



# BENEMÉRITA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE PUEBLA

Facultad de Ingeniería Química  
Colegio de Ingeniería en Alimentos

## Evaluación y conservación de propiedades bioactivas de extractos encapsulados de hojas de *Tecoma stans*

Tesis profesional

Para obtener el título de:

**INGENIERO EN ALIMENTOS**

Presenta:

**Jair Rafael García Jiménez**

Director de tesis:

**Dra. María Lorena Luna Guevara**

Asesor de tesis:

**Dr. Juan José Luna Guevara**

Puebla, Pue., noviembre de 2023





# **BENEMÉRITA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE PUEBLA**

Facultad de Ingeniería Química  
Colegio de Ingeniería en Alimentos

## **Evaluación y conservación de propiedades bioactivas de extractos encapsulados de hojas de *Tecoma stans***

TESIS PROFESIONAL

Para obtener el título de:

**INGENIERO EN ALIMENTOS**

Presenta:

**Jair Rafael García Jiménez**

Director de tesis:

**Dra. María Lorena Luna Guevara**

Asesor de tesis:

**Dr. Juan José Luna Guevara**



Puebla, Pue., noviembre de 2023



**BUAP**

"HUP, 50 años de enseñanza y salud"

Oficio No. FIQ/AC/054/2023  
Asunto: Registro de Tema de Tesis

**C. JAIR RAFAEL GARCÍA JIMÉNEZ**  
PASANTE DE LA LICENCIATURA EN  
INGENIERÍA EN ALIMENTOS  
P R E S E N T E:

Por medio del presente me permito informarle, de la aprobación del Registro de Tema de Tesis de la Licenciatura en Ingeniería en Alimentos cuyo título es el siguiente:

"Conservación de propiedades bioactivas de extractos encapsulados de *Tecoma stans* y su incorporación en una bebida"

Con el siguiente contenido:

INTRODUCCIÓN

CAPÍTULO 1	ANTECEDENTES
CAPÍTULO 2	METODOLOGÍA
CAPÍTULO 3	RESULTADOS Y DISCUSIÓN

CONCLUSIONES  
BIBLIOGRAFÍA

Directora de Tesis: Dra. María Lorena Luna Guevara.

Lo cual me permito comunicarle para su conocimiento y fines consiguientes aclarando que la vigencia de este tema será **UNICAMENTE POR UN AÑO**.

Atentamente,  
"Pensar Bien, Para Vivir Mejor"  
H. Puebla de Zaragoza 13 de Marzo de 2023

**Dra. Valeria Jordana González Coronel**  
Secretaria Académica

C.c.p. Directora de Tesis: Dra. María Lorena Luna Guevara.  
C.c.p. Archivo.

Facultad  
de Ingeniería  
Química

Av. San Claudio s/n, Col. San  
Manuel, Ciudad Universitaria,  
Puebla, Pue. C. P. 72590  
01 (222) 229 55 00  
Exts. 7250 y 7251

## **Agradecimientos**

Mi más sincero y profundo agradecimiento a la Dra. María Lorena Luna Guevara, por su paciencia, su tiempo, sus consejos. Por creer en mí y en el potencial del proyecto, y por brindarme lo necesario para llevarlo a cabo. Le he aprendido bastante y no tiene idea cuanto ha impactado en mi vida el trabajar con usted. Mis palabras se quedan cortas para expresar cuan agradecido estoy.

Agradezco de manera especial al Dr. Juan José Luna Guevara, por su apoyo incondicional en la ejecución del proyecto, por su tiempo, dirección y sugerencias en la realización de este trabajo.

A la Dra. Lilia Alejandra Conde Hernández y la Dra. María Elena Ramos Cassellis. Soy muy afortunado de haber aprendido de ustedes no solo en el salón de clases o laboratorio, sino también de su conocimiento e indispensable apoyo brindado en esta investigación.

Al Dr. Jesús López Olguín y al Biólogo Lucio Caamaño, por haber facilitado la recolección e identificación de *Tecoma stans* para realizar la investigación con la planta.

Considero oportuno y necesario agradecer también a quienes me han acompañado a lo largo de este tiempo en la universidad. Gracias Litzzy, Isabel, Dafne, Daniela, Juan, Misael, Areli, Renata, Juan Pablo, Gabriela y David por su amistad. Disfruté mucho mi experiencia en la carrera y reconozco que en gran parte es por ustedes. Deseo que cumplan todas sus metas.

De igual forma, a mi amigo Aarón González, por su amistad y sus asistencias en la cancha, cuando representamos con orgullo a la FIQ.

Finalmente, a Dios. Porque ha sido conmigo en todo momento y sin Él nada soy. Y en especial por poner a valiosas personas en mi camino, como las mencionadas anteriormente.

## **Dedicatorias**

A mis padres, Areli y Rafael.

Valoro y aprecio su esfuerzo, el cual hizo posible mi formación profesional que hoy concluyo. Gracias por darme la oportunidad de equivocarme y seguir mis sueños.

A mis hermanas, Maresa y Amaris.

Por ser ustedes e inadvertidamente enseñarme mucho.

A mi abuelita Naty.

Por su amor incondicional, por enseñarme tanto a través de su experiencia y ser un ejemplo en mi vida.

A mi abuelito Saúl.

Por ser la inspiración principal de este proyecto. Por sus enseñanzas y todos los momentos compartidos, que han influido tanto en mí.

# ÍNDICE

<b>1. Introducción</b> .....	1
<b>2. Planteamiento del problema</b> .....	2
<b>3. Justificación</b> .....	2
<b>4. Objetivos</b> .....	3
4.1 General .....	3
4.2 Específicos .....	3
<b>5. Hipótesis</b> .....	4
<b>6. Marco teórico</b> .....	4
6.1 <i>Tecoma stans</i> .....	4
6.1.1 Generalidades .....	4
6.1.2 Usos .....	4
6.1.3 Propiedades farmacológicas .....	5
6.2 Compuestos bioactivos en plantas .....	7
6.2.1 Terpenoides .....	7
6.2.2 Alcaloides .....	8
6.2.3 Compuestos fenólicos .....	8
6.2.4 Compuestos bioactivos en <i>Tecoma stans</i> .....	9
6.3 Extracción de compuestos bioactivos .....	9
6.3.1 Métodos convencionales .....	10
6.3.2 Métodos no convencionales .....	10
6.4 Encapsulación .....	10
6.4.1 Generalidades .....	10
6.4.2 Agentes encapsulantes .....	11
6.4.3 Bioactivos de plantas encapsulados .....	12
<b>7. Metodología</b> .....	13

7.1 Plan de trabajo .....	13
7.2 Obtención de materia prima .....	14
7.3 Pruebas preliminares .....	14
7.4 Acondicionamiento de materia prima .....	15
7.5 Extracción de compuestos bioactivos .....	15
7.6 Preparación de la infusión .....	15
7.7 Evaluación de la actividad antioxidante .....	15
7.8 Evaluación de la actividad hipoglucémica .....	17
7.9 Conservación de extractos por encapsulación .....	19
7.10 Análisis fisicoquímicos de encapsulados .....	19
7.10.1 Rendimiento.....	19
7.10.2 Humedad.....	19
7.10.3 Actividad de agua .....	20
7.10.4 Humectabilidad .....	20
7.10.5 Densidad aparente y compactada .....	20
7.10.6 Color .....	21
7.11 Caracterización de compuestos bioactivos .....	21
7.12 Análisis estadístico.....	21
<b>8. Resultados y discusión</b> .....	22
8.1 Actividad antioxidante de los extractos de <i>Tecoma stans</i> .....	22
8.2 Encapsulación por secado por aspersion .....	26
8.2.1 Actividad antioxidante .....	26
8.2.2 Actividad hipoglucémica .....	29
8.2.3 Caracterización de encapsulados .....	31
8.2.3.1 Propiedades fisicoquímicas .....	31
8.2.3.2 Propiedades bioactivas .....	34
<b>9. Conclusiones y sugerencias</b> .....	36
<b>10. Bibliografía</b> .....	37
<b>11. Anexos</b> .....	46

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1</b>	Ejemplar de <i>Tecoma stans</i> en el Jardín Botánico Universitario de la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla.....	5
<b>Figura 2</b>	Unidad formadora de terpenoides.....	7
<b>Figura 3</b>	Estructuras de diferentes alcaloides: atropina, nicotina, morfina, ergotamina.....	8
<b>Figura 4</b>	Estructuras básicas de ácidos fenólicos (ácidos hidroxil-benzoico y cinámicos) .....	9
<b>Figura 5</b>	Plan de trabajo de la metodología del proyecto .....	13
<b>Figura 6</b>	<i>Tecoma stans</i> en el Jardín botánico de la BUAP, empleada para la recolección de las hojas .....	14
<b>Figura 7</b>	Tratamientos de extracción .....	17
<b>Figura 8</b>	Membranas de retención contenidas en matraz previo a incubación .....	18
<b>Figura 9</b>	Actividad antioxidante de los extractos .....	23
<b>Figura 10</b>	Gráficas de efectos principales en la actividad antioxidante .....	24
<b>Figura 11</b>	Gráficas de interacción de efectos en la actividad antioxidante .....	24
<b>Figura 12</b>	Diagrama de Pareto del rango de significancia de los efectos principales y los efectos de interacción de los factores de extracción en la actividad antioxidante .....	25
<b>Figura 13</b>	Actividad antioxidante del extracto, infusión y encapsulados .....	27
<b>Figura 14</b>	Encapsulados de la infusión de <i>Tecoma stans</i> obtenidos tras el secado por aspersión .....	29
<b>Figura 15</b>	Glucosa liberada por el pan blanco, extracto, infusión, extracto encapsulado con maltodextrina y goma arábica (ET3) e infusión encapsulada con maltodextrina y goma arábica (IT3) .....	30
<b>Figura 16</b>	Pruebas fisicoquímicas .....	34

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1</b>	Propiedades farmacológicas reportadas de <i>Tecoma stans</i> .....	6
<b>Tabla 2</b>	Factores y niveles en el diseño factorial para selección del extracto con mayor actividad antioxidante .....	15
<b>Tabla 3</b>	Mezclas método Glucosa oxidasa .....	18
<b>Tabla 4</b>	Áreas bajo la curva de glucosa liberada e índice glucémico .....	31
<b>Tabla 5</b>	Propiedades fisicoquímicas .....	32
<b>Tabla 6</b>	Compuestos identificados por GC/MS .....	35

## 1. Introducción

La planta *Tecoma stans* es una especie nativa del sur de Norteamérica y Centroamérica distribuida ampliamente en zonas tropicales y subtropicales del occidente del mundo (Pelton, 1964). En México, la planta es encontrada extensivamente en todo el territorio nacional e identificada por sus nombres comunes como: "Tronador" o "Tronadora", "Sauco Amarillo", "Retama", "Lluvia de Oro", "Cometa amarilla", "Campanas amarillas", "Palo de arco", entre otros (CONABIO, s.f.). Se le puede describir como arbusto o árbol pequeño que puede alcanzar alturas de hasta tres metros. Sus hojas presentan forma de pluma y sus frutos son vainas llenas de semillas. En la primavera y el otoño, exhibe flores de color amarillo en forma de campana (Sbihi et al., 2015).

Mientras que el uso de la infusión de hojas es recomendado en forma de medicina tradicional para el tratamiento de padecimientos como diabetes, desordenes intestinales y de riñón, infecciones de la piel, dolor de articulaciones y hasta como antídoto para picadura de serpientes y alacranes. Diversos estudios farmacológicos han reportado que posee actividad hipoglucemiante, hiperlipidemia, anticancerígena, antioxidante, inmunomodulatoria, analgésica, antimicrobiana, entre otras (Anand & Basavaraju, 2021).

Históricamente, el uso de plantas se remonta a los inicios de la humanidad. Actualmente, como resultado del potencial terapéutico para prevenir y/o tratar padecimientos como las enfermedades crónico-degenerativas, el uso de plantas medicinales ha tomado mayor interés para ser investigadas por parte de la industria farmacéutica, alimenticia y cosmética. Se estima que actualmente, cerca del 60% de la población mundial, y 80% en países en desarrollo, recurren a las plantas medicinales como parte de la medicina tradicional para beneficiar la salud. El efecto terapéutico de las plantas medicinales es atribuido a la presencia de compuestos bioactivos, también llamados fitoquímicos. Son sintetizados por el metabolismo secundario de las plantas, el cual protege su supervivencia a factores de vulnerabilidad bióticos y abióticos del ambiente. Estos metabolitos secundarios son clasificados en: terpenoides, compuestos nitrogenados y compuestos fenólicos. Siendo el último, el principal grupo de compuestos presentes en las plantas medicinales (da Silva et al., 2022).

Los compuestos bioactivos pueden ser potencialmente empleados como ingredientes funcionales y como agentes conservantes. Sin embargo, altas dosis requeridas en el

sistema alimenticio, baja biodisponibilidad, modo desconocido de acción, y disponibilidad de la materia prima, limitan su utilización dentro de la industria alimentaria (Prakash et al., 2017). La encapsulación es un proceso que recubre en pequeñas capsulas, compuestos sólidos, líquidos o gaseosos. Es una tecnología que puede hacer frente a las limitantes antes mencionadas, mejorando la biodisponibilidad de los compuestos bioactivos (Guía-García et al., 2022). Entre los diversos métodos de encapsulación, el secado por aspersión presenta ventajas como la obtención de productos con tiempos cortos de procesamiento/secado, baja actividad de agua, distribución homogénea, flexibilidad, fácil almacenamiento, rendimientos altos de proceso y consumos bajo de energía; provocando su amplio uso dentro la industria en el desarrollo de alimentos funcionales (Sharma et al., 2022).

## **2. Planteamiento del problema**

Las enfermedades crónico-degenerativas (ECDs), en las que se incluyen cáncer, trombosis, artritis, diabetes, obesidad, embolias, y enfermedades respiratorias, cardiovasculares y neurodegenerativas, constituyen en gran manera un impacto significativo en la salud y en la esperanza y calidad de vida de la población. Son responsables de 41 millones de muertes al año, lo cual comprende el 74% de todos los fallecimientos a nivel mundial (OMS, 2022). En México, se ha observado un crecimiento acelerado en la prevalencia de estas enfermedades. En 2009, el porcentaje de muertes a causa de estos padecimientos representó un 77.1% del total de fallecimientos, y se estima que para el 2030 esta cifra aumente a un 79.4%. Adicionalmente, las ECDs también implican un problema desde el punto de vista económico como resultado de los altos costos de atención y tratamiento (Secretaría de Salud, 2010). Dado que las ECDs son causadas por diversos factores como el estilo de vida y alimentación, se ha despertado el interés de la población por consumir alimentos con ingredientes de fuentes naturales, haciendo que la demanda de alimentos con ingredientes funcionales aumente (Prakash et al., 2017). Sin embargo, el uso de compuestos bioactivos de fuentes vegetales como ingredientes funcionales requiere de investigación científica para asegurar el óptimo aprovechamiento de las alternativas naturales utilizadas como medicina tradicional.

### **3. Justificación**

Las ECDs además de causar afectaciones a la salud, también afectan significativamente en la economía, puesto que los costos de atención y tratamiento pueden ser muy caros y prolongados. Asimismo, la prevalencia se ha manifestado en las distintas edades de la población, tal es el caso de la obesidad. México ocupa el quinto lugar global en obesidad; se estima que para el 2030, habrá 21 millones de mujeres y 15 millones de hombres adultos con esta condición. Mientras que, en edad infantil, nuestro país está dentro de los 7 países de América con mayor prevalencia (Lobstein et al., 2022). En lo que respecta a diabetes mellitus, en el 2020 se registró la tasa de mortalidad más alta en los últimos diez años: 11.95 personas por cada 10 mil habitantes. Y en 2018, el 10.3% de la población mayor a 20 años (8.6 millones de personas) indicó tener la enfermedad diagnosticada (INEGI, 2021). De forma similar, en el 2019, las defunciones por tumores malignos representaron un 12% de las defunciones totales (INEGI, 2021). Es por esto que se requieren alternativas que provengan de fuentes naturales y que además sean eficaces para el control y tratamiento de este tipo de afecciones.

Por tal motivo, existe un importante interés de utilizar compuestos bioactivos de plantas en el desarrollo de alimentos funcionales, como enfoque para reducir y/o prevenir la incidencia de las enfermedades crónico-degenerativas. Lo anterior, motiva la necesidad de investigar y evaluar el uso, incorporación, estabilidad y viabilidad de la encapsulación para lograr su conservación y disponibilidad de sus propiedades bioactivas.

### **4. Objetivos**

#### **4.1 General**

Evaluar las propiedades bioactivas (antioxidante e hipoglucémica) de extractos de hojas de *Tecoma stans* conservados por secado por aspersión.

#### **4.2 Específicos**

- Obtener extractos de hoja seca (30 °C por 24 h) de *Tecoma stans* siguiendo un diseño factorial, teniendo como variables: los solventes (agua y etanol), los métodos de extracción (agitación y ultrasonido) y tiempo (5 y 15 minutos).

- Analizar la actividad antioxidante de los extractos mediante los radicales ABTS y DPPH.
- Analizar las propiedades bioactivas (antioxidante e hipoglucémica) del extracto, infusión, y encapsulados del extracto e infusión utilizando distintos agentes encapsulantes (maltodextrina y goma arábica).
- Realizar la caracterización de las propiedades fisicoquímicas y bioactivas (GC-MS) de los encapsulados que mejor preserven las propiedades bioactivas del extracto e infusión.

## **5. Hipótesis**

La encapsulación es una alternativa viable para conservar los compuestos bioactivos de hojas de *Tecoma stans*.

## **6. Marco teórico**

### **6.1 *Tecoma stans***

#### **6.1.1 Generalidades**

*Tecoma stans* es un arbusto bajo o árbol pequeño perennifolio o caducifolio, perteneciente a la familia *Bignoniaceae* que puede alcanzar una altura de hasta 3 metros. Sus hojas tienen forma de pluma con longitudes de 15 a 20 centímetros. En primavera y el otoño, presenta largas flores amarillas de 3 a 5 centímetros de largo en forma tubular. Sus frutos son vainas alargadas de color café que miden desde 7 a 21 centímetros de largo que al abrirse liberan semillas muy delgadas (Figura 1) (CONABIO, s.f.; Sbihi et al., 2015). Aunque es nativa de México y se ha extendido a regiones del sur de Estados Unidos (Florida, Texas, Arizona), a Centroamérica y los Andes, se ha naturalizado en regiones tropicales y subtropicales de África, Asia y Oceanía (Anand & Basavaraju, 2021).

#### **6.1.2 Usos**

Las hojas y flores de la planta se ingieren en forma de infusión para el tratamiento de la diabetes. Siendo este el uso principal de la planta en diversas partes de México (Biblioteca Digital de la Medicina Tradicional Mexicana, 2009). La decocción de la raíz se toma como tónico para la atonía gastrointestinal y como diurético. En total, se reportan 56 usos medicinales de la planta, en los que se incluye su uso para revertir: la anemia, niveles

elevados de ácido úrico, asma, inflamación, dengue, analgésico, dolor de muelas, sífilis, enfermedades de la piel, del corazón, gastrointestinales, respiratorias, hepáticas, entre otras (CONABIO, s.f.). Además, en la India, se le considera como remedio efectivo para las picaduras de alacranes y mordedura de serpientes y ratas (Kumar et al., 2018). Como uso industrial, la raíz de la planta es utilizada en la fabricación de cerveza (Singh et al., 2013).



**Figura 1.** Ejemplar de *Tecoma stans* en el Jardín Botánico Universitario de la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla.

### **6.1.3 Propiedades farmacológicas**

Se han realizado diversos estudios *in vitro* e *in vivo* para constatar sus propiedades farmacológicas y tratar gran variedad de padecimientos.

Las hojas de *T. stans* contienen alcaloides, como tecomina, al que se le considera responsable de la actividad hipoglucémica de la planta (Al-Azzawi et al., 2012). Estudios *in vivo* con la administración de extractos de la planta han mostrado la inhibición de la  $\alpha$ -glucosidasa y otros efectos asociados a la actividad antidiabética (Constantino et al., 2003; Aguilar-Santamaría et al., 2009). Extractos de la hoja y flor extraídos con diversos solventes han puesto en evidencia su actividad antimicrobiana y antifúngica ante microorganismos como *E. coli*, *K. pneumoniae*, *B. subtilis*, *S. aureus*, *C. albicans*, *P. aeruginosa*, *S. tiphy*, *V. parahemolyticus*, entre otros (Senthilkumar et al., 2010; Rajamurugan et al., 2013; Al-Judaibi et al., 2014; Bakr et al., 2019). De igual forma, extractos

del tallo, flor y hoja presentan actividad antioxidante derivado de la presencia de polifenoles, lo cual puede contribuir a reducir el desarrollo de varias enfermedades relacionadas al estrés oxidativo (Mohamed et al., 2013; Rajamurugan et al., 2013; Evangeline et al., 2015). También, se le ha reportado actividad antiinflamatoria en extractos obtenidos con metanol, etanol y agua de las hojas (Govindappa et al., 2011), e incluso esta actividad en extracto etanólico de la flor ha sido comparada a la del fármaco sintético Ibuprofeno (Swarna et al., 2019). Otras propiedades farmacológicas reportadas de *T. stans* incluyen: cardioprotectora (Ittagi et al., 2014), hepatoprotectora (Larbie et al., 2020), anti-úlceras (Shanmukha et al., 2013) y anticáncer (Sridharan et al., 2014).

**Tabla 1.** Propiedades farmacológicas reportadas de *Tecoma stans*.

<b>Actividad</b>	<b>Parte de la planta</b>	<b>Referencia</b>
Hipoglucémica y antidiabética	Hoja	(Constantino et al., 2003; Aguilar-Santamaría et al., 2009; Al-Azzawi et al., 2012).
Antimicrobiana y antifúngica	Hoja, flor	(Senthilkumar et al., 2010; Rajamurugan et al., 2013 Al-Judaibi et al., 2014; Bakr et al., 2019)
Antioxidante	Hoja, flor, tallo.	(Mohamed et al., 2013; Rajamurugan et al., 2013; Evangeline et al., 2015).
Antiinflamatoria	Hoja, flor.	(Govindappa et al., 2011; Swarna et al., 2019)
Cardioprotectora	Flor	(Ittagi et al., 2014)
Hepatoprotectora	Hoja	(Larbie et al., 2020)
Antiulcerosa	Hoja	(Shanmukha et al., 2013)
Anticáncer	Hoja	(Sridharan et al., 2014).

## 6.2 Compuestos bioactivos en plantas

Los compuestos bioactivos son los metabolitos secundarios de las plantas que presentan efectos farmacológicos en el hombre y animales (Bernhoft et al., 2010). Los compuestos bioactivos, también referidos como fitoquímicos, tienen la capacidad de influenciar procesos metabólicos resultando en el mejoramiento de la salud. Son sintetizados por vías metabólicas secundarias cuando se exponen a factores de vulnerabilidad del ambiente, lo que protege su supervivencia (Shrinet et al., 2021; da Silva et al., 2022). Hasta ahora más de 8,000 compuestos bioactivos en plantas han sido identificados y se afirma que hay muchos más por ser descubiertos (Adefegha et al., 2018). Aunque se les puede clasificar en varias clases incluyendo: terpenoides, compuestos que contienen nitrógeno, compuestos organosulfurados y fenólicos (Jha & Sit, 2022); la mayoría de la bibliografía subdivide a los metabolitos secundarios extraídos de plantas en tres principales clases: terpenoides, alcaloides y fenólicos (Kabera et al., 2014).

### 6.2.1 Terpenoides

Los terpenoides, grupo derivado a partir de una sustancia precursora llamada isopentenil difosfato, comprenden más de 25,000 sustancias diferentes y son clasificadas de acuerdo con el número de isoprenoides (C<sub>5</sub>) que contienen (Figura 2). Estas subcategorías son: hemiterpenos, monoterpenos, sesquiterpenos, diterpenos, triterpenos, tetrapenoides, y terpenoides complejos (Webb, 2007). Muchos de estos compuestos además de poseer actividades farmacológicas para el tratamiento de enfermedades, tienen propiedades antimicrobianas y antivirales. Aplicaciones industriales de compuestos de este grupo incluyen: sabores, fragancias y especias (Kabera et al., 2014).

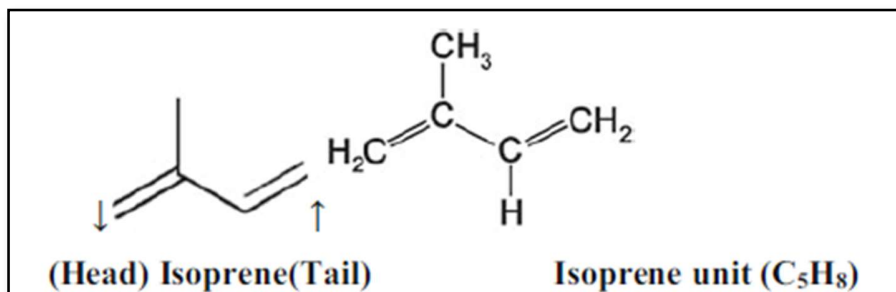
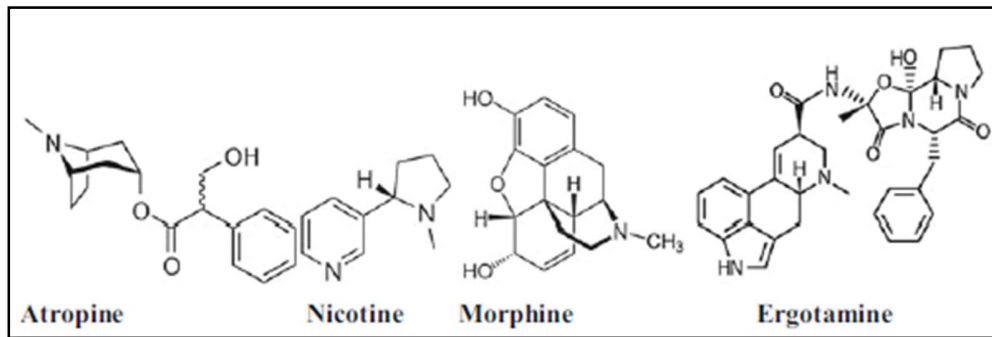


Figura 2. Unidad formadora de terpenoides. (Alamgir, 2017).

### 6.2.2 Alcaloides

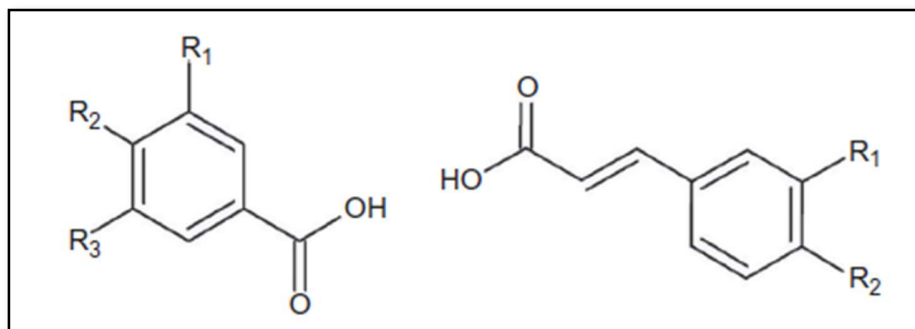
Los alcaloides son compuestos que se conforman de un átomo básico de nitrógeno que puede o no formar parte de un anillo heterocíclico (Adefegha et al., 2018). Este grupo de metabolitos secundarios se caracteriza por su gran diversidad estructural por lo que no existe una clasificación uniforme de ellos (Kabera et al., 2014). Han sido utilizados en forma de extractos de plantas como venenos, narcóticos, estimulantes y medicamentos. Hoy son empleados en la producción de farmacéuticos, narcóticos y estimulantes; ejemplos comunes incluyen a la cafeína, quinina y nicotina (Figura 3) (Cseke et al., 2006; Banwo et al., 2021).



**Figura 3.** Estructuras de diferentes alcaloides: atropina, nicotina, morfina, ergotamina. (Alamgir, 2017).

### 6.2.3 Compuestos fenólicos

Los compuestos fenólicos presentan al menos un anillo aromático con al menos un grupo hidroxilo (OH), por lo que varían desde moléculas simples con un único anillo a más complejas con más anillos. Las categorías básicas en las que se clasifican los compuestos fenólicos son: ácidos fenólicos (Figura 4), hidroxicinamatos, estilbenos y flavonoides. Estos últimos a su vez, se subclasifican en: flavonoles, flavonas, antocianidinas, flavononas e isoflavonas (Webb, 2007). Debido a que caracterizan por sus propiedades antioxidantes, antiinflamatorias, anticarcinogénicas, entre otras (Kabera et al., 2014), el consumo de alimentos ricos en compuestos fenólicos está asociado a la prevención de diversas enfermedades crónicas (Banwo et al., 2021).



**Figura 4.** Estructuras básicas de ácidos fenólicos (ácidos hidroxil-benzoico y cinámicos) (Luna-Guevara et al., 2018).

#### 6.2.4 Compuestos bioactivos en *Tecoma stans*

Las diversas partes de *T. stans* han sido analizadas para determinar su composición y la presencia de sus compuestos bioactivos. En las hojas, se ha determinado variedad de compuestos bioactivos con diversos extractos. Flavonoides, alcaloides, saponinas, cumarinas y terpenoides en extracto crudo; cumarinas, saponinas, glucósidos cardiacos y flavonoides en extracto hidroetanólico (Larbie et al., 2019); alcaloides, saponinas, carbohidratos y esteroides en éter de petróleo; flavonoides y carbohidratos en cloroformo; y alcaloides, fenoles, esteroides, glicósidos y taninos en metanol (Jethinlalkhosh et al., 2012). Además, el análisis fitoquímico cuantitativo ha mostrado una alta composición de alcaloides (51.5%), seguida de saponinas (11%), y en menor cantidad flavonoides (0.53%), taninos (0.19%) y fenoles (0.031%) (Al-Azzawi et al., 2012).

#### 6.3 Extracción de compuestos bioactivos

La extracción es el proceso de separación y aislamiento de los compuestos activos presentes en el tejido vegetal por medio de procedimientos y solventes apropiados (Manousi et al., 2019). Es considerada la etapa más importante en la obtención y análisis de los compuestos bioactivos ya que afecta la calidad y cantidad de las compuestos en la muestra (Jha & Sit., 2022), así como en etapas futuras de separación y caracterización. (Belščak-Cvitanović & Komes, 2017). La extracción eficiente de los compuestos bioactivos depende de diversos factores como el método, el material y el solvente de extracción (Jha & Sit, 2022). Los métodos de extracción de compuestos bioactivos pueden clasificarse en métodos convencionales y no convencionales.

### **6.3.1 Métodos convencionales**

Los métodos convencionales se basan en la capacidad de extracción del solvente utilizado, y la aplicación de calor y/o agitación (Jha & Sit, 2022). La elección del solvente, influenciada por el tipo de compuesto objetivo, determinará la eficiencia de la extracción. Aspectos para considerar en la elección del solvente incluyen: la afinidad molecular entre el solvente y soluto, transferencia de masa, uso de cosolvente, seguridad ambiental, toxicidad y la asequibilidad. Los métodos convencionales como la extracción con solventes, maceración, hidrodestilación y extracción Soxhlet, son de fácil operación y de bajo costo (Belščak-Cvitanović & Komes, 2017). Sin embargo, tiempos prolongados de extracción, posible pérdida de moléculas termolábiles, uso de solventes de alta pureza en grandes cantidades, impacto negativo de los solventes en el ambiente y en la salud humana, y en la mayoría de los casos, necesidad de evaporar el solvente cuando se completa la extracción, son algunas desventajas (Manousi et al., 2019; More et al., 2022).

### **6.3.2 Métodos no convencionales**

Durante los últimos 50 años se han desarrollado métodos *no convencionales*, en aras de superar los problemas y desventajas de los métodos de extracción convencionales (Manousi et al., 2019). Estos métodos prometedores incluyen técnicas que utilizan ultrasonido, enzimas, microondas, campos eléctricos pulsados, fluidos supercríticos y líquidos presurizados (Jha & Sit, 2022). Estas técnicas no solo han permitido reducir los tiempos de extracción y prevenir la descomposición térmica de los compuestos (Gill & Qiu, 2020), sino que también han reducido o eliminado por completo el uso de varios solventes orgánicos (Žlabur et al., 2018).

## **6.4 Encapsulación**

### **6.4.1 Generalidades**

La encapsulación es el proceso con el cual se recubren sustancias sólidas, líquidas o gaseosas dentro de una capa de un material grado alimenticio formando una pared. Tales sustancias pueden ser aquellas sensibles al calor o compuestos bioactivos en extracto líquido. Las cápsulas resultantes pueden producirse en escala nano ( $<1 \mu\text{m}$ ) o micrométricas (1 – 1000  $\mu\text{m}$ ). Se le ha reportado como un método viable para aumentar la

estabilidad y biodisponibilidad, así como la liberación controlada de compuestos bioactivos (Mudalip et al., 2021; Guía-García et al., 2022).

Las técnicas de encapsulación se clasifican en tres categorías: químicas (polimerización y emulsión), fisicoquímicas (coacervación y emulsificación) y físico-mecánicas (secado por aspersión, secado por enfriamiento, extrusión, revestimiento de lecho fluidizado y métodos electromecánicos) (Alu'datt et al., 2022). El tipo de sustancia a encapsular (núcleo), el agente encapsulante, y la aplicación sugerida, son los principales criterios para tomar en cuenta antes de elegir el método de encapsulación (Smaoui et al., 2021). Sin embargo, el método más establecido en la industria alimentaria para obtener polvos fácilmente aplicables y estables a partir de líquidos es el secado por aspersión. Aproximadamente el 90% de micro encapsulados es procesado por este método (Đorđević et al., 2015). La encapsulación por secado por aspersión se compone de cuatro principios básicos: atomización de la alimentación líquida, suministro de aire caliente, generación de microcápsulas y la disociación y recolección de las microcápsulas cuando caen en el fondo del secador (Smaoui et al., 2021).

#### **6.4.2 Agentes encapsulantes**

Diversos materiales son utilizados para la encapsulación de compuestos bioactivos. El material empleado no sólo dependerá del tipo, origen, y propiedades de la sustancia a encapsular (Alu'datt et al., 2022), sino también de otros factores como el tamaño final deseado, la estabilidad, la eficiencia y la compatibilidad entre la sustancia y el agente encapsulante. Además de que no debe haber interferencia entre las paredes del material encapsulante con el compuesto bioactivo. Se utilizan variedad de polímeros naturales y sintéticos aprobados por agencias gubernamentales. Los utilizados más frecuentemente incluyen: polisacáridos, maltodextrina, goma arábiga, almidones modificados y quitosano, así como mezclas de ellos (Mudalip et al., 2021). Además, se reporta que los materiales de base biológica como polisacáridos (quitosano, zeína, pectina, alginato, mucilago de chía, etc.), lípidos (aceite de palma, aceite de linaza, etc.) y proteínas (concentrado de proteína de suero de leche, proteína de soya), han ganado especial atención. Ya que son buenas elecciones como materiales encapsulantes por su biodegradabilidad, propiedades fisicoquímicas y grado alimenticio (Guiá-García et al., 2022).

### 6.4.3 Bioactivos de plantas encapsulados

Una de las aplicaciones más importantes de la encapsulación en la industria de alimentos, es su uso como una tecnología para mejorar la liberación de compuestos bioactivos, en sistemas alimenticios (Alu'datt et al., 2022). Por lo que se ha impulsado la investigación de la encapsulación de los bioactivos de plantas. Jovanović et al. (2021), realizaron la encapsulación por secado por aspersión de la raíz de la planta *Gentiana asclepiadea* L., tradicionalmente usada para desordenes digestivos, empleando diferentes agentes encapsulantes a diferentes concentraciones. El análisis de la estabilidad de los polvos encapsulados después de seis meses mostró que la encapsulación puede preservar la estabilidad de los bioactivos del extracto de *G. asclepiadea*. Asimismo, Nguyen et al. (2021), encapsularon extractos de *Scaevola spinescens*, una planta endémica de Australia y utilizada como planta medicinal, analizando la influencia de las condiciones del secado por aspersión y de agentes encapsulantes en las propiedades fisicoquímicas y antioxidantes. Su investigación, sugiere las condiciones para obtener encapsulados con propiedades fisicoquímicas y antioxidantes con potencial de tener aplicaciones en alimentos y farmacéuticas. Jimenez-González et al., (2018) realizaron la microencapsulación por secado por aspersión de extractos del pericarpio de *Renealmia alpinia* (Rottb) Maas, cuya parte del fruto contiene compuestos fenólicos y antocianinas. Su evaluación permitió presentar los encapsulados como una fuente alternativa natural viable de agente colorante con actividad antioxidante potencial. Asimismo, Jimenez-González et al., (2022) realizaron la incorporación de los micro encapsulados en yogurt, logrando aceptabilidad sensorial sin presentar cambios significativos en la estabilidad de la actividad antioxidante. Algunos otros extractos de plantas medicinales encapsulados reportados incluyen: *Morinda citrifolia* L. (Krishnaiah et al., 2012), *Tiliacora triandra* (Singthong et al., 2014), *Moringa oleífera* (Osamede et al., 2019), *Hibiscus sabdariffa* y *Hibiscus cannabinus* (Mandaji et al., 2022).

## 7. Metodología

### 7.1 Plan de trabajo

La figura 5 muestra el plan de trabajo de la metodología general seguida en la realización del proyecto.

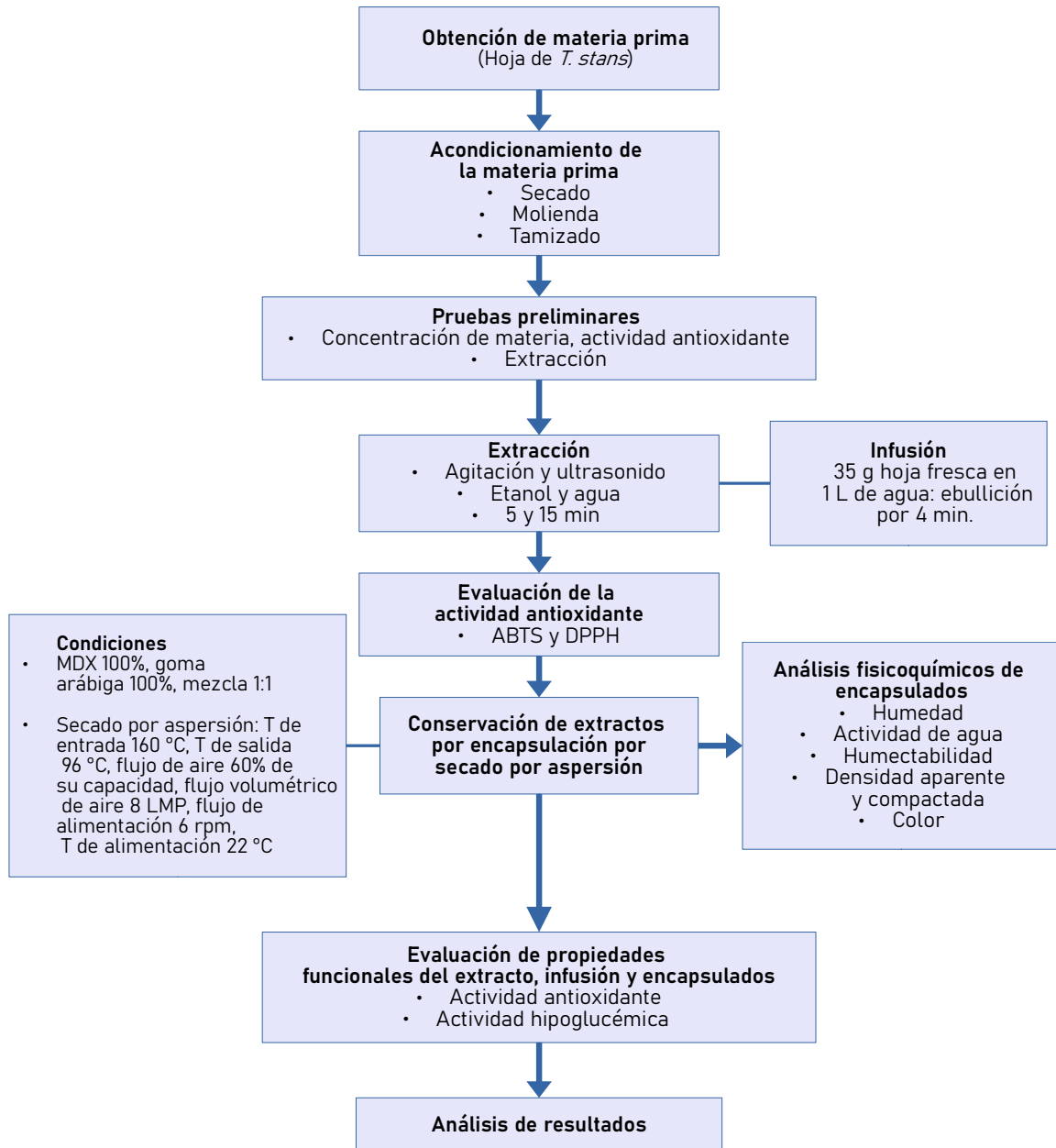


Figura 5. Plan de trabajo de la metodología del proyecto.

## 7.2 Obtención de materia prima

Se recolectaron hojas de ejemplares identificados taxonómicamente de *Tecoma stans* ubicados en el Jardín Botánico de la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, con el apoyo del Dr. Jesús Francisco López Olgún (Anexo 1). La identificación taxonómica fue la siguiente:

Nombre científico: *Tecoma stans* (L.) Juss. ex Kunth var. *stans*

Familia: *BIGNONIACEAE*



**Figura 6.** *Tecoma stans* en el Jardín botánico de la BUAP, empleada para la recolección de las hojas.

## 7.3 Acondicionamiento de la materia prima

Se seleccionaron las hojas que no presentaron algún daño físico y se deshidrataron en una estufa a una temperatura de 30 °C durante 24 horas. Posteriormente, se molieron usando un molino de café marca MAXIM y el polvo se tamizó usando un tamiz (Mont Inox) con una apertura de malla de 177  $\mu\text{m}$  y se evaluó el porcentaje de humedad de las hojas deshidratadas mediante la metodología de la NOM-116-SSA1-1994.

#### 7.4 Pruebas preliminares

Se realizaron pruebas preliminares para seleccionar la cantidad de muestra requerida en los extractos en los que se analizó la actividad antioxidante. Considerando 0.05 g de muestra en cada extracto obtenido con agitación y ultrasonido.

#### 7.5 Extracción de compuestos bioactivos

La muestra fue sometida a extracción por medio de dos métodos, dos solventes y dos tiempos diferentes: agitación y ultrasonido (180 W); agua y etanol; y 5 y 15 minutos, respectivamente. Con estas condiciones, se propuso un diseño factorial de tres factores y dos niveles ( $2^3$ ) (Tabla 2). Se utilizó una cantidad de 0.05 g de muestra aforando a 10 mL según el solvente para realizar la extracción. Los extractos fueron almacenados en frascos ámbar protegidos de la luz y en refrigeración hasta su uso.

**Tabla 2.** Factores y niveles en el diseño factorial para selección del extracto con mayor actividad antioxidante.

Factor	Nivel 1	Nivel 2
Método	Ultrasonido	Agitación
Solvente	Etanol	Agua
Tiempo	5 min	15 min

#### 7.6 Preparación de la infusión

La infusión se obtuvo de acuerdo con el método de preparación utilizado como remedio en la medicina tradicional, considerando 35 g de hoja fresca en 1 L de agua poniéndolos en ebullición durante 4 minutos. La infusión se dejó reposar 1 hora, para después filtrar con un colador y almacenar en un recipiente protegido de la luz.

#### 7.7 Evaluación de la actividad antioxidante

Se determinó la actividad antioxidante empleando el radical ABTS (2,2'-azino-di-(3-ethylbenzthiazoline sulfonic acid)) (Sigma Aldrich) y por el radical DPPH (2,2-difenil-1-picrilhidrazil) (Sigma Aldrich), calculando los porcentajes de inhibición.

Para el método del ABTS, se siguió la metodología propuesta por Conde-Hernández & Guerrero-Beltrán (2014). Para lo cual, se pesaron 3.3 mg de persulfato de potasio y 19.4 mg del reactivo ABTS, mezclándose en 5 mL de agua destilada, dejando reposar por 16 horas. Se tomaron 100  $\mu$ L de solución preparada y se diluyeron en 30 mL de etanol, dejando reposar 30 min ajustando a una absorbancia de  $0.7 \pm 0.02$ . Se evaluó la absorbancia en un espectrofotómetro de UV-visible (Jenway, Mod 6405 UV/Vis) a 754 nm de la mezcla con 3920  $\mu$ L de la solución etanol-radical con 80  $\mu$ L del extracto. Se reportó la absorbancia inicial y final después de 7 minutos.

El porcentaje de inhibición del radical ABTS fue calculado por medio de la ecuación 1.

$$\% \text{ Inhibición} = \left( \frac{Abs_{inicial} - Abs_{final}}{Abs_{inicial}} \right) * 100 \quad (ec. 1)$$

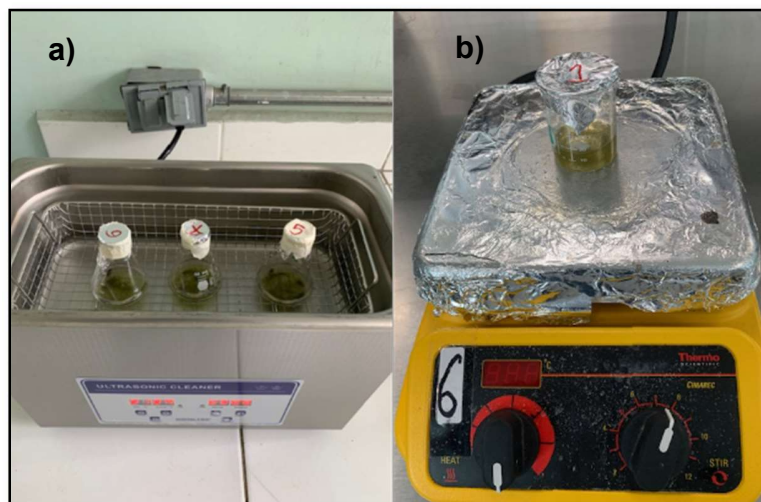
Donde:  $Abs_{inicial}$ , es la absorbancia inicial y  $Abs_{final}$  es la absorbancia final.

Para el método del radical DPPH, se siguió el método propuesto por Bajalan et al. (2017), preparando una solución  $6.08 \times 10^{-8}$  mM del radical DPPH en metanol. La absorbancia del blanco fue evaluada a una longitud de onda de 517 nm en un espectrofotómetro de UV-visible (Jenway, Mod 6405 UV/Vis) después de 30 minutos de reposo al mezclar 3900  $\mu$ L de la solución del DPPH y 100  $\mu$ L de metanol. Mientras que la absorbancia final se midió después de 30 minutos de reacción entre 3900  $\mu$ L de la solución DPPH y 100  $\mu$ L del extracto. El porcentaje de inhibición fue calculado por medio de la ecuación 2.

$$\% \text{ Inhibición} = \left( 1 - \frac{A_f}{A_b} \right) * 100 \quad (ec. 2)$$

Donde:  $Abs_{blanco}$ , es la absorbancia del blanco y  $Abs_{final}$  es la absorbancia final.

Para ambos métodos, se empleó una curva de Trolox (6-hydroxy-2,5,7,8 tetramethylchromane-2-carboxylic acid), para reportar la actividad antioxidante como mg Trolox/g sólidos secos (mg Trolox/g s.s.). Las concentraciones de Trolox utilizadas fueron, 0-0.2 mg/mL ( $R^2=0.99$ ) en el radical ABTS, y 0-14 mg/L ( $R^2=0.99$ ) en el DPPH.



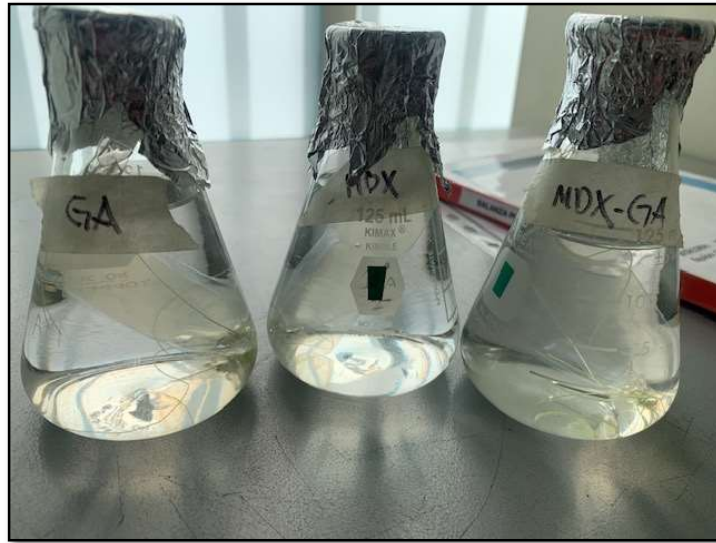
**Figura 7.** Tratamientos de extracción. a) baño de ultrasonido; b) agitación.

### **7.8 Evaluación de la actividad hipoglucémica**

Se determinó la liberación de glucosa de los extractos según la metodología de Wolever et al., (1997), el cual es un método *in vitro* que simula el proceso de absorción de glucosa en sangre.

Inicialmente, se hidrató una membrana de retención de 12,000 Da (Sigma Aldrich) de 10-12 cm de longitud por 24 horas. Pasado este tiempo, se consideraron 200 mg de muestra b.s. a los cuales se le adicionaron 20 mL de una solución de glucosa 40 mmol/L, dejando reposar por 30 min, para luego colocar esta mezcla dentro de la membrana, y sumergiéndola en un matraz de 250 mL con 100 mL de agua desionizada (Figura 8). Se incubó a 37 °C con agitación a 120 rpm por 2 horas y durante este tiempo se tomaron alícuotas de 2.5 mL cada 15 minutos.

Las alícuotas se analizaron por la reacción con glucosa oxidasa con el kit GLUCOSE-LQ (SPINREACT) y el estándar, según lo indicado en la tabla 3, midiendo las absorbancias en un espectrofotómetro Jenway, (Mod 6405 UV/Vis) a una longitud de onda de 500 nm, tras una incubación de 10 minutos. Las lecturas obtenidas fueron graficadas para calcular el área bajo la curva con el método del trapecio. Se siguió el mismo procedimiento con pan blanco como muestra de referencia.



**Figura 8.** Membranas de retención contenidas en matraz previo a incubación.

**Tabla 3.** Mezclas método de Glucosa oxidasa

	BLANCO	ESTANDAR	MUESTRA
Reactivo en uso	1 mL	1 mL	1 mL
Agua destilada	10 µL	-	-
Estándar	-	10 µL	-
Muestra	-	-	10 µL

La cantidad de glucosa liberada fue calculada por medio de la ecuación 3, expresada en mg/dL y mmol/L.

$$Glucosa\ en\ la\ muestra = \frac{\Delta\ Absorbancias\ muestra}{\Delta\ Absorbancias\ estandar} \times n \quad (ec\ 3)$$

Donde n es la concentración del estándar. (n= 100 mg/dL; 1 g/L; 5.56 mmol/L).

Adicionalmente, a partir de la glucosa liberada en mmol/L, se calculó el índice glucémico (IG) multiplicando por 100 el cociente del área bajo la curva de la muestra entre el área

bajo la curva de la muestra referencia (ecuación 4), expresando el resultado al número entero más cercano, según la norma ISO 26642:2010.

$$\text{Índice glucémico} = \frac{\text{Área bajo la curva de la muestra } \left(\frac{\text{mmol}}{\text{L}}\right)}{\text{Área bajo la curva del pan blanco } \left(\frac{\text{mmol}}{\text{L}}\right)} \times 100 \quad (\text{ec } 4)$$

## 7.9 Conservación de extractos por encapsulación

Se utilizaron los siguientes agentes encapsulantes: Maltodextrina 100% (T1), Goma arábica 100% (T2) y una mezcla de ambos agentes en una proporción 1:1 (T3). La mezcla de alimentación entre el extracto/infusión (núcleo) y los agentes encapsulantes consistió en 8% agentes y 92% núcleo. Para realizar la encapsulación, se empleó un equipo de secado por aspersión (PRENDO SEV, México), operándose bajo las siguientes condiciones de operación, las cuales corresponden a las reportadas por Jimenez-González et al. (2018), bajo algunas modificaciones: temperatura de entrada 160 °C, temperatura de salida 96 °C, flujo de aire 60%, flujo volumétrico del aire 8 LPM, flujo de alimentación 6 rpm, temperatura de alimentación 22 °C.

## 7.10 Análisis fisicoquímicos de encapsulados

Se determinó el rendimiento, humedad, actividad de agua, humectabilidad, densidad aparente y compactada, y color de los encapsulados que mostraron mejor conservación de propiedades bioactivas. Mismos que se describen a continuación:

### 7.10.1 Rendimiento

El rendimiento fue calculado por medio de la ecuación 5, propuesta por Fang & Bhandari (2012), con algunas modificaciones.

$$\text{Rendimiento (\%)} = \frac{\text{Polvo obtenido por el secado (g)}}{\text{Extracto (g)} + \text{agente encapsulante (g)}} \times 100 \quad (\text{ec } 5)$$

### 7.10.2 Humedad

La humedad fue calculada gravimétricamente, secando 1 g del polvo hasta llegar a peso constante a 105 °C en estufa de convección. Considerando la ecuación 6 (NOM-116-SSA1-1994).

$$\text{Humedad (\%)} = \frac{M2 - M3}{M2 - M1} \times 100 \quad (\text{ec } 6)$$

En donde: M1: Peso de la capsula (g); M2: Peso de la capsula más muestra humedad (g); M3: Peso de la capsula más muestra seca (g).

### **7.10.3 Actividad de agua**

La actividad de agua de los encapsulados se determinó utilizando un equipo aqualab (AQUALAB Mod series 3TE).

### **7.10.4 Humectabilidad**

La humectabilidad se determinó según el método descrito por Vissotto et al. (2010), en el que se consideró el tiempo requerido para que 0.1 g de polvo esparcido sobre la superficie del líquido se sumerja completamente en 100 mL de agua destilada a 25°C.

### **7.10.5 Densidad aparente y compactada**

La densidad aparente ( $\rho_A$ ) se determinó siguiendo el procedimiento propuesto por Tonon et al., (2010), midiendo el volumen de 2.5 g de polvo en una probeta graduada de 10 mL y utilizando la ecuación 7.

$$\rho_A (\%) = \frac{m_0}{V_0} \times 100 \quad (\text{ec } 7)$$

En donde;  $m_0$  es la masa de los en capsulados y  $V_0$ , el volumen inicial.

Para la densidad compactada ( $\rho_C$ ) se siguió la metodología reportada por Jangam & Thorat (2010), en la que al mismo polvo se le aplicaron ligeros golpes para favorecer la salida de aire contenido entre las partículas, hasta obtener un volumen constante en la probeta ( $V_n$ ). El cálculo se realizó utilizando la ecuación 8.

$$\rho_C (\%) = \frac{m_0}{V_n} \times 100 \quad (\text{ec } 8)$$

En donde;  $m_0$  es la masa de los encapsulados y  $V_n$ , el volumen constante en la probeta.

### **7.10.6 Color**

El color de los encapsulados fue medido con un colorímetro (HunterLab Color Flex 45/0 Spectrophotometer), tomando en cuenta los valores de las cromátidas L\* (claro/oscuro), a\* (rojo/verde) y b\* (amarillo/azul).

### **7.11 Caracterización de compuestos bioactivos**

Los compuestos químicos volátiles de los encapsulados con mejores propiedades bioactivas fueron caracterizados por cromatografía de gases/espectrometría de masas (GC-MS). Se utilizaron como solventes: etanol, hexano y acetato de etilo; empleando un cromatógrafo de gases equipado con un detector selectivo de masa cuadrupolo 5975 (Agilent Technologies 6850N GC, Santa Clara, CA, USA) y se utilizó una columna HP5-MS (30 m de longitud y 0.25 mm de diámetro). Las condiciones de análisis fueron las siguientes: helio como gas inerte y portador, a una velocidad de flujo de 15.5 mL/min, temperatura de inyector de 250 °C, volumen de inyección de 1 µL, una proporción de 10:1, y una temperatura programada iniciando en 60°C e incrementando 4°C/min hasta alcanzar 250°C. La energía de ionización fue de 70 eV. El rango del barrido de masa fue de 43 – 350 m/z. La identificación de los compuestos volátiles fue realizada al comparar sus espectros de masa con los espectros de masa de la biblioteca de bases de datos del NIST (Instituto Nacional de Estándares y Tecnología) e información publicada en literatura.

### **7.12 Análisis estadístico de resultados**

Los experimentos de los extractos y encapsulados se realizaron por triplicado y se presentaron como valor promedio  $\pm$  desviación estándar. Los datos se analizaron utilizando el programa estadístico Minitab 18, usando un análisis de varianza (ANOVA) ( $\alpha=0.05$ ) y la prueba de Tukey para determinar diferencias significativas ( $p<0.05$ ).

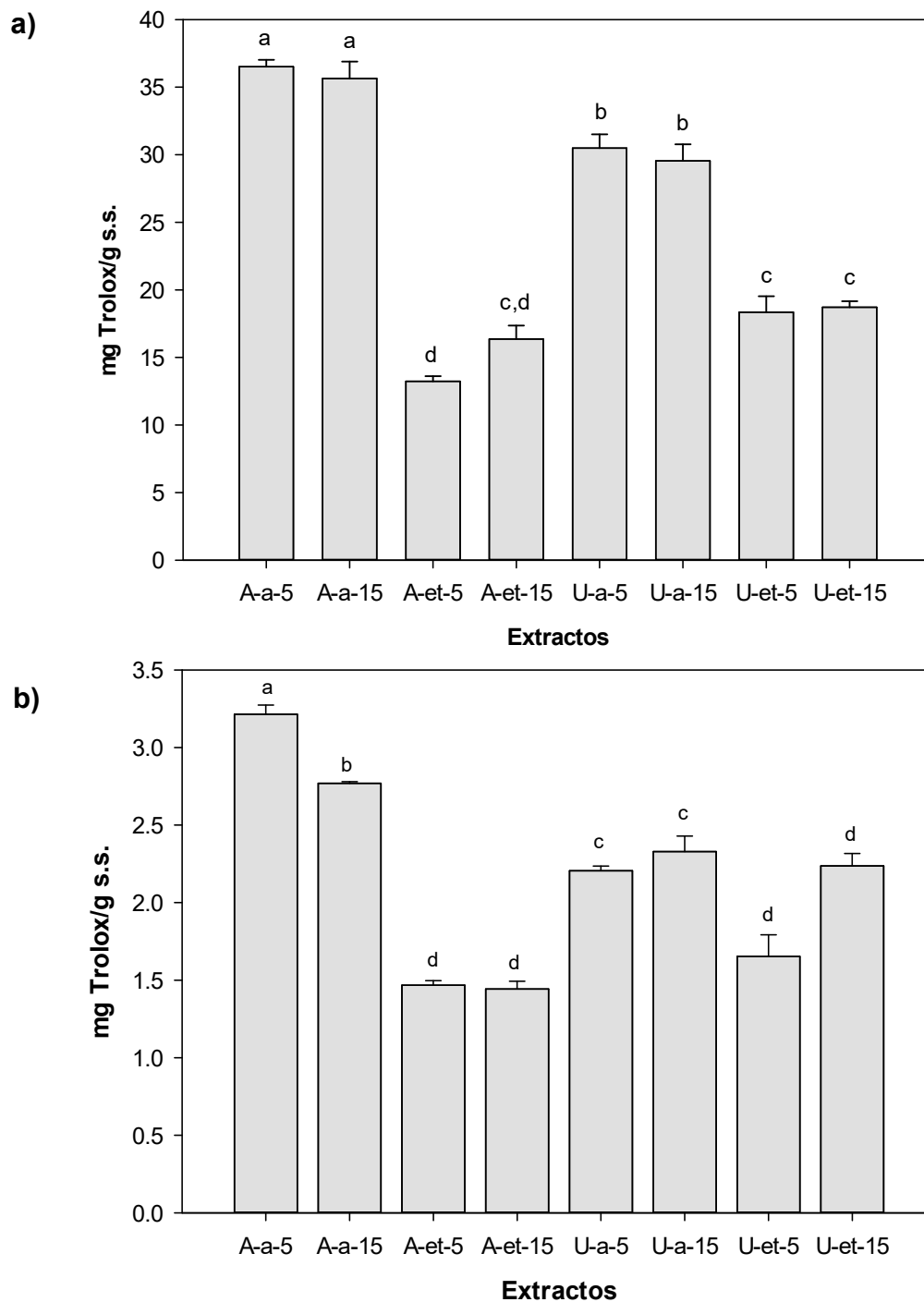
## 8. Resultados y discusión

### 8.1 Actividad antioxidante de los extractos de *Tecoma stans*

La figura 9 muestra la actividad antioxidante de los ocho tratamientos. La mayor actividad fue observada en el extracto acuoso obtenido por agitación durante 5 minutos (A-a-5), con valores de  $36.51 \pm 0.51$  mg Trolox/g s.s. y  $3.21 \pm 0.06$  mg Trolox/g s.s., a los radicales ABTS y DPPH, respectivamente. El siguiente valor correspondió al extracto acuoso obtenido por agitación por 15 minutos (A-a-15) ( $35.64 \pm 1.25$  mg Trolox/g s.s. y  $2.77 \pm 0.01$  mg Trolox/g s.s., en ABTS y DPPH respectivamente), cuya actividad es muy similar al tratamiento A-a-5. Aunque estadísticamente, por el método DPPH estos dos tratamientos son significativamente diferentes ( $p < 0.05$ ) (Figura 9b). Adicionalmente, el tratamiento que mostró la menor actividad antioxidante fue, el extracto etanólico obtenido por agitación por 5 minutos (A-et-5) ( $13.23 \pm 0.38$  mg Trolox/g s.s.) por el radical ABTS, y el extracto etanólico tratado por agitación durante 15 minutos (A-et-15) ( $1.44 \pm 0.05$  mg Trolox/g s.s.) con el radical DPPH. Los extractos mostraron mejor actividad antioxidante con el radical ABTS que con el DPPH, lo cual se asemeja con la actividad reportada para el extracto metanólico de *T. stans* reportada por Aarland et al., (2015), con valores de mayor actividad en el radical ABTS ( $15.02 \pm 1$  mg Trolox/g s.s.) que con DPPH ( $7.51 \pm 0.5$  mg Trolox/g s.s.).

La actividad antioxidante observada en el extracto (A-a-5) en el radical ABTS ( $36.51 \pm 0.51$  mg Trolox/g s.s.), es similar a la de las plantas medicinales: extractos metanólicos de *Buddleia officinalis* marim ( $32.74 \pm 0.65$  mg Trolox/g) y *Fraxinus rhynchophylla* Hance ( $41.57 \pm 0.08$  mg Trolox/g) (Li et al., 2008); también fueron comparables a los extractos en solución de metanol, etanol, agua destilada y ácido hidroclicórico de *Bauhinia macrostachya* ( $33.36 \pm 0.65$  mg Trolox/g p.f.) y de *Cecropia palmata* ( $27.25 \pm 0.22$  mg Trolox/g p.f.) (Silva et al., 2007); y al extracto metanólico ( $32.34 \pm 1.76$  mg eq Trolox/g m.s.) y acuoso ( $44.39 \pm 3.24$  mg eq Trolox/g m.s.) de *Stachys tmolea* (Elfalleh et al., 2019). En cuanto a los resultados del radical DPPH, fueron comparables con los extractos etanólicos obtenidos por agitación y ultrasonido de *Opuntia ficus indica* L. ( $3.22$  g TE/g m.s.) (Pasri et al., 2023); y el extracto en diclorometano de *Suaeda fruticosa* (L.) Forssk ( $5.69$  mg TE/g extracto) (Saleem et al., 2021).

Según el diseño factorial, la Figura 10 muestra el efecto de la extracción, el solvente y tiempo sobre la actividad antioxidante. En ambos métodos, el solvente es el factor más



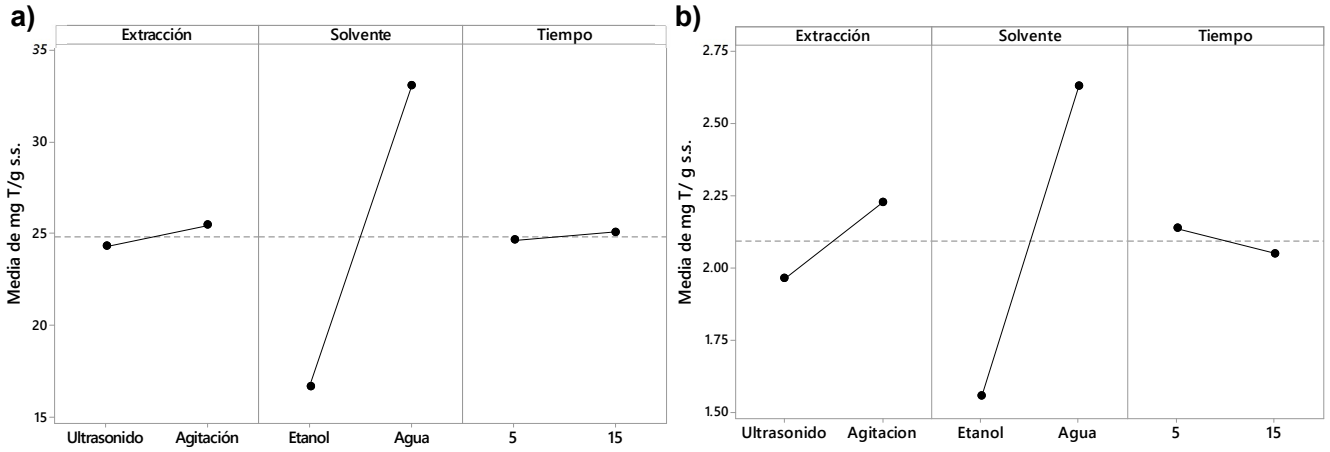
**Figura 9.** Actividad antioxidante de los extractos. a) ABTS. b) DPPH. Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes, según la prueba de Tukey ( $p < 0.05$ ).

Donde: A: agitación; U: ultrasonido; a: agua; et: etanol; 5 y 15: tiempo en minutos.

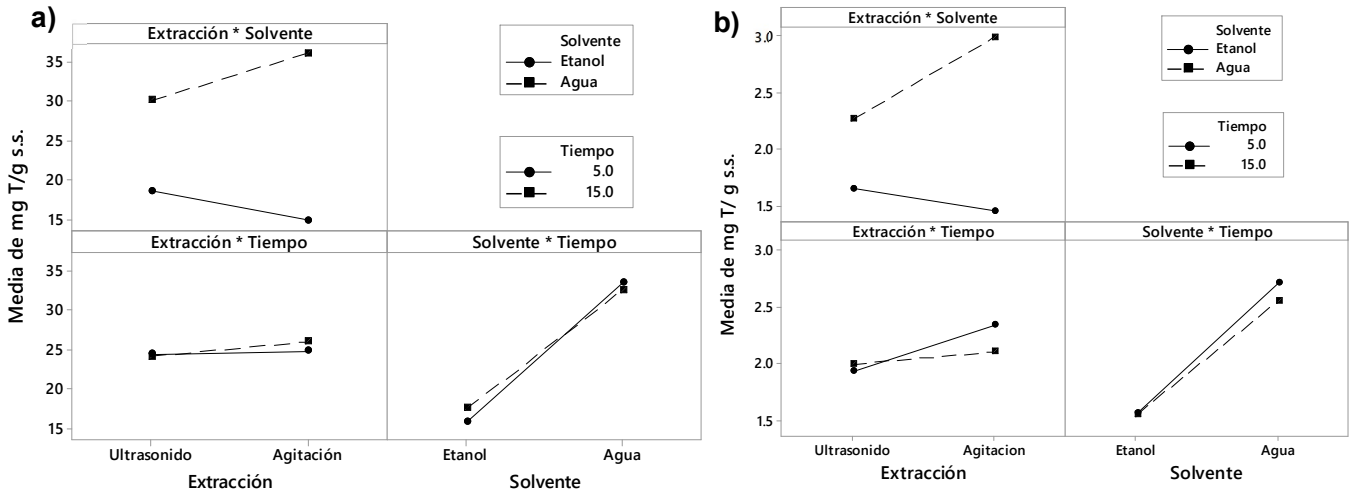
significativo y el nivel 2 (agua) tuvo mayor efecto en la actividad antioxidante.

Adicionalmente, en el método de DPPH, se observa un efecto significativo ligero en el

método de extracción (Figura 10b).

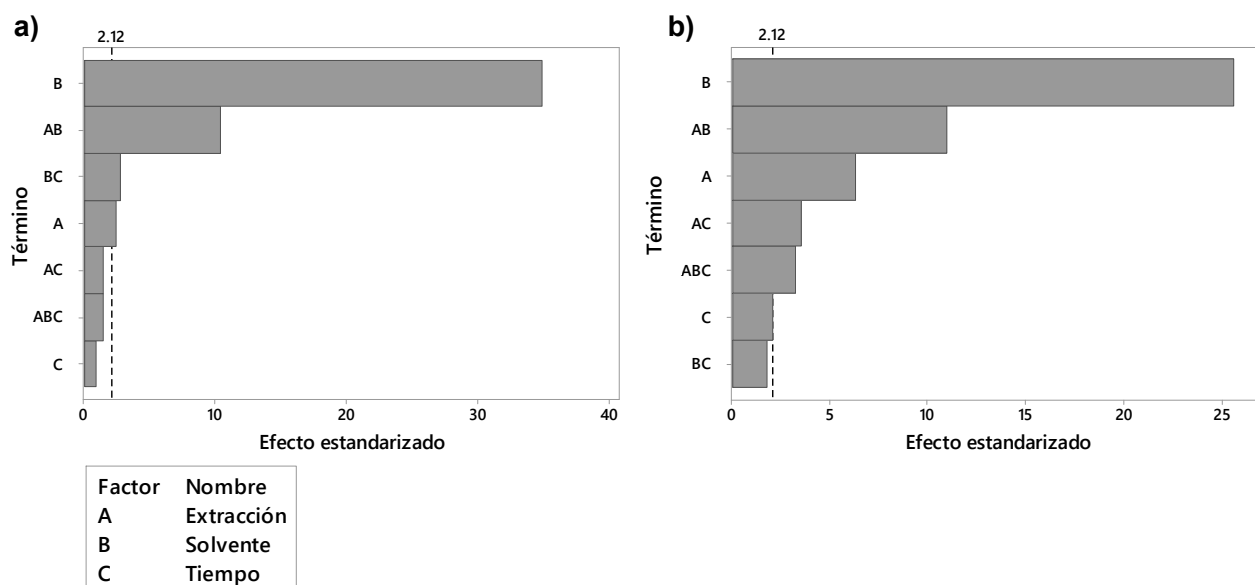


**Figura 10.** Gráficas de efectos principales en la actividad antioxidante. a) ABTS. b) DPPH.



**Figura 11.** Gráficas de interacción de efectos en la actividad antioxidante. a) ABTS. b) DPPH.

Las líneas no paralelas entre el nivel 1 y 2 en el gráfico de interacción (Figura 11), indican que hubo una interacción entre ambos factores. Entre mayor la pendiente y la diferencia entre puntos, mayor es el efecto o interacción (Conde-Hernández et al., 2021). En ambos radicales, los gráficos extracción\*solvente y solvente\*tiempo indican una gran interacción entre factores. En la interacción extracción\*solvente, el efecto del solvente fue más significativo en el nivel 2 del método de extracción (agitación). Así, la mayor actividad



**Figura 12.** Diagramas de Pareto del rango de significancia de los efectos principales y los efectos de interacción de los factores de extracción en la actividad antioxidante. a) ABTS. b) DPPH.

antioxidante fue observada en el extracto con el nivel 2 de extracción y nivel 2 de solvente (agitación y agua, respectivamente) por los radicales ABTS ( $36.51 \pm 0.51$  mg Trolox/g s.s.) y DPPH ( $3.21 \pm 0.06$  mg Trolox/g s.s.) (Figura 9).

Finalmente, el diagrama de Pareto indicó la siguiente secuencia de los términos significativos y los principales efectos de interacción sobre la actividad antioxidante. En el radical ABTS: B (solvente) > AB (extracción y solvente) > BC (solvente y tiempo) > A (extracción) > AC (extracción y tiempo) > ABC (extracción, solvente y tiempo) > C (tiempo); y B (solvente) > AB (extracción y solvente) > A (extracción) > AC (extracción y tiempo) > ABC (extracción, solvente y tiempo) > C (tiempo) > BC (solvente y tiempo) en el radical DPPH (Figura 12).

De los ocho tratamientos diferentes, el extracto acuoso obtenido por agitación por 5 minutos (A-a-5) fue elegido para encapsularse por secado por aspersión, al mostrar la mayor capacidad antioxidante ante los radicales ABTS y DPPH ( $36.51 \pm 0.51$  mg Trolox/g s.s. y  $3.21 \pm 0.06$  mg Trolox/g s.s., respectivamente). (Figura 9). Este extracto obtenido con agua presenta una ventaja importante, puesto que evita el uso de solventes tóxicos a la salud y perjudiciales al ambiente que requieren su eliminación posterior.

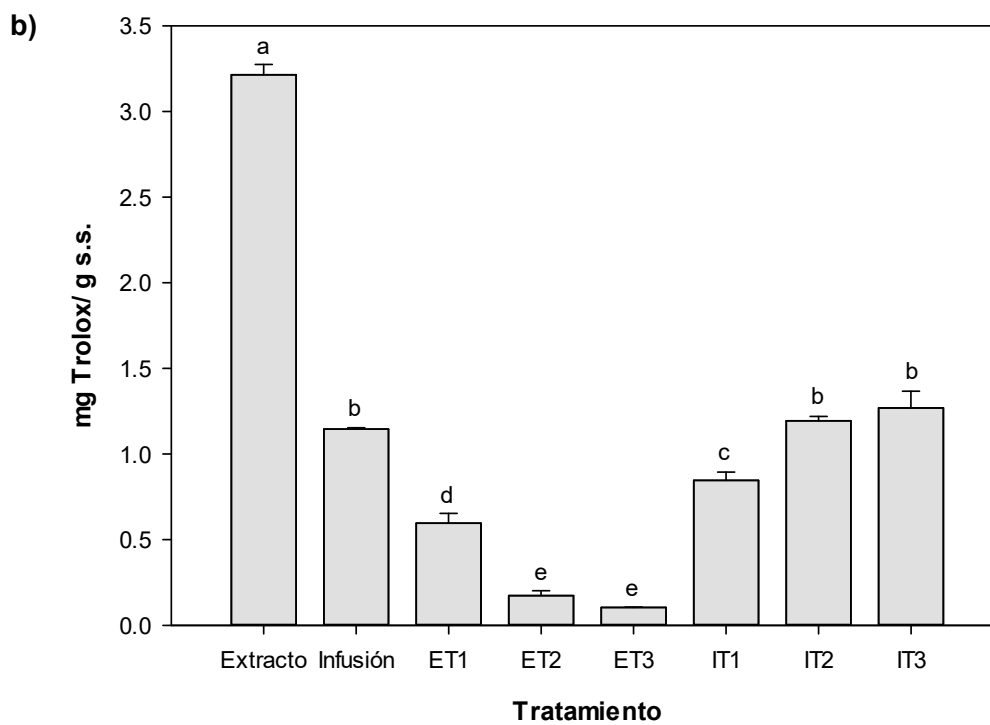
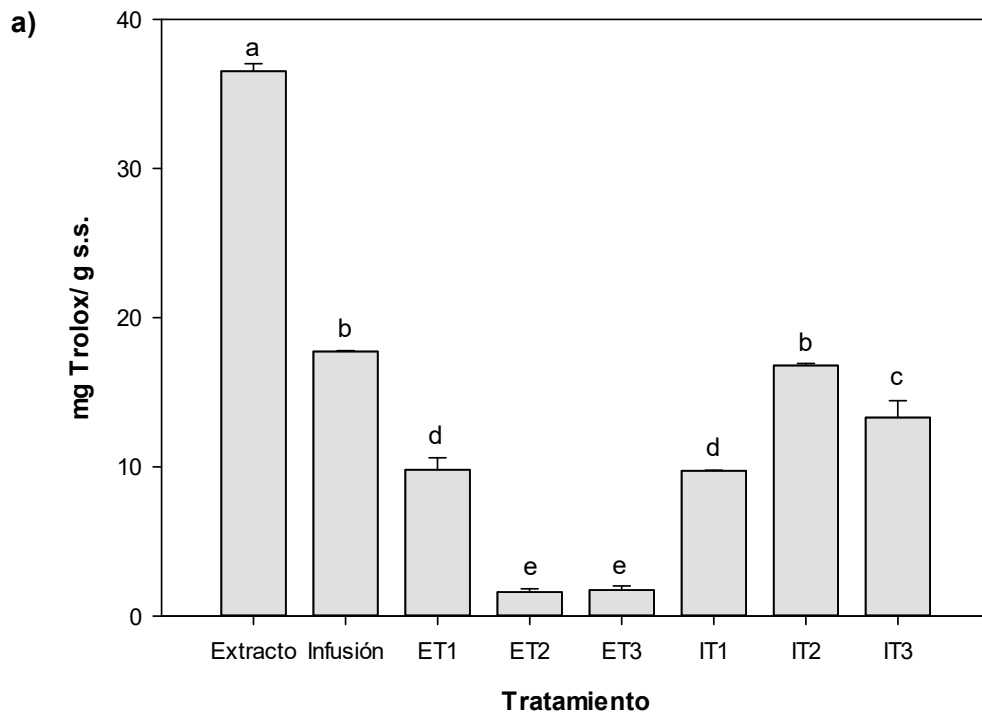
## 8.2 Encapsulación por secado por aspersión

El extracto seleccionado, junto con la infusión de hojas de *T. stans* fueron encapsulados por secado por aspersión. Se evaluó la actividad antioxidante e hipoglucémica de la infusión de *T. stans* y de los polvos resultantes de la encapsulación. Se realizó la caracterización fisicoquímica y por cromatografía de gases/espectrometría de masas (GC-MS) de los encapsulados que mostraron mejores propiedades bioactivas.

### 8.2.1 Actividad antioxidante

La figura 13 muestra la actividad antioxidante del extracto, la infusión y los encapsulados secados por aspersión del extracto e infusión de *T. stans*. Ningún encapsulado, ni la infusión de hojas de *Tecoma stans*, superó la actividad antioxidante del extracto acuoso obtenido por agitación por 5 minutos mostrada por los métodos ABTS ( $36.51 \pm 0.51$  mg Trolox/g s.s.) y DPPH ( $3.21 \pm 0.06$  mg Trolox/g s.s.). En el método ABTS, la infusión presentó la segunda mejor actividad antioxidante ( $17.73 \pm 0.06$  mg Trolox/g s.s.). Mientras que en el radical DPPH, fue el encapsulado de la infusión con la combinación de ambos agentes encapsulantes (IT3) ( $1.27 \pm 0.1$  mg Trolox/ g s.s.); cuya actividad antioxidante no es estadísticamente diferente ( $p < 0.05$ ) a la del encapsulado IT2 ( $1.19 \pm 0.02$  mg Trolox/g s.s.) y de la infusión ( $1.15 \pm 0.01$  mg Trolox/g s.s.).

La infusión de plantas es un método de extracción relevante que elimina el uso de solventes orgánicos. Adicionalmente, en la obtención de extractos no tóxicos con actividad antioxidante por medio de este método, no es necesario el aislamiento y purificación de los compuestos antioxidantes (Li et al., 2013). Los resultados de la actividad antioxidante de la infusión de *Tecoma stans*, son similares a la reportada por el método ABTS de las infusiones de las hojas de plantas amazónicas medicinales: *Anacardium excelsum* ( $14.67 \pm 0.93$  mg Trolox/g s.s.) y *Piper putumayoense* ( $22.78 \pm 3.08$  mg Trolox/g s.s.) (Lizcano et al., 2010). Igualmente, es coincidente con los valores obtenidos con algunas de las 223 infusiones de plantas medicinales analizadas por Li et al., (2013) como: *Akebia trifoliata* (Thunb.) Koidz ( $17.21 \pm 1.92$  mg Trolox/g s.s.), *Amomum tsao-ko* Crevostet Lemarie ( $15.69 \pm 0.18$  mg Trolox/g s.s.) y *Artemisia apiacea* Hance ( $14.32 \pm 0.57$  mg Trolox/g s.s.). En cuanto al método DPPH, a la actividad de la infusión asistida por ultrasonido y liofilizada de la planta *Epilobium angustifolium* L. ( $5.3 \pm 0.2$  mg Trolox/g infusión liofilizada) (Szwajgier et al., 2021).

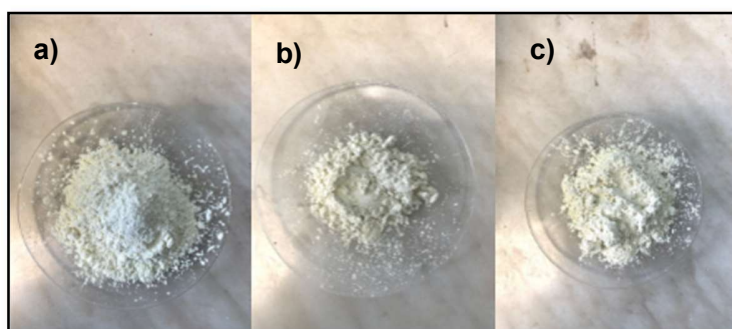


**Figura 13.** Actividad antioxidante del extracto, infusión y encapsulados. a) ABTS. b) DPPH. Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes, según la prueba de Tukey ( $p < 0.05$ ).

**E:** extracto; **I:** infusión; **T1:** maltodextrina; **T2:** goma arábica; **T3:** maltodextrina-goma arábica.

Con respecto a la evaluación de los encapsulados, es evidente la disminución de la capacidad antioxidante de los encapsulados del extracto en comparación con la del extracto sin encapsular. Esto puede ser resultado de la alta temperatura de inyección en el secado, causando la degradación de compuestos fenólicos y subsecuentemente la actividad antioxidante (Esmaeili et al., 2022); así como de la cantidad de muestra utilizada en cada extracto. Sin embargo, en ambos radicales, la encapsulación con maltodextrina (ET1), fue capaz de conservar en mayor cantidad la actividad antioxidante del extracto ( $9.89 \pm 0.82$  mg Trolox/g s.s. y  $0.6 \pm 0.06$  mg Trolox/g s.s., para los radicales ABTS y DPPH, respectivamente). Estos resultados coinciden con lo reportado por Sarabandi et al., (2019), en donde los encapsulados del extracto de cáscara de berenjena producidos con maltodextrina mostraron mayor actividad antioxidante que con goma arábica.

Por otro lado, los encapsulados de la infusión con goma arábica (IT2) ( $16.8 \pm 0.13$  mg Trolox/g s.s.) en el método ABTS; y goma arábica (IT2) ( $1.19 \pm 0.02$  mg Trolox/g s.s.), y la combinación de ambos agentes (IT3) ( $1.27 \pm 0.1$  mg Trolox/g s.s.) en DPPH, fueron los tratamientos que mejor conservaron la actividad antioxidante de la infusión (Figura 14), sin observarse diferencias significativas entre tratamientos ( $p < 0.05$ ). La maltodextrina es ampliamente utilizada en la encapsulación de compuestos bioactivos debido a sus características como; alta solubilidad, baja viscosidad a altas concentraciones de sólidos, costo relativo bajo, sabor y aroma neutro y protección del núcleo a la oxidación. Sin embargo, tiene una baja habilidad emulsificante. Por ello, es mezclada con otros agentes como la goma arábica para formar emulsiones más estables (Xiao et al., 2022). Lo anterior sustenta los resultados encontrados, en cuanto a la mayor actividad antioxidante del extracto del encapsulado con maltodextrina y la combinación de maltodextrina con goma arábica de la infusión.



**Figura 14.** Encapsulados de la infusión de *Tecoma stans* obtenidos tras el secado por aspersion. a) maltodextrina; b) goma arábica; c) maltodextrina-goma arábica.

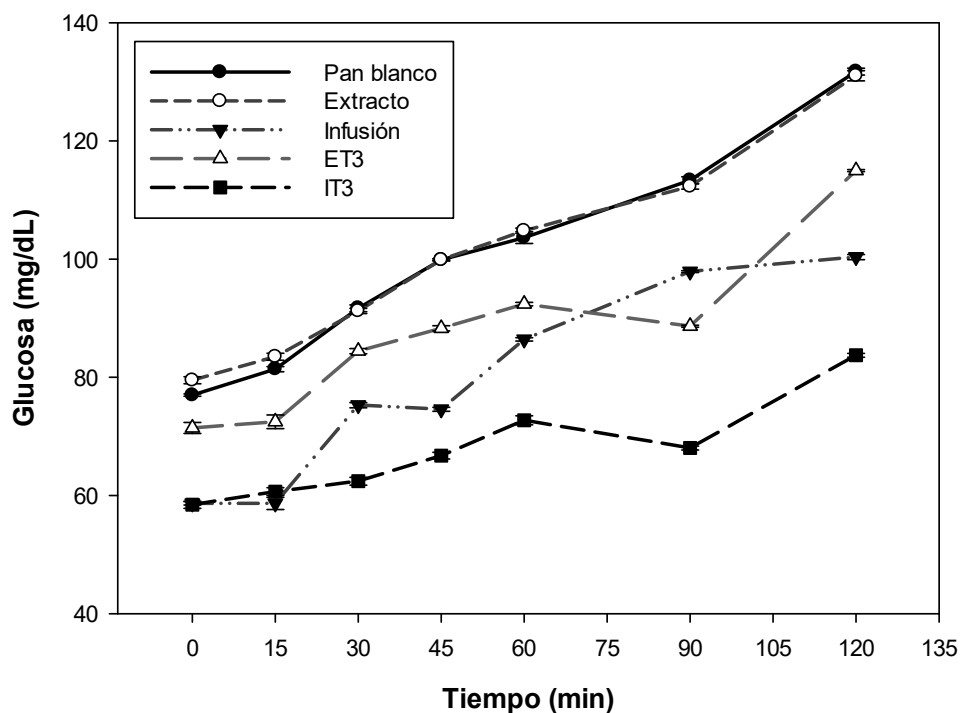
### 8.2.2 Actividad hipoglucémica

Se determinó la glucosa en el extracto, la infusión, los encapsulados y pan blanco como referencia a través del método de la enzima glucosa oxidasa (GOD). Visvanathan et al., (2019) reportan que existe un gran uso del método de la glucosa oxidasa como diagnóstico para determinar niveles de glucosa en sangre, debido a la alta especificidad con la glucosa. La Figura 15 muestra la glucosa liberada del pan blanco, extracto, infusión y los encapsulados con mejor actividad hipoglucémica de la infusión y extracto. A partir de las curvas, se calcularon las áreas bajo las curvas de liberación de glucosa y el índice glucémico (Tabla 4). La glucosa liberada por el extracto ( $12,407.40 \pm 39.5$  mg/dL) fue similar a la del pan blanco ( $12,379.80 \pm 33.8$  mg/dL) ( $p < 0.05$ ), por lo que no fue observada actividad hipoglucémica en el extracto. El tratamiento que mostró la menor glucosa liberada y por lo tanto la mayor actividad hipoglucémica fue el encapsulado de la infusión con la combinación de agentes (IT3) ( $8,218.40 \pm 28.8$  mg/dL), seguido de IT1 ( $8,825.20 \pm 53.2$  mg/dL), IT2 ( $9,001.90 \pm 62.3$  mg/dL), infusión ( $9,949.80 \pm 32.3$  mg/dL), ET3 ( $10,676.50 \pm 51.9$  mg/dL), ET1 ( $11,001.20 \pm 40.9$  mg/dL) y ET2 ( $11,081.20 \pm 18.5$  mg/dL).

Como puede apreciarse en la figura 15, la encapsulación por secado por aspersion causó una disminución en la liberación de glucosa en los polvos a comparación de las muestras sin encapsular. Este mejoramiento en la actividad hipoglucémica puede ser efecto propio de la encapsulación, dado que es reconocida como método para proteger los compuestos bioactivos de condiciones indeseables circundantes y mejorar sus efectos benéficos, biodisponibilidad y eficacia (Lu et al., 2021). En el mejor de los tratamientos, esta

disminución en el área bajo la curva fue de  $12,407.40 \pm 39.5$  mg/dL a  $10,676.50 \pm 51.9$  mg/dL (ET3) en el extracto; y de  $9,949.80 \pm 32.3$  mg/dL a  $8,218.40 \pm 28.8$  mg/dL (IT3) en la infusión (Tabla 4). Estos resultados se asemejan a los de Khalifa et al., (2019), en donde los encapsulados de jugo de mora con maltodextrina y maltodextrina-goma arábica mostraron la mayor retención de la actividad  $\alpha$ -glucosidasa.

El encapsulado de la infusión obtenido con la combinación de agentes (IT3) mostró el menor índice glucémico (IG = 47) (Tabla 4). Según las categorías recomendadas en la norma ISO 26642:2010, este encapsulado sería de índice glucémico bajo (IG < 55). Asimismo, el valor del índice glucémico es similar al de extractos de plantas medicinales con efectos antidiabéticos como: *Sauropus androgynus* (IG=55) y *Tinospora cordifolia* (IG=39) (Salehi et al., 2019). La combinación de agentes, como la de maltodextrina con goma arábica, es una estrategia común para mejorar las propiedades de encapsulación al conferir mejores propiedades de emulsificación, resultando en sistemas de encapsulación más estables (Lu et al., 2021).



**Figura 15.** Glucosa liberada por el pan blanco, extracto, infusión, extracto encapsulado con maltodextrina y goma arábica (ET3) e infusión encapsulada con maltodextrina y goma arábica (IT3).

**Tabla 4.** Áreas bajo la curva de glucosa liberada e índice glucémico.

	Área bajo la curva						IG	
	mg/dL			mmol/L				
Pan blanco	12,379.80	±	33.8a	688.38	±	1.9a	71*	
Extracto	12,407.40	±	39.5a	689.95	±	2.3a	71	± 0a
Infusión	9,949.80	±	32.3d	553.48	±	1.4d	57	± 0d
ET1	11,001.20	±	40.9b	613.67	±	4.0b	63	± 1b
ET2	11,081.20	±	18.5b	616.28	±	1.0b	64	± 1b
ET3	10,676.50	±	51.9c	593.37	±	2.3c	61	± 0c
IT1	8,825.20	±	53.2f	490.78	±	3.0f	51	± 1e
IT2	9,001.90	±	62.3e	501.33	±	2.9e	52	± 1e
IT3	8,218.40	±	28.8g	456.95	±	1.6g	47	± 1f

Letras diferentes en la misma columna indican diferencias significativas, según la prueba de Tukey ( $p < 0.05$ ). \*Valor reportado (ISO 26642:2010).

### 8.2.3 Caracterización de encapsulados

Basado en los resultados de la evaluación de las propiedades bioactivas, se seleccionó un encapsulado del extracto y uno de la infusión, para realizar la caracterización fisicoquímica y de sus propiedades bioactivas a través de cromatografía de gases/espectrometría de masas (GC-MS). Siendo estos, el encapsulado con maltodextrina del extracto (ET1), y la combinación de agentes de la infusión (IT3). Puesto que el primero mostró preservar la actividad antioxidante del extracto, y el segundo la actividad hipoglucémica de la infusión.

#### 8.2.3.1 Propiedades fisicoquímicas

La tabla 5 muestra los resultados de los análisis de caracterización fisicoquímica de los encapsulados. La adhesión de las gotas de alimentación y polvos a las paredes de la cámara y ciclón del secador, son las causas de las pérdidas de los materiales en el proceso de secado por aspersión (George et al., 2023). Los rendimientos en porcentaje de los polvos fueron similares ( $p < 0.05$ ):  $18.34 \pm 3.13$  y  $21 \pm 10.47$  para los tratamientos ET1 (extracto obtenido por agitación por 5 minutos encapsulado con maltodextrina) y IT3 (infusión encapsulada por goma arábiga y maltodextrina) respectivamente. Los porcentajes de rendimiento encontrados son parecidos a los reportados por Jimenez-González et al.

(2022), de la microencapsulación de los pigmentos de *Renealmia alpinia* con maltodextrina (17.17 ± 0.2) y maltodextrina-goma arábiga (18.01 ± 4.2). El análisis de optimización y calidad a través de metodología de respuesta de superficie de Arumugham et al. (2023) en el secado por aspersión del extracto de dátil con la mezcla de maltodextrina-goma arábiga indicó correlaciones positivas del rendimiento con la concentración de agentes y la temperatura de entrada del aire, mientras que con la velocidad de flujo se observó una correlación negativa.

El contenido de humedad en una microcápsula determina la estabilidad en el almacenamiento y se correlaciona con la actividad de agua, la fluidez, pegajosidad, eficiencia de secado, oxidación de agentes bioactivos y el crecimiento microbiano (Mahdi et al., 2020). Mientras que no fueron observadas diferencias significativas ( $p < 0.05$ ) en el contenido de humedad en los encapsulados ET1 (4.04 ± 0.2 %) y IT3 (4.75 ± 0.63 %); la actividad de agua de los polvos fue estadísticamente diferente ( $p < 0.05$ ). Los encapsulados obtenidos son estables, puesto que su actividad de agua ( $A_w$ ) fue menor a 0.3. Debido a que, valores de  $A_w$  menores a 0.6 se consideran microbiológicamente estables y valores entre 0.2 – 0.4 aseguran la estabilidad del producto ante reacciones de oscurecimiento e hidrolíticas, oxidación lipídica, autooxidación y actividad enzimática (Caliskan & Dirim, 2013).

**Tabla 5.** Propiedades fisicoquímicas.

	ET1	IT3
Rendimiento (%)	18.34 ± 3.13a	21.98 ± 10.47a
Humedad (%)	4.04 ± 0.4a	4.75 ± 0.63a
$A_w$	0.298 ± 0.001a	0.231 ± 0.003b
Humectabilidad (s)	297.33 ± 14.29b	460 ± 2a
Densidad aparente (g/mL)	0.261 ± 0.003a	0.257 ± 0.006a
Densidad compactada (g/mL)	0.375 ± 0.008a	0.371 ± 0.013a
Color		
L*	88.627 ± 0.006b	90.61 ± 0.017a
a*	0.453 ± 0.025a	-8.3 ± 0.01b
b*	9.007 ± 0.015b	18.427 ± 0.025a

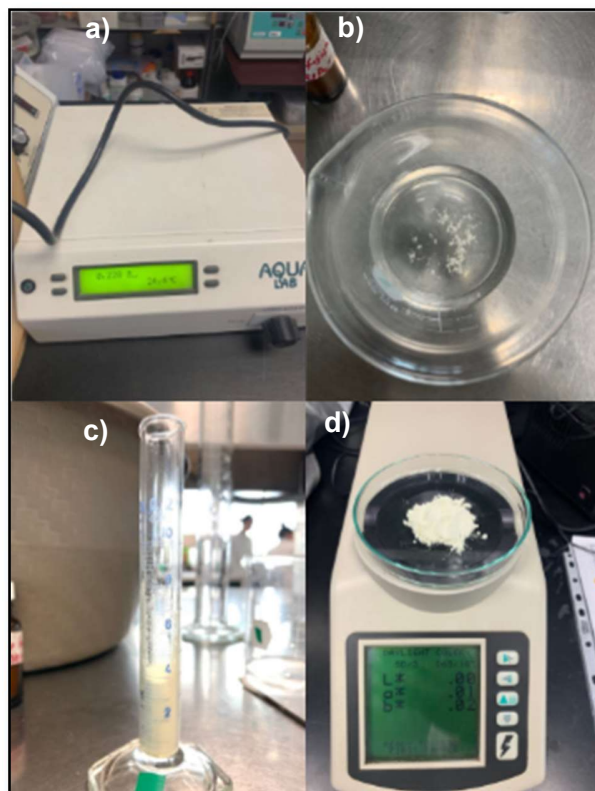
Letras diferentes en la misma fila indican diferencias significativas, según la prueba de Tukey ( $p < 0.05$ ). ET1: extracto obtenido por agitación por 5 minutos encapsulado con maltodextrina; IT3: infusión encapsulada con maltodextrina y goma arábiga.

La humectabilidad hace referencia a la habilidad de las partículas del polvo para superar la tensión superficial entre ellas y el agua (Koç & Dirim, 2018). El tiempo de humectabilidad del encapsulado IT3 ( $460 \pm 2$  s) fue significativamente superior ( $p < 0.05$ ) al correspondiente del ET1 ( $297.33 \pm 14.29$  s). Esto puede ser resultado de la concentración de maltodextrina en el polvo ET1, ya que la maltodextrina actúa como agente de volumen que afecta la porosidad, y al aumentar la porosidad se aumenta la humectabilidad (George et al., 2023). El aumento en la concentración de maltodextrina en el secado del extracto de zumaque resultó en una disminución significativa en los tiempos de humectabilidad (Caliskan & Dirim, 2013).

Respecto a las densidades, no se observaron diferencias significativas ( $p < 0.05$ ) en ambos encapsulados. El encapsulado del extracto con maltodextrina (ET1) presentó valores de densidad aparente y compactada de  $0.261 \pm 0.003$  g/mL y  $0.375 \pm 0.008$  g/mL, respectivamente. Similarmente el encapsulado de la infusión con la combinación de agentes (IT3), la densidad aparente y compactada fue:  $0.257 \pm 0.006$  g/mL y  $0.371 \pm 0.013$  g/mL, respectivamente. La densidad aparente depende de las propiedades de partícula como: el tamaño, forma y superficie. En general, la densidad aparente incrementa cuando disminuye el tamaño de partícula de los polvos, debido a que más partículas ocupan cierto volumen (Tontul & Topuz 2017). Las bajas densidades de polvos son indeseables, puesto que requieren un gran volumen de empaque (George et al., 2023). Por otro lado, la densidad compactada, también conocida como densidad sólida real y obtenida tras la aplicación de presión con golpeteos externos en el polvo, no considera espacios entre las partículas y generalmente es mayor que la densidad aparente (Arumugham et al., 2023). Influye en el empaque, transporte y comercialización de polvos; altas densidades compactadas requieren contenedores más pequeños para su almacenamiento (Mahdi et al., 2020).

El color, uno de los criterios más importantes para la aceptación de los productos (George et al., 2023), fue medido a través de los parámetros  $L^*$  (luminosidad),  $a^*$  (diferencia entre rojo y verde) y  $b^*$  (diferencia entre azul y amarillo). Los polvos, color aparentemente blanco a simple vista, presentaron altos valores de  $L^*$  en un rango de 88 - 91, mostrando diferencias significativas ( $p < 0.05$ ). Asimismo, se encontraron diferencias significativas ( $p < 0.05$ ) en los parámetros  $a^*$  y  $b^*$ . El polvo ET1, de apariencia blanca, tuvo valores de  $a^*$  de  $0.453 \pm 0.025$  y  $b^*$  de  $9.007 \pm 0.015$ . Mientras que el polvo IT3, el valor promedio de  $a^*$

fue de  $-8.3 \pm 0.01$ , lo que indica una tendencia a verde y de  $b^*$  de  $18.427 \pm 0.025$ , indicando tendencia a amarillo.



**Figura 16.** Pruebas fisicoquímicas. a) actividad de agua; b) humectabilidad; c) densidad; d) color.

### 8.2.3.2 Propiedades bioactivas

Un total de 57 compuestos diferentes fueron encontrados en el encapsulado del extracto y 25 en el encapsulado de la infusión. La tabla 6 muestra los compuestos con porcentajes de área mayor a 5%. Los compuestos encontrados con mayor porcentaje en el encapsulado del extracto son: ácido giberélico (30.32 %) y 2-Furanmetanol (27.68 %) en etanol; y 1-Hexene,3,4-dimethyl (13.56 %) y Butane, 2,2-dimethyl (9.58 %) en hexano. Mientras que los principales compuestos en el encapsulado de la infusión fueron: ácido giberélico (29.86 %) y 2-Furanmetanol (14.25 %) en etanol; Butane, 2,2-dimethyl (23.63 %) en hexano; y Benzene, 1,3-bis (3-phenoxyphenoxy) (13.37 %) y (2,3-Diphenyl-cyclopropyl) methyl phenyl sulfoxide, trans (12.59 %) en acetato de etilo.

**Tabla 6.** Compuestos identificados por CG/MS.

Encapsulado	Solvente	Compuestos químicos	Área (%)	
Extracto (T1)	Etanol	Gibberellic Acid	30.32	
		Cyclobutane, 1,1-dimethyl-2-octyl	11.89	
		2-Furanmethanol	27.68	
	Hexano	Butane, 2,2-dimethyl	9.58	
		1-Hexene,3,4-dimethyl	13.56	
		Cyclopentane, methyl	6.73	
Infusión (T3)	Etanol	Gibberellic Acid	29.86	
		2-Furanmethanol	14.25	
	Acetato de etilo	Hexano	Butane, 2,2-dimethyl	23.63
		Benzene, 1,3-bis (3-phenoxyphenoxy)	13.37	
		Nerol	5.05	
		Propanoic acid, 2-(3-acetoxy-4,4-14-trimethylandrost-8-en-17-yl-(2,3-Diphenyl-cyclopropyl)methyl phenyl sulfoxide, trans	7.37	
		12.59		

T1: maltodextrina; T3: maltodextrina-goma arábica.

El ácido giberélico, uno de los compuestos encontrados en mayor cantidad en los cromatogramas, es una fitohormona que controla aspectos importantes como el crecimiento, germinación, alongamiento, y florecimiento de las plantas (Schwechheimer, 2008). En el ser humano, este compuesto proviene de la ingesta de vegetales y frutas. Se reporta que existe muy poca información del efecto del ácido giberélico en el cuerpo humano (Mukherjee et al., 2022). El 2-Furanmetanol ha sido identificado en el tipo de miel griega *Fir*, a la cual se le atribuyen efectos anti estrogénicos (Sharma et al., 2020), además de ser encontrado en reacciones de pardeamiento azúcar/aminoácidos y exhibir actividad antioxidante (Osada & Shibamoto, 2006). El nerol, encontrado en hojas de naranja, rosas, limón y plantas, posee actividad antioxidante, antibacterial y antifúngica (Yang et al., 2023). Y a pesar de que investigación reciente raramente ha reportado el efecto inhibitorio en la diabetes (Chen et al., 2019), este monoterpenoide ha sido identificado en canela (*Cinnamon verum*), a la cual se le ha demostrado actividad antidiabética y otras propiedades benéficas en la salud (Senevirathne et al., 2022).

## 9. Conclusiones y sugerencias

A partir de los resultados de la investigación, se plantean las siguientes conclusiones y sugerencias:

- Basado en el análisis factorial, el solvente junto con el método de extracción fueron los factores que más influyeron en la extracción de compuestos antioxidantes de los diferentes extractos de hojas de *Tecoma stans*. Tal análisis permitió elegir las condiciones de extracción para proceder con el extracto para ser encapsulado. El agua fue el solvente que proporcionó mejor actividad antioxidante, mientras que la agitación por 5 minutos las mejores condiciones en la extracción.
- Las evaluaciones de la actividad antioxidante de las muestras presentaron una tendencia similar entre ambos radicales, aunque el DPPH mostró valores menores en comparación al ABTS.
- El extracto acuoso obtenido por agitación por 5 minutos presentó la mayor actividad antioxidante, por encima de todos los encapsulados y la infusión.
- Después del secado por aspersion, como resultado de la alta temperatura de inyección, la actividad antioxidante del extracto disminuyó. Mientras que en la infusión fue conservada. Asimismo, la maltodextrina y goma arábica mostraron preservar la actividad antioxidante de las muestras. Para el extracto, la maltodextrina preservó mejor la actividad antioxidante; mientras que, en la infusión, se encontraron variaciones según el radical: goma arábica en el método ABTS y goma arábica y la combinación de agentes en el método DPPH.
- En cuanto a la actividad hipoglucémica, el secado por aspersion causó una mejora en la actividad de los encapsulados del extracto y la infusión. Siendo el polvo de la infusión obtenido con la combinación de maltodextrina y goma arábica un producto con índice glucémico bajo, disminuyendo este parámetro en un 33% en comparación al pan blanco.
- Asimismo, se demostró la actividad hipoglucémica que tiene la infusión consumida como forma tradicional como tratamiento de la diabetes.
- Con base en los resultados de la actividad antioxidante e hipoglucémica de los polvos, se seleccionó el encapsulado con maltodextrina del extracto, que preservó mejor la actividad antioxidante del extracto; y el encapsulado de la combinación de

agentes de la infusión, al mostrar la mayor actividad hipoglucémica, para realizar su caracterización.

- Las pruebas fisicoquímicas permitieron identificar diferencias significativas en la actividad de agua, tiempo de humectabilidad y el color de los polvos. Por otro lado, en la caracterización de los compuestos bioactivos en los encapsulados a través de la cromatografía de gases/espectrometría de masas, el ácido giberólico, 2-furanmetanol y nerol fueron los principales compuestos identificados en los encapsulados del extracto y la infusión.
- Futuros análisis son requeridos para descartar posibles efectos toxicológicos de los encapsulados.
- Así, tras la ejecución y análisis de la investigación, la encapsulación por secado por aspersión permitió preservar las propiedades bioactivas del extracto e infusión de las hojas de *Tecoma stans*. Permitiendo obtener un polvo con futuro potencial de seguir siendo investigado y de poder ser utilizado como ingrediente funcional que mejore las propiedades de matrices alimentarias y cuyo uso resulte en el mejoramiento de la salud, a través de la prevención/tratamiento de padecimientos crónicos como la diabetes.

## 10. Bibliografía

- Aarland, R. C., Peralta-Gómez, S., Sánchez, C. M., Parra-Bustamante, F., Villa-Hernández, J. M., León-Sánchez, F. D. D., Pérez-Flores, L.J., Rivera-Cabrera, F. & Mendoza-Espinoza, J. A. (2015). A pharmacological and phytochemical study of medicinal plants used in Mexican folk medicine. *Indian Journal of Traditional Knowledge*. 14(4), 550-557.
- Adefegha, S. A. (2018). Functional foods and nutraceuticals as dietary intervention in chronic diseases; novel perspectives for health promotion and disease prevention. *Journal of Dietary Supplements*, 15(6), 977-1009.
- Aguilar-Santamaría, L., Ramírez, G., Nicasio, P., Alegría-Reyes, C., & Herrera-Arellano, A. (2009). Antidiabetic activities of *Tecoma stans* (L.) Juss. ex Kunth. *Journal of Ethnopharmacology*, 124(2), 284-288.
- Alamgir, A. N. M. (2017). *Therapeutic use of medicinal plants and their extracts: volume 1*. Springer International Publishing AG.

- Al-Azzawi, A. M., Al-Khateeb, E., Al-Samraei, K., & Al-Juboori, A. G. (2012). Antibacterial activity and the histopathological study of crude extracts and isolated tecomine from *Tecoma stans* Bignoniaceae in Iraq. *Pharmacognosy Research*, 4(1), 37.
- Al-Judaibi, A., & Al-Yousef, F. (2014). Antifungal effect of ethanol plant extract on *Candida* sp. *American Journal of Agricultural and Biological Sciences*, 9(3), 277-283.
- Alu'datt, M. H., Alrosan, M., Gammoh, S., Tranchant, C. C., Alhamad, M. N., Rababah, T., Roa', Alzougl., Alzoubi, H., Ghatashes, S. & Tan, T. C. (2022). Encapsulation-based films for bioactive compounds and their application in the food industry: A roadmap for food-derived functional and healthy ingredients. *Food Bioscience*, 101971.
- Anand, M., & Basavaraju, R. (2021). A review on phytochemistry and pharmacological uses of *Tecoma stans* (L.) Juss. ex Kunth. *Journal of Ethnopharmacology*, 265, 113270.
- Arumugham, T., Krishnamoorthy, R., AlYammahi, J., Hasan, S. W., & Banat, F. (2023). Spray dried date fruit extract with a maltodextrin/gum arabic binary blend carrier agent system: Process optimization and product quality. *International Journal of Biological Macromolecules*, 238, 124340.
- Bajalan, I., Rouzbahani, R., Pirbalouti, A. G., & Maggi, F. (2017). Antioxidant and antibacterial activities of the essential oils obtained from seven Iranian populations of *Rosmarinus officinalis*. *Industrial crops and products*, 107, 305-311.
- Bakr, R. O., Fayed, M. A. A., Salem, M. A., & Hussein, A. S. (2019). *Tecoma stans*: Alkaloid profile and antimicrobial activity. *Journal of Pharmacy & Bioallied Sciences*, 11(4), 341-347.
- Banwo, K., Olojede, A. O., Adesulu-Dahunsi, A. T., Verma, D. K., Thakur, M., Tripathy, S., Singh, S., Patel, A. R., Gupta, A. K., Aguilar, C. N. & Utama, G. L. (2021). Functional importance of bioactive compounds of foods with Potential Health Benefits: A review on recent trends. *Food Bioscience*, 43, 101320.
- Belščak-Cvitanović, A., & Komes, D. (2017). Extraction and formulation of bioactive compounds. *Handbook of coffee processing by-products* (pp. 93-140). Chania, Greece. Academic Press.
- Bernhoft, A., Siem, H., Bjertness, E., Meltzer, M., Flaten, T., & Holmsen, E. (2010). Bioactive compounds in plants—benefits and risks for man and animals. *The Norwegian Academy of Science and Letters*, Oslo, Norway.
- Biblioteca Digital de la Medicina Tradicional Mexicana (2009). Atlas de las Plantas de la Medicina Tradicional Mexicana. México. Recuperado de: <http://www.medicinatradicionalmexicana.unam.mx/apmtm/termino.php?l=3&t=tecoma-stans>
- Caliskan, G., & Dirim, S. N. (2013). The effects of the different drying conditions and the amounts of maltodextrin addition during spray drying of sumac extract. *Food and Bioprocess Processing*, 9(4), 539-548.

- Chen, L., Lu, X., El-Seedi, H., & Teng, H. (2019). Recent advances in the development of sesquiterpenoids in the treatment of type 2 diabetes. *Trends in Food Science & Technology*, *88*, 46-56.
- Comisión Nacional para el Uso y Conocimiento de la Biodiversidad (s.f.) *Tecoma stans*. Recuperado de: [http://www.conabio.gob.mx/conocimiento/info\\_especies/arboles/doctos/12-bigno8m.PDF](http://www.conabio.gob.mx/conocimiento/info_especies/arboles/doctos/12-bigno8m.PDF)
- Conde-Hernández, L. A., & Guerrero-Beltrán, J. Á. (2014). Total phenolics and antioxidant activity of *Piper auritum* and *Porophyllum ruderale*. *Food chemistry*, *142*, 455-460.
- Conde-Hernández, L. A., Luna-Guevara, M. L., Luna-Guevara, J. J., Pérez-Vázquez, J., & Aranda-García, R. J. (2021). Mexican Sage (*Salvia officinalis*) Extraction Using Factorial Design and Its Effect on Chemical and Antibacterial Properties. *Journal of Chemistry*, *2021*, 1-10.
- Constantino, L., Raimondi, L., Pirisino, R., Brunetti, T., Pessotto, P., Giannessi, F., ... & El-Abady, S. A. (2003). Isolation and pharmacological activities of the *Tecoma stans* alkaloids. *Il Farmaco*, *58*(9), 781-785.
- Cseke, L. J., Kirakosyan, A., Kaufman, P. B., Warber, S. L., Duke, J. A. & Brielman, H. L., (2006). *Natural Products from Plants*. Second Edition. Boca Raton, FL.: CRC PRESS.
- da Silva, R. F, Carneiro, C. N., de Sousa, C. B., Gomez, F. J., Espino, M., Boiteux, J., Fernandez, M., Silva, M. F., Días, F. D. S. (2022). Sustainable extraction bioactive compounds procedures in medicinal plants based on the principles of green analytical chemistry: A review. *Microchemical Journal*. *175*(107185).
- Đorđević, V., Balanč, B., Belščak-Cvitanović, A., Lević, S., Kalušević, A., Kostić, I., Komes, D., Bugarski, B. & Nedović, V. (2015). Trends in encapsulation technologies for delivery of food bioactive compounds. *Food Engineering Reviews*, *7*(4), 452-490.
- Elfalleh, W., Kirkan, B., & Sarikurkcü, C. (2019). Antioxidant potential and phenolic composition of extracts from *Stachys tmolea*: An endemic plant from Turkey. *Industrial crops and products*, *127*, 212-216.
- Esmaeili, F., Hashemiravan, M., Eshaghi, M. R., & Gandomi, H. (2022). Encapsulation of *Arctium lappa* L. root extracts by spray-drying and freeze-drying using maltodextrin and Gum Arabic as coating agents and its application in synbiotic orange-carrot juice. *Journal of Food Measurement and Characterization*, *16*(4), 2908-2921.
- Evangelina, R. M., Murugan, N., Kumar, P. P., & Christudas, I. N. (2015). In vitro studies on  $\alpha$ -glucosidase inhibition, antioxidant and free radical scavenging properties of *Tecoma stans*. *Int. J. Pharm. Pharmaceut. Sci*, *7*, 44-49.
- Fang, Z., & Bhandari, B. (2012). Comparing the efficiency of protein and maltodextrin on spray drying of bayberry juice. *Food Research International*, *48*(2), 478-483.

- George, S., Thomas, A., Kumar, M. V. P., Kamdod, A. S., Rajput, A., & Abdullah, S. (2023). Impact of processing parameters on the quality attributes of spray-dried powders: a review. *European Food Research and Technology*, 249(2), 241-257.
- Gill, B. S., & Qiu, F. (2020). Technologies for extraction and production of bioactive compounds. *Biotechnological Production of Bioactive Compounds* (pp. 1-36). Elsevier.
- Govindappa, M., Sadananda, T. S., Channabasava, R., & Raghavendra, V. B. (2011). In vitro anti-inflammatory, lipoxygenase, xanthine oxidase and acetylcholinesterase inhibitory activity of *Tecoma stans* (L.) Juss. Ex kunth. *International Journal of Pharma and Bio Sciences*, 2(2), 275-285.
- Guía-García, J. L., Charles-Rodríguez, A. V., Reyes-Valdés, M. H., Ramírez-Godina, F., Robledo-Olivo, A., García-Osuna, H. T., Cerqueira, M.A. & Flores-López, M. L. (2022). Micro and nanoencapsulation of bioactive compounds for agri-food applications: A review. *Industrial Crops and Products*, 186, 115198.
- INEGI (2021). Estadísticas a propósito del día mundial contra el cáncer. Recuperado de: [https://www.inegi.org.mx/contenidos/saladeprensa/aproposito/2021/cancer2021\\_Nal.pdf](https://www.inegi.org.mx/contenidos/saladeprensa/aproposito/2021/cancer2021_Nal.pdf)
- INEGI (2021). Estadísticas a propósito del día mundial de la diabetes. Datos Nacionales. Recuperado de: [https://www.inegi.org.mx/contenidos/saladeprensa/aproposito/2021/EAP\\_Diabetes2021.pdf](https://www.inegi.org.mx/contenidos/saladeprensa/aproposito/2021/EAP_Diabetes2021.pdf)
- International Organization for Standardization. (2010). *Food products – Determination of glycemic index (GI) and recommendation for food classification* (ISO 26642).
- Ittagi, S., Merugumolu, V. K., & Siddamsetty, R. S. (2014). Cardioprotective effect of hydroalcoholic extract of *Tecoma stans* flowers against isoproterenol induced myocardial infarction in rats. *Asian Pacific Journal of Tropical Disease*, 4, S378-S384.
- Jangam, S.V., & Thorat, B.N. (2010) Optimization of spray drying of ginger extract, *Drying Technology*, 28, 1426-1434.
- Jethinlalkhosh, J., & Lathika, V. (2012). Screening of phytochemical constituents and antimicrobial activity of traditional medicinal plants. *International Journal of Research in Pharmaceutical Sciences*, 3(3), 461-465.
- Jha, A. K., & Sit, N. (2022). Extraction of bioactive compounds from plant materials using combination of various novel methods: A review. *Trends in Food Science & Technology*, 119, 579-591.
- Jimenez-González, O., Luna-Guevara, J. J., Ramírez-Rodrigues, M. M., Luna-Vital, D., & Luna-Guevara, M. L. (2022). Microencapsulation of *Renealmia alpinia* (Rottb.) Maas pulp pigment and antioxidant compounds by spray-drying and its incorporation in yogurt. *Journal of Food Science and Technology*, 59(3), 1162-1172.

- Jimenez-González, O., Ruiz-Espinosa, H., Luna-Guevara, J. J., Ochoa-Velasco, C. E., Vital, D. L., & Luna-Guevara, M. L. (2018). A potential natural coloring agent with antioxidant properties: Microencapsulates of *Renealmia alpinia* (Rottb.) Maas fruit pericarp. *NFS journal*, 13, 1-9.
- Jovanović, M., Čujić-Nikolić, N., Drinić, Z., Janković, T., Marković, S., Petrović, P., & Šavikin, K. (2021). Spray drying of *Gentiana asclepiadea* L. root extract: Successful encapsulation into powders with preserved stability of bioactive compounds. *Industrial Crops and Products*, 172, 114044.
- Kabera, J. N., Semana, E., Mussa, A. R., & He, X. (2014). Plant secondary metabolites: biosynthesis, classification, function and pharmacological properties. *Journal of Pharmacy and Pharmacology*, 2(7), 377-392.
- Khalifa, I., Li, M., Mamet, T., & Li, C. (2019). Maltodextrin or gum Arabic with whey proteins as wall-material blends increased the stability and physiochemical characteristics of mulberry microparticles. *Food Bioscience*, 31, 100445.
- Koç, G. Ç., & Dirim, S. N. (2018). Spray dried spinach juice: powder properties. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 12, 1654-1668.
- Krishnaiah, D., Sarbatly, R., & Nithyanandam, R. (2012). Microencapsulation of *Morinda citrifolia* L. extract by spray-drying. *Chemical engineering research and design*, 90(5), 622-632.
- Kumar, P. M., Suba, V., Reddy, R. B., & Babu, S. P. (2018). Anthelmintic evaluation of *Eicchornia crassipes* and *Tecoma stans* flower extracts. *Tropical Journal of Natural Product Research*, 2(2), 106-108.
- Larbie, C., Emikpe, B. O., Akpor, S. A., Adams, E., Adjei, C. O., Oyagbemi, A. A., & Jarikre, T. A. (2020). Ameliorative effect of extract of *Tecoma stans* (L.) Juss. ex kunth leaves against CCl<sub>4</sub>-and acetaminophen—induced liver damage in rats. *Advances in Traditional Medicine*, 1-8.
- Larbie, C., Owusu Nyarkoh, C., & Owusu Adjei, C. (2019). Phytochemical and safety evaluation of hydroethanolic leaf extract of *Tecoma stans* (L.) juss. ex kunth. *Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine*, 2019.
- Li, H. B., Wong, C. C., Cheng, K. W., & Chen, F. (2008). Antioxidant properties in vitro and total phenolic contents in methanol extracts from medicinal plants. *LWT-Food Science and Technology*, 41(3), 385-390.
- Li, S., Li, S. K., Gan, R. Y., Song, F. L., Kuang, L., & Li, H. B. (2013). Antioxidant capacities and total phenolic contents of infusions from 223 medicinal plants. *Industrial Crops and Products*, 51, 289-298.
- Lizcano, L. J., Bakkali, F., Ruiz-Larrea, M. B., & Ruiz-Sanz, J. I. (2010). Antioxidant activity and polyphenol content of aqueous extracts from Colombian Amazonian plants with medicinal use. *Food Chemistry*, 119(4), 1566-1570.

- Lobstein, T., Brinsden, H., & Neveux, M. (2022). *World Obesity Atlas 2022*. Recuperado de: <https://www.worldobesity.org/resources/resource-library/world-obesity-atlas-2022>
- Lu, W., Yang, X., Shen, J., Li, Z., Tan, S., Liu, W., & Cheng, Z. (2021). Choosing the appropriate wall materials for spray-drying microencapsulation of natural bioactive ingredients: Taking phenolic compounds as examples. *Powder Technology*, *394*, 562-574.
- Luna-Guevara, M. L., Luna-Guevara, J. J., Hernández-Carranza, P., Ruíz-Espinosa, H., & Ochoa-Velasco, C. E. (2018). Phenolic compounds: A good choice against chronic degenerative diseases. *Studies in natural products chemistry*, *59*, 79-108.
- Mahdi, A. A., Mohammed, J. K., Al-Ansi, W., Ghaleb, A. D., Al-Maqtari, Q. A., Ma, M., Ahmed, M.I. & Wang, H. (2020). Microencapsulation of fingered citron extract with gum arabic, modified starch, whey protein, and maltodextrin using spray drying. *International Journal of Biological Macromolecules*, *152*, 1125-1134.
- Mandaji, C. M., da Silva Pena, R., & Chisté, R. C. (2022). Encapsulation of bioactive compounds extracted from plants of genus *Hibiscus*: A review of selected techniques and applications. *Food Research International*, *151*, 110820.
- Manousi, N., Sarakatsianos, I., & Samanidou, V. (2019). Extraction techniques of phenolic compounds and other bioactive compounds from medicinal and aromatic plants. In *Engineering tools in the beverage industry* (pp. 283-314). Woodhead Publishing.
- Mohamed, Z. S., Yousry, M. G., LM, C., Nader, A. E. S., & AZM, S. (2013). Antioxidant and antibacterial activities of leaves and branches extracts of *Tecoma stans* (L.) Juss. ex Kunth against nine species of pathogenic bacteria. *African Journal of Microbiology Research*, *7*(5), 418-426.
- More, P. R., Jambrak, A. R., & Arya, S. S. (2022). Green, environment-friendly and sustainable techniques for extraction of food bioactive compounds and waste valorization. *Trends in Food Science & Technology*. *128*. 296-315.
- Mudalip, S. A., Khatiman, M. N., Hashim, N. A., Man, R. C., & Arshad, Z. I. M. (2021). A short review on encapsulation of bioactive compounds using different drying techniques. *Materials Today: Proceedings*, *42*, 288-296.
- Mukherjee, A., Gaurav, A. K., Singh, S., Yadav, S., Bhowmick, S., Abeyasinghe, S., & Verma, J. P. (2022). The bioactive potential of phytohormones: A review. *Biotechnology Reports*, e00748.
- Nguyen, K. Q., Davy, P., Scarlett, C. J., & Vuong, Q. V. (2021). Optimal encapsulation of maroon bush (*Scaevola spinescens* R. Br.) extract enriched with bioactive compounds. *Applied Food Research*, *1*(2), 100009.
- NORMA Oficial Mexicana NOM-116-SSA1-1994, Bienes y servicios. Determinación de humedad en alimentos por tratamiento térmico. Método por arena o gasa.

Recuperado

de:

<http://www.ordenjuridico.gob.mx/Documentos/Federal/wo69540.pdf>

- Organización Mundial de la Salud. (2022). Enfermedades no transmisibles. Recuperado de: <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/noncommunicable-diseases>
- Osada, Y., & Shibamoto, T. (2006). Antioxidative activity of volatile extracts from Maillard model systems. *Food chemistry*, 98(3), 522-528.
- Osamede A., J., & Kaewmanee, T. (2019). Microencapsulation of Moringa oleifera leaf extracts with vegetable protein as wall materials. *Food Science and Technology International*, 25(6), 533-543.
- Pasri, P., Mermillod, P., & Khempaka, S. (2023). Antioxidant properties and cytotoxic effects of selected edible plants in Southeast Asia for further use as phytogetic antioxidant additives. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 30(5), 103631.
- Pelton, J. (1964). A survey on the Ecology of Tecoma stans. *Butler University Botanical Studies*, 53-88.
- Prakash, B., Kujur, A., Singh, A. K., Kumar, A. & Yadav, A. (2017). Plants-Derived Bioactive Compounds as Functional Food Ingredients and Food Preservative. *J Nutr Food Sci*. 7(004).
- Rajamurugan, R., Thirunavukkarasu, C., Sakthivel, V., Sivashanmugam, M., & Raghavan, C. M. (2013). Phytochemical screening, antioxidant and antimicrobial activities of ethanolic extract of Tecoma stans flowers.
- Saleem, H., Khurshid, U., Sarfraz, M., Tousif, M. I., Alamri, A., Anwar, S., Alamri, A., Ahmad, H.H., Mahomoodally, F.M. & Ahemad, N. (2021). A comprehensive phytochemical, biological, toxicological and molecular docking evaluation of Suaeda fruticosa (L.) Forssk.: An edible halophyte medicinal plant. *Food and Chemical Toxicology*, 154, 112348.
- Salehi, B., Ata, A., V. Anil Kumar, N., Sharopov, F., Ramírez-Alarcón, K., Ruiz-Ortega, A., Abdulmajid Ayatollahi, S., Tsouh Fokou, P. V., Kobarfard, F., Zakaria, Z. A., Iriti, M., Taheri, Y., Martorell, M., Sureda, A., Capasso, R., Ostrander, E. A., -ur-Rahman, A., Choudhary, M. I., Cho, W. C., & Sharifi-Rad, J. (2019). Antidiabetic potential of medicinal plants and their active components. *Biomolecules*, 9(10), 551.
- Sarabandi, K., Jafari, S. M., Mahoonak, A. S., & Mohammadi, A. (2019). Application of gum Arabic and maltodextrin for encapsulation of eggplant peel extract as a natural antioxidant and color source. *International journal of biological macromolecules*, 140, 59-68.
- Sbihi, H. M., Mokbli, S., Nehdi, I. A., & Ilbrahim, S. (2015). Physico-chemical properties of Tecoma stans Linn. Seed oil: a new crop for vegetable oil. *Natural Product Research*, 29(13). 1249-1255.

- Schwechheimer, C. (2008). Understanding gibberellic acid signaling—are we there yet?. *Current opinion in plant biology*, 11(1), 9-15.
- Secretaría de Salud (2010). Rendición de Cuentas en Salud 2009. Recuperado de: [https://www3.paho.org/mex/index.php?option=com\\_content&view=article&id=202:rendicion-cuentas&Itemid=312](https://www3.paho.org/mex/index.php?option=com_content&view=article&id=202:rendicion-cuentas&Itemid=312)
- Senevirathne, B. S., Jayasinghe, M. A., Pavalakumar, D., & Siriwardhana, C. G. (2022). Ceylon cinnamon: a versatile ingredient for futuristic diabetes management. *Journal of Future Foods*, 2(2), 125-142.
- Senthilkumar, C. S., Kumar, M. S., & Pandian, M. R. (2010). In Vitro Antibacterial activity of crude leaf extracts from *Tecoma stans* (L) Juss. et Kunth, *Coleus Forskohlii* and *Pogostemon Patchouli* against human pathogenic bacteria. *International Journal of PharmTech Research*, 2(1), 438-442.
- Shanmukha, I., & Kumar, V. (2013). Protective effect of *Tecoma stans* leaf extract on Experimentally induced gastric ulcers in rats. *Int. J. Drug Dev. Res*, 5, 231-236
- Sharma, R., Martins, N., Chaudhary, A., Garg, N., Sharma, V., Kuca, K., Nepovimova, E., Tuli, H. S., Bishayee, A., Chaudhary, A. & Prajapati, P. K. (2020). Adjunct use of honey in diabetes mellitus: A consensus or conundrum?. *Trends in Food Science & Technology*, 106, 254-274.
- Sharma, R., Rashidinejad, A., & Jafari, S. M. (2022). Application of spray dried encapsulated probiotics in functional food formulations. *Food and Bioprocess Technology*, 15(10), 2135-2154.
- Shrinet, K., Singh, R. K., Chaurasia, A. K., Tripathi, A., & Kumar, A. (2021). Bioactive compounds and their future therapeutic applications. *Natural Bioactive Compounds* (pp. 337-362). Academic Press.
- Silva, E. M., Souza, J. N. S., Rogez, H., Rees, J. F., & Larondelle, Y. (2007). Antioxidant activities and polyphenolic contents of fifteen selected plant species from the Amazonian region. *Food chemistry*, 101(3), 1012-1018.
- Singh, A., Nagori, B. P., & Mathur, K. (2013). *Tecoma stans*: an important medicinal plant. *International journal of pharmaceutical erudition*, 3(2), 13-21.
- Singthong, J., Oonsivilai, R., Onmetta-Aree, J., & Ningsanond, S. (2014). Bioactive compounds and encapsulation of Yanang (*Tiliacora triandra*) leaves. *African Journal of Traditional, Complementary and Alternative Medicines*, 11(3), 76-84.
- Smaoui, S., Hlima, H. B., Braïek, O. B., Ennouri, K., Mellouli, L., & Khaneghah, A. M. (2021). Recent advancements in encapsulation of bioactive compounds as a promising technique for meat preservation. *Meat Science*, 181, 108585.
- Sridharan, G., Sarvanan, R., & Brindha, P. (2014). Evaluation of Anticancer Potentials of *Tecoma stans* (L). Juss. Ex. Kunth against EAC Cell Lines. *International Journal of Pharmacy and Pharmaceutical Sciences*, 6(1), 88-92.

- Swarna, S. K., Nivedhitha, M. S., Gayathri, R., Selvaraj, J., & Madhan, K. (2019). Comparative Evaluation of Anti-Inflammatory Potential of Ethanolic Extract of Leaf, Bark and Flower of *Tecoma stans* with Ibuprofen-An In vitro Analysis. *Pharmacognosy Journal*, 11(5).
- Szwajgier, D., Baranowska-Wójcik, E., Kukula-Koch, W., Kowalik, K., Polak-Berecka, M., & Waśko, A. (2021). Evolution of the anticholinesterase, antioxidant, and anti-inflammatory activity of *Epilobium angustifolium* L. infusion during in vitro digestion. *Journal of Functional Foods*, 85, 104645.
- Tonon, R. V., Brabet, C., & Hubinger, M. D. (2010). Anthocyanin stability and antioxidant activity of spray-dried açai (*Euterpe oleracea* Mart.) juice produced with different carrier agents. *Food Research International*, 43(3), 907–914.
- Tontul, I., & Topuz, A. (2017). Spray-drying of fruit and vegetable juices: Effect of drying conditions on the product yield and physical properties. *Trends in food science & technology*, 63, 91-102.
- Vissotto, F. Z., Jorge, L. C., Makita, G. T., Rodrigues, M. I., & Menegalli, F. C. (2010) Influence of the process parameters and sugar granulometry on cocoa beverage powder steam agglomeration. *Journal of Food Engineering*, 97, 283–291
- Visvanathan, R., Jayathilake, C., Liyanage, R., & Sivakanesan, R. (2019). Applicability and reliability of the glucose oxidase method in assessing  $\alpha$ -amylase activity. *Food chemistry*, 275, 265-272.
- Webb, G. P. (2007). *Complementos nutricionales y alimentos funcionales*. México: Acribia.
- Wolever et al., (1997). Técnica para la determinación del IG". *American Journal of Clinical Nutrition*.
- Xiao, Z., Xia, J., Zhao, Q., Niu, Y., & Zhao, D. (2022). Maltodextrin as wall material for microcapsules: A review. *Carbohydrate Polymers*, 120113.
- Yang, F., Chen, L., Zhao, D., Guo, T., Yu, D., Zhang, X., Li, P. & Chen, J. (2023). A novel water-soluble chitosan grafted with nerol: Synthesis, characterization and biological activity. *International Journal of Biological Macromolecules*, 232, 123498.
- Žlabur, J. Š., Voća, S., Brnč, M., & Rimac-Brnč, S. (2018). New trends in food technology for green recovery of bioactive compounds from plant materials. *Role of materials science in food bioengineering* (pp. 1-36). Academic Press.

## 11. Anexos

### Anexo 1 Identificación taxonómica



No. oficio HJ-107/2023

**Dra. María Lorena Luna Guevara**  
**Profesora Investigadora**  
**Colegio de Ingeniería en**  
**alimentos**  
**Facultad de Ingeniería Química**  
**PRESENTE**

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:

Nombre Científico	Familia	Colector / Num. Colecta/ID
<i>Tecoma stans</i> (L.) Juss. ex Kunth var. <i>stans</i>	BIGNONIACEAE	JRGJ1/88909

Sin más por el momento me despido de usted.

**Atentamente**  
**“Pensar Bien, Para Vivir Mejor”**

H. Puebla de 2 a 28 de Abril de 2023

  
**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

## Anexo 2: Constancias

### 2.1 Programa "Haciendo ciencia en la BUAP"



#### A QUIEN CORRESPONDA:

El que suscribe Dr. José Eduardo Espinosa Rosales, Director de Divulgación Científica de la Vicerrectoría de Investigación y Estudios de Posgrado, de la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, hace constar que

#### **Jair Rafael García Jiménez**

Participó con el proyecto de investigación: "Actividades de Tecoma stans y potenciales aplicaciones en Alimentos", bajo la asesoría de la **Dra. María Lorena Luna Guevara**, en el *Programa **Haciendo Ciencia en la BUAP 2021***, mismo que se llevó a cabo del 02 de agosto al 24 de septiembre de 2021.

Se extiende la presente en la Heroica Puebla de Zaragoza a los veintisiete días del mes de septiembre del año dos mil veintiuno.

Atentamente  
"Pensar Bien, para Vivir Mejor"

Vicerrectoría de Investigación y  
Estudios de Posgrado

4 Sur 303 Planta Alta  
Col. Centro Histórico  
Puebla C.P. 72000  
Teléfonos E2295500 Exti 5720, 5721

## 2.2 Estancia “XXVII Verano de la Investigación Científica y Tecnológica del Pacífico”



### A QUIEN CORRESPONDA PRESENTE

Me permito hacer **CONSTAR** que el C. **Jair Rafael García Jiménez**, estudiante de la *Benemérita Universidad Autónoma de Puebla*, realizó la **Estancia Presencial** del XXVII Verano de la Investigación Científica y Tecnológica del Pacífico, en el periodo del 20 de junio al 5 de agosto de 2022, colaborando en el proyecto *"EFECTO DEL PROCESAMIENTO CON TECNOLOGÍAS EMERGENTES DE UNA BEBIDA HECHA DE UNA MEZCLA DE FRUTAS"*, asesorado por el **Dr. Carlos Guillermo Valdivia Nájar**, investigador del *Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco, A.C. (CONACYT)*.

Sin otro particular, se extiende la presente para los fines que al interesado convengan, el día cinco de agosto de dos mil veintidos, en la Ciudad de Tepic, Nayarit; México.

ATENTAMENTE  
"POR UNA CULTURA CIENTÍFICA"

MTRO. CARLOS HUMBERTO JIMÉNEZ GONZÁLEZ  
COORDINADOR GENERAL



COORDINACIÓN GENERAL



## 2.3 Congreso Internacional del XXVII Verano de la Investigación Científica y Tecnológica del Pacífico



El Programa Interinstitucional para el Fortalecimiento de la Investigación y el Posgrado del Pacífico, a través de la Universidad Autónoma de Nayarit otorga el presente

# Reconocimiento

a: **Jair Rafael García Jiménez**

Por su destacada participación como **ponente** en el Congreso Internacional del XXVII Verano de la Investigación Científica y Tecnológica del Pacífico, realizado del 31 de agosto al 3 de septiembre de 2022

Nuevo Nayarit, México

"Por una cultura científica"

Mtro. Carlos Humberto Jiménez González  
Coordinador General del Programa

"Por lo nuestro a lo universal"

Dra. Norma Liliana Galván Meza  
Presidenta del Honorable Consejo General  
Rectora de la Universidad Autónoma de Nayarit

