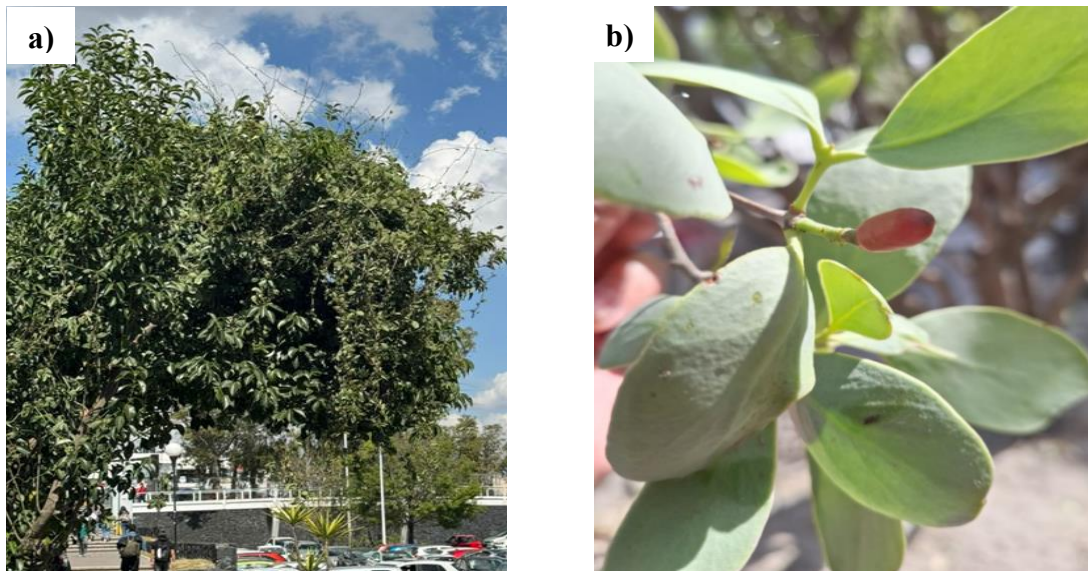


Figura 18. a) Árbol hospedero, b) Muérdago.



Figura 19. Mapa satelital del parque bicentenario BUAP.

La recolección y preparación del material vegetal se basó en los lineamientos establecidos en el Manual Técnico de Muestreo de Productos Agrícolas [83]. La identificación de las especies vegetales fue realizada en el jardín botánico de la BUAP, por el taxónomo MPhil Allen James Coombes.

### 2.1.1 Acondicionamiento del material

El material vegetal seleccionado consta de hojas, tallos y fruto; la maceración se llevó a cabo únicamente con las hojas sin daño visible. Se lavaron con agua potable y se secaron a temperatura ambiente durante aproximadamente cuatro días. Una vez secas, las hojas se trituraron en una licuadora convencional y se tamizaron utilizando una malla de 200 mesh (tamaño de partícula de aproximadamente 75  $\mu\text{m}$ ).

## 2.2 Obtención de los componentes bioactivos

Se utilizaron 50 g de hojas de muérdago pulverizadas. La maceración se llevó a cabo en 500 mL de etanol, metanol y metanol/agua, por separado (Tabla 2). El proceso se llevó a cabo a temperatura ambiente durante 24 horas, en ausencia de luz; las muestras obtenidas se filtraron empleando un embudo y papel filtro.

Tabla 2. Eluyentes utilizados.

<b>Extracto</b>	<b>Solvente</b>	<b>Proporción</b>
MCEO1	Etanol	100%
MCM01	Metanol	100%
MMA01	Metanol/Agua	70% / 30 %

Tras la maceración, los extractos fueron concentrados por separado mediante evaporación al vacío utilizando un rotavapor (SEV Prendo) a 55 °C.

## 2.3 Separación cromatográfica Flash (Flash-LC)

Los componentes de los extractos fueron separados mediante cromatografía flash preparativa, utilizando un sistema BÜCHI Pure C-900 Essential, equipado con un detector UV de onda fija, capaz de operar en cuatro longitudes de onda: 254, 275, 325 y 365 nm.

Se desarrolló un método cromatográfico con el que fue posible efectuar la separación; para ello, se probaron distintos solventes, proporciones de solventes, flujos y tiempos de separación, con el objetivo de maximizar la resolución y mejorar la eficiencia en la separación de los compuestos presentes en los extractos de muérdago.

El método se basó en un gradiente escalonado (Tabla 3); como fase móvil se empleó una mezcla de 2-propanol grado HPLC y agua desionizada, mientras que la fase estacionaria consistió en un cartucho C18 (BÜCHI EcoFlex, 12 g). El volumen inyectado fue de 2 mL y flujo de 15 mL/min.

Tabla 3. Parámetros de elución extracto de muérdago.

	<b>Tiempo</b>	<b>A</b>	<b>B</b>
1	05:00	95.0%	5.0%
2	05:02	70.0%	30.0%
3	10:02	70.0%	30.0%
4	10:04	5.0%	95.0%
5	15:04	5.0%	95.0%
6	15:06	0.0%	100.0%
7	16:06	0.0%	100.0%

Con esta técnica de separación, cada extracto fue fraccionado en tres grupos de compuestos bioactivos, cada uno con diferentes características químicas, así como tiempos de retención distintos. Las fracciones obtenidas fueron concentradas individualmente mediante evaporación al vacío, utilizando un rotavapor SEV Prendo a 55 °C.

## 2.4 Cromatografía analítica (HPLC)

El análisis cromatográfico se realizó en un equipo HPLC Agilent 1260-Infinity II con inyector automático y detector UV-Vis de arreglo de diodos (DAD). La detección de los compuestos se realizó en un detector de masas, con ionización por electrospray ESI-QToF-MS, con detección tanto en modo de ionización positivo como negativo. Las condiciones del detector fueron: voltaje del fragmentor 175 V, voltaje del capilar 3500 V, intervalo de masa/carga (m/z) de detección de 50 - 1700 uma, flujo y presión del gas en el nebulizador 12 mL/ min y 60 psi, temperatura 350 °C. La calibración se realizó en modo ESI-L low conc, con Tuning Mix G1969-85000; Lote 0006776102. La separación se llevó a cabo en una columna de fase inversa Zorbax Eclipse XDB-C18, Rapid resolution 2.1 x 5.0 mm. Se utilizó el método de gradiente con un flujo de 0.25 mL/min; las fases móviles empleadas fueron A: agua (H<sub>2</sub>O) + 0.1% ácido fórmico (AF); B: metanol (MeOH) + 0.1% (AF) y acetonitrilo (ACN) + 0.1% (AF). La Tabla 4 muestra los parámetros utilizados en la separación. Cada muestra fue

filtrada por separado y diluida en metanol grado HPLC en proporción 1:20 (v/v). Se inyectaron 25 µL de cada muestra en el sistema cromatográfico.

Tabla 4. Parámetros de separación por HPLC.

	<b>Tiempo</b>	<b>A</b>	<b>B</b>
1	1.00 min	90.0%	10.0%
2	5.00 min	10.0%	90.0%
3	10.00 min	5.0%	95.0%
4	10.10 min	90.0%	10.0%

### Identificación de los compuestos

De los 40 compuestos bioactivos reportados para muérdago (consultar Anexo C), la mayoría presentan ionización negativa  $[M-H]^-$ , y solo algunos, ionización positiva  $[M+H]^+$ . Con estos datos se realizó la búsqueda de las (m/z) en el cromatograma de iones totales (TIC), obteniendo así los cromatogramas de cada ion extraído (EIC).

### 2.5 Cuantificación de compuestos

El análisis cuantitativo se realizó utilizando curvas de calibración; para ello, se prepararon disoluciones estándar a partir de una solución madre de 1000 ppm. La curva de calibración (lineal) para cada estándar se construyó con cinco diluciones de diferente concentración. Los estándares utilizados fueron: hidrato de catequina, ácido gálico, catecol, hidrato de rutina, ácido p-cumárico y ácido clorogénico. En todos los casos, se inyectaron 25 µL de cada estándar para su análisis. Las muestras se diluyeron en metanol grado HPLC en proporción 1:20 (v/v); las inyecciones se realizaron por triplicado.

Los picos de cada compuesto identificado por tiempo de retención y (m/z), se integraron con la herramienta de integración manual del software Agilent Mass Hunter Qualitative Analysis Navitor B.08.00. Las curvas de calibración se construyeron a partir de la concentración y el promedio de tres mediciones del área de cada pico; la ecuación de la recta se obtuvo empleando el método de mínimos cuadrados (Ec. (1)).

$$y = mx + b \quad (1)$$

Donde:

y= área

m= pendiente de la recta

x= concentración

b= ordenada al origen

La concentración de cada analito en la muestra se calculó utilizando la Ec. (2).

$$x = \frac{y - b}{m} \quad (2)$$

Uno de los parámetros fundamentales para la cuantificación de compuestos es la sensibilidad, la cual está relacionada con la cantidad mínima de analito capaz de producir una señal significativa; este parámetro determina el límite de detección (LD) y el límite de cuantificación (LC), los cuales se obtuvieron utilizando las Ecs. (3 y 4), respectivamente.

$$LD = \frac{Y_{bl} + 3S_{bl}}{b} \quad (3)$$

Donde:

$Y_{bl}$  = Estimación de la respuesta a la concentración 0

$S_{bl}$  = Desviación estándar de la señal a concentración 0

$b$  = ordenada al origen de la recta de la curva de calibración

$$LC = \frac{Y_{bl} + 10S_{bl}}{b} \quad (4)$$

Donde:

$Y_{bl}$  = Estimación de la respuesta a la concentración 0

$S_{bl}$  = Desviación estándar de la señal a concentración 0

$b$  = ordenada al origen de la recta de la curva de calibración

## 2.6 Pruebas de funcionalidad

### 2.6.1 Capacidad antioxidante

La capacidad antioxidante de los extractos fue evaluada mediante el método de DPPH, utilizando un espectrofotómetro UV-Vis (JENWAY 7305) ajustado a 517 nm. Se preparó una solución disolviendo 0.0012 g de 2,2-difenil-1-picrilhidracilo (DPPH) en 50 mL de metanol grado reactivo. Se determinó la actividad antioxidante a muestras preparadas con 3900  $\mu$ L de solución DPPH y 100  $\mu$ L de cada extracto concentrado de muérdago. La muestra

control consistió en una solución de 3900 µL de DPPH y 100 µL de metanol. Cada muestra se almacenó en una celda de cuarzo a temperatura ambiente en ausencia de luz, con el fin de evitar la degradación del radical; después de 30 minutos de reacción, se midió la absorbancia. El porcentaje de inhibición al radical DPPH se obtuvo con la Ec. (5).

$$\% \text{ Inhibición} = \frac{A_{control} - A_{muestra}}{A_{control}} \times 100 \quad (5)$$

Donde:

$A_{control}$  = Absorbancia de control

$A_{muestra}$  = Absorbancia de la muestra

### 2.6.2 Capacidad antifúngica

La actividad antifúngica de los extractos se evaluó utilizando Agar Papa Dextrosa (PDA) como medio de cultivo. Los extractos se incorporaron al PDA antes de la esterilización, asegurando una mezcla homogénea; el medio se esterilizó a 121 °C durante 15 minutos. A continuación, el medio con los extractos se distribuyó en cajas Petri divididas en tres compartimentos, lo que permitió realizar el experimento por triplicado; la muestra control consistió de PDA sin extracto. En todos los compartimentos se inocularon esporas de *Aspergillus niger* (Aislado directamente de un libro antiguo). Las placas se incubaron a 25–28 °C durante 72 horas en oscuridad parcial, condiciones óptimas para el crecimiento del hongo. Tras la incubación, el efecto de los extractos sobre el crecimiento fúngico se evaluó midiendo el crecimiento radial del micelio con acetado, del día 2 al día 4, cada 24 h. El índice antifúngico (AI) se calculó siguiendo la metodología reportada en la literatura [84], empleando la Ec. (6).

$$AI(\%) = (1 - [DC_{ensayo}/DC_{control}]) * 100. \quad (6)$$

donde:

$DC_{ensayo}$  = Diámetro de las colonias en las placas con extracto.

$DC_{control}$  = Diámetro de las colonias en las placas del control.

# CAPÍTULO 3

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 3.1 Taxonomía

La identificación taxonómica determinó que el árbol hospedero corresponde a *Ligustrum lucidum* perteneciente a la familia *Oleacea*, mientras que la especie de muérdago identificada corresponde a *Struthanthus venetus* (*Kunth*) *Blume* perteneciente a la familia *Loranthaceae* (Figura 20).



No. oficio HJ-080/2025

**Asunto:** Identificación taxonómica

Dr. Heriberto Hernández Cocoltzi  
Profesor-Investigador  
Facultad de Ingeniería Química  
BUAP  
P R E S E N T E

Por este medio reciba un cordial saludo y así mismo aprovecho la presente para entregarle la identificación taxonómica del material herborizado recibido, cuya identificación fue realizada por el taxónomo *MPhil Allen James Coombes*, siendo la siguiente:

No.	ID	NOMBRE	FAMILIA	NÚMERO DE COLECTA	COLECTOR
1	92587	<i>Struthanthus venetus</i> ( <i>Kunth</i> ) <i>Blume</i>	Loranthaceae	MOO1	María Fernanda Villarreal Onofre
2	92588	<i>Ligustrum lucidum</i> <i>W.T.Aiton</i>	Oleaceae	MOO2	María Fernanda Villarreal Onofre

Sin más por el momento me despido de Usted.

**Atentamente**  
"Pensar Bien, Para Vivir Mejor"  
H. Puebla de Z., a 27 de mayo de 2025.



Dr. Jesús Francisco López Olguín  
Director



c.c.p. Archivo

Herbario y Jardín Botánico | Edif. HJB, Av. Central, esq. con Av. Escolar  
Ciudad Universitaria  
Puebla, Pue. C.P. 72570  
Tel. 222 229 5500, exts. 7032 y 7034

Figura 20. Identificación taxonómica.

### 3.2 Separación cromatográfica Flash

Los extractos obtenidos en solución acuosa fueron separados mediante Flash-LC. La separación dio lugar a tres grupos de compuestos (Figura 21), los cuales se diferencian en su composición química y el tiempo de retención. En los cromatogramas, cada señal corresponde a diferentes longitudes de onda utilizadas en el análisis. Se observan regiones bien definidas que representan los grupos de compuestos eluidos con distintas composiciones de fase móvil.

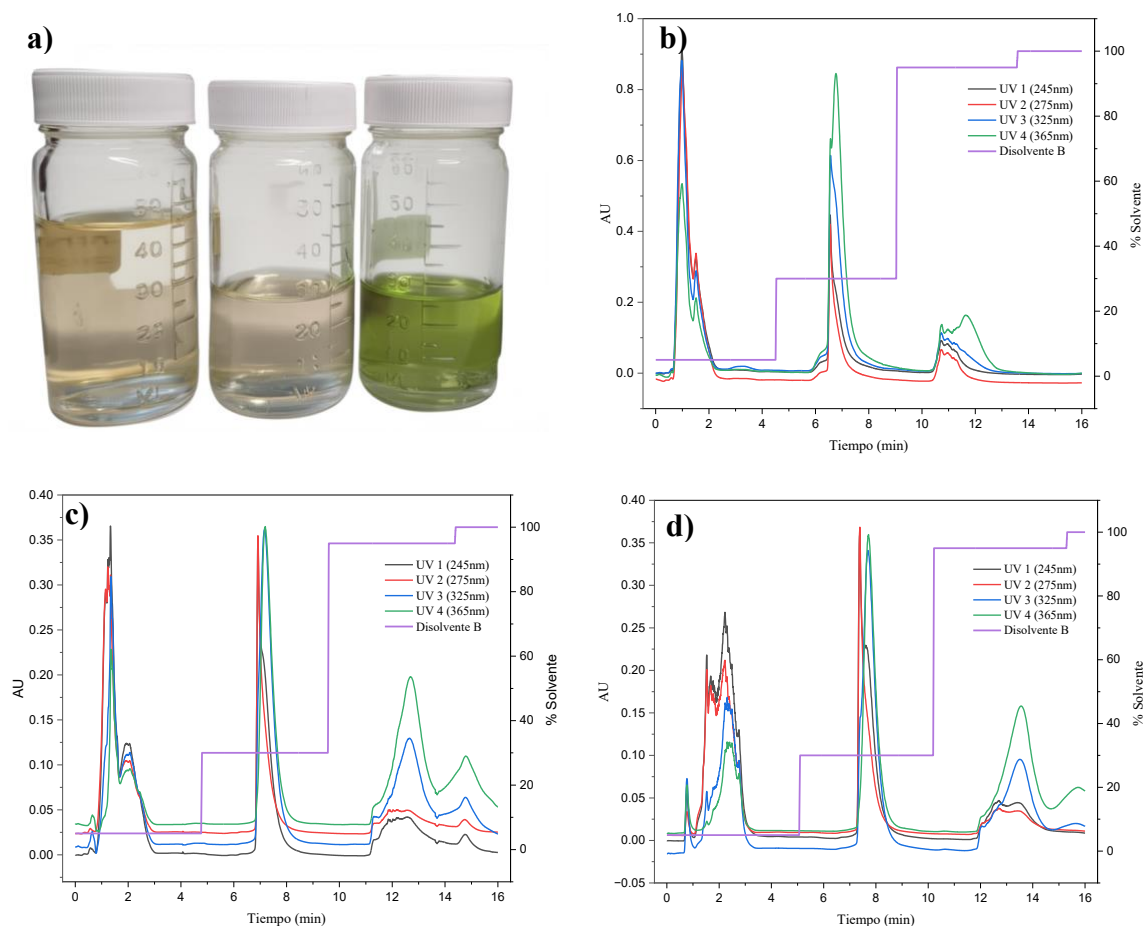


Figura 21 a) Extractos separados; cromatogramas b) MCE01, c) MCM01, d) MMA01.

Los compuestos detectados en la longitud de onda 254 nm corresponden a los fenoles, los bencenos y sus derivados; en 275 nm se hallan los compuestos aromáticos sustituidos, mientras que en 325 nm las flavonas, los flavonoles y las cumarinas, entre otros. Finalmente, la absorción en 365 nm corresponde a compuestos flavonoides conjugados como la quercetina, algunos pigmentos vegetales, entre otros [67].

La Tabla 5 contiene los tiempos de retención correspondientes a cada fracción, así como la composición de fase móvil utilizada para cada extracto.

Tabla 5. Tiempos de retención y composición de la fase móvil en extractos de muérdago.

	<b>MCE01</b>			<b>MCM01</b>			<b>MMA01</b>		
	T <sub>R</sub> (min)	FM A	FM B	T <sub>R</sub> (min)	FM A	FM B	T <sub>R</sub> (min)	FM A	FM B
A1	1-3	95%	5%	1-3	95%	5%	1-3	95%	5%
B2	7-8	70%	30%	7-8	70%	30%	7-8	70%	30%
C3	12-16	5%	95%	12-14	5%	95%	11-12	5%	95%

FM: Fase móvil A: Agua, B: 2-propanol; T<sub>R</sub>: Tiempo de retención

El primer grupo de compuestos (A1) mostró un tiempo de retención de entre 1 y 3 minutos; este parámetro está asociado a compuestos con alta polaridad, los cuales presentan poca afinidad con la fase estacionaria y eluyen durante la etapa inicial, en la que el porcentaje de fase móvil 2-propanol es apenas del 5%. Entre estos compuestos se hallan los metabolitos hidrofílicos como la vitamina C, el ácido ascórbico y el ácido gálico, los cuales se caracterizan por ser altamente polares. El segundo grupo (B1) tuvo un tiempo de retención de 7 y 8 minutos, correspondiente a moléculas de polaridad media como los flavonoides, algunos compuestos glicosilados y algunos fenoles. Finalmente, el tercer grupo (C1) de entre 12 y 16 minutos de retención contiene a compuestos hidrofóbicos con una alta afinidad por la fase estacionaria, como los flavonoides, los terpenos, los carotenoides y los lípidos [67].

### 3.3 Cromatografía analítica HPLC

El análisis cualitativo de las muestras permitió obtener los cromatogramas de iones totales (TIC). El Anexo D contiene muestra los cromatogramas TIC de cada extracto analizado.

La Figura 22 muestra el perfil global de los compuestos eluidos en los extractos etanólicos a lo largo del tiempo. Cada cromatograma presenta un pico con una intensidad superior a  $1 \times 10^7$ , lo que indica abundancia de compuestos separados e identificados. Estos corresponden a compuestos de naturaleza polar ya que eluyeron a los 2 minutos de iniciada la separación, lo que indica que no mostraron interacción con la fase estacionaria.

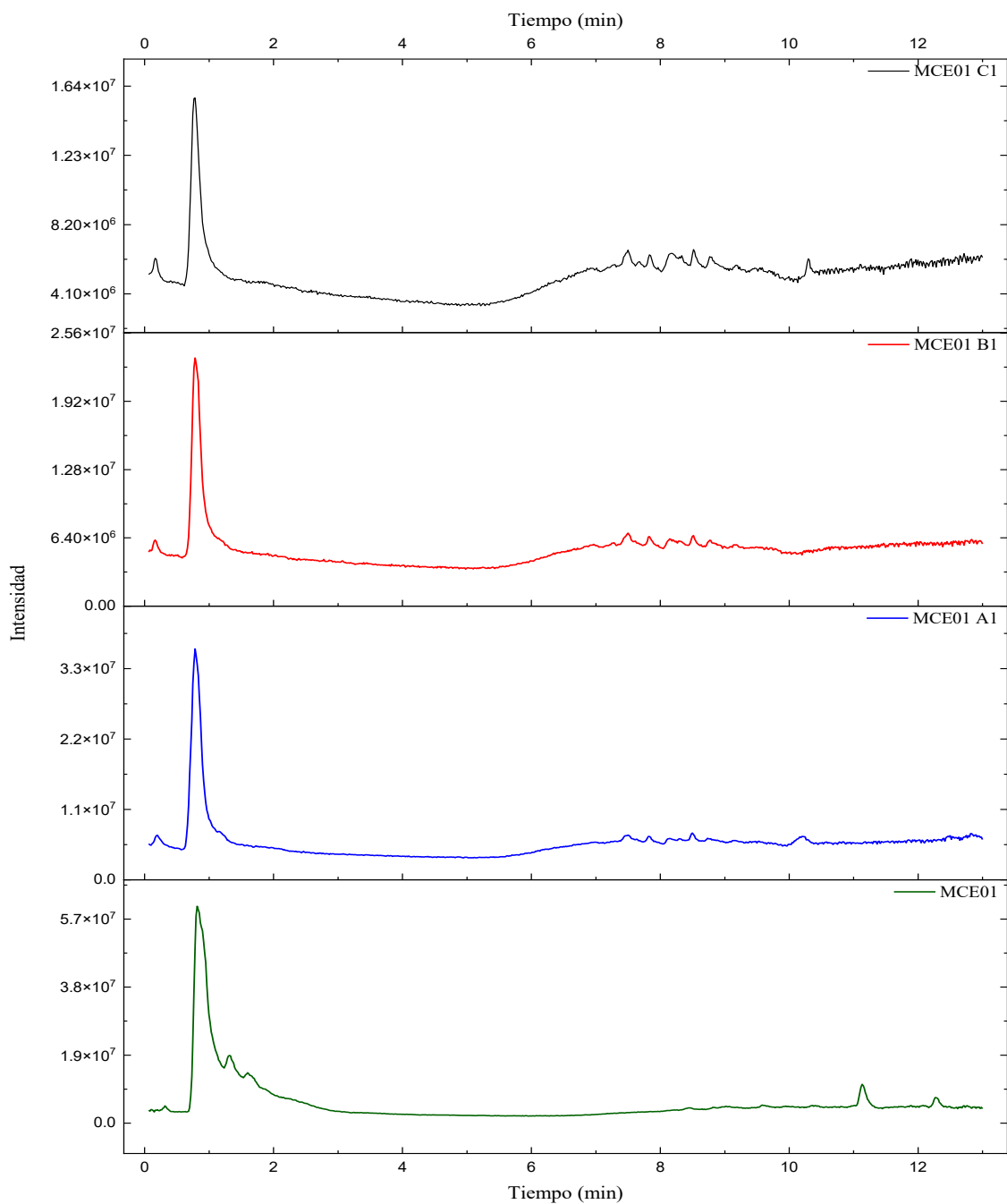


Figura 22. Cromatograma de iones totales (TIC) extractos etanólicos.

De igual manera se obtuvieron los cromatogramas de ion extraído (EIC), en los que se comprueba la presencia en abundancia de cada compuesto identificado por masa/carga ( $m/z$ ) y tiempo de retención (Anexo E). En total se analizaron 12 extractos, en los cuales se identificaron 27 compuestos distintos (Tabla 6).

Tabla 6. Compuestos identificados por EIC en los extractos de muérdago.

Compuesto bioactivo		Masa molar	Fórmula mínima	Ionización
Fenoles simples				
1.	Catecol	125.0244	C <sub>6</sub> H <sub>6</sub> O <sub>2</sub>	[M - H] <sup>-</sup>
2.	Ácido benzoico	121.0295	C <sub>7</sub> H <sub>6</sub> O <sub>2</sub>	[M - H] <sup>-</sup>
Ácidos fenólicos				
3.	Ácido para-hidroxibenzoico	137.0244	C <sub>7</sub> H <sub>6</sub> O <sub>3</sub>	[M - H] <sup>-</sup>
4.	Ácido 3,4-dimetoxibenzoico	153.0193	C <sub>7</sub> H <sub>6</sub> O <sub>4</sub>	[M - H] <sup>-</sup>
5.	Ácido gálico	169.0142	C <sub>7</sub> H <sub>6</sub> O <sub>5</sub>	[M - H] <sup>-</sup>
6.	Ácido gálico 4-O-glucósido	331.0678	C <sub>13</sub> H <sub>16</sub> O <sub>20</sub>	[M - H] <sup>-</sup>
7.	Ácido vanílico	197.0455	C <sub>8</sub> H <sub>8</sub> O <sub>4</sub>	[M - H] <sup>-</sup>
8.	Ácido siríngico	167.0350	C <sub>9</sub> H <sub>10</sub> O <sub>5</sub>	[M - H] <sup>-</sup>
9.	Ácido para-cumárico	163.0401	C <sub>9</sub> H <sub>8</sub> O <sub>3</sub>	[M - H] <sup>-</sup>
10.	Ácido transcinámico	147.0245	C <sub>9</sub> H <sub>8</sub> O <sub>2</sub>	[M - H] <sup>-</sup>
11.	Ácido ferúlico	193.0506	C <sub>10</sub> H <sub>10</sub> O <sub>4</sub>	[M - H] <sup>-</sup>
12.	Ácido cafeico	179.0350	C <sub>9</sub> H <sub>8</sub> O <sub>4</sub>	[M - H] <sup>-</sup>
13.	Ácido clorogénico	353.0878	C <sub>16</sub> H <sub>18</sub> O <sub>9</sub>	[M - H] <sup>-</sup>
14.	Ácido 1-cafeoilquínico	363.0879	C <sub>16</sub> H <sub>18</sub> O <sub>9</sub>	[M - H] <sup>-</sup>
15.	Ácido 5-feruloilquínico	367.1034	C <sub>17</sub> H <sub>20</sub> O <sub>9</sub>	[M - H] <sup>-</sup>
16.	Ácido sinápico	223.0612	C <sub>11</sub> H <sub>12</sub> O <sub>5</sub>	[M - H] <sup>-</sup>
17.	Ácido rosmarínico	359.0775	C <sub>18</sub> H <sub>16</sub> O <sub>8</sub>	[M - H] <sup>-</sup>
Flavonoides				
18.	Quercetina	301.0354	C <sub>15</sub> H <sub>10</sub> O <sub>7</sub>	[M - H] <sup>-</sup>
19.	Kaempferol	287.0550	C <sub>15</sub> H <sub>10</sub> O <sub>6</sub>	[M - H] <sup>-</sup>
20.	Apigenina 6-C-glucósido	431.0984	C <sub>21</sub> H <sub>20</sub> O <sub>10</sub>	[M + H] <sup>+</sup>
21.	Hidrato de catequina	289.0718	C <sub>15</sub> H <sub>14</sub> O <sub>6</sub>	[M - H] <sup>-</sup>
22.	(-)-Epicatequina-(2a-7)(4a-8)- epicatequina 3-O-galactósido	625.1199	C <sub>30</sub> H <sub>26</sub> O <sub>15</sub>	[M + H] <sup>+</sup>
23.	Hidrato de rutina	609.1461	C <sub>27</sub> H <sub>30</sub> O <sub>16</sub>	[M - H] <sup>-</sup>
24.	Apigenina galactósido- arabinósido	565.1552	C <sub>26</sub> H <sub>28</sub> O <sub>14</sub>	[M + H] <sup>+</sup>
25.	Luteolina 7-O-(2-apiosil-6- maloni)-glucósido	577.1199	C <sub>26</sub> H <sub>26</sub> O <sub>15</sub>	[M + H] <sup>+</sup> [M - H] <sup>-</sup>
Polifenoles				
26.	Sinesetina	373.1282	C <sub>20</sub> H <sub>20</sub> O <sub>7</sub>	[M - H] <sup>-</sup>
Triterpenos				
27.	Ácido betulínico	453.3374	C <sub>30</sub> H <sub>48</sub> O <sub>3</sub>	[M + H] <sup>+</sup> [M - H] <sup>-</sup>

En la especie de muérdago *Viscum álbium* se ha reportado la presencia de 13 de estos compuestos bioactivos en extractos etanólicos provenientes de diferentes arboles hospederos; el análisis cuantitativo se llevó a cabo utilizando HPLC con detector de fotodiodos [85].

De los compuestos identificados, el 4% corresponde a terpenos y terpenoides y el 96% a compuestos fenólicos; de éste grupo, el 61% son ácidos fenólicos, el 35% flavonoides y el 4% fenoles simples. Estos resultados se relacionan directamente con la elución en un tiempo de retención temprano. Los extractos contienen gran cantidad de compuestos bioactivos, cuya polaridad es alta por la presencia de grupos funcionales como: -OH, C=O, -COOH y OCH<sub>3</sub> [86]. El pico en 453.3374 (Figura 23), con tiempo de retención de 8.946 min (mayor interacción con la fase estacionaria), es característico del ácido betulínico, de naturaleza apolar; su estructura química está conformada principalmente por enlaces C-C y C-H.

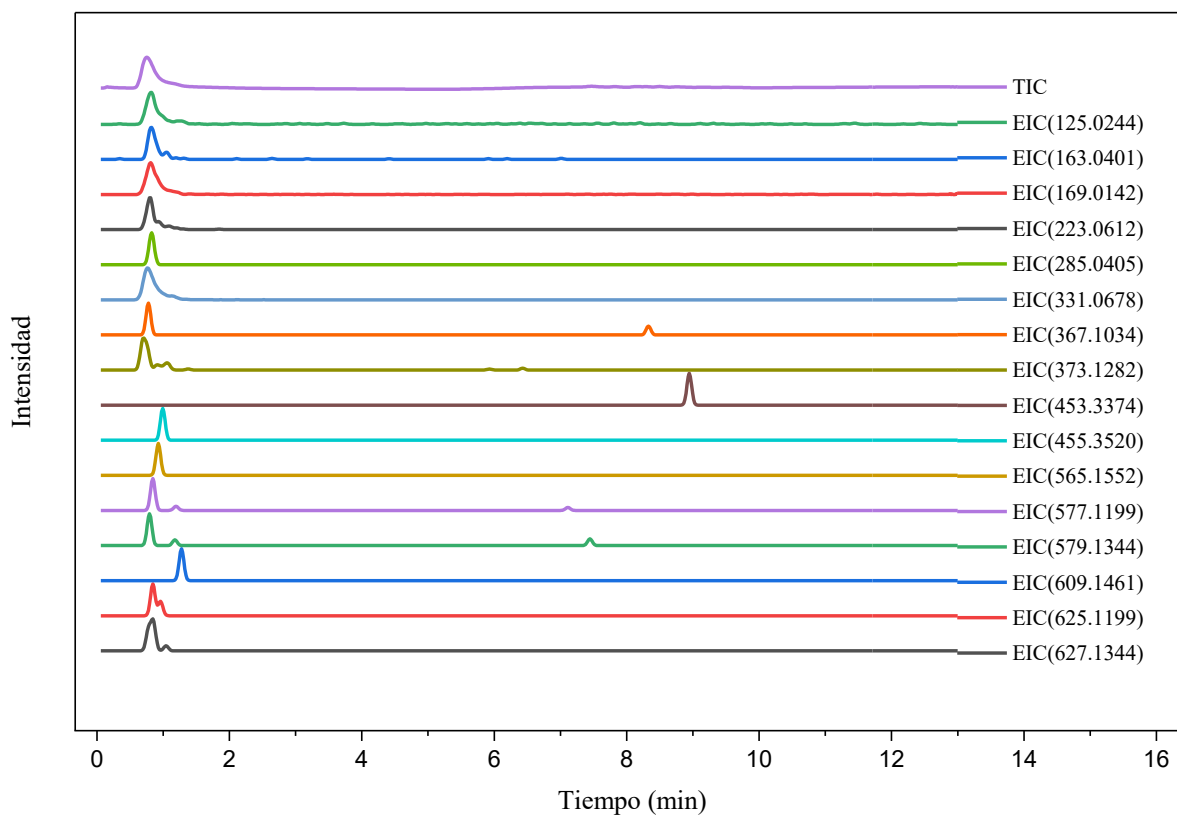


Figura 23. Cromatograma EIC del extracto MCM01A1.

Los compuestos detectados de manera consistente en todos los extractos fueron: hidrato de rutina, ácido gálico y ácido gálico 4-O-glucósido.

El empleo de etanol como solvente permitió la extracción de 22 compuestos, entre ellos epicatequina, catecol, hidrato de rutina, hidrato de catequina, kaempferol, ácido gálico y ácido gálico 4-O-glucósido. Los extractos obtenidos con metanol también revelaron la presencia de 22 compuestos, incluyendo hidrato de rutina, ácido gálico, ácido gálico 4-O-glucósido, luteolina 7-O-(2-apiosil-6-maloni)-glucósido y ácido betulínico, este último detectado exclusivamente en las extracciones metanólicas. La mezcla metanol:agua permitió la detección de 21 compuestos, siendo los más frecuentes el hidrato de rutina, el hidrato de catequina, el ácido gálico y el ácido gálico 4-O-glucósido. El análisis de las fracciones reveló diferencias en el perfil de compuestos; en las fracciones A1 se identificaron catecol, hidrato de catequina, ácido gálico, ácido gálico 4-O-glucósido y ácido sinápico; además de galactósido-arabinósido, ácido 1-cafeoilquínico, ácido 5-feruloilquínico, ácido clorogénico y ácido p-cumárico, únicamente hallados en estas fracciones. Las fracciones B1 contienen catecol, hidrato de catequina, hidrato de rutina, kaempferol, luteolina 7-O-(2-apiosil-6-maloni)-glucósido, ácido gálico y ácido gálico 4-O-glucósido. En las fracciones C1 se identificaron: (-)-epicatequina-(2 $\alpha$ →7)(4 $\alpha$ →8)-epicatequina 3-O-galactósido, hidrato de catequina, hidrato de rutina, luteolina 7-O-(2-apiosil-6-maloni)-glucósido, ácido gálico, ácido gálico 4-O-glucósido y ácido sinápico, además de apigenina 6-C-glucósido, ácido 3,4-dimetoxibenzoico y ácido sinápico. En términos de eficiencia, el etanol se destacó como el disolvente con mayor capacidad de extracción, ya que permitió recuperar el mayor número de compuestos en todas sus fracciones. La Figura 24 presenta una comparativa entre los compuestos, solventes y fracciones.

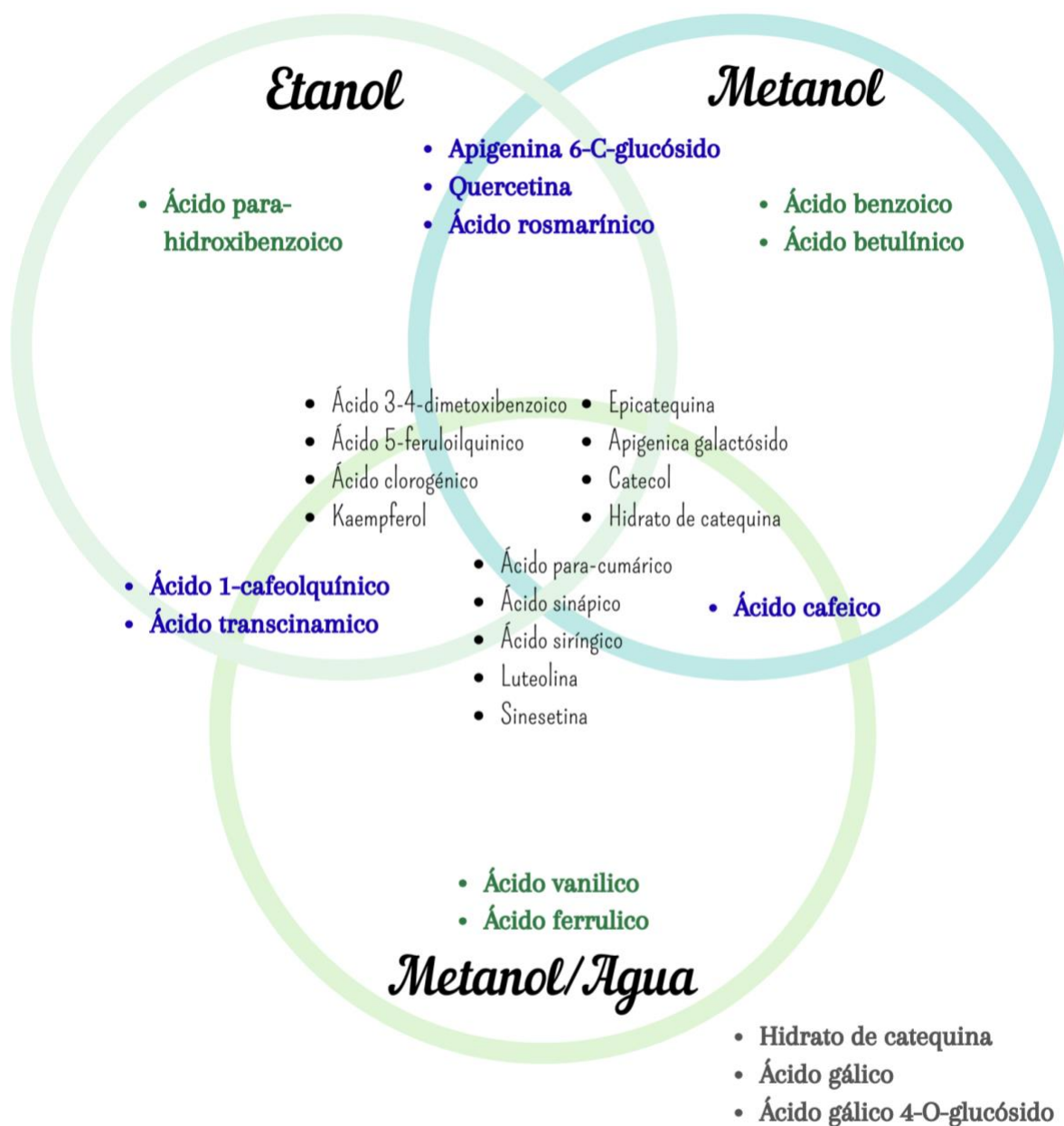


Figura 24. Diagrama de Veen, extracción de compuestos por disolvente.

El etanol mostró la mayor diversidad de compuestos en todas las fracciones, confirmando su alta capacidad de extracción para metabolitos fenólicos y flavonoides.

El ácido gálico, su derivado 4-O-glucósido y el hidrato de rutina se detectaron de forma consistente en todos los extractos y fracciones, lo que sugiere su amplia distribución en la matriz vegetal. El ácido betulínico se detectó exclusivamente en el extracto metanólico, lo que apunta a una posible selectividad del metanol hacia compuestos triterpénicos. Las

fracciones A1, B1 y C1 muestran perfiles diferenciados; la fracción A1 es la que contiene el mayor número de compuestos exclusivos.

### 3.4.1 Análisis cuantitativo

La cuantificación de compuestos se realizó en fracciones representativas, de acuerdo con los siguientes criterios:

- Fracciones con mayor número de compuestos.
- Fracciones con mayor número de compuestos con actividad antioxidante.
- Fracciones con mayor número de compuestos con actividad antimicrobiana.
- Fracciones con mayor número de compuestos con estándares disponibles.

La Figura 25 muestra el diagrama de radar construido con esta información; puede verse que las fracciones que cumplen con los factores considerados son: MCM01 B1, MCE01 A1, MCM01 C1 y MMA01 A1.

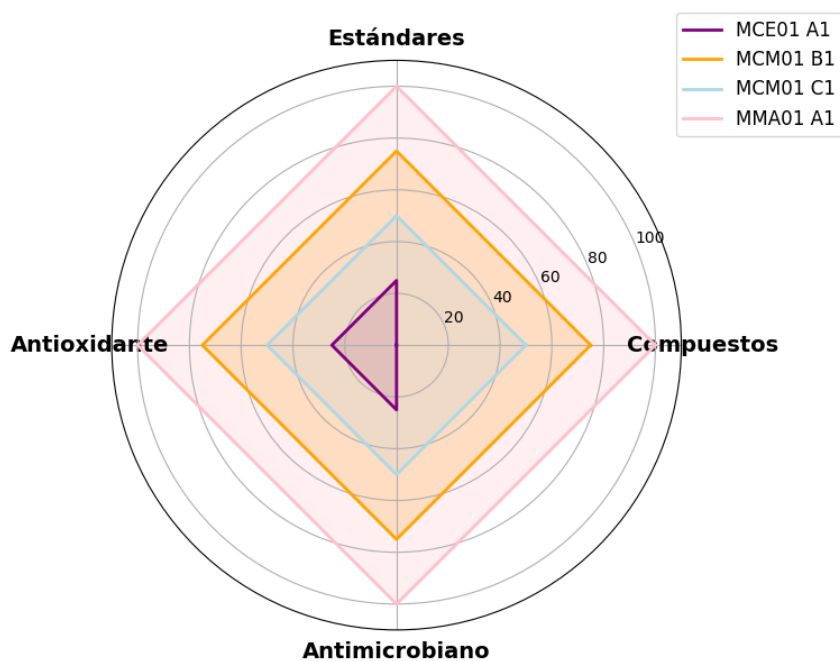


Figura 25. Diagrama de radar: elección de fracciones representativas.

La cuantificación de los componentes de muérdago se realizó mediante curvas de calibración obtenidas a partir de los estándares. El Anexo F muestra dichas curvas, la Tabla 7 contiene los resultados obtenidos.

Tabla 7. Concentración de cada componente en los extractos.

Muestras	MCE01 A1	MCM01 B1	MCM01 C1	MMA01 A1
Hidrato de catequina	35.400	182.200	24.000	50.480
Ácido gálico	3.000	10.136	3.721	12.662
Catecol	<LD	4.115	NP	7.725
Hidrato de rutina	20.996	78.119	24.542	66.029
Kaempferol	1547.054	1570.674	1430.313	4404.720
Ácido p-cumarico	NP	NP	NP	<LD
Ácido clorogénico	<LD	NP	0.697	2.067

Concentración reportada en ppm; NP: No presente en la muestra; <LD: menor al límite de detección

Se puede observar que el componente con concentración predominante en cada muestra es el Kaempferol, un compuesto flavonoide con fórmula  $C_{15}H_{10}O_6$ , principalmente encontrado en el té verde, la espinaca y el brócoli; el extracto MMA01 A1 es el que mayor concentración tiene (4404.72 ppm). A éste se le ha asociado habilidad de neutralizar radicales libres y reducir el estrés oxidativo [87].

El hidrato de catequina es el de mayor concentración en el extracto MCM01 B1 (182 ppm); los compuestos ácido gálico, catecol y ácido clorogénico se hallaron en concentraciones mínimas, 3-12 ppm, no mayores a 8 ppm y menores a 3 ppm, respectivamente. Aunque el Ácido p-cumarico fue identificado en el extracto MMA01 A1, su concentración está por debajo del límite de detección.

## 4.1 Pruebas de funcionalidad

### 4.1.1 Capacidad antioxidante

La evaluación de la capacidad antioxidante mediante el ensayo de inhibición del radical DPPH, reveló que las fracciones separadas presentaron un mayor porcentaje de inhibición en comparación con el extracto madre. Específicamente, el extracto etanólico MCE01 presentó inhibición del 65.9%, mientras que su fracción A1 inhibió el 90%, y la fracción B1 el 88.2%; la fracción C1, en cambio, presentó inhibición del 64.2%, similar al extracto sin fraccionar.

En general, se observó que para los extractos etanólicos, la fracción A1 mostró la mayor capacidad antioxidante. En los extractos metanólicos, la fracción C1, destacó con un valor de inhibición del 89%, superando ampliamente al extracto madre (22.5%). En el caso de la mezcla metanol/agua (70:30), la fracción A1 fue la más activa, inhibiendo el 90.1% de DPPH (Tabla 8).

Tabla 8. Inhibición al radical DPPH en extractos y fracciones de muérdago.

	<b>Etanol 100%</b>		<b>Metanol 100%</b>		<b>Metanol/agua 70:30</b>
MCE01	65.938±0.0061	MCM01	22.527±0.0854	MMA01	84.438±0.0013
MCE01 A1	90.006±0.0015	MCM01 A1	87.362±0.0025	MMA01 A1	90.079±0.0026
MCE01 B1	88.209±0.0154	MCM01 B1	88.644±0.1036	MMA01 B1	84.714±0.0026
MCE01 C1	64.192±0.0679	MCM01 C1	89.011±0.0103	MMA01 C1	58.563±0.0052

Los valores expresados corresponden al promedio de dos mediciones independientes (n=2) y se presentan como media ± desviación estándar (DE).

Estos resultados confirman la presencia de compuestos bioactivos con actividad antioxidante significativa en los extractos de muérdago. Entre los compuestos responsables de dicha actividad se encuentran flavonoides como el kaempferol, el hidrato de catequina y el hidrato de rutina, y fenoles como el catecol y el ácido gálico; todos ellos tienen la capacidad de donar electrones o átomos de hidrógeno para neutralizar radicales libres [88]. El notable incremento en la inhibición del radical DPPH en las fracciones respecto a los extractos crudos, sugiere que el proceso de separación permitió concentrar dichos compuestos activos, incrementando la potencia antioxidante de las muestras. Esta actividad se puede atribuir principalmente al kaempferol, dado que es el compuesto hallado en mayor cantidad.

Aunque el número de repeticiones experimentales (n = 2) limita la posibilidad de realizar un análisis estadístico robusto con alto poder, la baja desviación estándar observada en la mayoría de los tratamientos sugiere una buena reproducibilidad de las mediciones y una diferencia real entre los extractos crudos y sus respectivas fracciones. Por ejemplo, la fracción A1 del extracto MCE01 presentó un valor de inhibición de 90.006 ± 0.0015%, con una variabilidad mínima que respalda la solidez del resultado.

La diferencia entre las fracciones y los extractos madre puede considerarse significativa desde el punto de vista práctico, dado que, en todos los sistemas de extracción, al menos una fracción mostró un incremento superior al 20% respecto al extracto inicial. En particular, en

el caso del extracto metanólico (MCM01), se observó un aumento extraordinario de la actividad antioxidante de 22.5% en el extracto crudo a 89.0% en la fracción C1, lo que sugiere una concentración considerable de compuestos fenólicos en esa fracción específica. Esta diferencia —de más de 66 puntos porcentuales—, aun sin prueba estadística formal por el tamaño muestral, es claramente relevante desde el punto de vista biológico y químico.

Estudios previos sobre extractos de *Viscum album* y otras especies de muérdago han reportado valores de inhibición de radicales libres que oscilan entre el 40% y el 80%, dependiendo del tipo de extractante, el origen de la planta y la metodología empleada [89]. En este sentido, los valores superiores al 90% observados en algunas fracciones del presente estudio superan el rango promedio y sugieren un perfil fitoquímico especialmente rico en compuestos antioxidantes, posiblemente influido por las condiciones ambientales de crecimiento de la planta recolectada, su hospedero o la estacionalidad.

Por otro lado, los compuestos fenólicos identificados en este trabajo (kaempferol, catequina, rutina, catecol y ácido gálico) son ampliamente reconocidos por su capacidad de neutralizar radicales DPPH [90]. Se ha demostrado que estos compuestos poseen una elevada constante de inhibición, atribuida a su estructura aromática y a su capacidad de estabilizar radicales libres por resonancia [91].

La mayor eficacia de las fracciones frente al extracto crudo también puede explicarse por la reducción de interferentes o compuestos que actúan como antioxidantes débiles o incluso como prooxidantes en mezclas complejas, como taninos condensados o azúcares reductores [92]. La separación preparativa utilizada permitió, probablemente, enriquecer fracciones con compuestos más activos, lo cual es consistente con lo observado en ensayos similares con extractos fraccionados de plantas medicinales [93].

### 4.1.2 Capacidad antifúngica

La actividad antifúngica frente al microorganismo de prueba *Aspergillus niger*, se midió por medio del cálculo del AI (Tabla 9).

Tabla 9 . Índice antifúngico empleando extractos de muérdago sobre *Aspergillus niger*.

Muestra	AI	DE	AI	DE	AI	DE
	Dia 2		Dia 3		Dia 4	
MCE01 A1	54.67	12.86	3.41	0.00	0.00	0.00
MCM01 B1	86.67	2.31	95.08	1.31	94.81	0.64
MCM01 C1	81.33	6.11	92.42	1.74	90.00	1.11
MMA01 A1	44.00	10.58	5.30	8.22	3.70	6.42

AI: Índice antifúngico.

DE: desviación estándar, valores promedio de tres mediciones independientes (n=3).

En el Día 2, las fracciones MCM01 B1 ( $86.67 \pm 2.31$ ) y MCM01 C1 ( $81.33 \pm 6.11$ ) presentaron los mayores valores de AI, reflejando una inhibición significativa del crecimiento fúngico en la etapa inicial. En contraste, MMA01 A1 ( $44.00 \pm 10.58$ ) y MCE01 A1 ( $54.67 \pm 12.86$ ) mostraron actividad moderada con una considerable variación en la desviación estándar, lo que sugiere variabilidad entre réplicas.

En el Día 3, MCM01 B1 y MCM01 C1 incrementaron su AI a  $95.08 \pm 1.31$  y  $92.42 \pm 1.74$ , respectivamente, con desviaciones estándar bajas que denotan su alta reproducibilidad. MCE01 A1 cayó abruptamente a  $3.41 \pm 0.00$ , lo que sugiere una pérdida casi total de la actividad antifúngica. MMA01 A1 mantuvo valores bajos ( $5.30 \pm 8.22$ ) y elevada dispersión. En el Día 4, las muestras MCM01 B1 ( $94.81 \pm 0.64$ ) y MCM01 C1 ( $90.00 \pm 1.11$ ) conservaron una inhibición elevada y estable, mientras que MCE01 A1 mantuvo un AI nulo ( $0.00 \pm 0.00$ ), y MMA01 A1 mostró actividad residual ( $3.70 \pm 6.42$ ).

En conjunto, las muestras MCM01 B1 y MCM01 C1 no solo alcanzaron los valores más altos de AI, sino que además presentaron la menor variabilidad entre réplicas, lo que confirma su eficacia sostenida. Por el contrario, MCE01 A1 y MMA01 A1 exhibieron actividad reducida o nula, y mayor dispersión, posiblemente debido a una baja concentración o menor potencia de los metabolitos bioactivos.

Estos resultados sugieren que el perfil de actividad antifúngica de las muestras evaluadas está fuertemente influenciado por su composición química y que algunas formulaciones mantienen un efecto prolongado, mientras que otras pierden eficacia rápidamente. Sería recomendable complementar este análisis con estudios de composición para correlacionar la presencia de metabolitos específicos con el comportamiento observado. Los valores de AI  $\geq$  90% observados para MCM01 B1 y MCM01 C1 en los días 3 y 4 se ubican en el rango superior de inhibición reportado para extractos y compuestos naturales con alta potencia antifúngica. Por ejemplo:

- Extractos metanólicos de *Allium sativum* y *Azadirachta indica* han mostrado inhibiciones del 85–95% contra *Aspergillus niger* y *Candida albicans* en concentraciones de 2–5 mg/mL, con caídas notorias tras 72 h en ausencia de estabilizantes.
- Aceites esenciales ricos en monoterpenos (p. ej., timol, carvacrol, citral) alcanzan inhibiciones del 90–100% frente a *Penicillium chrysogenum* y *Trichophyton mentagrophytes* a concentraciones de 0.5–1% (v/v), aunque en algunos casos la persistencia más allá de 72 h es limitada debido a la volatilidad de los compuestos.
- Formulaciones de quitosano con extractos vegetales reportan inhibiciones sostenidas de 88–96% por 96 h frente a hongos filamentosos, atribuibles a una liberación lenta de compuestos activos y al efecto sinérgico del biopolímero sobre la membrana celular fúngica.

En este contexto, MCM01 B1 y MCM01 C1 no solo alcanzan niveles de inhibición comparables a los extractos más activos descritos, sino que destacan por su persistencia: mantuvieron AI  $>$  90% durante al menos 96 h, lo que es poco común en sistemas no encapsulados o sin soporte polimérico estabilizante. Este comportamiento sugiere que su composición podría contener metabolitos menos volátiles, más estables a la oxidación o capaces de fijarse en la matriz de ensayo, prolongando su bioactividad.

En cambio, el patrón observado en MCE01 A1 (descenso de 54.67% a 0% en 48 h) se asemeja al comportamiento de extractos con compuestos volátiles no protegidos, donde la pérdida rápida de actividad se atribuye a evaporación o degradación oxidativa. MMA01 A1, con inhibiciones bajas y variables, se encuentra dentro del rango reportado para extractos con baja concentración de compuestos activos o con afinidad reducida hacia las dianas fúngicas.

En la Tabla 10 se realiza la comparación entre los resultados obtenidos y lo reportado en la literatura.

Tabla 10. Índice antifúngico (AI, %) reportado en la literatura y en este estudio.

Tipo de muestra	Microorganismo	AI (%)	Observaciones
Extracto metanólico de <i>Allium sativum</i> [95]	<i>Aspergillus niger</i> , <i>Candida albicans</i>	85–95	Alta inhibición inicial; pérdida de actividad sin encapsulación
Aceite esencial rico en timol [96]	<i>Penicillium chrysogenum</i> , <i>Trichophyton spp.</i>	90–100	Potencia alta, pero limitada por volatilidad
Quitosano + extracto vegetal [97]	Hongos filamentosos diversos	88–96	Sinergia de acción; liberación lenta del activo
Extracto etanólico de <i>Azadirachta indica</i> [98]	<i>Candida albicans</i> , <i>Aspergillus flavus</i>	80–92	Actividad alta, pero sin persistencia prolongada
Este estudio MCM01 B1	<i>Aspergillus niger</i>	86.67–95.08	Alta potencia y baja variabilidad; efecto sostenido
Este estudio MCM01 C1	<i>Aspergillus niger</i> ,	81.33–92.42	Potencia alta y estable; persistencia prolongada
Este estudio MCE01 A1	<i>Aspergillus niger</i> ,	54.67–0.00	Actividad inicial moderada; pérdida total rápida
Este estudio MMA01 A1	<i>Aspergillus niger</i> ,	44.00–5.30	Actividad baja e inestable

Implicación general: Los datos posicionan a MCM01 B1 y MCM01 C1 como candidatos con eficacia comparable a extractos vegetales y aceites esenciales de alta potencia descritos en la literatura, pero con una ventaja clara en estabilidad temporal, lo que incrementa su potencial de aplicación en sistemas donde la persistencia antifúngica es crítica, como recubrimientos protectores, conservantes alimentarios o tratamientos tópicos prolongados.

## CONCLUSIONES

En este trabajo de tesis se extrajeron compuestos bioactivos de extractos de muérdago utilizando la técnica de maceración, los cuales presentaron actividad antioxidante y antifúngica. El muérdago estudiado pertenece al género *Sthuthantus venetus blume*, mientras que árbol hospedero al género *Lugustrum lucidum*. Tras la separación mediante cromatografía preparativa flash, se obtuvieron tres grupos de compuestos, dando un total de 27. De éstos, el 96% corresponde a compuestos fenólicos, mientras que el resto a terpenos y terpenoides. Se cuantificaron 7 de los compuestos identificados, de los cuales, el más abundante es el kaempferol (4404 ppm), el segundo en abundancia es el hidrato de catequina (182 ppm), mientras que el resto se halla por debajo de 78 ppm. Las fracciones obtenidas mostraron elevada actividad antioxidante, con porcentajes de inhibición al radical DPPH superiores al 90%. De igual modo, presentaron actividad antifúngica contra el microorganismo de prueba *Aspergillus niger*, con índice antifúngico superior a 90%. De los solventes utilizados en la maceración (etanol, metanol, metanol/agua), con etanol fue posible extraer la mayor diversidad de compuestos, principalmente fenólicos y flavonoides. Finalmente, la cromatografía preparativa flash representan una técnica útil para separar y recuperar grupos de compuestos bioactivos.

## REFERENCIAS

- [1] CONAFOR Comisión Nacional Forestal, “Plantas Parásitas,” 2024.
- [2] Instituto Nacional del Cancer, “Extractos de muérdago (PDQ®)-Versión para pacientes,” 2023. [Online]. Available: <https://www.cancer.gov/espanol/cancer/tratamiento/mca/paciente/muerdago-pdq>
- [3] P. Hegde, M. S. Maddur, A. Friboulet, J. Bayry, and S. V. Kaveri, “Viscum album exerts anti-inflammatory effect by selectively inhibiting cytokine-induced expression of cyclooxygenase-2,” *PLoS One*, vol. 6, no. 10, Oct. 2011, doi: 10.1371/journal.pone.0026312.
- [4] H. Becker, “Botany of European Mistletoe (*Viscum album* L.) \_ Oncology \_ Karger Publishers,” 1986.
- [5] “¿Qué es el muérdago?” [Online]. Available: <https://carpologia.com/cactus/evolucion-del-muerdago-estudio-en-carpologia/>
- [6] L. J. A, “Contribución a la corología y ecología del muérdago (*Viscum album* L.) en el centro y norte de la Península Ibérica,” 1993.
- [7] Guillermo Cesar Amico, “Uso de hospedadores por el muérdago argentino *G. C. Amico* y *R. Vidal-Russell* - Hospedadores de *Ligaria cuneifolia* *Ligaria cuneifolia* (Loranthaceae) a lo largo de su distribución geográfica,” *Sociedad Argentina de Botanica*, vol. 54, pp. 395–403, Jun. 2019, doi: <https://doi.org/10.31055/1851.2372.v54.n3.25364>.
- [8] N. Jones, “Muérdagos en un mundo que se calienta,” Dec. 2022.
- [9] G. G. Regalado, “LA FAMILIA LORANTHACEAE (INJERTOS) DEL ESTADO DE AGUASCALIENTES, MÉXICO,” 1998.
- [10] E. N. La, C. De, M. Diana, and M. Valencia, “EL MUÉRDAGO,” 2009.
- [11] Ecos del bosque, “LORANTHACEAE,” 2020. [Online]. Available: <https://ecosdelbosque.com/familias/loranthaceae>
- [12] A. y P. S. C. Protección ambiental, “DIAGNÓSTICO DE LAS ÁREAS FORESTALES CON AFECTACIÓN DE MUÉRDAGO EN EL EJIDO SAN AGUSTÍN, DENTRO DEL ÁREA DE PROTECCIÓN DE FLORA Y FAUNA LA PRIMAVERA, TOMANDO COMO BASE EL USO DE IMÁGENES DE

- SENSORES REMOTOS Y VALIDACIÓN EN CAMPO,” Zapopan, Jalisco., Mar. 2016.
- [13] S. Vazquez Lozada, S. Franco Maass, and A. Rolando Endara Agramont Clarita Rodríguez Soto, “Distribución espacial y afectaciones por muérdagos en bosques de alta montaña, México,” UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MÉXICO, Toluca, Estado de México, 2021. [Online]. Available: <http://icar.uaemex>
- [14] M. Paz Ponce, “CONTROL BIOLÓGICO DEL MUÉRDAGO *Phoradendron* spp POR HONGOS FITOPATÓGENOS,” UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO, Saltillo, Coahuila, 2022.
- [15] C. Y. Pérez Hernández, E. Cocoltzi Vásquez, and M. I. Ramos Robles, “Muérdago: una plaga o un recurso en el bosque,” *Revista Digital Universitaria*, vol. 23, no. 3, May 2023, doi: 10.22201/cuaieed.16076079e.2023.24.3.6.
- [16] I. V. C. 2, H. J. M. F. 1 y J. V. C. 3 Víctor Manuel Coria Ávalos 1, “IMPACTO DE TIERRA DE DIATOMEAS SOBRE *Arceuthobium globosum* Hawksworth & Wiens subsp. *grandicaule* EN *Pinus pseudostrobus* Lindl.,” *Revista Mexicana de Ciencia Forestal*, Mar. 2010.
- [17] Hawksworth *et al.*, “Dwarf mistletoes: Biology, pathology, and systematics.” [Online]. Available: [http://www.rms.nau.edu/publications/ah\\_709/](http://www.rms.nau.edu/publications/ah_709/)
- [18] DIARIO SOL, “El origen de la tradición del muérdago - Diario sol.”
- [19] J. Estrada, “Origen y significado del muérdago: Una tradición romántica,” *Los Noticieristas*, Dec. 26, 2024. [Online]. Available: <https://losnoticieristas.com/post/725830/origen-y-significado-del-muerdago-una-tradicion-romantica/>
- [20] E. Kleszken, A. V. Timar, A. R. Memete, F. Miere, and S. I. Vicas, “On Overview Of Bioactive Compounds, Biological And Pharmacological Effects Of Mistletoe (*Viscum Album* L),” *Pharmacophore*, vol. 13, no. 1, pp. 10–26, Mar. 2022, doi: 10.51847/tmo2sxxqrs.
- [21] ISACADOR AG, “Botánica del muérdago,” 2017.
- [22] Ecologiayvida, “Beneficios y propiedades del muérdago en tu vida diaria - Ecologiayvida.”

- [23] M. A. Mir, “Myrtus communis leaves: source of bio-actives, traditional use, their biological properties, and prospects,” 2024, *MS-Editions*. doi: 10.37360/blacpma.24.23.4.33.
- [24] Genesis Estefanía López Aguirre, “Propiedades biológicas y farmacológicas en los aceites esenciales de semillas oleaginosas,” UNIVERSIDAD TÉCNICA DE BABAHOYO, 2024.
- [25] C. B. Godoy Cancho, “Composición bioactiva de materiales lignocelulósicos: Determinación de compuestos fenólicos y elagitaninos con propiedades antioxidantes y anticancerígenas mediante técnicas analíticas diversas,” Universidad de extramadura, 2017.
- [26] R. J. Robbins, “Phenolic acids in foods: An overview of analytical methodology,” *J Agric Food Chem*, vol. 51, no. 10, pp. 2866–2887, May 2003, doi: 10.1021/jf026182t.
- [27] R. Zadernowski, S. Czaplicki, and M. Naczka, “Phenolic acid profiles of mangosteen fruits (*Garcinia mangostana*),” *Food Chem*, vol. 112, no. 3, pp. 685–689, Feb. 2009, doi: 10.1016/j.foodchem.2008.06.030.
- [28] L. Bravo, “Polyphenols: Chemistry, Dietary Sources, Metabolism, and Nutritional Significance,” 1998.
- [29] J. Teixeira, A. Gaspar, E. M. Garrido, J. Garrido, and F. Borges, “Hydroxycinnamic acid antioxidants: An electrochemical overview,” 2013. doi: 10.1155/2013/251754.
- [30] D. Egan, R. O’kennedy, E. Moran, D. Cox, E. Prosser, and R. D. Thornes, “The pharmacology, metabolism, analysis, and applications of coumarin and coumarin-related compounds,” *Drug Metab Rev*, vol. 22, no. 5, pp. 503–529, 1990, doi: 10.3109/03602539008991449.
- [31] I. J. Pharm, R. N. Ismael, Y. F. Mustafa, and H. K. Al-Qazaz, “Coumarin-based products: Their biodiversity and pharmacology.” [Online]. Available: <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>
- [32] J. M. Peñarrieta, L. Tejada, P. Mollinedo, J. L. Vila, and J. A. Bravo, “PHENOLIC COMPOUNDS IN FOOD ‡,” 2014. [Online]. Available: <http://www.bolivianchemistryjournal.org>, <http://www.scribd.com/bolivianjournalofchemistry>

- [33] C. N. , C. S. , W. A. A. S. Y. TAECHOWISAN T., “Biological activity of chemical constituents isolated from *Streptomyces* sp. Tc052, an endophyte in *Alpinia galanga*,” *International Journal of Pharmacology*., vol. 4, pp. 95–101, 2008.
- [34] H. M. Merken and G. R. Beecher, “Measurement of food flavonoids by high-performance liquid chromatography: A review,” 2000. doi: 10.1021/jf990872o.
- [35] C. M. Isabel Ochoa and A. A. Adolfo Ayala, “Los Flavonoides: Apuntes Generales y su Aplicación en la Industria de Alimentos.”
- [36] Jeffrey B. Harborne Herbert Baxter Gerard P. Moss, “Phytochemical Dictionary Copyrighted Material,” 1999.
- [37] P. G. Pietta, “Flavonoids as antioxidants,” 2000. doi: 10.1021/np9904509.
- [38] D. Lin *et al.*, “An overview of plant phenolic compounds and their importance in human nutrition and management of type 2 diabetes,” Oct. 01, 2016, *MDPI AG*. doi: 10.3390/molecules21101374.
- [39] D. S. Seigler, “Tannins. In: Plant Secondary Metabolism.,” *Springer*, 1998.
- [40] F. Melone, R. Saladino, H. Lange, and C. Crestini, “Tannin structural elucidation and quantitative <sup>31</sup>P NMR analysis. 2. Hydrolyzable tannins and proanthocyanidins,” *J Agric Food Chem*, vol. 61, no. 39, pp. 9316–9324, Oct. 2013, doi: 10.1021/jf401664a.
- [41] Véronique Cheynier, “Polyphenols in foods are more complex than often thought,” *American Society for Clinical Nutrition*, vol. 81, pp. 203–209, 2005.
- [42] William Charles Evans and BPharm BSc, “Trease and Evans’ Pharmacognosy,” 2009.
- [43] N. Behar Vimal Kumar Pandey Rashmi Dubey Arunima Sur, *Recent Advances In Plants Secondary Metabolites Studies*. 2023. [Online]. Available: [www.bookrivers.com](http://www.bookrivers.com)
- [44] C. P. Henning, “CAPÍTULO 2 COMPUESTOS SECUNDARIOS NITROGENADOS: ALCALOIDES,” 2009.
- [45] R. J. Molyneux and K. E. Panter, “Chapter 3 Alkaloids Toxic to Livestock,” 2009. doi: 10.1016/S1099-4831(09)06703-0.
- [46] G. O. de Elguea-Culebras, E. M. Bravo, and R. Sánchez-Vioque, “Potential sources and methodologies for the recovery of phenolic compounds from distillation residues of Mediterranean aromatic plants. An approach to the valuation of by-products of the

- essential oil market – A review,” Jan. 01, 2022, *Elsevier B.V.* doi: 10.1016/j.indcrop.2021.114261.
- [47] A. X. Cheng, Y. G. Lou, Y. B. Mao, S. Lu, L. J. Wang, and X. Y. Chen, “Plant terpenoids: Biosynthesis and ecological functions,” *J Integr Plant Biol*, vol. 49, no. 2, pp. 179–186, 2007, doi: 10.1111/j.1672-9072.2006.00395.x.
- [48] D. A. T. Boncan *et al.*, “Terpenes and terpenoids in plants: Interactions with environment and insects,” Oct. 01, 2020, *MDPI AG*. doi: 10.3390/ijms21197382.
- [49] S. Zwenger Chhandak Basu, S. Zwenger, and C. Basu, “Plant terpenoids: applications and future potentials,” *Biotechnology and Molecular Biology Reviews*, vol. 3, no. 1, pp. 1–007, 2008, [Online]. Available: <https://digscholarship.unco.edu/biofacpub/4http://www.academicjournals.org/BMBR>
- [50] F. Abbas *et al.*, “Volatile terpenoids: multiple functions, biosynthesis, modulation and manipulation by genetic engineering,” Nov. 01, 2017, *Springer Verlag*. doi: 10.1007/s00425-017-2749-x.
- [51] Aram Kang and Taek Soon Lee, “Secondary Metabolism for Isoprenoid-based Biofuels,” in *Biotechnology for Biofuel Production and Optimization*, 2016, pp. 35–71.
- [52] R.N. Domínguez-Fernández, I. Arzate-Vázquez, J. J. Chanona-Pérez, and J. S. Welti-Chanes, “EL GEL DE Aloe vera: ESTRUCTURA, COMPOSICION QUIMICA, PROCESAMIENTO, ACTIVIDAD BIOLOGICA E IMPORTANCIA EN LA INDUSTRIA FARMACEUTICA Y ALIMENTARIA,” *Rev Mex Ing Quim*, 2012, [Online]. Available: [www.rmiq.org](http://www.rmiq.org)
- [53] M. J. Rodríguez-Yoldi, “Anti-inflammatory and antioxidant properties of plant extracts,” Jun. 01, 2021, *MDPI*. doi: 10.3390/antiox10060921.
- [54] Young-Joon Surh, “Cancer Chemopreventive Effects of Dietary Phytochemicals,” 2004.
- [55] G. Ortiz de Elguea-Culebras, R. Sánchez-Vioque, O. Santana-Méridas, D. Herraiz-Peñalver, M. Carmona, and M. I. Berruga, “In vitro antifungal activity of residues from essential oil industry against *Penicillium verrucosum*, a common contaminant of ripening cheeses,” *LWT*, vol. 73, pp. 226–232, 2016, doi: 10.1016/j.lwt.2016.06.008.

- [56] W. L. V. Romero, J. E. R. Camargo, and G. M. Costa, “State of the art in the standardization of herbal extracts,” *Revista Colombiana de Ciencias Químico-Farmacéuticas(Colombia)*, vol. 52, no. 2, pp. 842–867, 2023, doi: 10.15446/rcciquifa.v52n2.110745.
- [57] M. L. Chávez-González *et al.*, “Conventional and emerging extraction processes of flavonoids,” Apr. 01, 2020, *MDPI AG*. doi: 10.3390/PR8040434.
- [58] 2\* Azwanida NN1, “A Review on the Extraction Methods Use in Medicinal Plants, Principle, Strength and Limitation,” *Med Aromat Plants (Los Angel)*, vol. 04, no. 03, 2015, doi: 10.4172/2167-0412.1000196.
- [59] N. Čujić, K. Šavikin, T. Janković, D. Pljevljakušić, G. Zdunić, and S. Ibrić, “Optimization of polyphenols extraction from dried chokeberry using maceration as traditional technique,” *Food Chem*, vol. 194, pp. 135–142, Aug. 2016, doi: 10.1016/j.foodchem.2015.08.008.
- [60] M. D. Luque de Castro and F. Priego-Capote, “Soxhlet extraction: Past and present panacea,” Apr. 2010. doi: 10.1016/j.chroma.2009.11.027.
- [61] M. D. Luque de Castro and L. E. GarceHa Ayuso, *ENVIRONMENTAL APPLICATIONS / Soxhlet Extraction*. University of Cordoba, Cordoba, Spain, 2000.
- [62] B. A. Weggler, “Inlets and sampling. In Nicholas H. Snow (ed.), ,” in *Separation Science and Technology, Academic Press*, , vol. 12, 2020, pp. 141–203.
- [63] R. Hidayat and Patricia Wulandari, “Methods of Extraction: Maceration, Percolation and Decoction,” *Eureka Herba Indonesia*, vol. 2, no. 1, pp. 73–79, Mar. 2021, doi: 10.37275/ehi.v2i1.15.
- [64] M. D. E. C. A. Cárdenas Chumo, “Revisión sistemática de métodos de extracción y técnicas de tamizaje fitoquímico para cinco metabolitos secundarios de especies vegetales,” UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA, Guayaquil Ecuador, 2024.
- [65] E. Quitério, C. Grosso, R. Ferraz, C. Delerue-Matos, and C. Soares, “A Critical Comparison of the Advanced Extraction Techniques Applied to Obtain Health-Promoting Compounds from Seaweeds,” Nov. 01, 2022, *MDPI*. doi: 10.3390/md20110677.

- [66] F. Satrianegara *et al.*, “The Effect of Various Extraction Methods and Solvents on the Phytochemical Contents and Antioxidant Capacities of Safflower Florets (*Carthamus Tinctorius* L.) from South Sulawesi,” *Trends in Sciences*, vol. 21, no. 7, Jul. 2024, doi: 10.48048/tis.2024.7576.
- [67] D. M. W. F. J. H. y S. R. C. Douglas A. Skoog, “QUÍMICA ANALÍTICA Novena edición,” 2015.
- [68] L. R. . Snyder and J. J. . Kirkland, *Introduction to modern liquid chromatography*. Wiley, 1979.
- [69] V. R. Meyer, “Practical High-Performance Liquid Chromatography,” in *Practical High-Performance Liquid Chromatography*, Wiley, 2004. doi: 10.1002/0470032677.fmatter.
- [70] L. R. . Snyder and J. J. . Kirkland, *Introduction to modern liquid chromatography*. Wiley, 1979.
- [71] M. C. McMaster, “HPLC A Practical User’s Guide SECOND EDITION,” 2007.
- [72] “Agilent 1260 Infinity Refractive Index Detector High sensitivity and robust detection.” [Online]. Available: [www.agilent.com/chem/1200](http://www.agilent.com/chem/1200)
- [73] Shimadzu Corporation, “SPD-40 CL Instruction Manual,” 2022.
- [74] J. J. Pitt, “Principles and Applications of Liquid Chromatography-Mass Spectrometry in Clinical Biochemistry,” 2009. [Online]. Available: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC2643089/>
- [75] A. Parmar, “Latest Development in HPLC,” 2010. [Online]. Available: <https://www.researchgate.net/publication/350153825>
- [76] F. Cuyckens and M. Claeys, “Mass spectrometry in the structural analysis of flavonoids,” Jan. 2004. doi: 10.1002/jms.585.
- [77] Universidad de Girona, “Cromatografía líquida acoplada a espectrometría de masas UHPLC-MS,” 2011. [Online]. Available: <https://www.udg.edu/es/str/equipos-disponibles/Cromatografia-Liquida>
- [78] Emissiones Analytics, “Importancia de la espectrometría de masas de tiempo de vuelo,” 2022. [Online]. Available: <https://www.emissionsanalytics.com/time-of-flight-mass-spectrometry>

- [79] F. DE Veterinaria and J. Manuel Bautista Santa Cruz Antonio Puyet Catalina, *UNIVERSIDAD COMPLUTENSE DE MADRID PROTEÓMICA REDOX DE MEMBRANA DE ERITROCITO HUMANO EN MALARIA Y POLIMORFISMOS DE GRUPOS SANGUÍNEOS Y G6PD. MEMORIA PARA OPTAR AL GRADO DE DOCTOR PRESENTADA POR Darío Manuel Méndez Cuadro Bajo la dirección de los doctores.* 2011.
- [80] D. Dra Roser Vila Casanovas Joan Costa Pagès Doctorando Abdel Hadi Mohd Abdel Hadi Al Jafari, “DEPARTAMENTO DE FARMACOLOGIA, DE TERAPEUTICA Y DE TOXICOLOGIA, UNIDAD DOCENTE HOSPITAL UNIVERSITARIO GERMANS TRIAS I PUJOL Programa de Doctorado en Farmacología FERULA HERMONIS,” 2014.
- [81] L. C. Ferreira, “MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANA CAMPUS PATO BRANCO CURSO DE QUÍMICA BACHARELADO EXTRAÇÃO E ISOLAMENTO DE COMPOSTOS ANTIOXIDANTES DAS FOLHAS DE *Syzygium malaccense* UTILIZANDO TÉCNICAS CROMATOGRÁFICAS,” 2019.
- [82] BÜCHI, “Pure Chromatography C-900 Operation Manual,” 2023.
- [83] SENASICA, “Manual técnico de muestreo de vegetales para la determinación de residuos de plaguicidas.,” Feb. 2025.
- [84] M. T. Arceo-Martínez, R. Jiménez-Mejía, R. Salgado-Garciglia, G. Santoyo, J. E. López-Meza, and P. D. Loeza-Lara, “EFECTO ANTIFÚNGICO in vitro E in vivo DE QUITOSANO SOBRE PATÓGENOS DE FRESA EN POSTCOSECHA,” 2018.
- [85] S. I. Vicaș, D. Rugină, L. Leopold, A. Pinteau, and C. Socaciu, “HPLC Fingerprint of Bioactive Compounds and Antioxidant Activities of *Viscum album* from Different Host Trees,” *Not Bot Hort Agrobot Cluj*, vol. 39, no. 1, pp. 48–57, 2011, [Online]. Available: [www.notulaeobotanicae.ro](http://www.notulaeobotanicae.ro)
- [86] J. McMurry, “QUÍMICA ORGÁNICA,” 2008.
- [87] A. Y. Chen and Y. C. Chen, “A review of the dietary flavonoid, kaempferol on human health and cancer chemoprevention,” Jun. 15, 2013. doi: 10.1016/j.foodchem.2012.11.139.

- [88] C. Papuc, M. Crivineanu, G. Goran, V. Nicorescu, and N. Durdun, “Bucharest) ♦ 61♦ Nr,” 2010. [Online]. Available: <http://www.revistadechimie.ro>
- [89] H. , S. H. R. , G. F. A. , M. V. S. , & M. S. A. Hosseinzadeh, “Protective effect of *Viscum album* extract against oxidative stress induced by cyclophosphamide in mouse brain. ,” *Journal of Basic Medical Sciences*, vol. 5, no. 23, pp. 589–596, 2020.
- [90] W. Brand-Williams, M. E. Cuvelier, and C. Berset, “Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity,” vol. 28, no. 1, pp. 25–30, 1995, doi: 10.1016/S0023-6438(95)80008.
- [91] A. Altemimi, N. Lakhssassi, A. Baharlouei, D. G. Watson, and D. A. Lightfoot, “Phytochemicals: Extraction, isolation, and identification of bioactive compounds from plant extracts,” Dec. 01, 2017, *MDPI AG*. doi: 10.3390/plants6040042.
- [92] R. Apak, M. Özyürek, K. Güçlü, and E. Çapanoğlu, “Antioxidant activity/capacity measurement. 1. Classification, physicochemical principles, mechanisms, and electron transfer (ET)-based assays,” Feb. 10, 2016, *American Chemical Society*. doi: 10.1021/acs.jafc.5b04739.
- [93] I. Susanti, R. Pratiwi, Y. Rosandi, and A. N. Hasanah, “Separation Methods of Phenolic Compounds from Plant Extract as Antioxidant Agents Candidate,” Apr. 01, 2024, *Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI)*. doi: 10.3390/plants13070965.
- [94] J. Du, B. Zhong, V. Subbiah, C. J. Barrow, F. R. Dunshea, and H. A. R. Suleria, “Lc-esi-qtof-ms/ms profiling and antioxidant activity of phenolics from custard apple fruit and by-products,” *Separations*, vol. 8, no. 5, May 2021, doi: 10.3390/separations8050062.

## ANEXOS

Anexo A. Familia *Loranthaceae*.  
Tabla A1. Géneros.

Actinanthella	Diplatia	Lysiana	Psittacanthus
Aetanthus	Distrianthes	Macrosolen	Scurrula
Agelanthus	Elytranthe	Moquiniella	Septulina
Alepis	Emelianthe	Muellerina	Socratina
Amyema	Englerina	Notanthera	Sogerianthe
Amylotheca	Erianthemum	Nuytsia	Spragueanella
Atkinsonia	Gaiadendron	Oliverella	Struthanthus
Bakerella	Globimetula	Oncella	Tapinanthus
Barathranthus	Helicanthes	Oncocalyx	Taxillus
Benthamina	Helixanthera	Oryctanthus	Tetradyas
Berhautia	Ileostylus	Oryctina	Thaumasianthes
Cecarria	Ixocactus	Panamanthus	Tolypanthus
Cladocolea	Kingella	Papuanthes	Trilepidea
Cyne	Lampas	Pedistylis	Tripodanthus
Dactyliophora	Lepeostegeres	Peraxilla	Tristerix
Decaisnina	Lepidaria	Phragmanthera	Trithecanthera
Dendropemon	Ligaria	Phthirusa	Tupeia
Dendrophthoe	Loranthus	Plicosepalus	Vanwykia
Desmaria	Loxanthera		

Anexo B. Estructuras químicas de compuestos fenólicos

Tabla B1. Fenoles simples

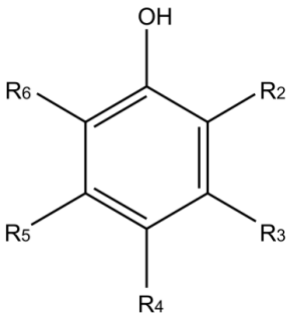
	<b>R<sub>2</sub></b>	<b>R<sub>3</sub></b>	<b>R<sub>4</sub></b>	<b>R<sub>5</sub></b>	<b>R<sub>6</sub></b>	<b>Compuesto</b>
	H	H	H	H	H	Fenol
	H	Cl	H	H	H	3-clorofenol
	H	H	Cl	H	H	4-clorofenol
	H	CH <sub>3</sub>	H	H	H	m-cresol
	H	H	CH <sub>3</sub>	H	H	p-cresol
	Cl	H	Cl	H	H	2,4-diclorofenol
	NH <sub>2</sub>	H	H	H	H	2-nitrofenol
	H	H	NH <sub>2</sub>	H	H	4-nitrofenol

Tabla B2. Ácidos fenólicos (Benzoicos)

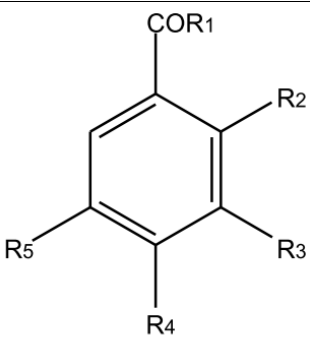
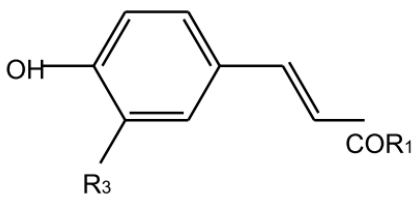
<b>Ácidos Benzoicos C<sub>6</sub>-C<sub>1</sub></b>	<b>R<sub>1</sub></b>	<b>R<sub>2</sub></b>	<b>R<sub>3</sub></b>	<b>R<sub>4</sub></b>	<b>Compuesto</b>
	OH	H	OH	OH	Ácido gálico
	OH	OH	H	H	Ácido salicílico
	OH	H	OH	H	Ácido protocatéquico
	OH	H	OCH <sub>3</sub>	OH	Ácido vainílico
	OH	H	OCH <sub>3</sub>	OH	Ácido siríngico
	H	OCH <sub>3</sub>	OH	H	Vainillina
	H	H	OCH <sub>3</sub>	H	Anisaldehído

Tabla B3. Ácidos fenólicos (Cinámicos)

<b>Ácidos Cinámicos C<sub>6</sub>-C<sub>3</sub></b>	<b>R<sub>1</sub></b>	<b>R<sub>3</sub></b>	<b>Compuesto</b>
	OH	OH	Ácido cafeico
	OH	H	Ácido p-cumárico
	OH	OCH <sub>3</sub>	Ácido ferúlico
	Ácido tartárico	OH	Ácido cafeil-tartárico
	Ácido quínico	OH	Ácido clorogénico

Anexo C. Compuestos identificados según la referencia.  
 Tabla C1. m/z compuestos de muérdago.

Compuesto	m/z	Modo de ionización
Ácido benzoico	121.0295	[M-H] <sup>-</sup>
Catecol	125.0244	[M-H] <sup>-</sup>
Catecol	127.0390	[M+H] <sup>+</sup>
Ácido para-hidroxibenzoico	137.0244	[M-H] <sup>-</sup>
Ácido trans-cinámico	147.0245	[M-H] <sup>-</sup>
Ácido trans-cinámico	147.0451	[M-H] <sup>-</sup>
Ácido 3,4-dihidroxibenzoico	153.0193	[M-H] <sup>-</sup>
Ácido para-cumárico	163.0400	[M-H] <sup>-</sup>
Ácido para-cumárico	163.0401	[M-H] <sup>-</sup>
Ácido vainílico	167.0350	[M-H] <sup>-</sup>
Ácido gálico	169.0142	[M-H] <sup>-</sup>
Ácido cafeico / Ácido salicílico	179.0350	[M-H] <sup>-</sup>
Ácido 1-naftalenacetico	185.0608	[M-H] <sup>-</sup>
Ácido 3,4-dimetoxicinámico	191.0350	[M-H] <sup>-</sup>
Ácido ferúlico	193.0506	[M-H] <sup>-</sup>
Ácido siríngico	197.0455	[M-H] <sup>-</sup>
Ácido siríngico	199.0601	[M+H] <sup>+</sup>
Ácido sinápico	223.0612	[M-H] <sup>-</sup>
Kaempferol	285.0405	[M-H] <sup>-</sup>
Kaempferol	287.0550	[M+H] <sup>+</sup>
(-)-Epicatequina	289.0718	[M-H] <sup>-</sup>
Quercetina	301.0354	[M-H] <sup>-</sup>
Quercetina	303.0500	[M+H] <sup>+</sup>
Miricetina	317.0303	[M-H] <sup>-</sup>
Ácido gálico 4-O-glucósido	331.0678	[M-H] <sup>-</sup>
Ácido cafeico 4-O-glucósido	341.0878	[M-H] <sup>-</sup>
Ácido clorogénico	353.0878	[M-H] <sup>-</sup>
Ácido rosmarínico	359.0772	[M-H] <sup>-</sup>
Ácido cafeoilquínico	363.0878	[M-H] <sup>-</sup>
Ácido 5-feruloilquínico	367.1034	[M-H] <sup>-</sup>

Sinesetina	373.1282	[M-H] <sup>-</sup>
Apigenina 6-C-glucósido	431.0984	[M+H] <sup>+</sup>
Ácido betulínico	453.3374	[M-H] <sup>-</sup>
Ácido betulínico	455.3520	[M+H] <sup>+</sup>
Apigenina galactósido-arabinósido	565.1552	[M-H] <sup>-</sup>
Luteolina 7-O-(2-apiosil-6-maloni)-glucósido	577.1199	[M-H] <sup>-</sup>
Luteolina 7-O-(2-apiosil-6-maloni)-glucósido	579.1344	[M+H] <sup>+</sup>
Hidrato de rutina	609.1461	[M-H] <sup>-</sup>
(-)-Epicatequina-(2a-7)(4a-8)-epicatequina3-O-galactósido	625.1199	[M-H] <sup>-</sup>
(-)-Epicatequina-(2a-7)(4a-8)-epicatequina3-O-galactósido	627.1344	[M+H] <sup>+</sup>

---

Fuentes: [85], [94].



Anexo D. Cromatogramas extractos de muérdago.  
Figura D1. Cromatograma TIC extractos MCE01.

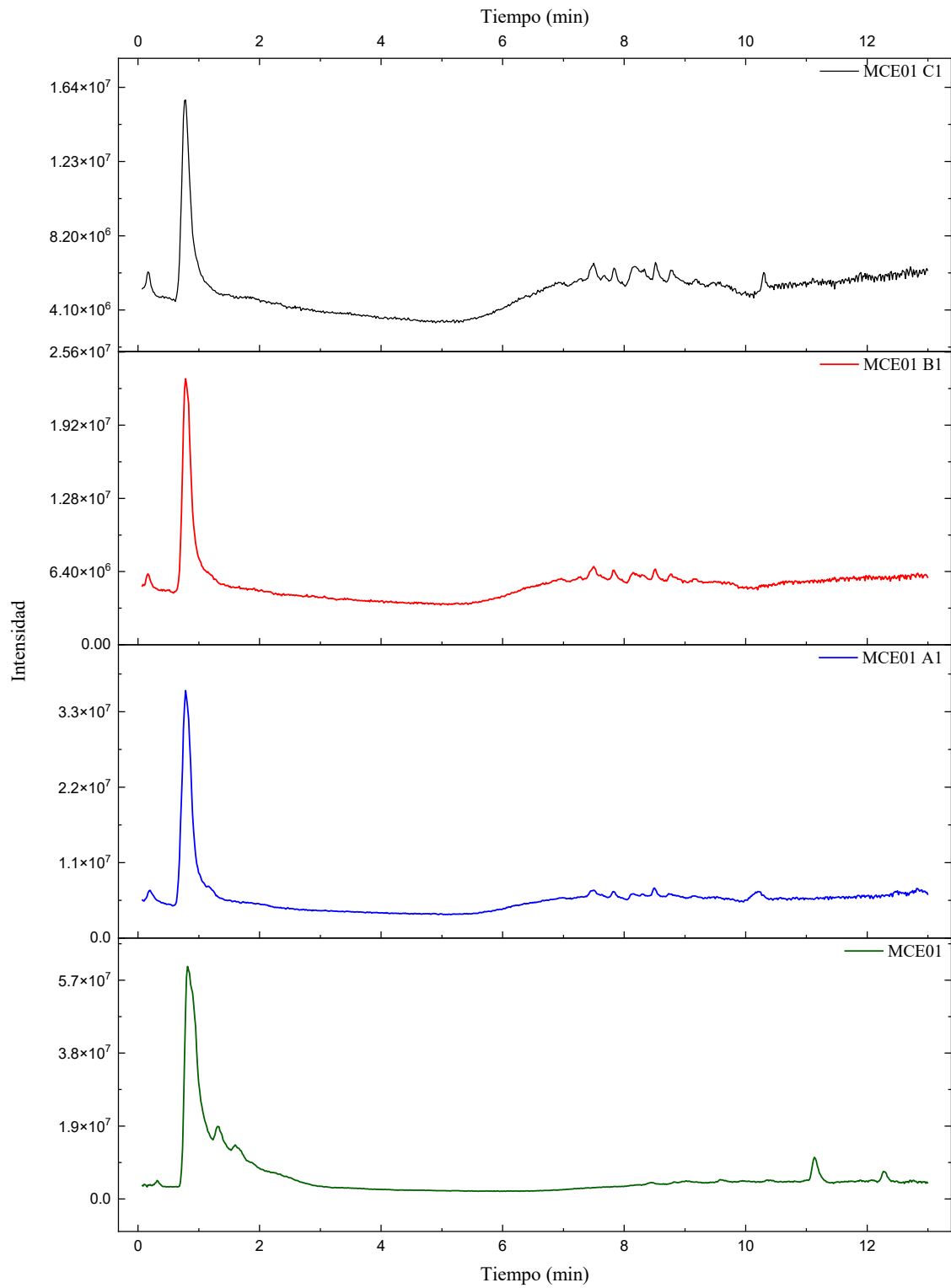


Figura D2. Cromatograma TIC extractos MCM01.

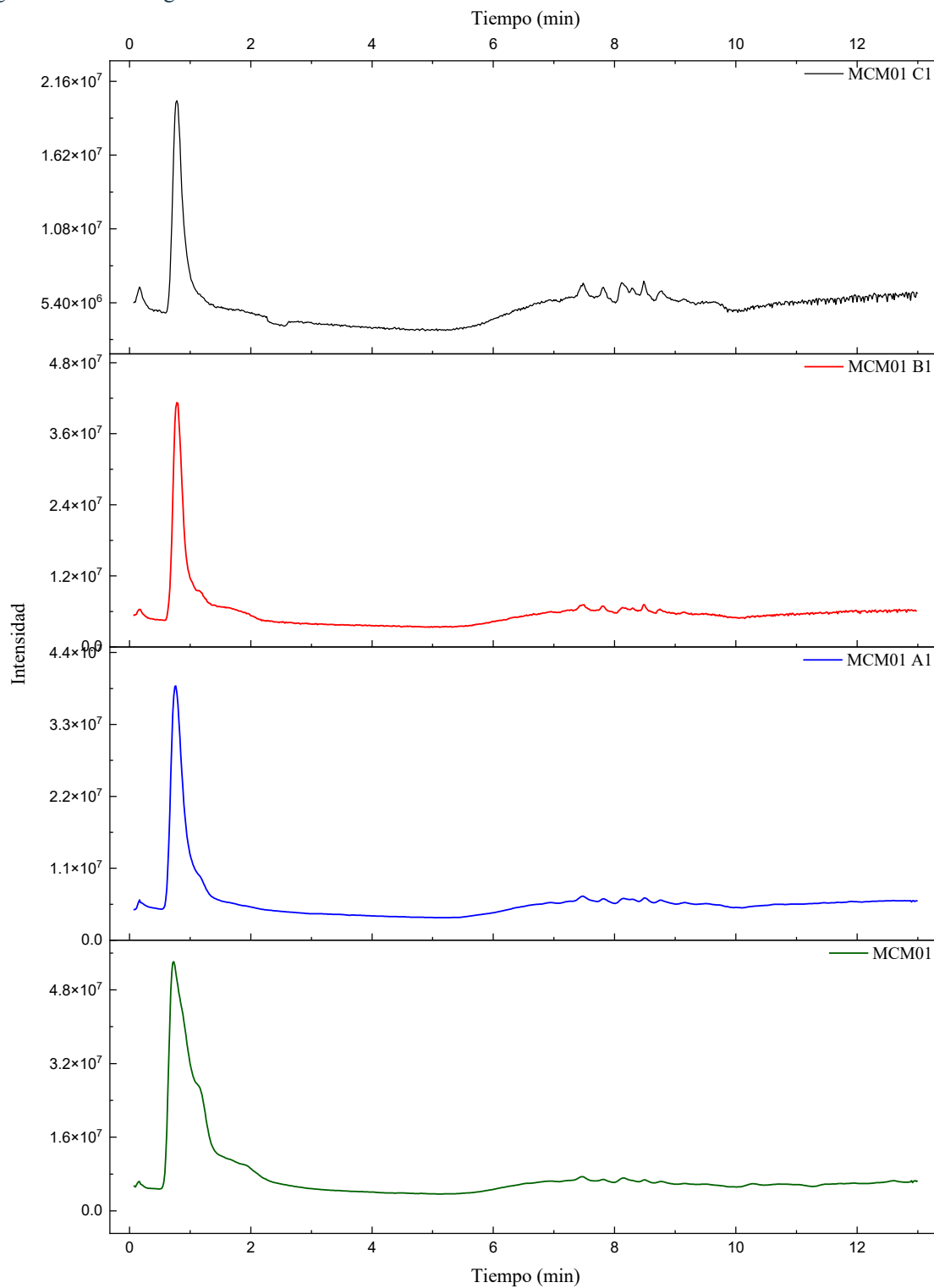
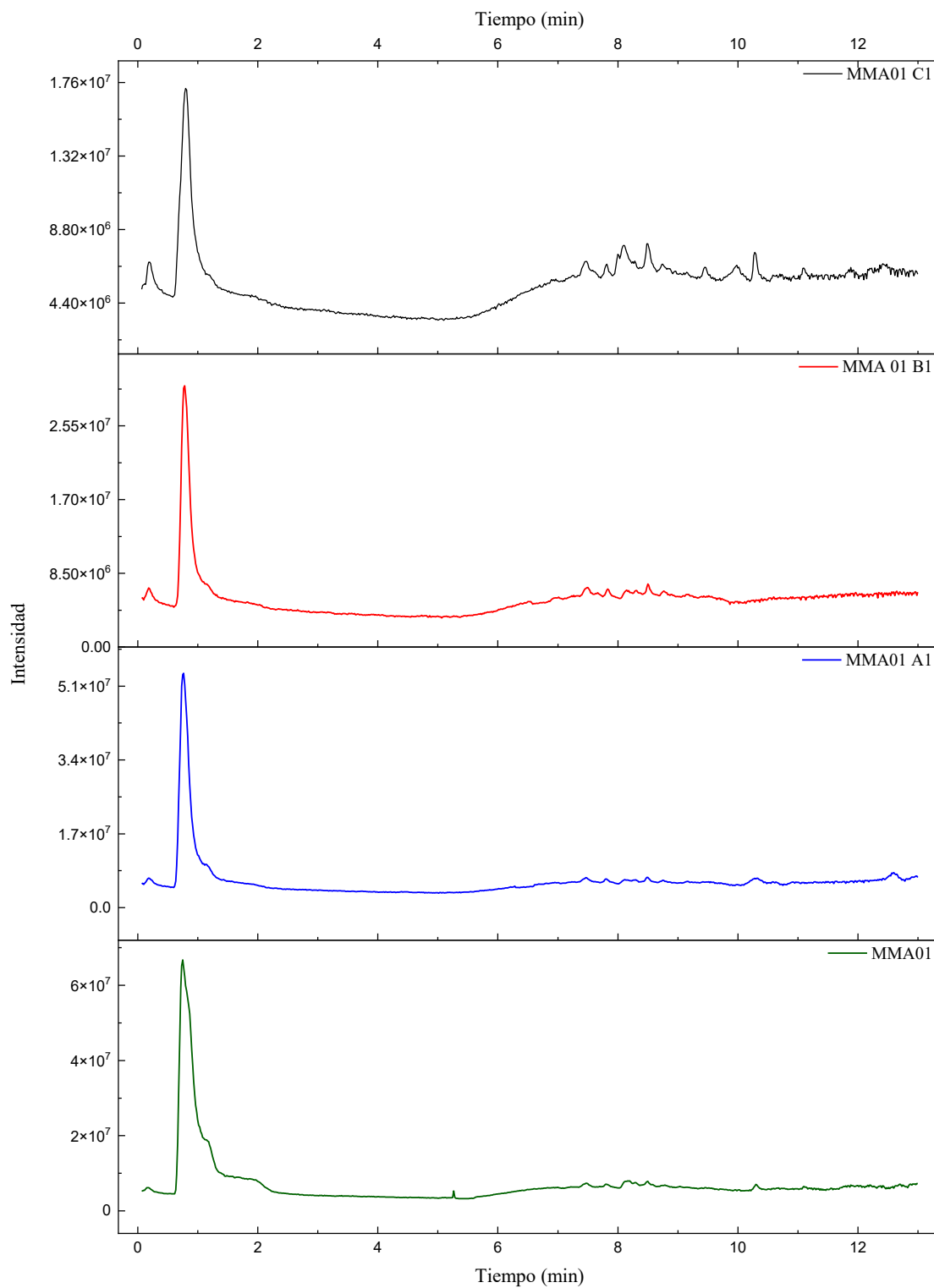


Figura D3. Cromatograma TIC extractos MMA01.



Anexo E. Componentes bioactivos identificados en extractos de muérdago.

Tabla E1. MCE01 Extracto de muérdago concentrado en etanol.

Compuesto	Formula química	Rt (min)	Ionización	Peso molecular
Catecol	C <sub>6</sub> H <sub>6</sub> O <sub>2</sub>	0.882	[M - H] <sup>-</sup>	125.0244
Ácido para-hidroxibenzoico	C <sub>7</sub> H <sub>6</sub> O <sub>3</sub>	0.898	[M - H] <sup>-</sup>	137.0244
Ácido transcinámico	C <sub>9</sub> H <sub>8</sub> O <sub>2</sub>	0.998	[M - H] <sup>-</sup>	147.0245
Ácido 3-4-dimetoxibenzoico	C <sub>7</sub> H <sub>6</sub> O <sub>4</sub>	0.915	[M - H] <sup>-</sup>	153.0193
Ácido para-cumárico	C <sub>9</sub> H <sub>8</sub> O <sub>3</sub>	0.948	[M - H] <sup>-</sup>	163.0401
Acido gálico	C <sub>7</sub> H <sub>6</sub> O <sub>5</sub>	0.882	[M - H] <sup>-</sup>	169.0142
Ácido siríngico	C <sub>9</sub> H <sub>10</sub> O <sub>5</sub>	0.932	[M - H] <sup>-</sup>	197.0455
Ácido siríngico	C <sub>9</sub> H <sub>10</sub> O <sub>5</sub>	1.048	[M + H] <sup>+</sup>	199.0601
Ácido sinápico	C <sub>11</sub> H <sub>12</sub> O <sub>5</sub>	0.865	[M - H] <sup>-</sup>	223.0612
Hidrato de catequina	C <sub>15</sub> H <sub>14</sub> O <sub>6</sub>	0.915	[M - H] <sup>-</sup>	289.0718
Ácido gálico 4-O-glucósido	C <sub>13</sub> H <sub>16</sub> O <sub>20</sub>	0.798	[M - H] <sup>-</sup>	331.0678

Figura E1. Cromatograma EIC del extracto MCE01.

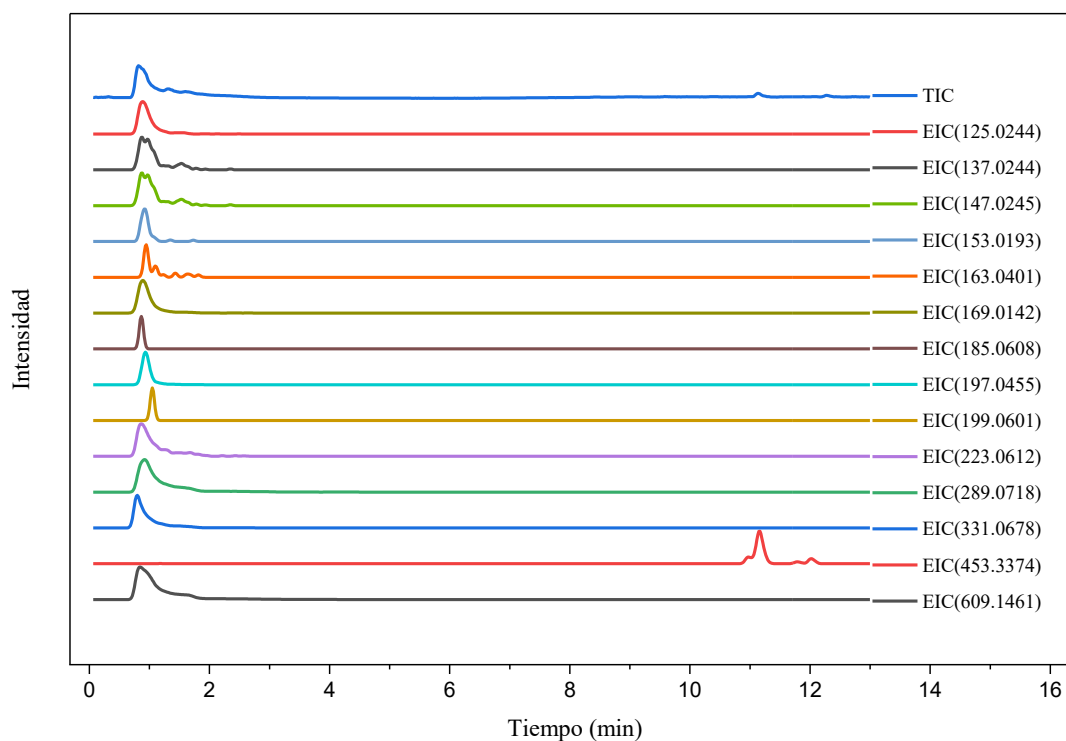


Tabla E2. MCE01 A1 Extracto de muérdago concentrado en etanol.

Compuesto	Formula química	Rt (min)	Ionización	Peso molecular
Catecol	C <sub>6</sub> H <sub>6</sub> O <sub>2</sub>	0.794	[M - H] <sup>-</sup>	125.0244
Ácido para-hidroxibenzoico	C <sub>7</sub> H <sub>6</sub> O <sub>3</sub>	0.801	[M - H] <sup>-</sup>	137.0244
Ácido 3-4-dimetoxibenzoico	C <sub>7</sub> H <sub>6</sub> O <sub>4</sub>	0.784	[M - H] <sup>-</sup>	153.0193
Ácido gálico	C <sub>7</sub> H <sub>6</sub> O <sub>5</sub>	0.794	[M - H] <sup>-</sup>	169.0142
Ácido sinápico	C <sub>11</sub> H <sub>12</sub> O <sub>5</sub>	0.801	[M - H] <sup>-</sup>	223.0612
Kaempferol	C <sub>15</sub> H <sub>10</sub> O <sub>6</sub>	0.884	[M + H] <sup>+</sup>	287.0550
Hidrato de catequina	C <sub>15</sub> H <sub>14</sub> O <sub>6</sub>	0.801	[M - H] <sup>-</sup>	289.0718
Ácido gálico 4-O-glucósido	C <sub>13</sub> H <sub>16</sub> O <sub>20</sub>	0.768	[M - H] <sup>-</sup>	331.0678
Ácido clorogénico	C <sub>16</sub> H <sub>18</sub> O <sub>9</sub>	0.801	[M - H] <sup>-</sup>	353.0878
Ácido 1-cafeoilquínico	C <sub>16</sub> H <sub>18</sub> O <sub>9</sub>	0.718	[M - H] <sup>-</sup>	363.0879
Ácido 5-feruloilquínico	C <sub>17</sub> H <sub>20</sub> O <sub>9</sub>	0.768	[M - H] <sup>-</sup>	367.1034
Apigenina galactósido-arabinósido	C <sub>26</sub> H <sub>28</sub> O <sub>14</sub>	0.818	[M + H] <sup>+</sup>	565.1552
Hidrato de rutina	C <sub>27</sub> H <sub>30</sub> O <sub>16</sub>	0.801	[M - H] <sup>-</sup>	609.1461
(-)-Epicatequina-(2a-7)(4a-8)-epicatequina 3-O-galactósido	C <sub>30</sub> H <sub>26</sub> O <sub>15</sub>	0.884	[M - H] <sup>-</sup>	625.1199

Figura E1. Cromatograma EIC del extracto MCE01A1.

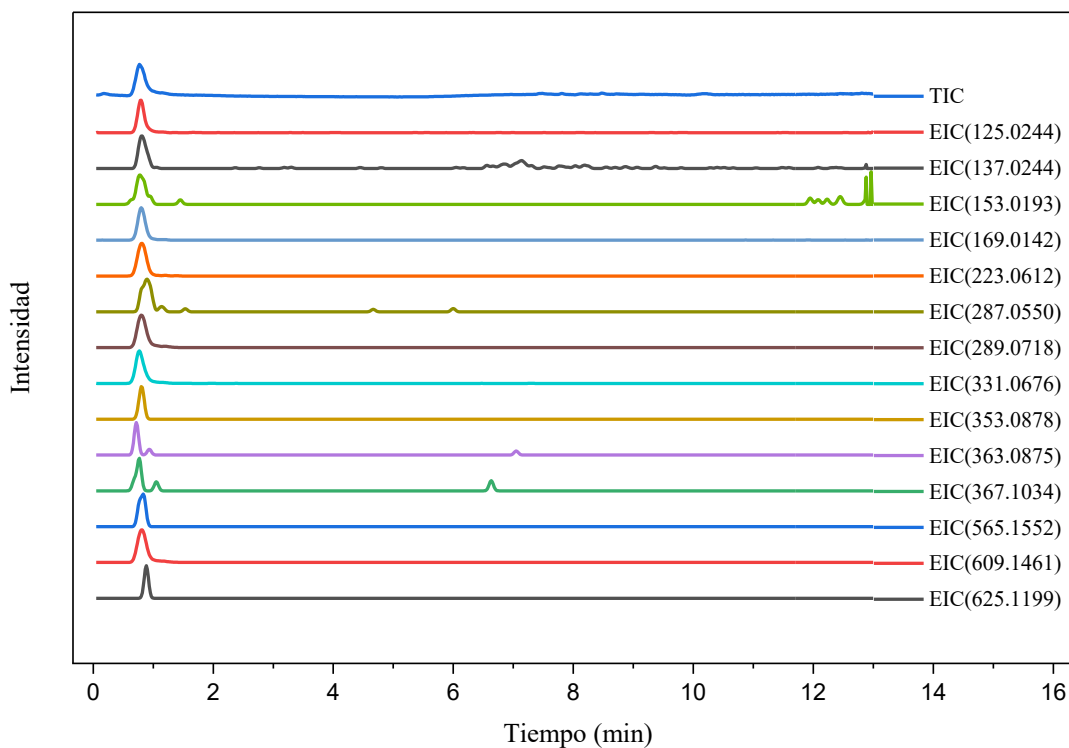


Tabla E3. MCE01 B1 Extracto de muérdago concentrado en etanol.

Compuesto	Formula química	Rt (min)	Ionización	Peso molecular
Catecol	$C_6H_6O_2$	0.765	$[M - H]^-$	125.0244
Acido gálico	$C_7H_6O_5$	0.782	$[M - H]^-$	169.0142
Kaempferol	$C_{15}H_{10}O_6$	0.749	$[M + H]^+$	287.0550
Hidrato de catequina	$C_{15}H_{14}O_6$	0.801	$[M - H]^-$	289.0718
Quercetina	$C_{15}H_{10}O_7$	3.148	$[M - H]^-$	301.0354
Ácido gálico 4-O-glucósido	$C_{13}H_{16}O_{10}$	0.765	$[M - H]^-$	331.0678
Ácido rosmarínico	$C_{18}H_{16}O_8$	0.949 98.612	$[M - H]^-$	359.0775
Ácido 1-cafeoilquínico	$C_{16}H_{18}O_9$	7.296	$[M - H]^-$	363.0800
Luteolina 7-O-(2-apiosil-6-maloni)-glucósido	$C_{26}H_{26}O_{15}$	0.910	$[M - H]^-$	577.1199
Luteolina 7-O-(2-apiosil-6-maloni)-glucósido	$C_{26}H_{26}O_{15}$	0.760	$[M + H]^+$	579.1344
Hidrato de rutina	$C_{27}H_{30}O_{16}$	0.801	$[M - H]^-$	609.1461
(-)-Epicatequina-(2a-7)(4a-8)-epicatequina 3-O-galactósido	$C_{30}H_{26}O_{15}$	0.884	$[M - H]^-$	625.1199
(-)-Epicatequina-(2a-7)(4a-8)-epicatequina	$C_{30}H_{26}O_{15}$	7.079	$[M + H]^+$	627.1344

Figura E2. Cromatograma EIC del extracto MCE01B1.

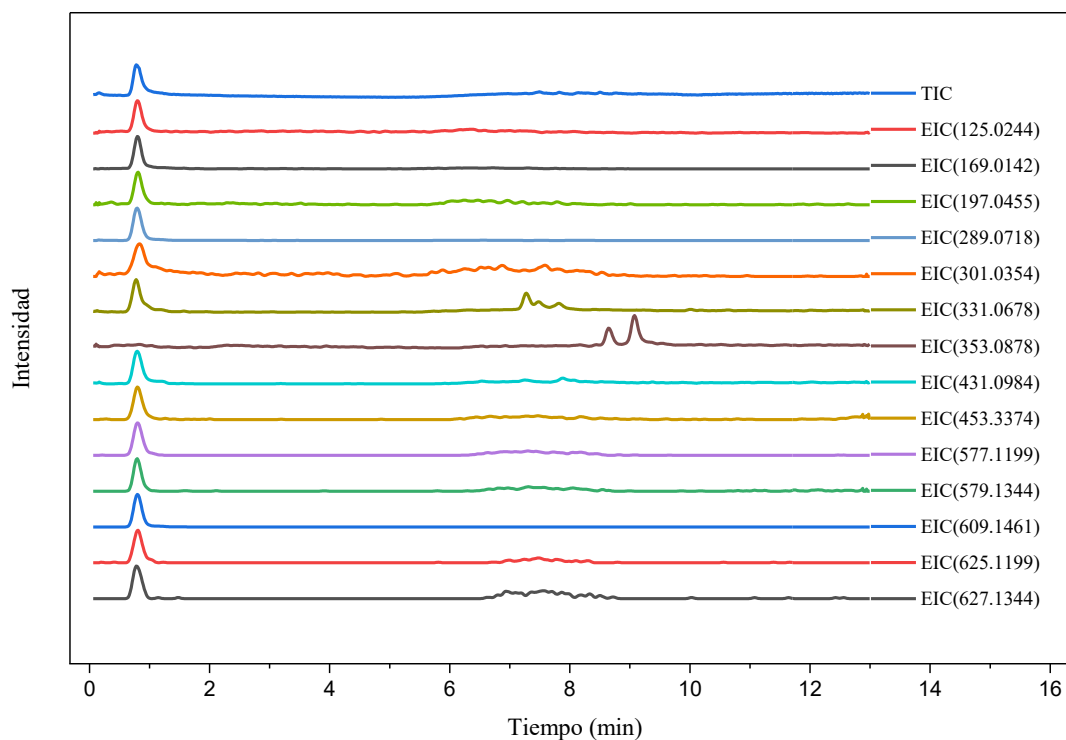


Tabla E4. MCE01 C1 Extracto de muérdago concentrado en etanol.

Compuesto	Formula química	Rt (min)	Ionización	Peso molecular
Catecol	C <sub>6</sub> H <sub>6</sub> O <sub>2</sub>	0.794	[M - H] <sup>-</sup>	125.0244
Acido gálico	C <sub>7</sub> H <sub>6</sub> O <sub>5</sub>	0.777	[M - H] <sup>-</sup>	169.0142
Ácido siríngico	C <sub>9</sub> H <sub>10</sub> O <sub>5</sub>	0.860	[M - H] <sup>-</sup>	197.0455
Ácido sinápico	C <sub>11</sub> H <sub>12</sub> O <sub>5</sub>	0.743	[M - H] <sup>-</sup>	223.0612
Kaempferol	C <sub>15</sub> H <sub>10</sub> O <sub>6</sub>	0.793	[M + H] <sup>+</sup>	287.0550
Hidrato de catequina	C <sub>15</sub> H <sub>14</sub> O <sub>6</sub>	0.801	[M - H] <sup>-</sup>	289.0718
Ácido gálico 4-O-glucósido	C <sub>13</sub> H <sub>16</sub> O <sub>10</sub>	0.760	[M - H] <sup>-</sup>	331.0678
Ácido clorogénico	C <sub>16</sub> H <sub>18</sub> O <sub>9</sub>	0.801	[M - H] <sup>-</sup>	353.0878
Ácido 1-cafeoilquínico	C <sub>16</sub> H <sub>18</sub> O <sub>9</sub>	0.718 2.426	[M - H] <sup>-</sup>	363.0879
Sinesetina	C <sub>20</sub> H <sub>20</sub> O <sub>7</sub>	8.574	[M - H] <sup>-</sup>	373.1282
Apigenina 6-C-glucósido	C <sub>21</sub> H <sub>20</sub> O <sub>10</sub>	6.774	[M + H] <sup>+</sup>	431.0984
Ácido betulínico	C <sub>30</sub> H <sub>43</sub> O <sub>3</sub>	7.424 12.791	[M - H] <sup>-</sup>	453.3374
Luteolina 7-O-(2-apiosil-6-maloni)- glucósido	C <sub>26</sub> H <sub>26</sub> O <sub>15</sub>	0.910	[M - H] <sup>-</sup>	577.1194
Luteolina 7-O-	C <sub>26</sub> H <sub>26</sub> O <sub>15</sub>	0.760	[M + H] <sup>+</sup>	579.1344
Hidrato de rutina	C <sub>27</sub> H <sub>30</sub> O <sub>16</sub>	0.801	[M - H] <sup>-</sup>	609.1461
(-)-Epicatequina-(2a-7)(4a-8)- epicatequina 3-O	C <sub>30</sub> H <sub>26</sub> O <sub>15</sub>	0.827	[M + H] <sup>+</sup>	627.1344

Figura E3. Cromatograma EIC del extracto MCE01C1.

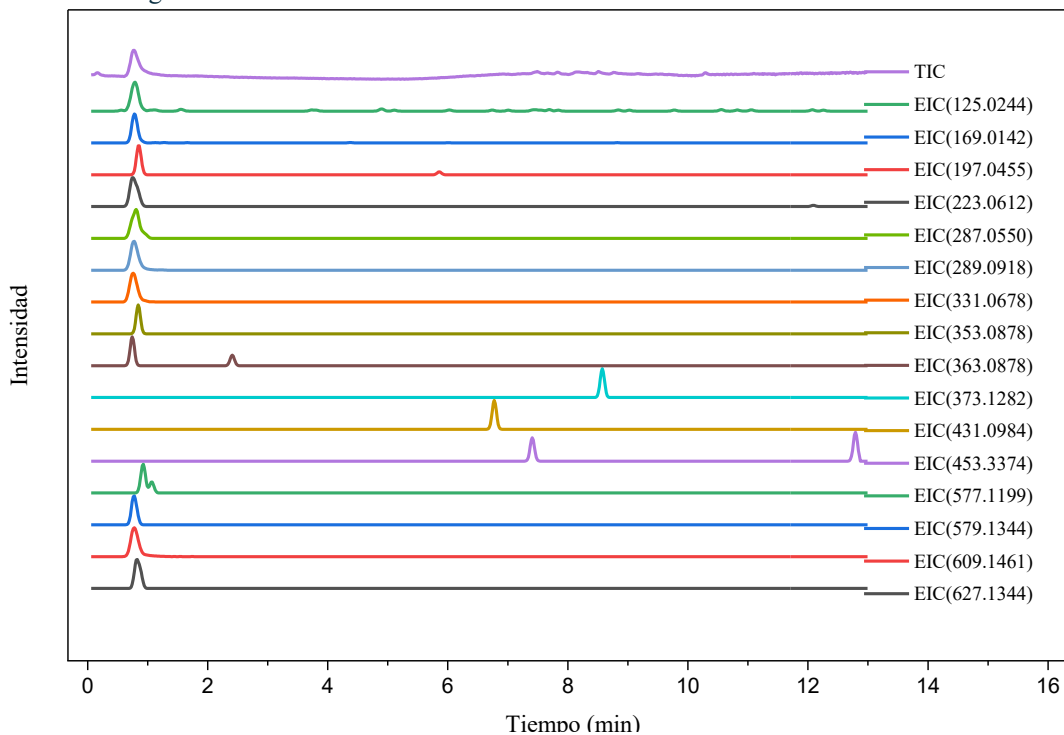


Tabla E5. MCM01 Extracto de muérdago concentrado en metanol.

Compuesto	Formula química	Rt (min)	Ionización	Peso molecular
Acido gálico	$C_7H_6O_5$	0.815	$[M - H]^-$	169.0142
Ácido siríngico	$C_9H_{10}O_5$	1.465	$[M - H]^-$	197.0455
Quercetina	$C_{15}H_{10}O_7$	0.632	$[M - H]^-$	301.0354
Ácido gálico 4-O-glucósido	$C_{13}H_{16}O_{10}$	0.760	$[M - H]^-$	331.0678
Ácido 5-feruloilquínico	$C_{17}H_{20}O_9$	6.524	$[M - H]^-$	367.1034
Sinesetina	$C_{20}H_{20}O_7$	0.767	$[M - H]^-$	373.1282
Ácido betulínico	$C_{30}H_{46}O_3$	0.748	$[M - H]^-$	453.3374
Luteolina 7-O-(2-apiosil-6-maloni)-glucósido	$C_{26}H_{26}O_{15}$	1.015	$[M + H]^+$	579.1344
Hidrato de rutina	$C_{27}H_{30}O_{16}$	0.801	$[M - H]^-$	609.1461
(-)-Epicatequina-(2a-7)(4a-8)-epicatequina 3-O-galactósido	$C_{30}H_{26}O_{15}$	7.079	$[M + H]^+$	627.1344

Figura E4. Cromatograma EIC del extracto MCM01.

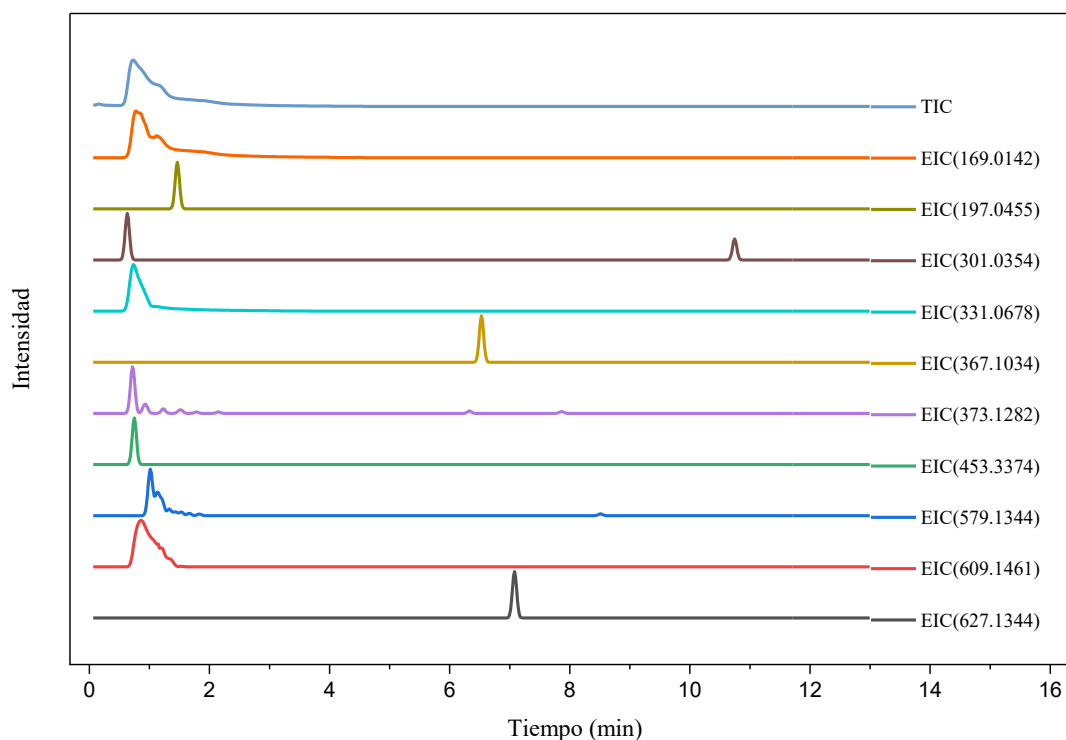


Tabla E6. MCM01 A1 Extracto de muérdago concentrado en metanol.

Compuesto	Formula química	Rt (min)	Ionización	Peso molecular
Catecol	C <sub>6</sub> H <sub>6</sub> O <sub>2</sub>	0.811	[M - H] <sup>-</sup>	125.0244
Ácido para-cumárico	C <sub>9</sub> H <sub>8</sub> O <sub>3</sub>	0.811	[M - H] <sup>-</sup>	163.0401
Acido gálico	C <sub>7</sub> H <sub>6</sub> O <sub>5</sub>	0.811	[M - H] <sup>-</sup>	169.0142
Ácido sinápico	C <sub>11</sub> H <sub>12</sub> O <sub>5</sub>	0.743	[M - H] <sup>-</sup>	223.0612
Kaempferol	C <sub>15</sub> H <sub>10</sub> O <sub>6</sub>	0.793	[M - H] <sup>-</sup>	285.0405
Ácido gálico 4-O-glucósido	C <sub>13</sub> H <sub>16</sub> O <sub>10</sub>	0.811	[M - H] <sup>-</sup>	331.0678
Ácido 5-feruloilquínico	C <sub>17</sub> H <sub>20</sub> O <sub>9</sub>	0.777	[M - H] <sup>-</sup>	367.1034
Sinesetina	C <sub>20</sub> H <sub>20</sub> O <sub>7</sub>	0.767	[M - H] <sup>-</sup>	373.1282
Ácido betulínico	C <sub>30</sub> H <sub>46</sub> O <sub>3</sub>	8.946	[M - H] <sup>-</sup>	453.3374
Ácido betulínico	C <sub>30</sub> H <sub>46</sub> O <sub>3</sub>	0.748	[M + H] <sup>+</sup>	455.3520
Apigenina galactósido-arabinósido	C <sub>26</sub> H <sub>28</sub> O <sub>14</sub>	0.818	[M + H] <sup>+</sup>	565.1552
Luteolina 7-O-(2-apiosil-6-maloni)-glucósido	C <sub>26</sub> H <sub>26</sub> O <sub>15</sub>	0.795	[M + H] <sup>+</sup>	579.1344
Hidrato de rutina	C <sub>27</sub> H <sub>30</sub> O <sub>16</sub>	0.801	[M - H] <sup>-</sup>	609.1461
(-)-Epicatequina-(2a-7)(4a-8)-epicatequina 3-O-galactósido	C <sub>30</sub> H <sub>26</sub> O <sub>15</sub>	0.827	[M + H] <sup>+</sup>	627.1344

Figura E5. Cromatograma EIC del extracto MCM01A1.

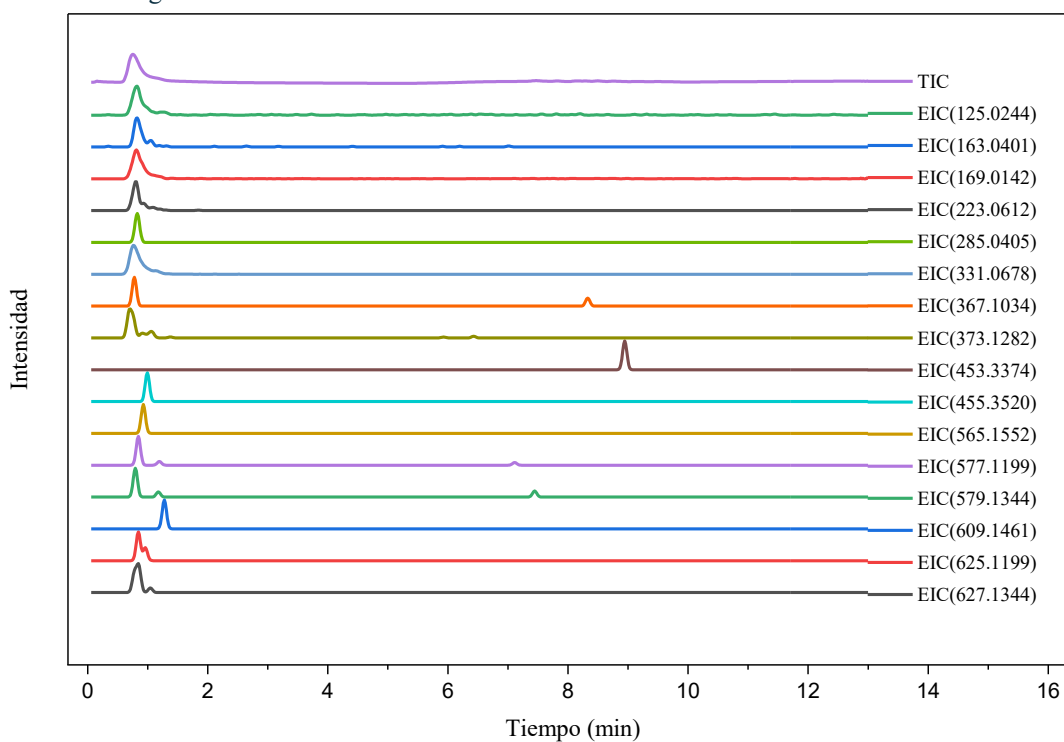


Tabla E7. MCM01 B1 Extracto de muérdago concentrado en metanol.

Compuesto	Formula química	Rt (min)	Ionización	Peso molecular
Ácido benzoico	C <sub>7</sub> H <sub>6</sub> O <sub>2</sub>	0.817	[M - H] <sup>-</sup>	121.0295
Catecol	C <sub>6</sub> H <sub>6</sub> O <sub>2</sub>	0.794	[M - H] <sup>-</sup>	125.0244
Ácido 3-4-dimetoxibenzoico	C <sub>7</sub> H <sub>6</sub> O <sub>4</sub>	0.884	[M - H] <sup>-</sup>	153.0193
Acido gálico	C <sub>7</sub> H <sub>6</sub> O <sub>5</sub>	0.800	[M - H] <sup>-</sup>	169.0142
Kaempferol	C <sub>15</sub> H <sub>10</sub> O <sub>6</sub>	1.300	[M - H] <sup>-</sup>	285.0405
Kaempferol	C <sub>15</sub> H <sub>10</sub> O <sub>6</sub>	0.793	[M + H] <sup>+</sup>	287.0550
Hidrato de catequina	C <sub>15</sub> H <sub>14</sub> O <sub>6</sub>	0.801	[M - H] <sup>-</sup>	289.0718
Ácido gálico 4-O-glucósido	C <sub>13</sub> H <sub>16</sub> O <sub>10</sub>	0.760	[M - H] <sup>-</sup>	331.0678
Ácido betulínico	C <sub>30</sub> H <sub>46</sub> O <sub>3</sub>	8.567	[M - H] <sup>-</sup>	453.3374
Luteolina 7-O-(2-apiosil-6-maloni)-glucósido	C <sub>26</sub> H <sub>26</sub> O <sub>15</sub>	1.317	[M - H] <sup>-</sup>	577.1194
Luteolina 7-O-(2-apiosil-6-maloni)-glucósido	C <sub>26</sub> H <sub>26</sub> O <sub>15</sub>	1.067	[M + H] <sup>+</sup>	579.1344
Hidrato de rutina	C <sub>27</sub> H <sub>30</sub> O <sub>16</sub>	0.801	[M - H] <sup>-</sup>	609.1461

Figura E6. Cromatograma EIC del extracto MCM01B1.

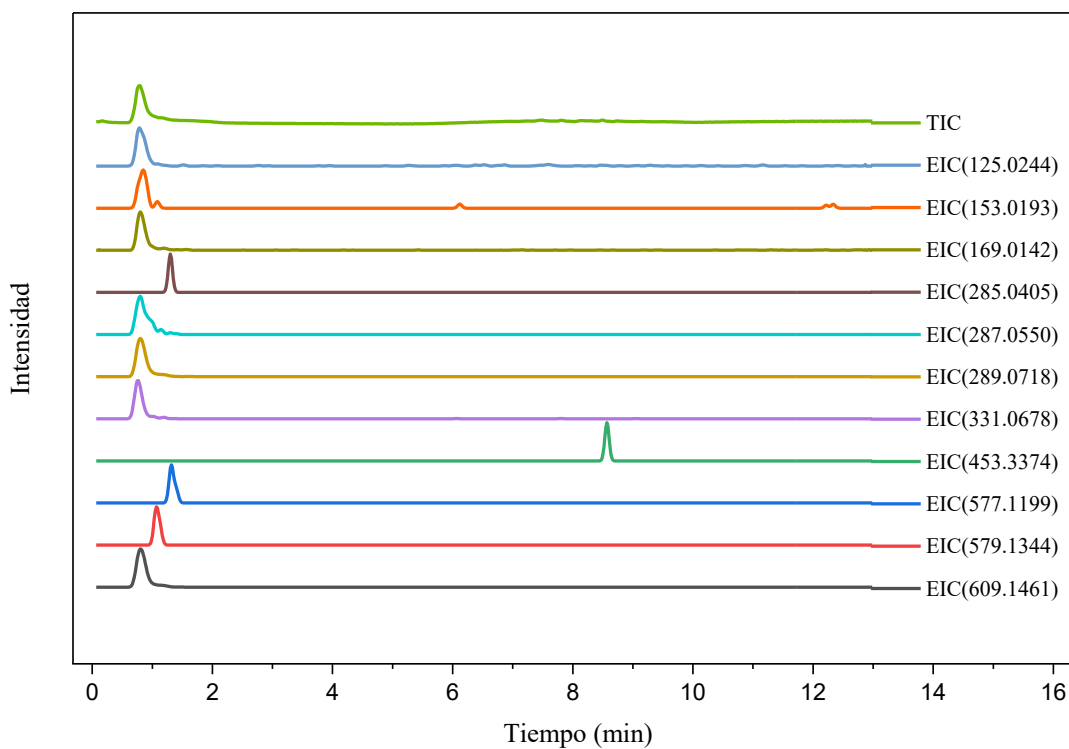


Tabla E8. MCM01 C1 Extracto de muérdago concentrado en metanol.

Compuesto	Formula química	Rt (min)	Ionización	Peso molecular
Ácido 3-4-dimetoxibenzoico	$C_7H_6O_4$	0.784	$[M - H]^-$	153.0193
Acido gálico	$C_7H_6O_5$	0.780	$[M - H]^-$	169.0142
Ácido sinápico	$C_{11}H_{12}O_5$	0.764	$[M - H]^-$	223.0612
Kaempferol	$C_{15}H_{10}O_6$	0.847	$[M - H]^-$	285.0405
Kaempferol	$C_{15}H_{10}O_6$	0.797 7.465	$[M + H]^+$	287.0550
Hidrato de catequina	$C_{15}H_{14}O_6$	0.781	$[M - H]^-$	289.0718
Quercetina	$C_{15}H_{10}O_7$	0.748	$[M - H]^-$	301.0354
Ácido gálico 4-O-glucósido	$C_{13}H_{16}O_{10}$	0.760	$[M - H]^-$	331.0678
Ácido clorogénico	$C_{16}H_{18}O_9$	0.801	$[M - H]^-$	353.0878
Ácido rosmarínico	$C_{18}H_{16}O_8$	0.774	$[M - H]^-$	359.0775
Apigenina 6-C-glucósido	$C_{21}H_{20}O_{10}$	6.998 12.233	$[M + H]^+$	431.0984
Ácido betulínico	$C_{30}H_{46}O_3$	0.948	$[M + H]^+$	455.3520
Luteolina 7-O-(2-apiosil-6-maloni)-glucósido	$C_{26}H_{26}O_{15}$	0.760	$[M + H]^+$	579.1344
Hidrato de rutina	$C_{27}H_{30}O_{16}$	0.801	$[M - H]^-$	609.1461
(-)-Epicatequina-(2a-7)	$C_{30}H_{26}O_{15}$	0.744	$[M - H]^-$	625.1199

Figura E7. Cromatograma EIC del extracto MCM01C1.

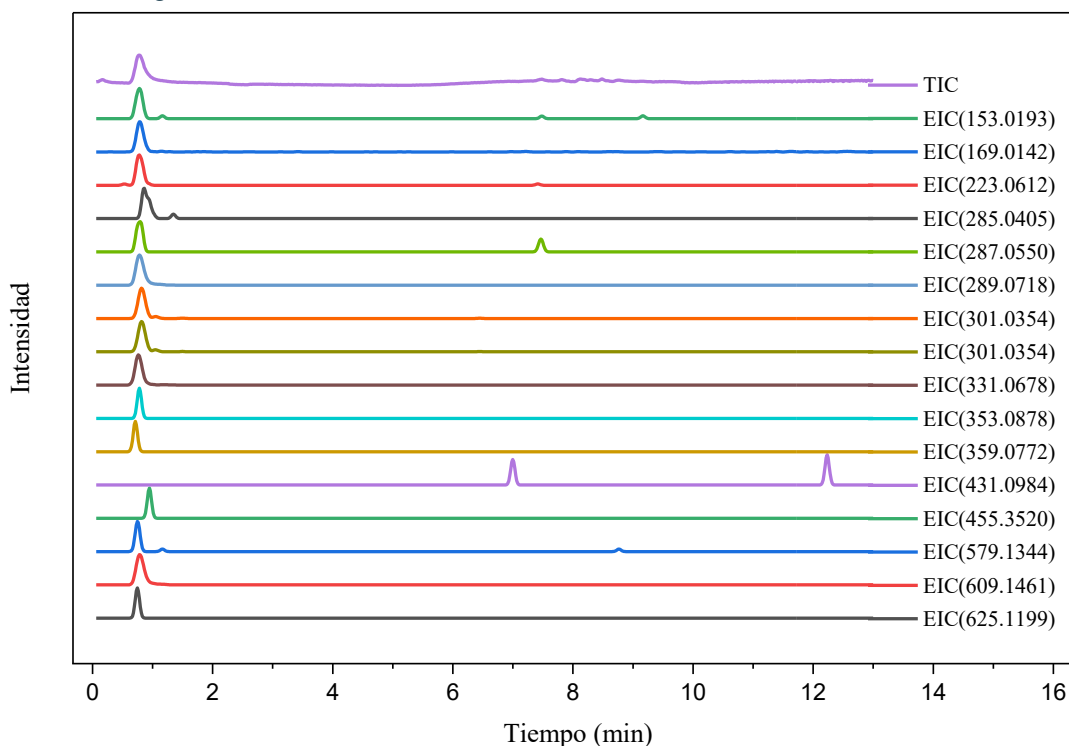


Tabla E9. MMA01 Extracto de muérdago concentrado en metanol/agua.

Compuesto	Formula química	Rt (min)	Ionización	Peso molecular
Catecol	C <sub>6</sub> H <sub>6</sub> O <sub>2</sub>	0.765	[M - H] <sup>-</sup>	125.0244
Ácido para-cumárico	C <sub>9</sub> H <sub>8</sub> O <sub>3</sub>	0.781	[M - H] <sup>-</sup>	163.0401
Acido gálico	C <sub>7</sub> H <sub>6</sub> O <sub>5</sub>	0.780	[M - H] <sup>-</sup>	169.0142
Ácido siríngico	C <sub>9</sub> H <sub>10</sub> O <sub>5</sub>	5.693	[M - H] <sup>-</sup>	197.0455
Kaempferol	C <sub>15</sub> H <sub>10</sub> O <sub>6</sub>	0.944	[M - H] <sup>-</sup>	285.0405
Hidrato de catequina	C <sub>15</sub> H <sub>14</sub> O <sub>6</sub>	0.881	[M - H] <sup>-</sup>	289.0718
Ácido gálico 4-O-glucósido	C <sub>13</sub> H <sub>16</sub> O <sub>10</sub>	0.760	[M - H] <sup>-</sup>	331.0678
Sinesetina	C <sub>20</sub> H <sub>20</sub> O <sub>7</sub>	0.678	[M - H] <sup>-</sup>	373.1282
Hidrato de rutina	C <sub>27</sub> H <sub>30</sub> O <sub>16</sub>	0.801	[M - H] <sup>-</sup>	609.1461
(-)-Epicatequina-(2a-7)(4a-8)-epicatequina 3-O-galactósido	C <sub>30</sub> H <sub>26</sub> O <sub>15</sub>	7.808	[M + H] <sup>+</sup>	627.1344

Figura E8. Cromatograma EIC del extracto MMA01.

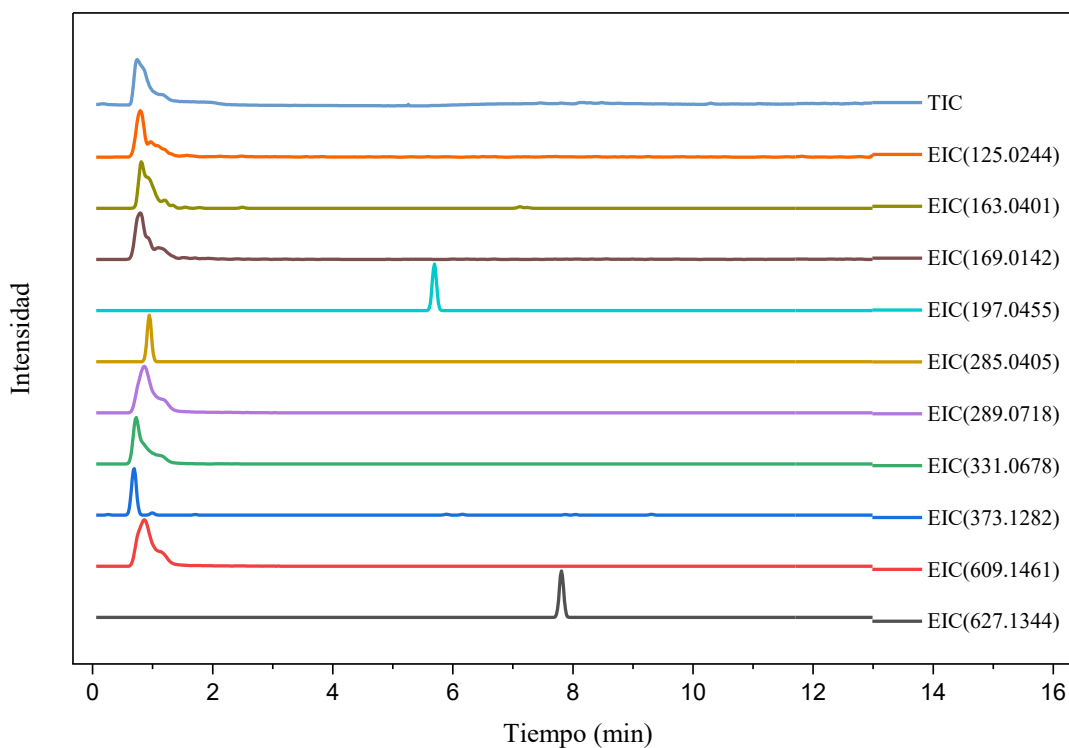


Tabla E10. MMA01 A1 Extracto de muérdago concentrado en metanol/agua.

Compuesto	Formula química	Rt (min)	Ionización	Peso molecular
Catecol	C <sub>6</sub> H <sub>6</sub> O <sub>2</sub>	0.765	[M - H] <sup>-</sup>	125.0244
Ácido transcinámico	C <sub>9</sub> H <sub>8</sub> O <sub>2</sub>	0.765	[M - H] <sup>-</sup>	147.0245
Ácido para-cumárico	C <sub>9</sub> H <sub>8</sub> O <sub>3</sub>	0.815	[M - H] <sup>-</sup>	163.0401
Acido gálico	C <sub>7</sub> H <sub>6</sub> O <sub>5</sub>	0.780	[M - H] <sup>-</sup>	169.0142
Ácido ferúlico	C <sub>10</sub> H <sub>10</sub> O <sub>4</sub>	1.215	[M - H] <sup>-</sup>	193.0506
Ácido siríngico	C <sub>9</sub> H <sub>10</sub> O <sub>5</sub>	6.900	[M - H] <sup>-</sup>	197.0455
Ácido sinápico	C <sub>11</sub> H <sub>12</sub> O <sub>5</sub>	0.798	[M - H] <sup>-</sup>	223.0612
Hidrato de catequina	C <sub>15</sub> H <sub>14</sub> O <sub>6</sub>	0.881	[M - H] <sup>-</sup>	289.0718
Ácido gálico 4-O-glucósido	C <sub>13</sub> H <sub>16</sub> O <sub>10</sub>	0.731	[M - H] <sup>-</sup>	331.0678
Ácido clorogénico	C <sub>16</sub> H <sub>18</sub> O <sub>9</sub>	0.801	[M - H] <sup>-</sup>	353.0878
Ácido 1-cafeoilquínico	C <sub>16</sub> H <sub>18</sub> O <sub>9</sub>	0.665	[M - H] <sup>-</sup>	363.0887
Hidrato de rutina	C <sub>27</sub> H <sub>30</sub> O <sub>16</sub>	0.798	[M - H] <sup>-</sup>	609.1461

Figura E9. Cromatograma EIC del extracto MMA01A1.

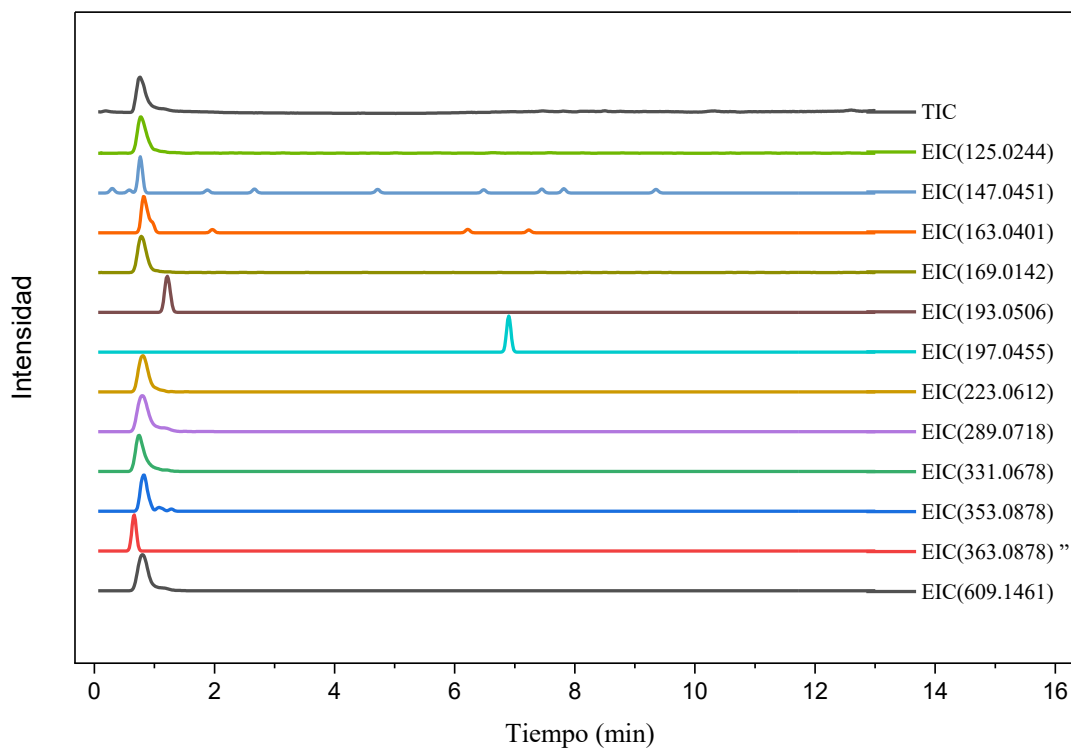


Tabla E11. MMA01 B1 Extracto de muérdago concentrado en metanol/agua.

Compuesto	Formula química	Rt (min)	Ionización	Peso molecular
Catecol	C <sub>6</sub> H <sub>6</sub> O <sub>2</sub>	0.765	[M - H] <sup>-</sup>	125.0244
Ácido vanílico	C <sub>8</sub> H <sub>8</sub> O <sub>4</sub>	0.791	[M - H] <sup>-</sup>	167.0350
Acido gálico	C <sub>7</sub> H <sub>6</sub> O <sub>5</sub>	0.782	[M - H] <sup>-</sup>	169.0142
Kaempferol	C <sub>15</sub> H <sub>10</sub> O <sub>6</sub>	0.808	[M + H] <sup>+</sup>	287.0550
Hidrato de catequina	C <sub>15</sub> H <sub>14</sub> O <sub>6</sub>	0.774	[M - H] <sup>-</sup>	289.0718
Ácido gálico 4-O-glucósido	C <sub>13</sub> H <sub>16</sub> O <sub>10</sub>	0.731	[M - H] <sup>-</sup>	331.0678
Ácido clorogénico	C <sub>16</sub> H <sub>18</sub> O <sub>9</sub>	0.758	[M - H] <sup>-</sup>	353.0878
Ácido 1-cafeoilquínico	C <sub>16</sub> H <sub>18</sub> O <sub>9</sub>	0.745	[M - H] <sup>-</sup>	363.0887
Ácido 5-feruloilquínico	C <sub>17</sub> H <sub>20</sub> O <sub>9</sub>	6.156	[M - H] <sup>-</sup>	367.1034
Apigenina galactósido-arabinósido	C <sub>26</sub> H <sub>28</sub> O <sub>14</sub>	7.572	[M + H] <sup>+</sup>	565.1552
Luteolina 7-O-(2-apiosil-6-maloni)-glucósido	C <sub>26</sub> H <sub>26</sub> O <sub>15</sub>	0.958	[M - H] <sup>-</sup>	577.1194
Luteolina 7-O-(2-apiosil-6-maloni)-glucósido	C <sub>26</sub> H <sub>26</sub> O <sub>15</sub>	0.658	[M + H] <sup>+</sup>	579.1344
Hidrato de rutina	C <sub>27</sub> H <sub>30</sub> O <sub>16</sub>	0.658	[M - H] <sup>-</sup>	609.1461
(-)-Epicatequina-(2a-7)(4a-8)-epicatequina 3-O-galactósido	C <sub>30</sub> H <sub>26</sub> O <sub>15</sub>	0.991	[M - H] <sup>-</sup>	625.1199

Figura E10. Cromatograma EIC del extracto MMA01B1.

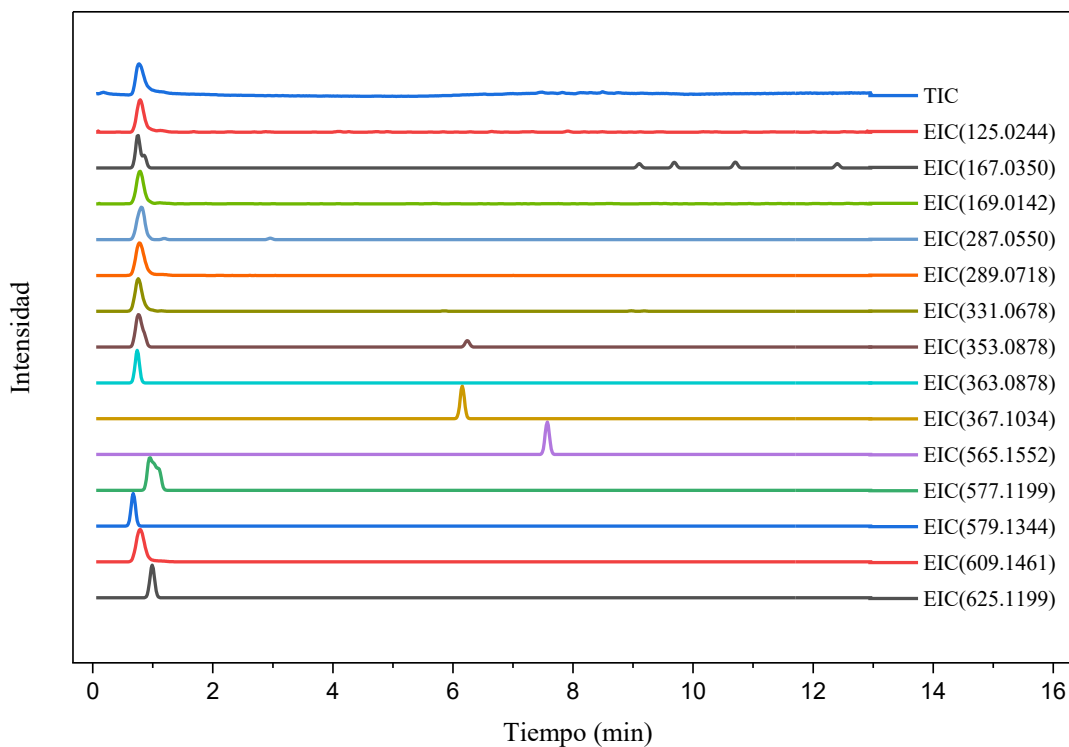
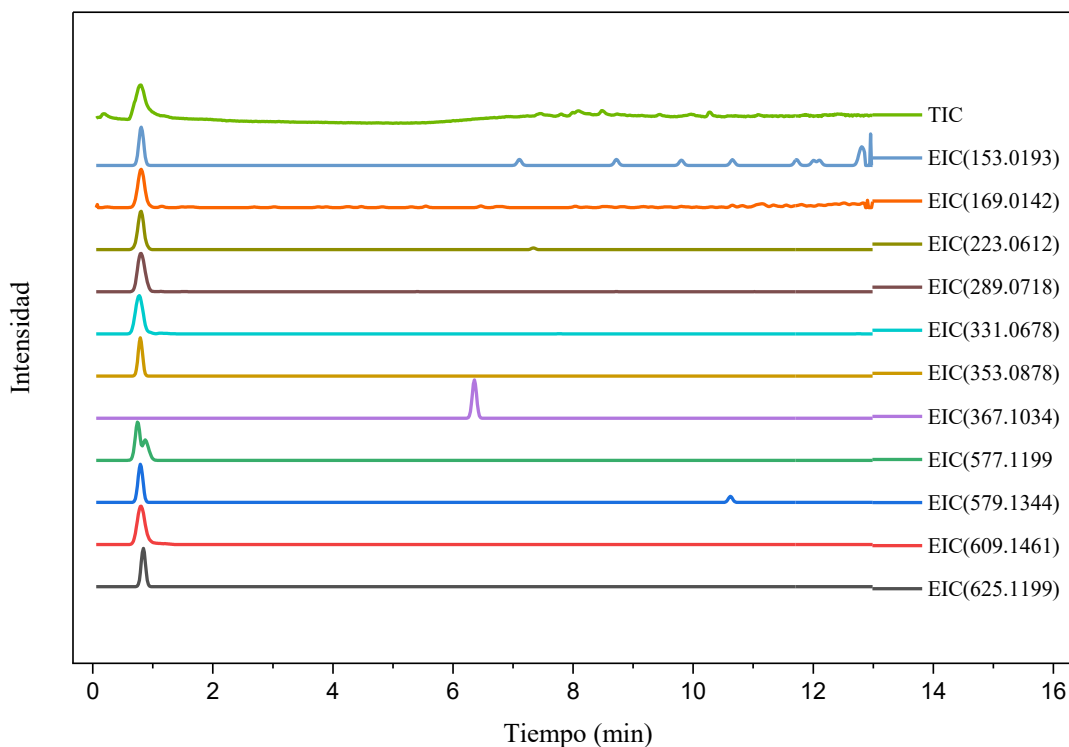


Tabla E12. MMA01 C1 Extracto de muérdago concentrado en metanol/agua.

Compuesto	Formula química	Rt (min)	Ionización	Peso molecular
Ácido 3-4-dimetoxibenzoico	$C_7H_6O_4$	0.784	$[M - H]^-$	153.0193
Acido gálico	$C_7H_6O_5$	0.808	$[M - H]^-$	169.0142
Ácido cafeico	$C_9H_8O_4$	0.789	$[M - H]^-$	179.0350
Ácido sinápico	$C_{11}H_{12}O_5$	0.798	$[M - H]^-$	223.0612
Hidrato de catequina	$C_{15}H_{14}O_6$	0.774	$[M - H]^-$	289.0718
Ácido gálico 4-O-glucósido	$C_{13}H_{16}O_{10}$	0.731	$[M - H]^-$	331.0678
Ácido clorogénico	$C_{16}H_{18}O_9$	0.808	$[M - H]^-$	353.0878
Ácido 5-feruloilquínico	$C_{17}H_{20}O_9$	6.336	$[M - H]^-$	367.1034
Luteolina 7-O-(2-apiosil-6-maloni)-glucósido	$C_{26}H_{26}O_{15}$	0.758	$[M - H]^-$	577.1194
Luteolina 7-O-(2-apiosil-6-maloni)-glucósido	$C_{26}H_{26}O_{15}$	0.758	$[M + H]^+$	579.1344
Hidrato de rutina	$C_{27}H_{30}O_{16}$	0.758	$[M - H]^-$	609.1461
(-)-Epicatequina-(2a-7)(4a-8)-epicatequina 3-O-galactósido	$C_{30}H_{26}O_{15}$	0.842	$[M - H]^-$	625.1199

Figura E11. Cromatograma EIC del extracto MMA01B1.



Anexo F. Curvas de calibración y parámetros.

Figura F1. Curva de calibración Hidrato de catequina.

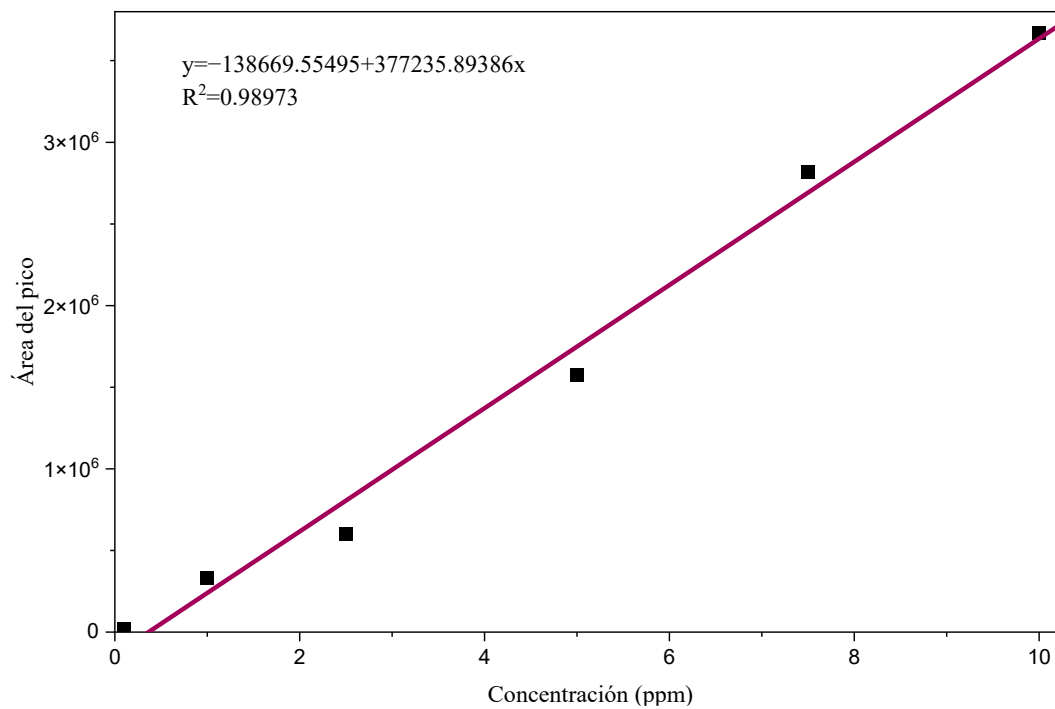


Tabla F1. Parámetros de linealidad Hidrato de catequina.

<b>Parámetro</b>	
Pendiente	377235.89
Intercepto	-138669.6
R <sup>2</sup>	0.9897274
Desviación estándar residual ( $\sigma$ )	166388.41
LD (ppm)	1.4555395
LQ (ppm)	4.4107258

Figura F2. Curva de calibración Ácido gálico.

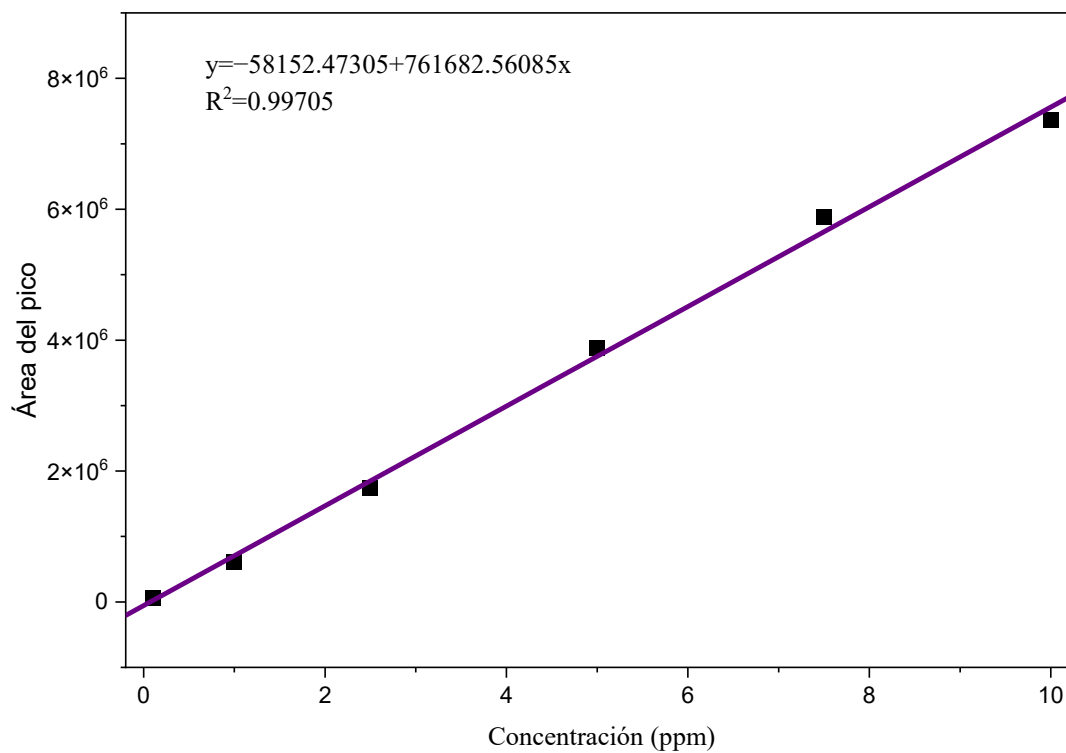


Tabla F2. Parámetros de linealidad ácido gálico.

Parámetro	
Pendiente	761682.56085
Intercepto	58152.47305
R <sup>2</sup>	0.99705
Desviación estándar residual ( $\sigma$ )	100457.7202
LD (ppm)	1.345829544
LQ (ppm)	4.078271345

Figura F3. Curva de calibración catecol.

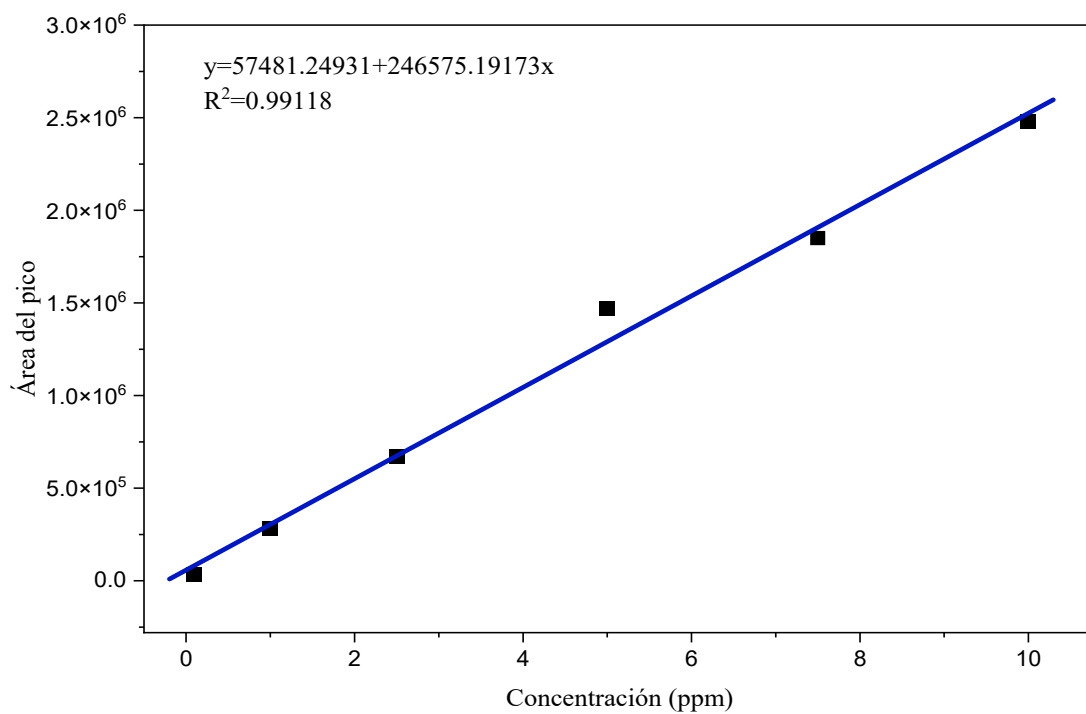


Tabla F3. Parámetros de linealidad Catecol.

Parámetro	
Pendiente	246324.2676
Intercepto	57368.93246
R <sup>2</sup>	0.99120453
Desviación estándar residual ( $\sigma$ )	100457.7202
LD (ppm)	1.345829544
LQ (ppm)	4.078271345

Figura F4. Curva de calibración Hidrato de rutina.

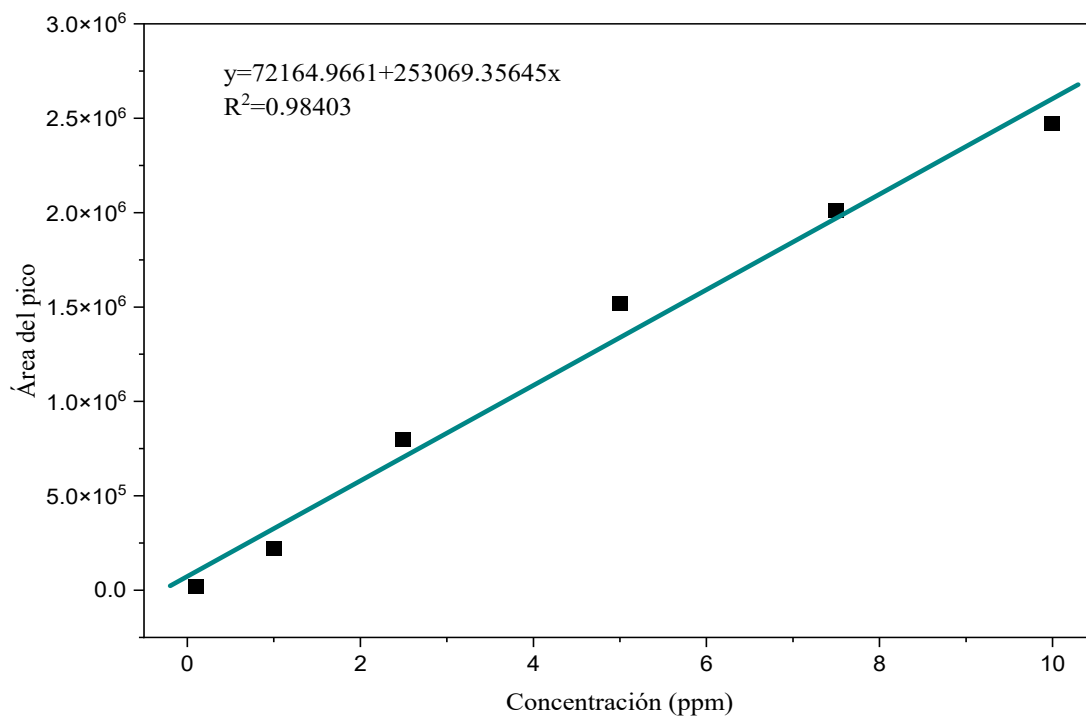


Tabla F4. Parámetros de linealidad Hidrato de rutina.

Parámetro	
Pendiente	253221.2596
Intercepto	72302.1326
R <sup>2</sup>	0.983889093
Desviación estándar residual ( $\sigma$ )	140286.3216
LD (ppm)	1.828222725
LQ (ppm)	5.540068863

Figura F 5. Curva de calibración Kaempferol

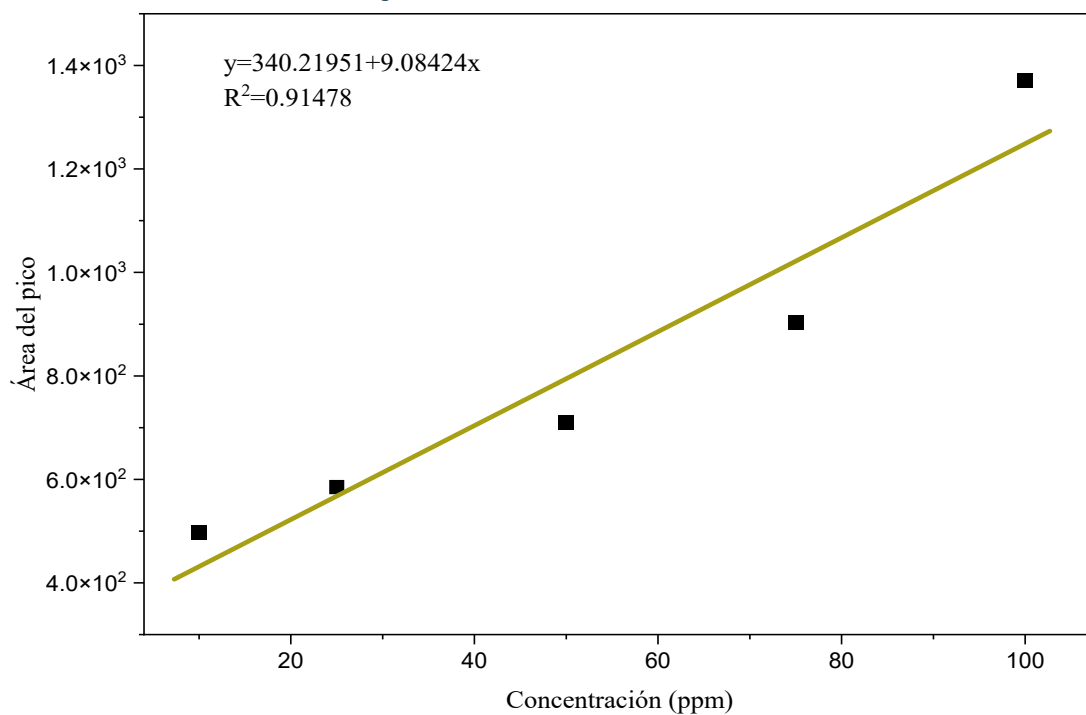


Tabla F5. Parámetros de linealidad Kaempferol.

Parámetro	
Pendiente	9.119393996
Intercepto	339.3595122
R <sup>2</sup>	0.913814175
Desviación estándar residual ( $\sigma$ )	102.2324021
LD (ppm)	36.99444581
LQ (ppm)	112.1043812

Figura F6. Curva de calibración ácido p-cumárico.

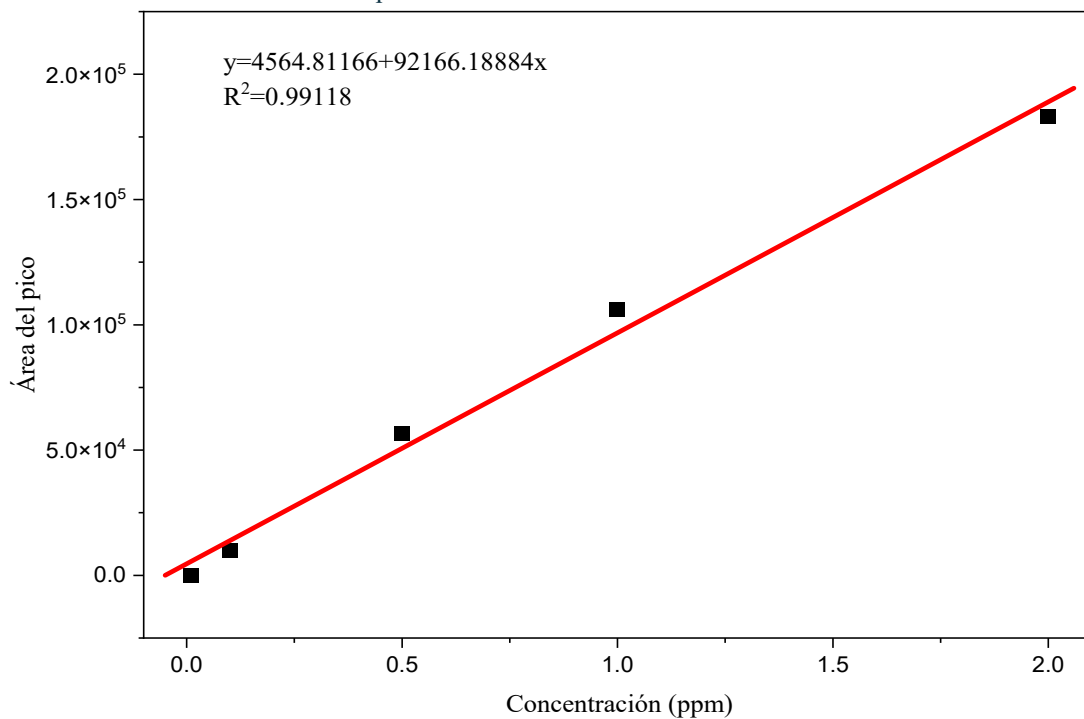


Tabla F6. Parámetros de linealidad ácido p-cumárico.

Parámetro	
Pendiente	92222.68103
Intercepto	4492.680962
R <sup>2</sup>	0.991549533
Desviación estándar residual ( $\sigma$ )	6934.500186
LD (ppm)	0.248136905
LQ (ppm)	0.751930014

Figura F7. Curva de calibración ácido clorogénico.

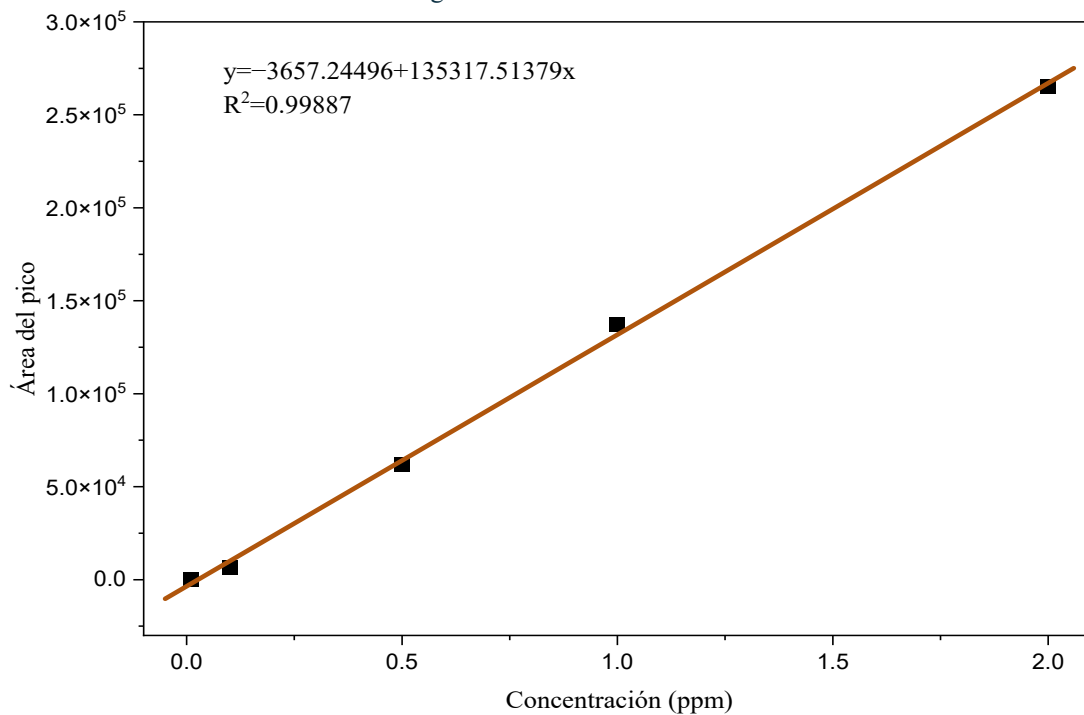


Tabla F7. Parámetros de linealidad ácido clorogénico.

Parámetro	
Pendiente	135358.5019
Intercepto	-3721.96571
R <sup>2</sup>	0.998936832
Desviación estándar residual ( $\sigma$ )	3596.763174
LD (ppm)	0.087688016
LQ (ppm)	0.26572126

Anexo G. Prueba de funcionalidad: actividad antifúngica.

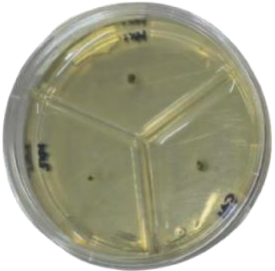

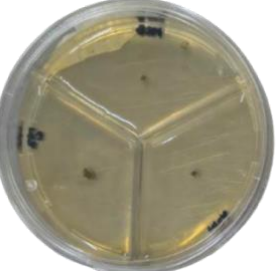
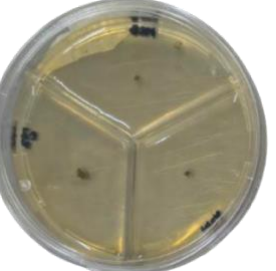



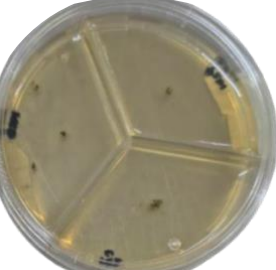
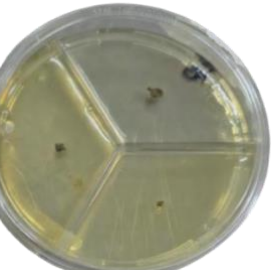



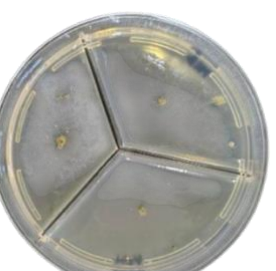
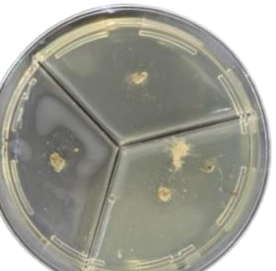



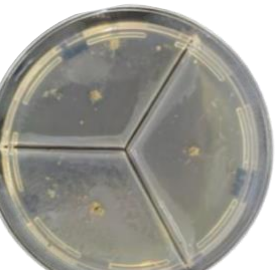


Día	Blanco	MCE01 A1	MCM01 B1	MCM01 C1	MMA01 A1
1					
2					
3					
4					

Tabla G 1. Actividad antifúngica frente a *Aspergillus niger*.

