



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

Maestría en Ingeniería Química

“Composición química y actividad antioxidante de extractos
de *Jatropha oaxacana* obtenidos mediante ultrasonido”

TESIS

PARA OBTENER EL GRADO DE:

Maestra en Ingeniería Química

PRESENTA:

I.Q.I. Azucena Tornel Miguel

DIRECTOR DE TESIS:

Dra. Lilia Alejandra Conde Hernández

CO-DIRECTOR DE TESIS:

Dr. Rubén Jonatan Aranda García

No. De CVU: 1305455

Septiembre 2025

DEDICATORIA

Con un profundo agradecimiento y amor: a Dios por darme grandes capacidades, amor, salud y sabiduría a lo largo de mi formación como ser humano y como profesionista. A Jesús mi salvador, por ser mi apoyo, guía y consuelo en cada momento de mi vida. A San Miguel Arcángel, mi fuente de protección y salvación. A todos los santos y ángeles a quienes he pedido siempre su intercesión. A mis padres y hermana por sus enseñanzas, esfuerzo, amor y apoyo incondicional en cada aspecto de mi vida, por ser una fuente de superación, inspiración y motivación. Al Ing. Adair J. Sánchez Cruz por compartir conmigo estos años de estudio y trabajo, por tu apoyo absoluto, por tus enseñanzas, por ser conmigo una gran persona y compartir nuestros sueños y experiencias casi toda una vida; a tus padres por su cariño y apoyo siempre que lo necesité. A mis abuelitos, por sus cuidados y amor, por sus enseñanzas y por recordarme siempre el valor de nuestra cultura y origen. A cada integrante de mi familia, personas, compañeros y maestros que contribuyeron en mi formación académica y humana, ya que las experiencias, independientemente de su origen, han sido para mí una fuente de aprendizaje y crecimiento.

Agradezco profundamente al Dr. Agustín Fuentes y al Sr. Alejandro, por ser una guía y luz en mis momentos más oscuros, gracias a ustedes mi forma de percibir la realidad es otra, y mi vida está en un mejor camino.

Gracias Dios por tu gracia, que se ha manifestado en las personas buenas que has puesto en mi camino y por todos los factores que contribuyeron para tener este logro más en mi vida profesional.

AGRADECIMIENTOS

Primeramente, quisiera expresar mi profundo agradecimiento al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por la beca otorgada (CVU. 1305455), gracias a su apoyo económico, pude dedicarme por completo a mi proyecto de investigación y desarrollo profesional. De igual forma, agradezco profundamente a la Facultad de Ingeniería Química de la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla (BUAP) por darme la oportunidad de inicial y culminar mis estudios de maestría, y a los docentes e investigadores de esta facultad por contribuir en mi formación académica. Especialmente, expreso mi profundo agradecimiento a la Dra. Lilia Alejandra Conde Hernández, mi asesora de tesis, por su guía durante este proceso, por su apoyo, dedicación y por compartir conmigo sus conocimientos y experiencia, su enseñanza fue fundamental para la realización de este proyecto. También, agradezco el gran apoyo del Dr. Rubén Jonatán Aranda García, sus conocimientos, profesionalismo, observaciones y experiencia fueron de gran utilidad durante esta investigación. Asimismo, agradezco a la Dra. Zaida Nelly Juárez por su invaluable colaboración en esta investigación, su orientación y ayuda fueron fundamentales para el desarrollo experimental de este proyecto. Finalmente, extendiendo mi agradecimiento a los compañeros, familiares y a todos aquellos que contribuyeron de alguna forma en la realización de esta tesis, sus gestos de apoyo fueron cruciales para culminar este proyecto.

ÍNDICE

DEDICATORIA	2
AGRADECIMIENTOS	3
ÍNDICE DE TABLAS	7
ÍNDICE DE FIGURAS	8
RESUMEN	10
ABSTRACT	10
1. INTRODUCCIÓN	12
2. ANTECEDENTES DEL PROYECTO	14
2.1. Plantas medicinales	14
2.1.1. Generalidades	14
2.1.2. Compuestos bioactivos	14
2.2. Fitoquímica	14
2.2.1. Compuestos fenólicos	14
2.2.2. Componentes químicos de extractos vegetales	15
2.3. Extracción de compuestos bioactivos	19
2.3.1. Generalidades	19
2.3.2. Métodos convencionales	19
2.3.3. Métodos no convencionales	20
2.4. Género <i>Jatropha</i>	21
2.4.1. Generalidades	21
2.4.2. Fitoquímica y usos medicinales	23
2.4.3. Toxicidad	25
2.5. Sangre de grado (<i>Jatropha oaxacana</i>)	25
2.5.1. Generalidades	25
2.5.2. Usos	28

2.5.3.	Propiedades farmacológicas	29
2.5.4.	Compuestos bioactivos	29
3.	HIPÓTESIS	29
4.	JUSTIFICACIÓN	30
5.	OBJETIVOS GENERALES Y ESPECÍFICOS	31
5.1.	Objetivo general	31
5.2.	Objetivos específicos	31
6.	METODOLOGÍA.....	31
6.1.	Plan de trabajo.....	31
6.2.	Obtención y caracterización de la materia prima	32
6.3.	Acondicionamiento de la materia prima	33
6.4.	Determinación de la humedad de las hojas, tallo y fruto de <i>Jatropha oaxacana</i>	34
6.5.	Diseño de experimentos	35
6.6.	Extracción de los compuestos bioactivos de las hojas, tallo y fruto de <i>Jatropha oaxacana</i> mediante la técnica de extracción asistida por ultrasonido (UAE).....	37
6.7.	Medición de los compuestos fenólicos totales de los extractos acuosos de las hojas, tallo y fruto de <i>Jatropha oaxacana</i>	38
6.8.	Evaluación de la actividad antioxidante de los extractos acuosos de las hojas, tallo y fruto de <i>Jatropha oaxacana</i>	39
6.8.1.	Método ABTS	39
6.8.2.	Método DPPH	40
6.9.	Determinación de la composición química de las hojas de <i>Jatropha oaxacana</i>	41
6.10.	Análisis estadístico de resultados.....	42
6.11.	Determinación de la toxicidad de los extractos acuosos de las hojas, tallo y fruto de <i>Jatropha oaxacana</i> en el modelo de <i>Artemia salina</i>	42
6.12.	Evaluación de la actividad insecticida del extracto acuoso de las hojas de <i>Jatropha oaxacana</i> en <i>Ullumoides dermestoides</i>	45

7.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	46
7.1.	Resultado de la identificación taxonómica del material vegetal	46
7.2.	Determinación de la humedad de las hojas, tallo y fruto de <i>Jatropha oaxacana</i>	47
7.3.	Determinación de la composición química de las hojas de <i>Jatropha oaxacana</i>	49
7.4.	Análisis estadístico de resultados	53
7.4.1.	Medición de los compuestos fenólicos totales de los extractos acuosos de las hojas, tallo y fruto de <i>Jatropha oaxacana</i>	53
7.4.2.	Evaluación de la actividad antioxidante de los extractos acuosos de las hojas, tallo y fruto de <i>Jatropha oaxacana</i>	61
7.4.2.1.	Método ABTS	64
7.4.2.2.	Método DPPH.....	68
7.5.	Determinación de la toxicidad de los extractos acuosos de las hojas, tallo y fruto de <i>Jatropha oaxacana</i> en el modelo de <i>Artemia salina</i>	74
7.6.	Evaluación de la actividad insecticida del extracto acuoso de las hojas de <i>Jatropha oaxacana</i> en <i>Ullumoides dermestoides</i>	75
8.	CONCLUSIONES	79
9.	RECOMENDACIONES	81
10.	BIBLIOGRAFÍA	82
	ANEXOS	90

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Especies presentes en las regiones de mayor distribución del género <i>Jatropha</i> en México (Ídem, 2015).	22
Tabla 2. Factores y niveles considerados en el diseño de experimentos.....	35
Tabla 3. Factores y niveles del diseño factorial 3 ³ para la selección del extracto de <i>Jatropha oaxacana</i> con mayor actividad antioxidante.	36
Tabla 4. Cantidades de extractos, agua destilada y agua de mar artificial utilizadas en cada muestra para el bioensayo con <i>Artemia</i> spp.	42
Tabla 5. Volumen del extracto acuoso de las hojas de <i>Jatropha oaxacana</i> (V1), utilizado para distintas concentraciones.	45
Tabla 6. Resultados de la determinación de la humedad de las hojas, tallo y fruto de <i>Jatropha oaxacana</i>	48
Tabla 7. Porcentaje de humedad de las hojas, tallo y fruto de <i>Jatropha oaxacana</i>	48
Tabla 8. Compuestos químicos presentes en el extracto etanólico de las hojas de <i>Jatropha oaxacana</i> obtenido por ultrasonido a una relación de 0.1 g/10 mL.	49
Tabla 9. Conversión de unidades de los resultados de la medición de compuestos fenólicos totales para el tratamiento de los datos en Minitab 22.	53
Tabla 10. Resultados de la medición por duplicado de compuestos fenólicos totales de los 27 extractos de <i>Jatropha oaxacana</i> en mg ácido gálico/g sólidos secos analizados en Minitab 22.	54
Tabla 11. Análisis de Varianza compuestos fenólicos totales.	57
Tabla 12. Conversión de unidades de los resultados de la evaluación de la actividad antioxidante por ABTS y DPPH para el tratamiento de los datos en Minitab 22.	61
Tabla 13. Resultados de la evaluación por duplicado de la actividad antioxidante por ABTS y DPPH de los 27 extractos de <i>Jatropha oaxacana</i> en mg trolox/g sólidos secos analizados en Minitab 22.	62
Tabla 14. Análisis de Varianza de la actividad antioxidante por ABTS.....	65
Tabla 15. Análisis de Varianza de la actividad antioxidante por DPPH.....	69
Tabla 16. Resultados de 3 meses de exposición del extracto acuoso de <i>Jatropha oaxacana</i> en <i>Ullumoides dermestoides</i>	76

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Sangre de grado (<i>Jatropha oaxacana</i>), San José Trujapan, Tequixtepec, Oaxaca, 2023. Fuente: propia.....	27
Figura 2. Látex de la sangre de grado (<i>Jatropha oaxacana</i>), San José Trujapan, Tequixtepec, Oaxaca, 2023. Fuente: propia.....	28
Figura 3. Plan de trabajo de la metodología del proyecto. Fuente: propia.....	32
Figura 4. Obtención y caracterización de la materia prima (<i>Jatropha oaxacana</i>). Fuente: propia..	33
Figura 5. Acondicionamiento de las hojas, tallo y fruto de <i>Jatropha oaxacana</i> . Fuente: propia.....	34
Figura 6. Tratamiento para la determinación de la humedad de las hojas, tallo y fruto de <i>Jatropha oaxacana</i> . Fuente: propia.	35
Figura 7. Obtención de los extractos acuosos de las hojas, tallo y fruto de <i>Jatropha oaxacana</i> mediante la técnica de extracción asistida por ultrasonido (UAE). Fuente: propia.....	38
Figura 8. Procedimiento para la determinación de compuestos fenólicos totales de los extractos acuosos de <i>Jatropha oaxacana</i> . Fuente: propia.	39
Figura 9. Procedimiento para la determinación de la actividad antioxidante de los extractos acuosos de <i>Jatropha oaxacana</i> por el método ABTS. Fuente: propia.....	40
Figura 10. Procedimiento para la determinación de la actividad antioxidante de los extractos acuosos de <i>Jatropha oaxacana</i> por el método DPPH. Fuente: propia.	41
Figura 11. Resultado de la identificación taxonómica del material vegetal. Fuente: propia.	47
Figura 12. Cromatograma del extracto etanólico de las hojas de <i>Jatropha oaxacana</i> analizado por GC-MS. Fuente: propia.....	50
Figura 13. Diagrama de Pareto de efectos estandarizados, como respuesta compuestos fenólicos totales (mg ácido gálico/g s.s.). Fuente: propia.....	58
Figura 14. A1) Gráfica de contorno en CFT de la hoja, B1) Gráfica de contorno en CFT del tallo, C1) Gráfica de contorno en CFT del fruto, A2) Gráfica de superficie en CFT de la hoja, B2) Gráfica de superficie en CFT del tallo, C2) Gráfica de superficie en CFT del fruto. Fuente: propia.....	60
Figura 15. Diagrama de Pareto de efectos estandarizados, como respuesta actividad antioxidante por ABTS (mg trolox/g s.s.). Fuente: propia.....	66
Figura 16. A1) Gráfica de contorno en ABTS de la hoja, B1) Gráfica de contorno en ABTS del tallo, C1) Gráfica de contorno en ABTS del fruto, A2) Gráfica de superficie en ABTS de la hoja, B2) Gráfica de superficie en ABTS del tallo, C2) Gráfica de superficie en ABTS del fruto. Fuente: propia.....	68

Figura 17. Diagrama de Pareto de efectos estandarizados, como respuesta actividad antioxidante por DPPH (mg trolox/g s.s.). Fuente: propia.	70
Figura 18. A1) Gráfica de contorno en DPPH de la hoja, B1) Gráfica de contorno en DPPH del tallo, C1) Gráfica de contorno en DPPH del fruto, A2) Gráfica de superficie en DPPH de la hoja, B2) Gráfica de superficie en DPPH del tallo, C2) Gráfica de superficie en DPPH del fruto. Fuente: propia.	72
Figura 19. A) Conteo de larvas en el estereoscopio. B) Conteo de adultos vivos y muertos. Fuente: propia.	76
Figura 20. A) Muestra de control negativo a los 3 meses de exposición. B) Muestra con 1000 ppm de extracto a los 3 meses de exposición. C) Muestra con 500 ppm de extracto a los 3 meses de exposición. Fuente: propia.....	77

RESUMEN

La *Jatropha oaxacana* comúnmente conocida como sangre de grado es considerada en la región mixteca del estado de Oaxaca, como una planta con múltiples propiedades medicinales, sin embargo, actualmente no existen estudios registrados que avalen sus propiedades curativas. Por lo cual en el presente trabajo se evaluó la bioactividad de la *Jatropha oaxacana*, y para ello se obtuvieron los extractos acuosos de las hojas, tallo y fruto mediante extracción asistida por ultrasonido (UAE), a 5, 10 y 15 min y con distintas relaciones sólido-líquido (0.01, 0.015 y 0.02 g/mL) siguiendo un diseño factorial 3³. Se realizó la valoración de la actividad antioxidante de los extractos empleando el radical ABTS (2,2'-azinobis-(3-etilbenzotiazolina-6-sulfónico)) y el radical DPPH (2,2-difenil-1-picrilhidracilo), así como la medición de los compuestos fenólicos totales mediante el método Folin-Ciocalteu. Se determinó la composición química del extracto etanólico de las hojas de *Jatropha oaxacana* mediante GC-MS (cromatografía de gases acoplada con espectrometría de masas). Adicionalmente se evaluó la toxicidad de los extractos acuosos mediante el modelo de letalidad con *Artemia* spp., así como la evaluación de la actividad insecticida del extracto acuoso de las hojas de *Jatropha oaxacana*. Los resultados obtenidos indican que las variables que favorecen a una mayor actividad antioxidante son el tallo y un tiempo de extracción de 10 min. Respecto a la composición química se identificaron 3 compuestos mayoritarios (carvacrol, licoperseno y β -eudesmol) con propiedades antioxidantes. Los resultados de toxicidad muestran que el extracto acuoso del fruto presenta mayor nivel de toxicidad, seguido del extracto acuoso de las hojas y por último el del tallo. También se evidencia que el extracto acuoso de las hojas es poco activo en el control biológico de *Ullumoides dermestoides*.

ABSTRACT

Jatropha oaxacana, commonly known as sangre de grado, is considered a plant with multiple medicinal properties in the Mixteca region of the state of Oaxaca. However, there are currently no registered studies that support its healing properties. Therefore, in the

present work, the bioactivity of *Jatropha oaxacana* was evaluated, and for this purpose, aqueous extracts of the leaves, stem and fruit were obtained by ultrasound-assisted extraction (UAE) at 5, 10 and 15 min and with different solid-liquid ratios (0.01, 0.015 and 0.02 g/mL) following a 3³ factorial design. The antioxidant activity of the extracts was assessed using the ABTS radical (2,2'-azinobis- (3-ethylbenzothiazoline-6-sulfonic acid)) and the DPPH radical (2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl), as well as the measurement of total phenolic compounds by the Folin-Ciocalteu method. The chemical composition of the ethanolic extract of *Jatropha oaxacana* leaves was determined by GC-MS (gas chromatography coupled with mass spectrometry). Additionally, the toxicity of the aqueous extracts was evaluated using the lethality model with *Artemia* spp., as well as the insecticidal activity of the aqueous extract from the leaves of *Jatropha oaxacana*. The results indicate that the variables that favor greater antioxidant activity are the stem and a 10 min extraction time. Regarding the chemical composition, three major compounds (carvacrol, lycopersene, and β -eudesmol) were identified with antioxidant properties. The toxicity results show that the aqueous extract of the fruit presented the highest level of toxicity, followed by the aqueous extract of the leaves and finally the stem. It is also evident that the aqueous extract of the leaves has little activity in the biological control of *Ullumoides dermestoides*.

1. INTRODUCCIÓN

El uso de compuestos químicos antioxidantes en productos utilizados para combatir enfermedades estomacales, problemas de la piel, enfermedades crónico-degenerativas, cáncer, enfermedades intestinales, entre otras, es muy importante hoy en día.

Sin embargo, la mayoría de estos compuestos químicos son artificiales o sintéticos, por lo que su uso por largos periodos de tiempo puede causar daños al ser humano y al medio ambiente; además, en la mayoría de los casos su costo es elevado, lo cual hace que pocas personas tengan acceso a este tipo de productos.

Se estima que más del 80% de la población mundial utiliza la medicina tradicional para satisfacer sus necesidades de atención primaria de salud y gran parte de los tratamientos tradicionales implica el uso de extractos de plantas o sus principios activos (OMS, 2015).

Las plantas también tienen importantes aplicaciones en la medicina moderna, ya que en los últimos años han sido fuente directa de agentes terapéuticos, empleándose como materia prima para la fabricación de medicamentos semisintéticos más complejos, la estructura química de sus principios activos puede servir de modelo para la elaboración de compuestos sintéticos y tales principios se pueden utilizar como marcadores taxonómicos en la búsqueda de nuevos medicamentos (OMS, 2022).

Dadas las condiciones económicas y la poca accesibilidad de la población de escasos recursos a las instituciones de salud, surge como una opción la medicina natural, revalorando el uso de plantas medicinales con acciones preventivas o curativas sobre algunas afecciones. Sin embargo, en la mayoría de los casos, los tratamientos con plantas medicinales son empíricos y carecen de fundamentación científica.

Una alternativa de solución a este problema es el uso de extractos de plantas con propiedades curativas como la *Jatropha oaxacana*, ya que, en distintas regiones del estado de Oaxaca es conocida como una planta medicinal con múltiples beneficios. Sin embargo, el uso de compuestos bioactivos de plantas requiere de un fundamento científico para asegurar el óptimo aprovechamiento de las alternativas naturales utilizadas como medicina tradicional.

De las 4,000 plantas registradas en el Herbario del Instituto Mexicano del Seguro Social (IMSS) solamente un 5% cuenta con algún tipo de estudio; y de las 250 mil plantas con potencial medicinal solo entre el 10 y 15% han sido sujetas de estudio (CONABIO, 2020).

Actualmente no se encuentran estudios científicos que respalden las propiedades curativas de muchas plantas que son utilizadas en diversas regiones de México, como es el caso de la *Jatropha oaxacana* o comúnmente conocida como sangre de grado, de la cual solo existen cinco artículos científicos en la base de datos de Scopus, sin embargo, ninguno de estos reporta su composición química. Por ello, resulta importante documentar y realizar la evaluación científica de los compuestos bioactivos de las plantas; por lo cual, en este trabajo de investigación se evaluará la capacidad antioxidante y se determinará la composición química del extracto de *Jatropha oaxacana*.

El presente trabajo de investigación se realizó en distintas fases, las cuales se describen en el presente documento. Primeramente, se llevó a cabo una investigación documental sobre las plantas medicinales, el género *Jatropha* ssp. y la especie de interés (*Jatropha oaxacana*), también sobre las distintas técnicas de extracción de compuestos bioactivos y técnicas de evaluación de la actividad antioxidante, composición química y toxicidad (capítulo 2). En el capítulo 3 se presenta la formulación de la hipótesis, en el capítulo 4 la justificación y en el capítulo 5 los objetivos del proyecto. En el capítulo 6, se describe detalladamente la metodología empleada para llevar a cabo esta investigación. Finalmente, en el capítulo 7 se presentan los resultados obtenidos del trabajo experimental, así como el análisis y la discusión de estos.

2. ANTECEDENTES DEL PROYECTO

2.1. Plantas medicinales

2.1.1. Generalidades

Una planta medicinal es definida como cualquier especie vegetal que contiene sustancias que pueden ser empleadas para propósitos terapéuticos o cuyos principios activos pueden servir de precursores para la síntesis de nuevos fármacos (Oliveira *et al.*, 2005).

2.1.2. Compuestos bioactivos

Los compuestos bioactivos se definen como los componentes de los alimentos que influyen en las actividades celulares y fisiológicas obteniendo, tras su ingesta, un efecto beneficioso para la salud. Estos compuestos bioactivos se entienden que no son nutrientes y por tanto no son esenciales para la vida (Jha y Sit, 2022).

Una amplia variedad de plantas es altamente apreciada por su potencial terapéutico atribuido al contenido de componentes conocidos como fitoquímicos bioactivos. En la industria farmacéutica las plantas son la materia prima más importante para la obtención de drogas quimioterapéuticas ya que exhiben efectos farmacológicos aplicables para el tratamiento de infecciones bacterianas, fúngicas y enfermedades crónico-degenerativas como diabetes y cáncer (INIFAP, 2020).

2.2. Fitoquímica

La fitoquímica se encarga de estudiar todos los compuestos químicos presentes en las plantas, mediante el aislamiento, el análisis y la purificación de las sustancias vegetales, particularmente de los metabolitos secundarios o productos naturales, que son aquellos característicos de una especie, de un género y/o de una familia vegetal (Figueroa, 2022).

2.2.1. Compuestos fenólicos

Los compuestos fenólicos son todas aquellas sustancias que poseen varias funciones fenol, nombre popular del hidroxibenceno, unidas a estructuras aromáticas o alifáticas.

Los compuestos fenólicos son unos de los principales metabolitos secundarios de las plantas y su presencia en el reino animal se debe a la ingestión de éstos. Los fenoles son sintetizados por las plantas y son regulados genéticamente, tanto a nivel cualitativo como cuantitativo, aunque a este nivel también existen factores ambientales. Además, actúan como fitoalexinas (las plantas heridas secretan fenoles para defenderse de posibles ataques fúngicos o bacterianos) y contribuyen a la pigmentación de muchas partes de la planta. Cuando los fenoles son oxidados, dan lugar a las quinonas que dan un color pardo que muchas veces es indeseable. Los alimentos ricos en fenoles son la cebolla, el té, el vino tinto, el cacao, el aceite de oliva virgen, etc. Estas sustancias influyen en la calidad, aceptabilidad y estabilidad de los alimentos, ya que actúan como colorantes, antioxidantes y proporcionan sabor (Gimeno, 2004).

2.2.2. Componentes químicos de extractos vegetales

Una de las técnicas más utilizadas para determinar la composición química de extractos vegetales es la cromatografía de gases acoplada a espectroscopía de masas (GC-MS), ya que combina la capacidad de separación que ofrece la cromatografía de gases con la sensibilidad y capacidad selectiva de un detector de masas, permitiendo cuantificar y analizar compuestos en mezclas complejas. Su uso se limita a la separación de compuestos de peso molecular menores de 1000 y a una temperatura máxima de operación de 400 °C. La técnica consiste en volatilizar la muestra e inyectarla en una columna cromatográfica capilar. Mediante la adsorción física, los analitos se retienen reversiblemente. Los componentes que han sido separados son eluidos de la columna y registrados por un detector de masas, obteniendo un espectro que muestra los tipos de iones en función de la relación masa/carga de cada uno de ellos (Botello-Ojeda *et al.*, 2023).

Existen múltiples estudios sobre la composición química de algunos extractos vegetales, pero hay pocos datos para muchas otras plantas. Algunos ejemplos de estudios de composición química de extractos vegetales son de perejil (*Petroselinum sativum*), de la ruda (*Ruta graveolens*), del tomillo (*Thymus vulgaris*), y de la gobernadora (*Larrea*

tridentata); del clavo (*Syzygium aromaticum*) y orégano (*Lippia graveolens*) (García, *et al.*, 2010).

Actualmente, también existen métodos de determinación de la actividad antioxidante de extractos de plantas que se basan en comprobar la capacidad oxidante de un agente a un sustrato oxidable, el cual es inhibido o reducido en presencia de un antioxidante. Los distintos métodos se diferencian en el agente oxidante, en el sustrato empleado y en la medida del punto final. Algunas de las técnicas más utilizadas emplean los radicales ABTS+ y DPPH+, los cuales no poseen significado biológico (Fernández-Pachón, 2006).

El ensayo por DPPH se fundamenta en la medición de la capacidad de un antioxidante para estabilizar el radical DPPH+ (2,2-difenil-1-picrylhidrazil), mediante la transferencia de electrones, con un aporte marginal de transferencia de átomos de hidrógeno, la reacción se estabiliza a los 30 minutos. Esta técnica puede realizarse espectrofotométricamente siguiendo el decaimiento de la absorbancia a 517 nm (Rashidi, Eikani & Ardjmand, 2018).

La técnica ABTS se basa en la cuantificación de la decoloración del radical ABTS+, debido a su reducción a ABTS (2,2'-azino-bis-(3-etil benzotiazolin-6-sulfonato de amonio)) en presencia de un antioxidante. El radical catiónico es color verde azulado, absorbe a una longitud de onda de 734 nm y se forma por una reacción de oxidación del ABTS con persulfato de potasio. El grado de decoloración se estima midiendo la absorbancia con un espectrofotómetro de UV-visible, reportándose como porcentaje de inhibición del radical ABTS+ (Rioja *et al.*, 2018).

2.2.3. Toxicidad

Todas las plantas producen toxinas de forma natural para protegerse de bacterias, hongos, insectos y depredadores. Las intoxicaciones por plantas son poco comunes, pero en ocasiones pueden adquirir gravedad o carácter epidémico dependiendo de la forma de consumo y la cantidad consumida, es por ello por lo que resulta importante conocer el nivel de toxicidad de las plantas para que puedan ser utilizadas de forma segura (Bermúdez Toledo *et al.*, 2007).

Actualmente, los bioensayos con *Artemia salina* han cobrado gran importancia, ya que se puede establecer la relación entre la toxicidad de las plantas y la presencia de ciertos metabolitos secundarios, teniendo la ventaja de que las artemias son crustáceos capaces de soportar niveles altos de salinidad y bajos niveles de oxígeno, sus huevos se transforman en quistes como forma de supervivencia, capaces de soportar altas temperaturas, sequedad extrema, falta de oxígeno, además de soportar líquidos peligrosos y la presencia de pesticidas, pudiendo así adaptarse fácilmente en un laboratorio. Por lo cual esta técnica se ha convertido en un estándar para la determinación de toxicidad de plantas, fármacos, compuestos químicos, etc. Mediante la estimación de la concentración letal 50 (CL₅₀) se pueden establecer las concentraciones en las que las sustancias evaluadas con esta técnica son seguras tanto en humanos como en otras especies, contribuyendo con ello al estudio del impacto ambiental (Mex Álvarez *et al.*, 2024).

En un estudio realizado por Barroto *et al.* (2011) se valoró la actividad tóxica *in vitro* del extracto diclorometánico de raíces de *Morinda royoc* L. mediante el ensayo de letalidad con *Artemia salina*. En 10 mL de agua de mar artificial se colocaron 10 nauplios de *A. salina* y el extracto a 1 000, 100 y 10 µg/mL. Después de 24 horas de contacto se contaron las larvas que sobrevivieron. La toxicidad se expresó en porcentaje de mortalidad: 0-10 % no tóxico, 11-50 % moderadamente tóxico, 51-90 % altamente tóxico y 100 % extremadamente tóxico. La concentración letal para 50 % de la población expuesta (CL₅₀) fue 395.4 µg/mL, los resultados mostraron una toxicidad moderada a concentraciones entre 100 y 1 000 µg/mL.

Artemia spp. representa especies modelo utilizadas en diversos estudios ecotoxicológicos debido a que su manipulación es rápida y sencilla, lo que la hace un crustáceo fácil de adaptarse a diversos enfoques metodológicos. Los principales criterios de valoración utilizados para determinar la toxicidad son: la eclosión de quistes, el comportamiento natatorio, el éxito reproductivo, la mortalidad, y recientemente se ha incluido la identificación de daños en su ADN o cromosomas (Albarano *et al.*, 2022).

2.2.4. Actividad insecticida

A nivel mundial, los granos básicos (maíz, frijol, arroz y trigo) son fundamentales para la seguridad alimentaria, la nutrición y la economía, lo cual hace que su preservación y control sea de suma importancia. En México se produce cerca de 900 cultivos y de estos, 12 son considerados estratégicos, entre los que se encuentran los granos básicos. Cada año se han estimado pérdidas postcosecha que van en el orden de 20 a 30%, variando de región a región y entre ciclos agrícolas. Las pérdidas normalmente se deben a la presencia de agentes bióticos como insectos, hongos, roedores y aves (Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural, 2022).

En México, existen 25 especies de insectos que afectan principalmente a semillas y granos almacenados. Estas especies incluyen a *Acanthoscelides obtectus* Say (gorgojo del frijol), *Sitophilus granarius* L. (gorgojo del trigo), *Tribolium castaneum* Hbst. (gorgojo castaño de la harina), *Cryptolestes ferrugineus* Steph (gorgojo rojizo de los granos), *Oryzaephilus surinamensis* L. (gorgojo de tórax aserrado), *Cryptolestes pusillus* Schon. (gorgojo plano de los granos), *Sitophilus zeamais* Motschulsky (gorgojo del maíz), *Sitotroga cerealella* Oliv. (palomilla de los cereales), *Ryzopertha dominica* Fabricius (taladrillo de los cereales), *Prostephanus truncatus* (Horn.) (barrenador grande de los granos), *Sitophilus oryzae* L. (picudo del arroz) y *Trogoderma granarium* Vuelca (gorgojo khapra) (Rangel-Fajardo *et al.*, 2020).

Para el control del gorgojo pardo del frijol (*Ullumoides dermestoides*) comúnmente se aplica malatión, fosfuro de aluminio y bromuro de metilo, sin embargo, son compuestos altamente tóxicos y presentan diversos efectos secundarios que no son seguros para el medio ambiente y el ser humano, debido a esto, en un estudio se probó el efecto de extractos de *Bacharis glutinosa*, *Eucaliptus globulos* y *Melia azedarach*, para el control del gorgojo pardo del frijol como una alternativa más segura. Los resultados indican que los extractos fueron efectivos contra *A. obtectus*, con porcentajes de mortalidad, emergencia corregida y grano dañado de >30 %, <50 % y 70 % respectivamente (Nava-Pérez *et al.*, 2010).

Los estudios que se han reportado recientemente resaltan la importancia de los extractos vegetales, ya que son una alternativa importante para el control de plagas debido a su efectividad, bajo costo y a que son una opción sostenible que contribuye a la seguridad alimentaria y al cuidado del medio ambiente.

2.3. Extracción de compuestos bioactivos

2.3.1. Generalidades

Un extracto, en sentido estricto, se refiere al producto obtenido por concentración de una disolución de sustancias vegetales. El extracto de plantas es un producto natural que se obtiene mediante las siguientes fases de procesado: preparación del material, extracción con disolventes y envasado (FUNDAME, 2013).

La calidad de un extracto está influenciada por tres parámetros básicos: el disolvente utilizado, la parte de la planta utilizada como materia prima y el procedimiento de extracción. En cuanto al procedimiento de extracción, normalmente se elige un método de extracción según el contenido de agua del material vegetal, las propiedades de los compuestos activos específicos y los objetivos de la extracción. El objetivo central del proceso de extracción es obtener el máximo rendimiento y la más alta calidad de los compuestos objetivo (Conde-Hernández *et al.*, 2023).

2.3.2. Métodos convencionales

Dentro de los métodos convencionales o tradicionales se encuentra el método de agitación, maceración, digestión, infusión, lixiviación (elución), decocción, filtración, destilación al vapor, extracción continua en caliente o extracción Soxhlet, serie exhaustiva, fermentación (extracción acuosa-alcohólica), extracción de reflujo y extracción por prensado mecánico (Conde-Hernández *et al.*, 2023).

De forma general, la extracción de compuestos bioactivos de plantas mediante los métodos convencionales consiste en reunir parte de la planta y disolvente hasta que éste último haya extraído el jugo de aquella, formando una mezcla final. Los métodos de

extracción dependen del tipo de disolvente y del grado de concentración, pudiéndose llegar a los tipos “fluido”, “semifluido” y “seco” (FUNDAME, 2013).

En la selección de solventes se deben considerar la solubilidad, selectividad, seguridad y costo. Según la ley de similitud e intermiscibilidad, es probable que los disolventes con un valor de polaridad cercano a la polaridad del soluto sean más eficaces, y viceversa (Conde-Hernández *et al.*, 2023).

2.3.3. Métodos no convencionales

En los últimos 50 años, se han desarrollado métodos no convencionales que son más amigables con el medio ambiente debido al menor uso de químicos sintéticos y orgánicos, menos residuos de solventes en los extractos, menos toxicidad de los solventes, un tiempo de operación más corto y un mejor rendimiento y calidad del extracto. Dentro de estos métodos se encuentran los siguientes: extracción asistida por microondas (MAE); extracción asistida por ultrasonido (UAE) o extracción por sonicación; extracción líquida presurizada (PLE), o extracción acelerada con disolventes; extracción de fluidos supercríticos (SFE) con CO₂; extracción de campo eléctrico pulsado (PEF); extracción asistida por enzimas (EAE); extracción por turbodestilación o turboextracción (turbólisis); cromatografía contracorriente; extracción en fase sólida (SPE); extracción asistida por alto voltaje; alta presión hidrostática; extrusión y calentamiento óhmico (Conde-Hernández *et al.*, 2023).

Estas técnicas no solo han permitido reducir los tiempos de extracción y prevenir la descomposición térmica de los compuestos, sino que también han reducido o eliminado por completo el uso de varios solventes orgánicos (Gill y Qiu, 2020).

En cuanto al método de extracción asistida por ultrasonido (UAE), se utilizan sonidos de alta frecuencia, con el fin de desprender el compuesto buscado del material vegetal, las partículas sólidas y líquidas vibran y se aceleran ante la acción ultrasónica, como resultado el soluto pasa rápidamente de la fase sólida al solvente (Gao & Liu, 2005).

El ultrasonido es utilizado por la posibilidad de realizar evaluaciones no invasivas ni destructivas, además, la EAU es la técnica más económica y tiene los requerimientos

instrumentales más bajos entre las últimas técnicas de extracción desarrolladas. Esta técnica facilita la rehidratación de los tejidos del material vegetal seco, ya que permite abrir los poros, incrementando el transporte de masa (Azuola y Vargas, 2007).

Al evaluar la eficiencia de la extracción de flavonoides en *Saussurea medusa* Maxim por distintas técnicas se demostró que el ultrasonido tiene una eficiencia 11 veces mayor que la extracción por destilación, 35 veces mayor que la extracción por soxhlet y 70 veces mayor que la extracción con solventes (Gao & Liu, 2005).

Un estudio realizado por Athanasios *et al.* (2004) reporta que se obtiene el 78% de componentes deseables en el aceite esencial de ajo utilizando la extracción asistida por ultrasonido, y el 33.6% con la técnica asistida por microondas, resaltando las ventajas del ultrasonido, ya que se puede realizar la extracción a temperatura ambiente a diferencia del uso de microondas.

2.4. Género *Jatropha*

2.4.1. Generalidades

Las plantas del género *Jatropha* se distribuyen en los trópicos y subtrópicos, son consideradas probablemente originarias de Mesoamérica debido a la alta riqueza y endemismo que se presenta en la región. Este género es altamente resistente a la sequía, por lo que resulta ideal para la recuperación de la degradación del suelo, sin afectar la producción de cultivos de alimentos (Toral *et al.*, 2008).

El género *Jatropha* pertenece a la tribu Joannesieae dentro de la familia Euphorbiaceae, dicha familia comprende aproximadamente 8,000 especies, agrupadas en 321 géneros; la subdivisión hecha por Pax (1910) distingue dos subgéneros (*Curcas* y *Jatropha*) del género *Jatropha*, con diez secciones y diez subsecciones para agrupar a las especies del viejo y nuevo mundo. El género *Jatropha* cuenta con más de 170 especies a nivel mundial, de cuales más de 100 son nativas del continente americano y 48 especies de este género crecen en México donde el 77% son endémicas, siendo los estados de Puebla y Oaxaca (Reserva de la Biosfera Tehuacán-Cuicatlán y la Región Terrestre Prioritaria 129 Sierra Sur y

Costa de Oaxaca) las regiones con mayor representatividad del género (Tabla 1) (Córdova *et al.*, 2015).

Se considera al género *Jatropha* como plantas (hierbas, arbustos o árboles) que generalmente poseen látex, hojas simples o compuestas en distintas formas, alternas y a veces opuestas, con estípulas con inflorescencias variadas, por lo regular sus flores son unisexuales, monoicas y a veces dioicas, pediceladas, postiladas con o sin estaminodios; regularmente con 1 ó 2 óvulos por lóbulo, basalmente unidos con ovario súpero tricarpelar y trilobular; contienen semillas con endospermo graso y carnoso con carúncula sobre el micrópilo y fruto cápsula tricarpelar. La mayoría de estas especies son conocidas como sangre de grado o sangre de drago debido al color rojizo del látex que contienen (Ídem, 2015).

Tabla 1. Especies presentes en las regiones de mayor distribución del género *Jatropha* en México (Ídem, 2015).

Región	Especies
<p>Reserva de la Biosfera Tehuacán-Cuicatlán Sierra Sur y Costa de Oaxaca</p>	<ul style="list-style-type: none"> • <i>J. neopauciflora</i> • <i>J. websteri</i> • <i>J. spathulata</i> • <i>J. dioica</i> • <i>J. vernicosa</i> • <i>J. pseudocurcas</i> • <i>J. rzedowskii</i> • <i>J. olivácea</i> • <i>J. standleyi</i> • <i>J. curcas</i>
<p>Región Terrestre Prioritaria 129 (Sierra Sur y Costa de Oaxaca)</p>	<ul style="list-style-type: none"> • <i>J. neopaciflora</i> • <i>J. sympetala</i> • <i>J. spathulata</i> • <i>J. tehuatepecana</i>

	<ul style="list-style-type: none"> • <i>J. vernicosa</i> • <i>J. mcvaughii</i> • <i>J. rzedowskii</i> • <i>J. gossypifolia</i> • <i>J. giffordiana</i> • <i>J. cinérea</i> • <i>J. oaxacana</i>
--	--

En México se implementó el programa “La Red *Jatropha*” a inicios del año 2008, con la finalidad de promover y apoyar la realización de actividades dirigidas al conocimiento del género *Jatropha*, dentro de las líneas de acción atendidas de acuerdo con el Segundo Plan de Acción Mundial para los Recursos Fitogenéticos para la Alimentación y la Agricultura de la FAO se encuentra la conservación y manejo in situ, conservación ex situ, utilización sostenible y la creación de una capacidad institucional y humana sostenible. En 2016 se reportó que la superficie nacional destinada para la producción de plantas del género *Jatropha* ascendió a 281 ha, de las que cuales se cosechó el 45 % con un valor de más de 0.4 MDP (SIAP, 2017).

2.4.2. Fitoquímica y usos medicinales

Actualmente existen diversos estudios de algunas plantas del género *Jatropha*, como la *J. curcas* L. (piñón), *J. cordata*, *J. neopauciflora*, *J. podagrica*, *J. dioica* y la *J. multifida*; sin embargo, existen muchas otras plantas del género que carecen de estudios científicos y además no son muy conocidas.

Los principales usos que se les ha dado a las plantas del género *Jatropha* que han sido estudiadas son en aplicaciones medicinales como el uso del látex en pequeñas dosis para el control del fuego labial y el extracto del aceite de las semillas como purgante, además del uso como cerco vivo y alimento humano. También recientemente se ha descubierto su utilidad en la obtención de energía y bioplaguicidas, ya que se han realizado actividades para la obtención de biodisel (Córdova *et al.*, 2015).

Se han identificado en algunas especies del género *Jatropha* componentes como diterpenos, citlaltiriona, jatrofona, riolosatriona, esterales, y el R-sitosterol. De las raíces se obtiene un aceite esencial, resina, saponinas, un alcaloide y ácido oxálico. De los tallos emana un látex rico en taninos (Biblioteca Digital de la Medicina Tradicional Mexicana, 2009).

La *Jatropha chamelensis* es conocida como una de las especies de *Jatropha* más atractivas, con gran potencial como árbol ornamental para regiones subtropicales estacionalmente secas. Actualmente no se han reportado estudios sobre su fitoquímica y los pocos que existen resaltan el riesgo que tiene de extinguirse (Dehgan, 2012).

El piñón (*Jatropha curcas* L.), es la planta más estudiada del género, presenta una gran distribución geográfica en México, la cual en los últimos años ha cobrado gran importancia en el ámbito nacional e internacional por la capacidad de almacenamiento de aceite en su semilla apto para la combustión, con residuos biodegradables; no obstante, se desconoce mucho del estatus de la conservación de esa diversidad, usos potenciales y su manejo agronómico (Córdoba *et al.*, 2015).

Estudios realizados por Hernández (2010) a distintos extractos: hexánico, metanólico crudo y metanólico libre de compuestos no polares, obtenidos de las hojas de *Jatropha neopauciflora* Pax, muestran que únicamente los extractos a base de metanol tienen actividad antifúngica ante *Trichophyton mentagrophytes*, *Fusarium sporotrichioides*, *Fusarium moniliforme* y *Rhizoctonia solani*, a excepción de *Aspergillus sp.* y *A. niger*. El extracto metanólico-hexánico mostro mayor actividad antioxidante por la técnica DPPH, y del extracto metanólico libre de compuestos no polares se comprobó la presencia de tres compuestos químicos importantes (β -sitosterol, lupeol y arabinol) con ayuda de la técnica cromatografía de gases acoplada con espectroscopía de masas.

Se ha reportado que los extractos metanoicos de hojas y frutos de *J. unicostata* presentan una moderada actividad eliminadora de radicales libres in vitro en ratas y una tasa de blanqueo de β -caroteno-linoleico, particularmente en las concentraciones más altas de 500 y 1000 $\mu\text{g/ml}$, el estudio reporta que los extractos de esta planta poseen gran cantidad de compuestos antiinflamatorios, antinociceptivos y antioxidantes (Ramzi, 2011).

En un estudio realizado en 2011 por Robles-Zepeda, *et al.*, se evaluó la actividad anti *H. pylori* de los extractos metanólicos de la *Jatropha cuneata* mediante el método de microdilución en caldo. Las concentraciones inhibitoras mínimas del 50% fueron mayores que 800 µg/mL. Este estudio sugiere la importancia de la *Jatropha cuneata* en el tratamiento de los trastornos gastrointestinales causados por *H. pylori*, sentando las bases para una mayor caracterización y elucidación de los compuestos activos responsables de dicha actividad.

2.4.3. Toxicidad

La *J. curcas* L. contiene aceites con características y propiedades que la hacen útil como biocombustible, y presenta la ventaja de no ser comestible debido a que contiene sustancias tóxicas (Falasca y Ulberich, 2008).

Estudios reportados en extractos metanólicos de las partes aéreas de *Colliguaya integerrima* y *Euphorbia marginata*, plantas de la familia Euphorbiaceae, mostraron valores de CL₅₀ menores a 150 µg/mL y 162 µg/mL en cada caso, mediante el ensayo de letalidad con *Artemia salina* (Pinto *et al.*, 2004).

Estudios realizados por (Hernández, 2010) a distintos extractos obtenidos de las hojas de *Jatropha neopauciflora* Pax, muestran una toxicidad moderada en extractos metanólicos-hexánicos (CL₅₀ =290 ppm) y una toxicidad fuerte en extractos metanólicos crudos, metanólicos libres de compuestos no polares y hexánicos, con una CL₅₀ de 17.42 ppm, 11.28 ppm y 41.66 ppm respectivamente, los resultados se obtuvieron mediante el ensayo de letalidad con *Artemia salina*.

2.5. Sangre de grado (*Jatropha oaxacana*)

2.5.1. Generalidades

La *Jatropha oaxacana*, comúnmente conocida como sangre de grado es una especie de los Valles Centrales, de la Región Mixteca e Istmo de Tehuantepec en el estado de Oaxaca, México, es semejante a la *Jatropha rzedowskii*, pero difiere de ella por tener hojas, cáliz y

corola (de flores pistiladas y estaminadas) más grandes, ovario bicarpelar y fruto en dos semillas (Jiménez y Torres, 1994).

La *Jatropha oaxacana*, es un arbusto de aproximadamente 50 cm a 2 m de altura que crece en los bosques tropicales caducifolios, matorral xerófilo y pastizales (Figura 1). Debe sus nombres comunes a que tiene un jugo incoloro que cambia a oscuro al contacto con el aire. Sus ramas son de color café rojizo (Figura 2), las hojas son más largas que anchas, sus flores son pequeñas y color rosa, los frutos son globosos de 1.5 cm de largo y tienen una semilla. Florece y fructifica en los meses de marzo, mayo, julio, agosto, septiembre y octubre (Biblioteca Digital de la Medicina Tradicional Mexicana, 2009).

La *Jatropha oaxacana* es una especie que sólo había sido registrada en Oaxaca, sin embargo en 2009 fue registrada por primera vez en Puebla tanto en el valle de Tehuacán–Cuicatlán como en la cuenca del Río Balsas, creciendo en matorral xerófilo, bosque tropical caducifolio y ecotono de bosque tropical caducifolio con bosque de encino, entre los 1,400 y 2,200 m.s.n.m., en clima templado subhúmedo con estación seca mediana y semiseco cálido con estación seca larga, en suelos derivados de calizas y lutitas, tolerando cierto disturbio (Rodríguez, *et al.*, 2009).



Figura 1. Sangre de grado (*Jatropha oaxacana*), San José Trujapan, Tequixtepec, Oaxaca, 2023. Fuente: propia.



Figura 2. Látex de la sangre de grado (*Jatropa oaxacana*), San José Trujapan, Tequixtepec, Oaxaca, 2023. Fuente: propia.

2.5.2. Usos

En algunas comunidades del estado de Oaxaca, el uso medicinal que con mayor frecuencia se le da a la *Jatropa oaxacana* es para evitar la caída del cabello para lo cual se cuecen los tallos, la planta entera o la raíz machacada en agua, con este líquido se enjuaga el cabello después de lavarlo, cada tercer día. Empleada también en várices y golpes, se hierve la planta y se aplica en forma de cataplasma, o se cuece y se ponen lienzos diariamente sobre los golpes. El agua resultante de la cocción es utilizada en forma de baños para quitar la sarna o en lavados para aliviar la infección de golpes, heridas y granos, aseando previamente con jabón de pasta neutro el área afectada. Sin embargo, para los ojos irritados, para eliminar nubes en los ojos y curar la ceguera, se exprime el fruto sobre ellos dejando caer dos o tres gotas. También se recomienda aplicar una gota de látex sobre la piel para sacar espinas, dos gotas en las muelas picadas para provocar su

desprendimiento, con frotamiento en la parte afectada puede contrarrestar el efecto de las úlceras, y masticar las raíces o tallos o ambos permite amacizar los dientes (Biblioteca Digital de la Medicina Tradicional Mexicana, 2009).

2.5.3. Propiedades farmacológicas

Actualmente existen pocos estudios sobre la *Jatropha oaxacana*, y de los pocos reportados no hay alguno que evidencie sus propiedades curativas, sin embargo, se ha demostrado que el extracto acuoso de la raíz de la *Jatropha dioica* y la *Jatropha spathulata* ejerce una actividad antibiótica contra *Staphylococcus aureus*. En el ser humano se ha investigado el efecto de aplicaciones locales de un extracto alcohólico (en frío) diluido con agua al 50%, en 6 pacientes con paradontosis o movilidad dentaria durante un periodo de 2 meses. El seguimiento de cada paciente duró 6 meses. Se obtuvo una reducción del 80% en la movilidad dentaria de los pacientes establecida en base al estudio radiográfico inicial y la secuencia radiográfica cada tres meses, así como en base a la historia clínica y los métodos de laboratorio tradicionales (Biblioteca Digital de la Medicina Tradicional Mexicana, 2009).

2.5.4. Compuestos bioactivos

Hasta el momento no se han encontrado estudios que reporten la composición química de la *Jatropha oaxacana*.

3. HIPÓTESIS

La composición química, actividad antioxidante, toxicidad y actividad insecticida de los extractos de *Jatropha oaxacana* obtenidos mediante ultrasonido serán similares a las de las plantas del género *Jatropha*.

4. JUSTIFICACIÓN

El uso de compuestos químicos antioxidantes en productos utilizados para combatir enfermedades estomacales, problemas de la piel, enfermedades crónico-degenerativas, cáncer, enfermedades intestinales, entre otras, es muy importante hoy en día.

Sin embargo, la mayoría de estos compuestos químicos son artificiales o sintéticos, por lo que su uso por largos periodos de tiempo puede causar daños al ser humano y al medio ambiente; además, en la mayoría de los casos su costo es elevado, lo cual hace que pocas personas tengan acceso a este tipo de productos.

Dadas las condiciones económicas y la poca accesibilidad de la población de escasos recursos a las instituciones de salud, surge como una opción la medicina natural, revalorando el uso de plantas medicinales con acciones preventivas o curativas sobre algunas afecciones. Sin embargo, en la mayoría de los casos, los tratamientos con plantas medicinales son empíricos y carecen de fundamentación científica.

Actualmente no se encuentran estudios científicos que respalden las propiedades curativas de muchas plantas que son utilizadas en diversas regiones de México, como es el caso de la *Jatropha oaxacana* o comúnmente conocida como sangre de grado, que es una planta muy utilizada en la región mixteca del estado de Oaxaca para tratar distintas afecciones, de la cual solo existen hasta el momento artículos científicos sobre su taxonomía. Por ello, resulta importante documentar y realizar la evaluación científica de los compuestos bioactivos de esta planta. Es bien sabido que la evaluación de la bioactividad de los extractos de una planta permite estimar muchas de sus propiedades, y actualmente existen técnicas novedosas utilizadas en la extracción de compuestos bioactivos de plantas, como lo es la técnica de extracción asistida por ultrasonido (UAE), la cual es una técnica rápida, con mejor rendimiento y mejor calidad del extracto. Por lo cual, en este trabajo de investigación se evaluó la bioactividad y la composición química de los extractos de *Jatropha oaxacana* obtenidos mediante UAE.

5. OBJETIVOS GENERALES Y ESPECÍFICOS

5.1. Objetivo general

Determinar la composición química actividad antioxidante, toxicidad y actividad insecticida de extractos de *Jatropha oaxacana* obtenidos mediante ultrasonido.

5.2. Objetivos específicos

- Obtener extractos de las hojas de la *Jatropha oaxacana* por el método de ultrasonido siguiendo un diseño factorial 3³, teniendo como variables, las partes de la planta (hojas, tallo y fruto), el tiempo de extracción y la relación líquido-sólido.
- Identificar las variables que afectan la actividad antioxidante de los extractos de la planta.
- Analizar la actividad antioxidante de los extractos de la *Jatropha oaxacana* mediante los radicales ABTS (2,2'-azino-di-(3-ethylbenzthiazoline sulfonic acid)) y DPPH (2,2-difenil-1-picrilhidrazil).
- Determinar la composición química del extracto de las hojas de la *Jatropha oaxacana* mediante la técnica GC-MS (Cromatografía de Gases-Espectrometría de Masas).
- Determinación del nivel de toxicidad de los extractos acuosos de *Jatropha oaxacana* con mayor actividad antioxidante, mediante el bioensayo de letalidad con *Artemia* spp.
- Determinar de la actividad insecticida de la *Jatropha oaxacana*.

6. METODOLOGÍA

6.1. Plan de trabajo

En la Figura 3 se muestra el plan de trabajo de la metodología general seguido en la realización del proyecto.



Figura 3. Plan de trabajo de la metodología del proyecto. Fuente: propia.

6.2. Obtención y caracterización de la materia prima

La obtención de la materia prima se realizó en el pueblo de San José Trujapan ubicado en el estado de Oaxaca siguiendo las recomendaciones de la NOM-126-ECOL-2000. Se seleccionaron las hojas, tallos y frutos que no presentaran daños físicos y se cortaron con ayuda de unas tijeras nuevas para no lastimar el material vegetal. Cada parte de la planta se lavó por separado únicamente con agua para retirar impurezas, posteriormente se les retiró el exceso de agua con toallas absorbentes de papel. Para realizar la identificación taxonómica se seleccionó un ejemplar que tuviera tallo, hojas y fruto, se secó a temperatura ambiente durante 2 semanas de acuerdo con las especificaciones indicadas del jardín botánico de la BUAP y posteriormente se solicitó al mismo su identificación, como se muestra en la Figura 4.

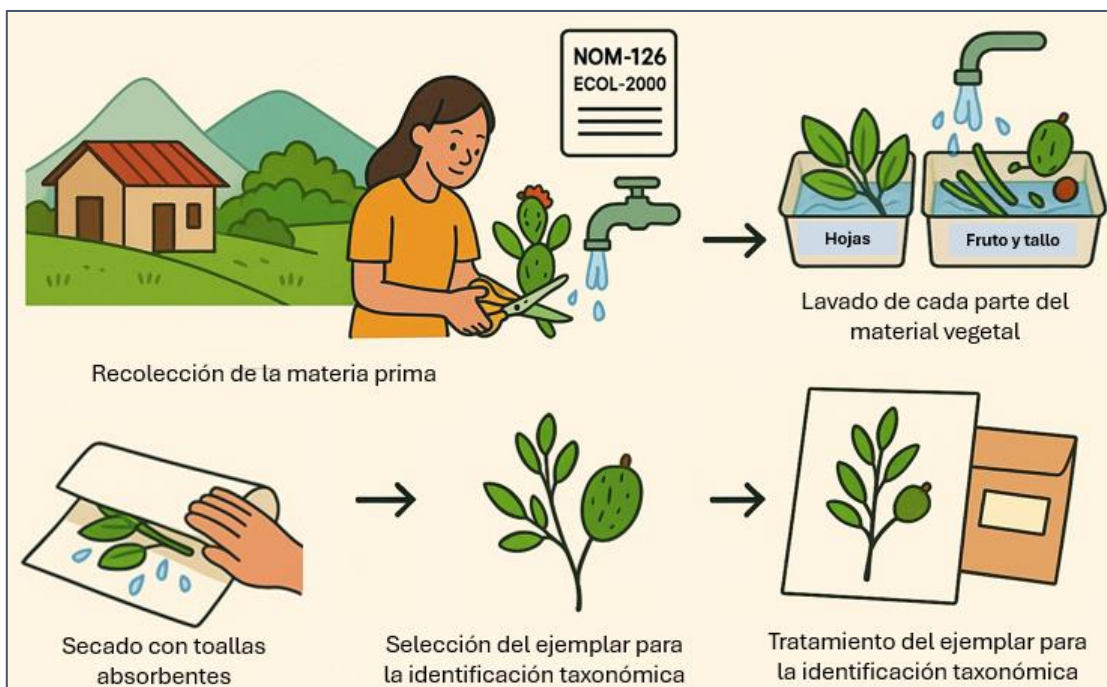


Figura 4. Obtención y caracterización de la materia prima (*Jatropha oaxacana*). Fuente: propia.

6.3. Acondicionamiento de la materia prima

Se utilizó un deshidratador de alimentos marca Hamilton beach para secar cada parte de la planta de manera uniforme. La deshidratación se realizó a 100 °F durante 48 h en el caso de las hojas, y por 72 h el tallo y el fruto, cada parte por separado. Para determinar el tiempo de secado y la temperatura encada caso, se realizaron distintas pruebas preliminares.

Una vez llevada a cabo la deshidratación del material vegetal, se pulverizaron las partes (tallo, hojas y fruto) por separado con ayuda de un mortero y se almacenaron en bolsas de papel celofán y a su vez en frascos ámbar para protegerlas de la luz y la humedad, como se muestra en la Figura 5.

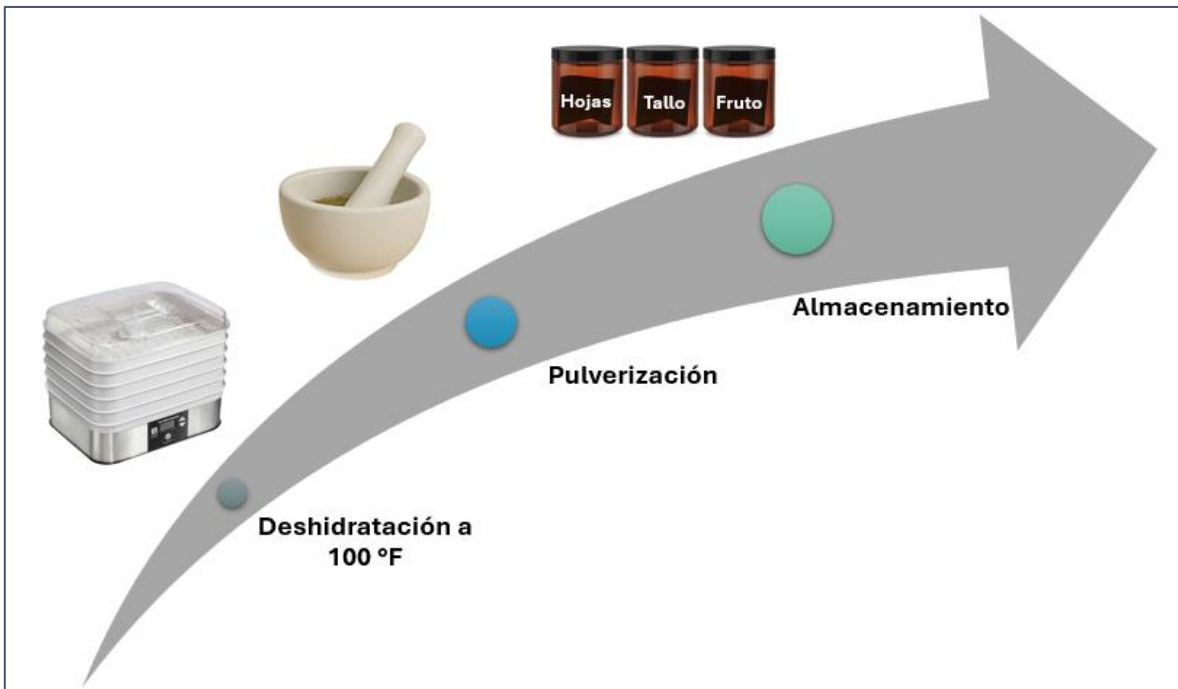


Figura 5. Acondicionamiento de las hojas, tallo y fruto de *Jatropha oxacana*. Fuente: propia.

6.4. Determinación de la humedad de las hojas, tallo y fruto de *Jatropha oxacana*

Para este ensayo se utilizaron las partes de la planta previamente deshidratadas. Como se muestra en la Figura 6, para realizar las pruebas por duplicado se etiquetaron 2 charolas de aluminio desechables para cada parte de la planta (hojas, tallo y fruto), se tomó el peso inicial de las 6 charolas con ayuda de una balanza analítica y unas pinzas de crisol para poder manipularlas. Posteriormente se llevaron a la estufa por 24 h a 100 °C, una vez transcurrido el tiempo, se ingresaron a un desecador durante 15 min y después se registró su peso (peso constante). Después, en cada charola se pesaron 3 g de cada parte de la planta de acuerdo con el etiquetado, y nuevamente se ingresaron las 6 charolas a la estufa a 100 °C durante 24 h. Por último, se introdujeron las charolas al desecador por 15 min y se registró el peso final de cada charola.



Figura 6. Tratamiento para la determinación de la humedad de las hojas, tallo y fruto de *Jatropha oaxacana*. Fuente: propia.

6.5. Diseño de experimentos

Se empleó un diseño factorial 3^3 , para evaluar los efectos de las variables del proceso mediante tres factores y 3 niveles, como se muestra en la Tabla 2 y Tabla 3.

Tabla 2. Factores y niveles considerados en el diseño de experimentos.

Factores	Niveles		
Partes de la planta	Hojas	Tallo	Fruto
Tiempo de ultrasonido (min)	5	7.5	10
Relación sólido-líquido (g/mL agua destilada)	0.1	0.15	0.2

Tabla 3. Factores y niveles del diseño factorial 3^3 para la selección del extracto de *Jatropha oaxacana*.

FACTORES	Parte de la planta	Tiempo de extracción (min)	Relación S/L (g/mL)	$3^3= 27$
NIVELES	HOJA	5	0.01	1
			0.015	2
			0.02	3
		7.5	0.01	4
			0.015	5
			0.02	6
		10	0.01	7
			0.015	8
			0.02	9
	TALLO	5	0.01	10
			0.015	11
			0.02	12
		7.5	0.01	13
			0.015	14
			0.02	15
		10	0.01	16
			0.015	17
			0.02	18
	FRUTO	5	0.01	19
			0.015	20
			0.02	21
		7.5	0.01	22

			0.015	23
			0.02	24
		10	0.01	25
			0.015	26
			0.02	27

Los factores y niveles fueron seleccionados de acuerdo con distintas pruebas preliminares que se realizaron en las distintas técnicas utilizadas, las cuales se detallan en las siguientes secciones.

6.6. Extracción de los compuestos bioactivos de las hojas, tallo y fruto de *Jatropha oaxacana* mediante la técnica de extracción asistida por ultrasonido (UAE)

Mediante la técnica de extracción asistida por ultrasonido se obtuvieron los 27 extractos indicados por el diseño de experimentos a base de agua destilada. Así también, un extracto a base de etanol, utilizando las hojas de la planta, a una relación soluto-solvente de 0.1 g/10 mL. En la Figura 7 se observa el procedimiento seguido en la obtención de los extractos y su almacenamiento. Inicialmente se pesaron las partes del material vegetal en vasos de precipitados de acuerdo con la Tabla 3 y se les agregó 10 mL de agua destilada a cada uno para obtener las relaciones sólido-líquido que se mencionan en la Tabla 3. Para la extracción se utilizó un equipo de baño ultrasónico de la marca VEVOR, 1 L de agua destilada en cada extracción, manteniendo la temperatura del baño de 22 °C a 25 °C. Los vasos de precipitados se colocaron dentro de la canastilla del equipo ultrasónico a los tiempos que se indican en la Tabla 3. Los extractos obtenidos se filtraron con ayuda de un embudo y papel filtro, después fueron almacenados en frascos ámbar para protegerlos de la luz, se refrigeraron y en un máximo de 24 h fueron analizados mediante las distintas técnicas que se detallan en las siguientes secciones.

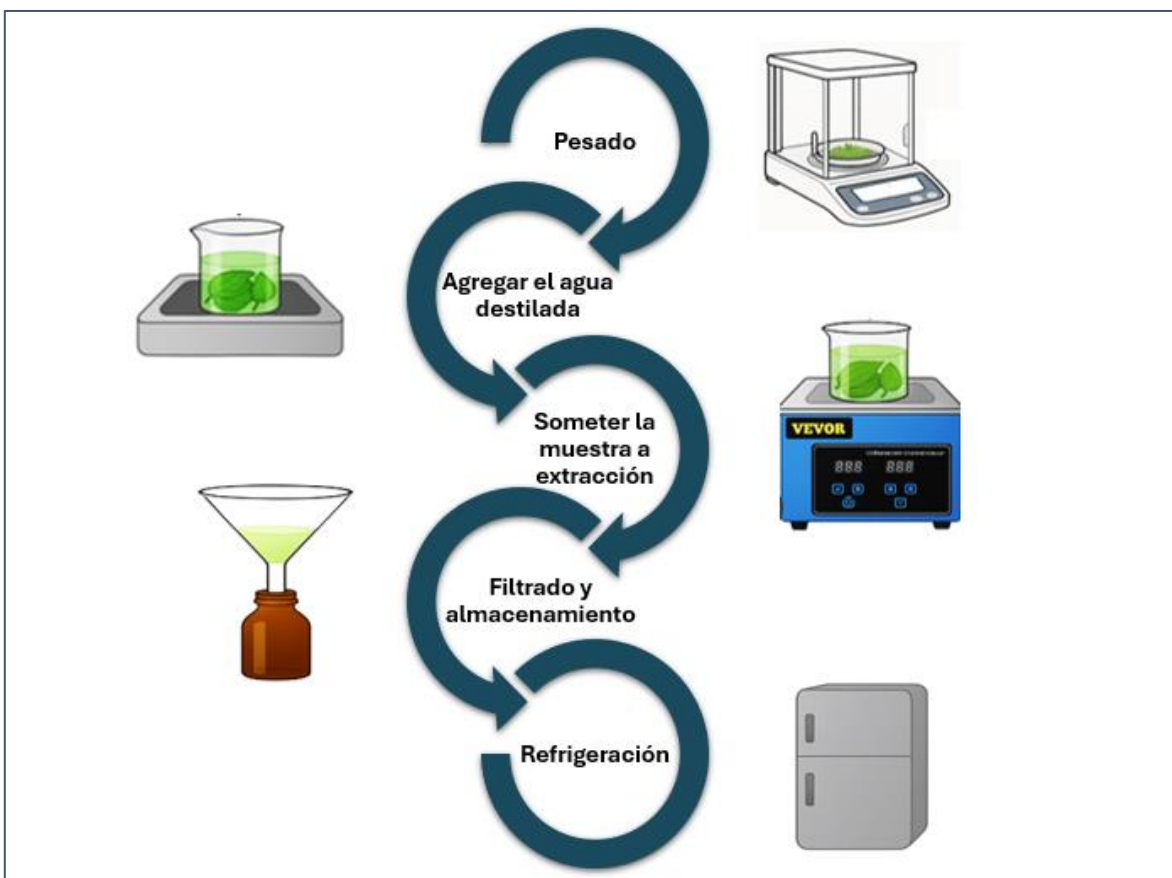


Figura 7. Obtención de los extractos acuosos de las hojas, tallo y fruto de *Jatropha oaxacana* mediante la técnica de extracción asistida por ultrasonido (UAE). Fuente: propia.

6.7. Medición de los compuestos fenólicos totales de los extractos acuosos de las hojas, tallo y fruto de *Jatropha oaxacana*

Los compuestos fenólicos totales de los 27 extractos indicados en el diseño de experimentos se evaluaron por duplicado según el método de Gao *et al.*, (2000). Como se muestra en la Figura 8 se mezclaron 2 mL de agua destilada y 0.2 mL de reactivo Folin-cioalteau con 0.1 mL del extracto de la planta; la mezcla se incubó durante 3 min a temperatura ambiente y luego se añadió 1 mL de Na_2CO_3 al 20%. La mezcla se dejó reposar durante 1 h a temperatura ambiente en un ambiente oscuro. Posteriormente, se midió la absorbancia a 765 nm en un espectrofotómetro UV-Visible utilizando como blanco 200 μL reactivo Folin-cioalteau con 2 mL agua destilada. El contenido total de compuestos fenólicos se calculó como mg de ácido gálico (GA)/g planta seca mediante la Ecuación (1).

$$\frac{\text{mg ácido gálico}}{\text{g planta seca}} = \frac{\text{ABS} - 0.0236}{3.8023} * \text{RLS} \dots (1)$$

Donde: ABS es la absorbancia de la muestra y RLS es la relación líquido sólido del extracto.

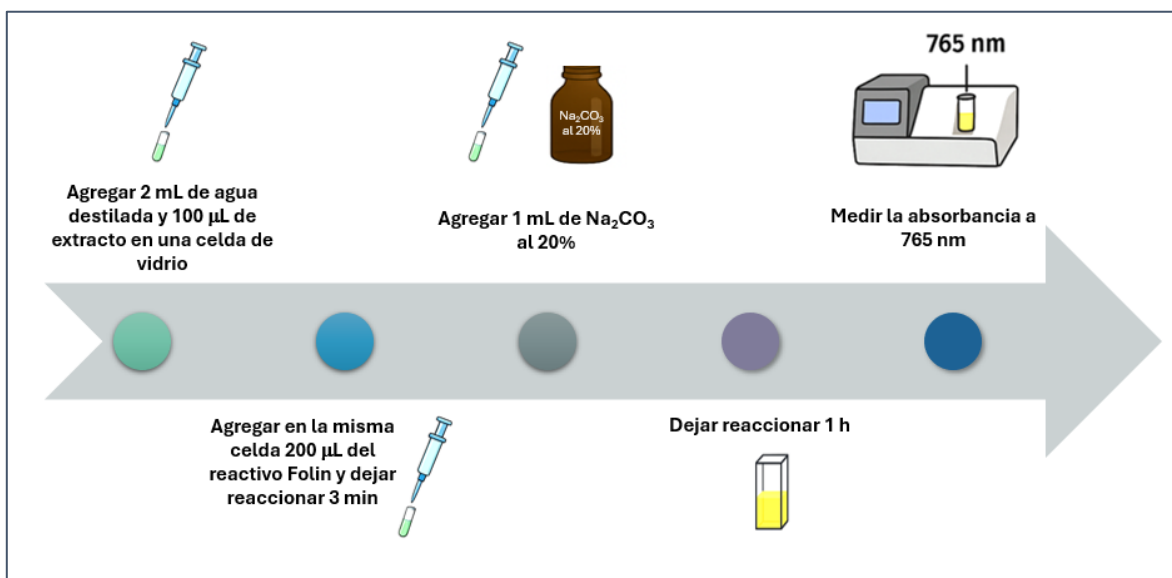


Figura 8. Procedimiento para la determinación de compuestos fenólicos totales de los extractos acuosos de *Jatropha oaxacana*. Fuente: propia.

6.8. Evaluación de la actividad antioxidante de los extractos acuosos de las hojas, tallo y fruto de *Jatropha oaxacana*

La actividad antioxidante de los 27 extractos fue evaluada mediante las técnicas colorimétricas ABTS y DPPH por duplicado con espectroscopía de UV-Vis.

6.8.1. Método ABTS

Se determinó la actividad antioxidante empleando el radical ABTS (2,2'-azino-di-(3-ethylbenzthiazoline sulfonic acid)) (Sigma Aldrich) calculando los porcentajes de inhibición, siguiendo la metodología propuesta por Conde-Hernández y Guerrero-Beltrán (2014). Como se muestra en la Figura 9 se utilizaron 3.3 mg de persulfato de potasio y 19.4 mg de ABTS, los cuales se mezclaron en 5 mL de agua destilada y se dejaron reposar por 16 h. Posteriormente se tomaron 100 µL de la solución preparada y se diluyeron en 30 mL de etanol, dejando reposar 30 min ajustando a una absorbancia de 0.7 ± 0.02 . La absorbancia

se evaluó en un espectrofotómetro UV-Visible (Jenway, Mod 6405 UV/Vis) a 754 nm de la mezcla con 3920 μL de la solución etanol-radical y 80 μL del extracto, utilizando como blanco etanol. Finalmente se registró la absorbancia inicial y final después de 7 min. El porcentaje de inhibición del radical ABTS se calculó por medio de la Ecuación (2).

$$\% \text{ Inhibición} = \left(\frac{\text{Abs}_{\text{inicial}} - \text{Abs}_{\text{final}}}{\text{Abs}_{\text{inicial}}} \right) * 100 \dots (2)$$

Donde: $\text{Abs}_{\text{inicial}}$, es la absorbancia inicial y $\text{Abs}_{\text{final}}$ es la absorbancia final.

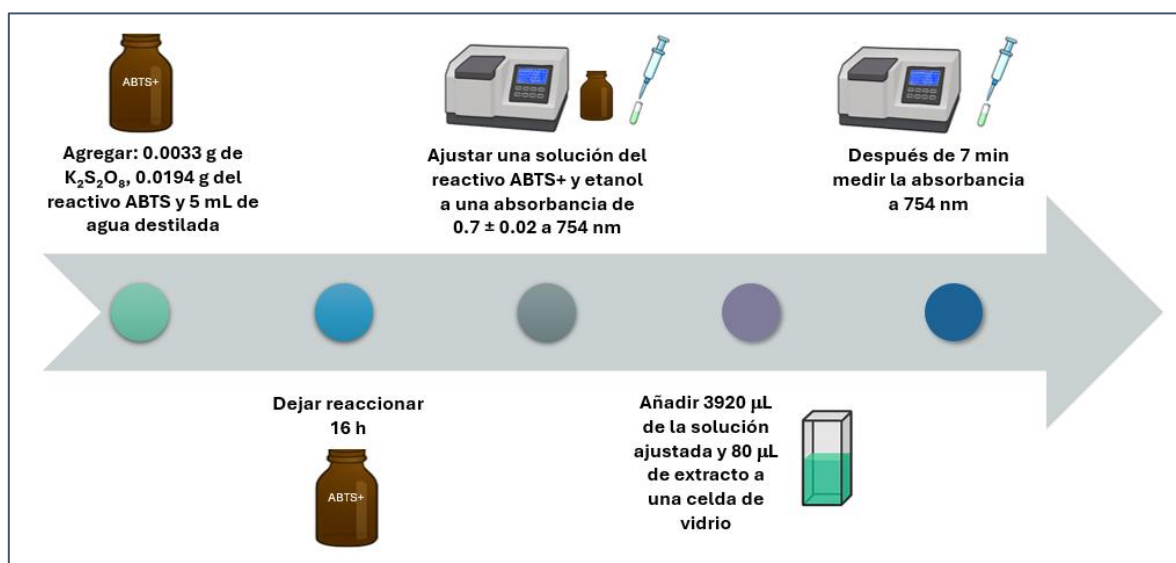


Figura 9. Procedimiento para la determinación de la actividad antioxidante de los extractos acuosos de *Jatropha oxacana* por el método ABTS. Fuente: propia.

6.8.2. Método DPPH

Para el método del radical DPPH, se siguió la metodología propuesta por Bajalan *et al.* (2017). Como se muestra en la Figura 10 se pesaron 0.0012 g del radical DPPH en un vidrio de reloj y con la ayuda de un embudo se transfirió el radical a un matraz aforado de 50 mL. Se aforó con metanol, se agitó perfectamente y se almacenó a temperatura ambiente en un frasco ámbar. Posteriormente la absorbancia de la muestra de control se evaluó a una longitud de onda de 517 nm en un espectrofotómetro UV-Visible (Jenway, Mod 6405 UV/Vis) después de 30 min de reposo al mezclar 3900 μL de la solución del DPPH y 100 μL de metanol. La absorbancia final se midió después de 30 min de reacción entre 3900 μL

de la solución DPPH y 100 μ L del extracto, utilizando como blanco metanol. Finalmente, el porcentaje de inhibición se calculó por medio de la Ecuación (3).

$$\% \text{ Inhibición} = \left(1 - \frac{A_f}{A_c} \right) * 100 \dots (3)$$

Donde: A_c , es la absorbancia de control y A_f es la absorbancia final.

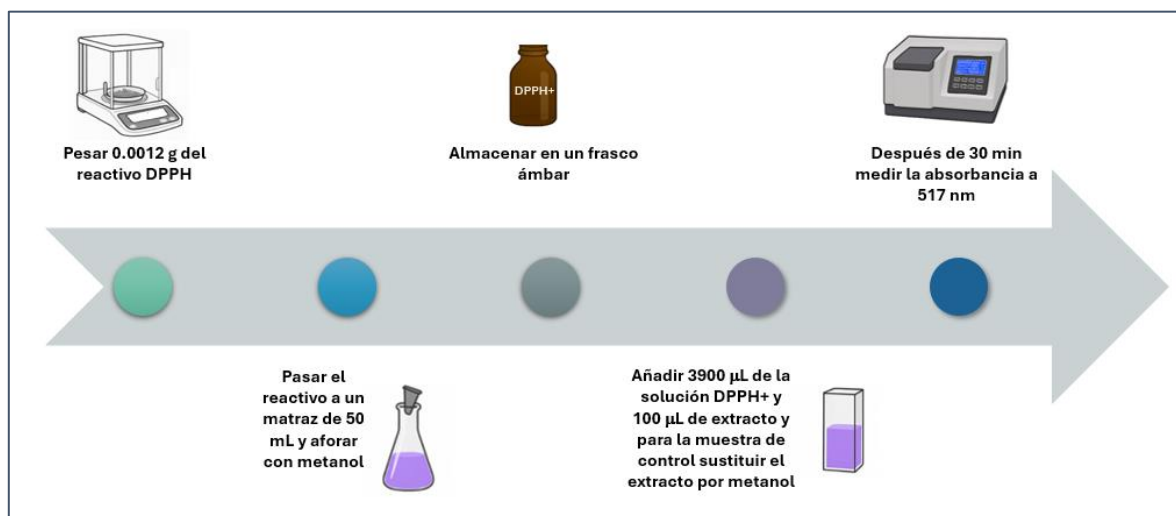


Figura 10. Procedimiento para la determinación de la actividad antioxidante de los extractos acuosos de *Jatropha oaxacana* por el método DPPH. Fuente: propia.

6.9. Determinación de la composición química de las hojas de *Jatropha oaxacana*

Se utilizó la técnica GC-MS (Cromatografía de Gases-Espectrometría de Masas) para identificar los compuestos químicos presentes en el extracto etanólico de las hojas de *Jatropha oaxacana* a una relación soluto-solvente de 0.1 g/10 mL, siguiendo la metodología propuesta por Conde-Hernández y Guerrero-Beltrán (2014). Para lo cual se utilizó un cromatógrafo de gases 6850N conectado a un detector selectivo de masas de cuadrupolo 5975, se inyectó el extracto, la separación de volátiles se realizó utilizando una columna HP5-MS de 30 m de longitud y 0.25 mm de diámetro revestida con una película de 0.25 μ m de espesor. La identificación de los compuestos se basó en la comparación de su espectro de masas con la base de datos NIST (Instituto Nacional de Estándares y Tecnología).

6.10. Análisis estadístico de resultados

Los datos obtenidos al aplicar el diseño de experimentos a las técnicas ABTS, DPPH y compuestos fenólicos totales, se analizaron con ayuda del programa estadístico Minitab 22.

6.11. Determinación de la toxicidad de los extractos acuosos de las hojas, tallo y fruto de *Jatropha oaxacana* en el modelo de *Artemia salina*

La toxicidad de los extractos acuosos del tallo, fruto y las hojas de *Jatropha oaxacana* con mayor actividad antioxidante se determinó a través del ensayo de *Artemia salina* de acuerdo con la metodología de Juárez *et al.* (2015). Se cultivaron quistes de *Artemia* spp. en agua de mar artificial preparada a partir de sal marina comercial (15 g de sal marina/0.5 L de agua destilada), y se incubaron a 25 °C en presencia de luz durante 24 h. Para realizar el bioensayo se preparó una solución salina de 7.5 g de sal marina/250 mL de agua destilada, se agregaron 5 mL de esta solución a tubos de ensayo de vidrio de borosilicato de 10 mL (KIMAX) y se transfirieron 10 nauplios de 24 h de edad en cada tubo utilizando una pipeta Pasteur. Las pruebas de letalidad se realizaron por triplicado evaluando el efecto de los extractos acuosos a distintas concentraciones, las cuales se calcularon con la Ecuación (4), las cuales se muestran en la Tabla 4. En los blancos se utilizó únicamente agua de mar artificial y como control negativo agua destilada.

$$V1 \times C1 = V2 \times C2 \dots (4)$$

Donde, V1 es el volumen calculado en cada caso, V2 son 5 mL, C1 corresponde a la concentración del extracto acuoso de las hojas, tallo y fruto de *J. oaxacana* que presentó mayor actividad antioxidante (resultados del % de inhibición por ABTS y DPPH) de acuerdo con el diseño de experimentos y C2 toma los valores de las concentraciones utilizadas en la prueba.

Tabla 4. Cantidades de extractos, agua destilada y agua de mar artificial utilizadas en cada muestra para el bioensayo con *Artemia* spp.

Extractos de <i>Jatropha</i>	Muestras por triplicado (C2)	Cantidad inicial de	Cantidad de extracto en	Cantidad de agua
------------------------------	------------------------------	---------------------	-------------------------	------------------

<i>oaxacana</i>		agua de mar artificial en mL (V2)	μL (V1)	destilada en mL (V1)
Extracto acuoso de las hojas C1 = 0.02 g/mL	30 ppm (A, B y C)	5	75	~
	50 ppm (A, B y C)	5	125	~
	75 ppm (A, B y C)	5	187.5	~
	100 ppm (A, B y C)	5	250	~
	150 ppm (A, B y C)	5	375	~
	200 ppm (A, B y C)	5	500	~
	250 ppm (A, B y C)	5	625	~
	Control negativo (A, B y C)	5	~	625
	Blanco (A, B y C)	5	~	~
Extracto acuoso del fruto C1 = 0.02 g/mL	5 ppm (A, B y C)	5	12.5	~
	10 ppm (A, B y C)	5	25	~
	20 ppm (A, B y C)	5	50	~
	30 ppm (A, B y C)	5	75	~
	50 ppm (A, B y C)	5	125	~
	75 ppm (A, B y C)	5	187.5	~

	Control negativo (A, B y C)	5	~	187.5
	Blanco (A, B y C)	5	~	~
Extracto acuoso del tallo C1 = 0.01 g/mL	25 ppm (A, B y C)	5	125	~
	50 ppm (A, B y C)	5	250	~
	75 ppm (A, B y C)	5	375	~
	100 ppm (A, B y C)	5	500	~
	150 ppm (A, B y C)	5	750	~
	250 ppm (A, B y C)	5	1250	~
	500 ppm (A, B y C)	5	2500	~
	Control negativo (A, B y C)	5	~	2500
	Blanco (A, B y C)	5	~	~

Posteriormente, se agregaron a los tubos las cantidades de extracto, agua salina y agua destilada mencionadas en la Tabla 4 para cada caso. Se aforó cada tubo con la solución salina, se guardaron con una relación luz: oscuridad de 12: 12 durante 24 h.

Pasando el periodo de incubación, se observó cada muestra para determinar la cantidad de nauplios vivos y muertos, los nauplios se consideraron muertos cuando no se detectó movimiento después de 10 s de observación. La toxicidad se estimó calculando la CL_{50} (concentración letal media) utilizando el análisis Probit con un 95% de confianza utilizando el software Statgraphics 19. Se clasificaron los valores de toxicidad obtenidos según la definición de Meyer *et al.* (1982): concentraciones mayores a 1500 $\mu\text{g/mL}$ se consideraron inocuas, de 1000 a 1500 $\mu\text{g/mL}$ se consideraron no tóxicas, de 500 a 1000 $\mu\text{g/mL}$ se

consideraron ligeramente tóxicas, de 100 a 500 $\mu\text{g}/\text{mL}$ se consideraron moderadamente tóxicas, de 10 a 100 $\mu\text{g}/\text{mL}$ se consideraron altamente tóxicas, y de 1 a 10 $\mu\text{g}/\text{mL}$ se consideraron extremadamente tóxicas.

6.12. Evaluación de la actividad insecticida del extracto acuoso de las hojas de *Jatropha oaxacana* en *Ullumoides dermestoides*

Se realizó la evaluación de la actividad insecticida del extracto acuoso de las hojas de *Jatropha oaxacana* con una relación sólido-líquido de 0.02 g/mL, en gorgojo de frijol (*Ullumoides dermestoides*) a diferentes concentraciones (50, 100, 250, 500 y 1000 ppm) por triplicado. Para realizar la prueba, se utilizaron frascos de plástico con tapas perforadas cubiertas con una malla para ventilación, a cada frasco se le agregó 10 g de avena comercial y se etiquetaron como blancos, control negativo, y, además, los ensayos con las diferentes concentraciones del extracto: 50 ppm, 100 ppm, 250 ppm, 500 ppm y 1000 ppm. Se calculó el volumen de extracto acuoso a utilizar para cada concentración de acuerdo con la Ecuación (4), los cálculos 10 g de avena se muestran en la Tabla 5.

Tabla 5. Volumen del extracto acuoso de las hojas de *Jatropha oaxacana* (V1), utilizado para distintas concentraciones.

<i>C2 (ppm)</i>	<i>V1 (mL)</i>	<i>V1 (mL)</i> <i>Para 10 g de avena</i>
50	0.0125	125
100	0.025	250
250	0.0625	625
500	0.125	1250
1000	0.25	2500

A los blancos, únicamente se les colocaron 10 adultos. A los frascos con avena etiquetados como 50, 100, 250, 500 y 1000 ppm se les agregó primero el volumen de extracto acuoso calculado para cada caso de acuerdo con la Tabla 5. Los frascos se movieron de forma circular por 15 s para que el extracto se integrara uniformemente en la avena y finalmente

se colocaron 10 adultos en cada muestra. A los controles se les agregó 2500 μL de agua destilada (volumen correspondiente a la máxima concentración utilizada en la prueba), posteriormente se movieron los frascos de forma circular durante 15 s y por último se agregaron 10 adultos. Todas las muestras se taparon y fueron almacenadas en oscuridad. Con ayuda de un estereoscopio se observó el comportamiento de las muestras para detectar el seguimiento de los insectos en cuanto a su reproducción y crecimiento, así como muerte de adultos, larvas y huevos una vez por semana y durante 3 meses.

7. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

7.1. Resultado de la identificación taxonómica del material vegetal

En la Figura 11 se muestra el resultado de la identificación taxonómica de la planta utilizada en este proyecto, emitido por el Jardín botánico de la BUAP, el cual confirma su nombre científico (*Jatropha oaxacana*).



BUAP

No. oficio HJ-035/2024

Dra. Lilia Alejandra Conde Hernández
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:

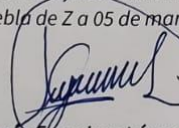
No.	ID	NOMBRE	FAMILIA	NÚMERO DE COLECTA	COLECTOR
1	90275	<i>Jatropha oaxacana</i> Jiménez Ram. & R. Torres	ASTERACEAE	1	Azucena Tornel Miguel

Sin más por el momento me despido de usted.

Atentamente

“Pensar Bien, Para Vivir Mejor”

H. Puebla de Z a 05 de marzo de 2024


Dr. Jesús Francisco López Cárdenas
Director del Herbario y Jardín Botánico



c.c.p. Archivo

Figura 11. Resultado de la identificación taxonómica del material vegetal. Fuente: propia.

7.2. Determinación de la humedad de las hojas, tallo y fruto de *Jatropha oaxacana*

En la Tabla 6 se muestran los resultados obtenidos de la humedad de las distintas partes de la planta, los cuales se representan mediante la relación de la cantidad de la muestra húmeda antes de ingresar a la estufa entre la cantidad de la muestra seca al salir de la

estufa (p.m.h/p.m.s), lo que es igual a: g de la parte de la planta húmeda/g de sólidos secos.

Con ayuda de la Ecuación (5) se determinó el porcentaje de humedad de las hojas, tallo y fruto. Los resultados se muestran en la Tabla 7.

$$\% \text{ humedad} = \frac{m_1 - m_2}{m_1} \times 100 \dots (5)$$

Donde m_1 es el peso de la charola más la muestra húmeda y m_2 es el peso de la charola más la muestra seca.

Tabla 6. Resultados de la determinación de la humedad de las hojas, tallo y fruto de *Jatropha oaxacana*.

# charola (muestra)	A = Peso constante de las charolas al salir del desecador (g)		C = Peso promedio de la muestra húmeda (g)	B = Peso de la charola + de la muestra al salir del desecador (g)		D = Peso promedio de la muestra seca (g)	C/D = p.m.h/p.m.s (g parte de la planta húmeda/g sólidos secos)
	Peso de la muestra húmeda (g)	Peso de la muestra seca (g)					
1 (hojas)	3.0716	3.0002	3.0002	5.7793	2.7077	2.7147	1.1052
2 (hojas)	3.0919	3.0001		5.8135	2.7216		
3 (tallo)	3.0718	3.0000	3.0002	5.7935	2.7217	2.7234	1.1016
4 (tallo)	3.0773	3.0003		5.8023	2.7250		
5 (fruto)	3.0585	3.0000	3.0003	5.8386	2.7801	2.7820	1.0785
6 (fruto)	3.1173	3.0005		5.9011	2.7838		

Tabla 7. Porcentaje de humedad de las hojas, tallo y fruto de *Jatropha oaxacana*.

Muestra Porcentaje de humedad (%)

Hojas	4.6945	±	0.0017
Tallo	4.5566	±	0.0004
Fruto	3.5859	±	0.0006

7.3. Determinación de la composición química de las hojas de *Jatropha oaxacana*

En la Tabla 8 se muestran los compuestos químicos detectados mediante la técnica GC-MS (Cromatografía de Gases-Espectrometría de Masas) y en la Figura 12 puede observarse el cromatograma obtenido por dicha técnica.

Tabla 8. Compuestos químicos presentes en el extracto etanólico de las hojas de *Jatropha oaxacana* obtenido por ultrasonido a una relación de 0.1 g/10 mL.

Número	Área %	Nombre	#CAS
1	2.17	m-Cymene	535-77-3
2	2.56	Eucalyptol	470-82-6
3	2.64	7,7a-Dimethyl.3a,4,5,7a-tetrahydro-3H-benzofuran-2-one	NIST 186112
4	1.94	Thymol	89-83-8
5	44.98	Carvacrol	499-75-2
6	4.35	Caryophyllene	87-44-5
7	2.67	α -caryophyllene	6753-98-6
8	3.94	3-tert-BHA	88-32-4
9	8.89	Isoaromadendrene epoxide	NIST159366
10	2.38	Caryophyllene oxide	1139-30-6
11	11.72	β -Eudesmol	473-15-4
12	11.76	Lycopersene	503-62-5

File :C:\msdchem\1\DATA\BETTY\JATROPHA OAXACONA.D
Operator :
Acquired : 3 Sep 2024 14:47 using AcqMethod HOJASANTA.M
Instrument : MSD-6850
Sample Name: jatropa oaxacona.
Misc Info :
Vial Number: 1

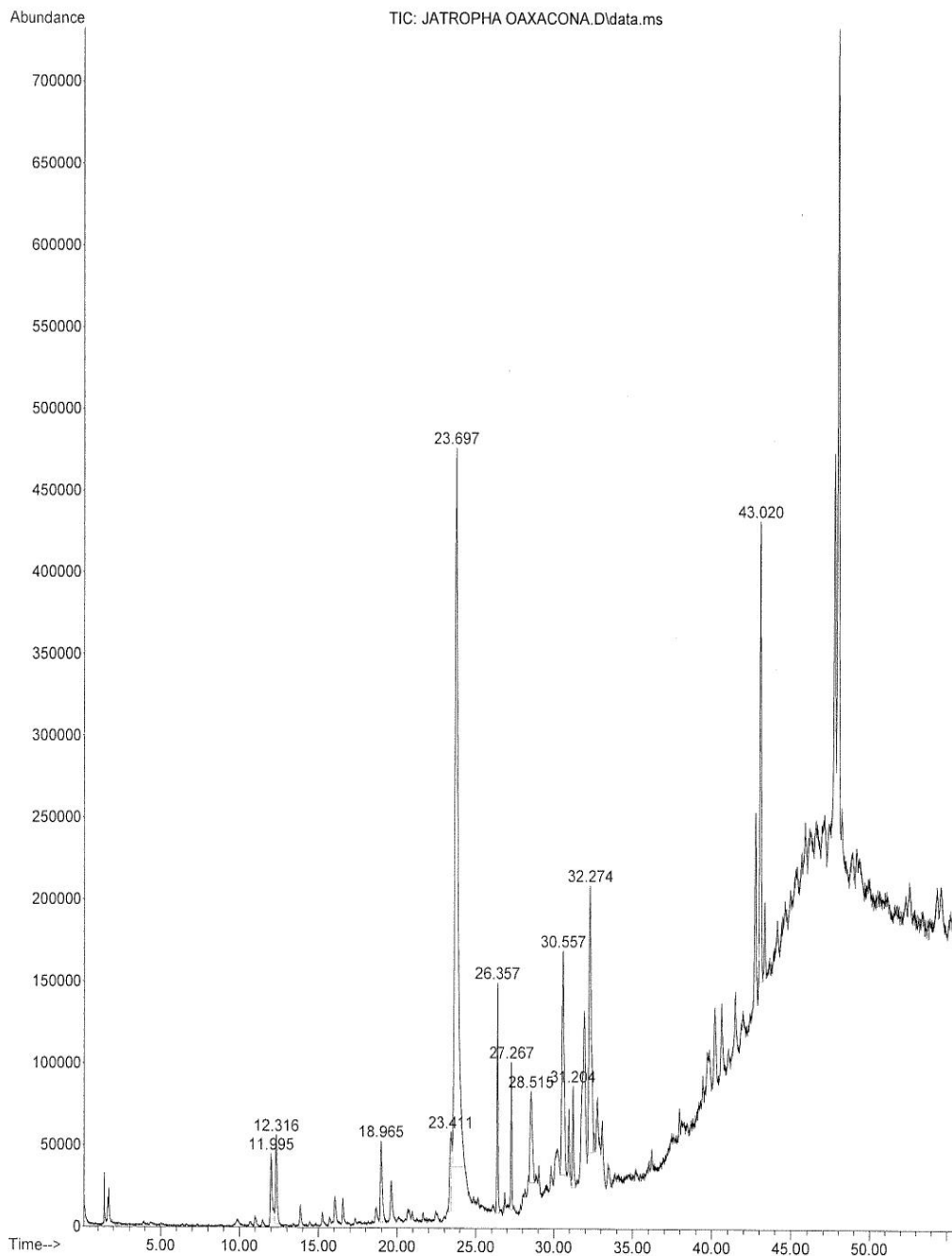


Figura 12. Cromatograma del extracto etanólico de las hojas de *Jatropha oaxacana* analizado por GC-MS. Fuente: propia.

Si bien, no se encuentran estudios que reporten la composición química de las hojas de *Jatropha oaxacana*, los resultados obtenidos pueden compararse con estudios sobre extractos metanólicos de las hojas de *Jatropha neopauciflora* Pax, en donde se reporta la presencia de β -sitosterol, lupeol y arabinol mediante la técnica GC-MS, de los cuales se destaca el lupeol por poseer propiedades antioxidantes y antibacterianas (Hernández, 2010).

Dentro de los compuestos más abundantes encontrados en el extracto etanólico de las hojas de *Jatropha oaxacana* de acuerdo con la (Tabla 8) se encuentra el carvacrol, que es el principal componente (% área = 44.98), se ha reportado su presencia en aceites esenciales de piperita (*Lepidium flavum*), bergamota silvestre (*Citrus aurantium bergamia*), orégano (*Origanum vulgare*) y tomillo (*Thymus vulgaris*), al cual se le atribuyen propiedades antimicrobianas, antioxidantes y anticancerígenas (Sharifi-Rad *et al.*, 2018).

También se encuentra con mayor presencia el licoperseno (% área = 11.76), que es un carotenoide con efectos antioxidantes, antimutagénicos, antiproliferativos, citotóxicos, antibacterianos y pesticidas (Arumugam *et al.*, 2022). De acuerdo con NIH (2025) los carotenoides son un tipo de pigmento natural que se encuentran en plantas, algas y algunas bacterias fotosintéticas, los cuales les dan la coloración amarilla, naranja y roja, también juegan roles importantes en la fotosíntesis de las plantas y pueden actuar como precursores de la vitamina A. Por lo tanto, el licoperseno puede considerarse como el compuesto químico responsable del color rojo del látex que emana al cortar las partes aéreas de *Jatropha oaxacana*.

Otro compuesto químico con mayor presencia en las hojas de *Jatropha oaxacana* es el β -eudesmol (% área = 11.72), el cual posee propiedades antioxidantes, antiinflamatorias, anticancerígenas, neuroprotectoras y estimulantes del apetito (Ohara *et al.*, 2017). Se ha utilizado en estudios sobre diversas enfermedades, como el cáncer, inflamación, estrés oxidativo y enfermedades neurodegenerativas (Ohara *et al.*, 2018).

También se reportan compuestos químicos con menor presencia, por debajo del 9 % de área. Dentro de los cuales encontramos al timol (% área = 1.94), que es un compuesto fenólico que posee una alta actividad antioxidante, antimicrobiana y antifúngica y se ha

utilizado con éxito asociado con el carvacrol como fitoaditivo dietético para mejorar el estado antioxidante de los animales, así como en diversos productos como desinfectantes, enjuagues bucales y repelentes de insectos (Luiz de Oliveira *et al.*, 2014).

El 3-terc-butyl-4-hidroxianisol o 3-tert-BHA (% área = 3.94), es compuesto químico sólido de aspecto ceroso, comúnmente utilizado en la industria de alimentos, cosméticos y productos farmacéuticos para prevenir la oxidación de grasas y aceites y prolongar la vida útil de los productos, la FDA lo considera seguro para uso alimentario en las cantidades permitidas, pero algunos estudios indican posibles efectos carcinogénicos en animales (Rychen *et al.*, 2018).

El m-cimeno (% área = 2.17), es un hidrocarburo aromático ampliamente utilizado en fragancias, productos farmacéuticos y agroquímicos, debido a su olor agradable (Vora *et al.*, 2003).

El eucaliptol (% área = 2.56), es un compuesto orgánico presente en el aceite esencial de eucalipto (*Eucalyptus*), es ampliamente utilizado en diversos productos como colutorios, repelentes de insectos, y aromatizantes, debido a sus propiedades antimicrobianas, antitusígenas, antiinflamatorias, expectorantes y aromatizantes (Bedoya *et al.*, 2023).

El cariofileno (% área = 4.35), el alfa-cariofileno (% área = 2.67), el óxido de cariofileno (% área = 2.38), y el epóxido de isoaromadendreno (% área = 8.89), son compuestos químicos relacionados pertenecientes a la clase de los sesquiterpenos, que son compuestos orgánicos formados por tres unidades de isopreno (Chappell & Coates, 2010). Se les atribuyen propiedades antiinflamatorias, antimicrobianas y antioxidantes (CANNA, 2025).

El óxido de cariofileno, es un compuesto que se encuentra presente en todas las variedades de Cannabis, y se caracteriza también por su sabor y fragancia, también por sus propiedades insecticidas y antifúngicas (Fidyt *et al.*, 2016). El epóxido de isoaromadendreno destaca por su aplicación en afecciones de la piel, como en el tratamiento de heridas superficiales, picaduras de insectos y acné leve (Groot & Schmidt, 2016).

Con respecto a lo anterior, la ausencia del aroma de las hojas de *Jatropha oaxacana*, puede deberse a que el m-cimeno, el eucaliptol, la 7,7a-dimetil-3a,4,5,7a-tetrahidro-3H-

benzofuran-2-ona y el óxido de cariofileno se encuentran con menor presencia en las hojas a comparación de otros compuestos como el carvacrol.

7.4. Análisis estadístico de resultados

Los resultados se analizaron con ayuda del software Minitab 22 mediante el análisis de varianza (ANOVA), diagrama de Pareto de efectos estandarizados, análisis del diseño factorial y análisis del diseño de superficie de respuesta los cuales se muestran a continuación.

7.4.1. Medición de los compuestos fenólicos totales de los extractos acuosos de las hojas, tallo y fruto de *Jatropha oaxacana*

Los resultados de la medición por duplicado de compuestos fenólicos totales de los 27 extractos acuosos de las hojas, tallo y fruto de *Jatropha oaxacana* de acuerdo con el diseño de experimentos se representaron en mg de ácido gálico/g de sólidos secos como se muestra en la Tabla 10, para obtenerlos se utilizó el factor de dilución (relación líquido-sólido en mL/g) y la relación p.m.h/p.m.s., en cada caso, como se muestra en la Tabla 9.

Tabla 9. Conversión de unidades de los resultados de la medición de compuestos fenólicos totales para el tratamiento de los datos en Minitab 22.

<p>Respuesta de la técnica</p>	$\frac{mg \text{ ácido gálico}}{g \text{ planta húmeda}} = \frac{ABS - 0.0236}{3.8023}$
<p>Relaciones utilizadas</p>	<ul style="list-style-type: none"> Factor de dilución: $FD = \frac{mL \text{ de solvente}}{g \text{ de la planta húmeda}}$

	<ul style="list-style-type: none"> • $\frac{p.m.h}{p.m.s} = \frac{g \text{ parte de la planta húmeda}}{g \text{ sólidos secos}}$ – Hojas: $\frac{p.m.h}{p.m.s} = 1.1052$ – Tallo: $\frac{p.m.h}{p.m.s} = 1.1016$ – Fruto: $\frac{p.m.h}{p.m.s} = 1.0785$
Conversión de las unidades	$\frac{mg \text{ ácido gálico}}{g \text{ sólidos secos}} = \frac{mg \text{ ácido gálico}}{g \text{ planta húmeda}} * FD * \frac{p.m.h}{p.m.s}$

Tabla 10. Resultados de la medición por duplicado de compuestos fenólicos totales de los 27 extractos de *Jatropha oaxacana* en mg ácido gálico/g sólidos secos analizados en Minitab 22.

PARTE DE LA PLANTA	Tiempo (min)	FD: Relación L-S (mL/g)	Relación S-L (mL/g)	Promedio: mg ácido gálico/g sólidos secos
HOJA	5	100	0.01	7.7722 ± 0.5755
	5	100	0.01	
	5	66.6667	0.015	7.1967 ± 0.1370
	5	66.6667	0.015	
	5	50	0.02	6.3930 ± 0.0103
	5	50	0.02	
	7.5	100	0.01	5.5777 ± 0.2261
	7.5	100	0.01	
	7.5	66.6667	0.015	5.5787 ± 0.0137
	7.5	66.6667	0.015	

	7.5	50	0.02			
	7.5	50	0.02	5.0415	±	0.1130
	10	100	0.01			
	10	100	0.01	8.2082	±	0.0000
	10	66.6667	0.015			
	10	66.6667	0.015	7.7586	±	0.7673
	10	50	0.02			
	10	50	0.02	7.8609	±	0.4830
	<hr/>					
	5	100	0.01			
	5	100	0.01	11.5573	±	0.0205
	5	66.6667	0.015			
	5	66.6667	0.015	10.2835	±	0.0819
	5	50	0.02			
	5	50	0.02	10.9793	±	0.0102
	7.5	100	0.01			
	7.5	100	0.01	9.9203	±	0.0410
	7.5	66.6667	0.015			
	7.5	66.6667	0.015	8.0526	±	0.0137
	7.5	50	0.02			
	7.5	50	0.02	9.6103	±	0.0205
	10	100	0.01			
	10	100	0.01	12.0643	±	0.3688
	10	66.6667	0.015			
	10	66.6667	0.015	12.3502	±	0.1093
	10	50	0.02			
	10	50	0.02	12.2251	±	0.2356
	<hr/>					
FRUTO	5	100	0.01			
	5	100	0.01	6.3364	±	0.2407
	5	66.6667	0.015	5.1981	±	0.5215

5	66.6667	0.015			
5	50	0.02			
5	50	0.02	4.9551	±	0.5014
7.5	100	0.01			
7.5	100	0.01	5.2728	±	0.3410
7.5	66.6667	0.015			
7.5	66.6667	0.015	4.9901	±	0.7889
7.5	50	0.02			
7.5	50	0.02	4.7779	±	0.0100
10	100	0.01			
10	100	0.01	6.7619	±	0.2407
10	66.6667	0.015			
10	66.6667	0.015	5.8694	±	0.1604
10	50	0.02			
10	50	0.02	6.5506	±	1.1332

Los experimentos que presentaron las respuestas más favorables fueron a relaciones sólido-líquido de 0.01, 0.015 y 0.01 g/mL para las hojas, tallo y fruto respectivamente, a 10 min de extracción en cada caso.

En la Tabla 11 se muestran los resultados del análisis de varianza con los datos de la respuesta compuestos fenólicos totales medidos en mg ácido gálico/g sólidos secos, pudiendo observar la importancia de la mayoría de los factores, ya que, en este experimento, los valores p para la mayoría de los términos son 0.000, menores que el nivel de significancia de 0.05, siendo la parte de la planta el factor más influyente ($F = 400.23$). Las interacciones: Relación SL*Parte de la planta y Tiempo*Parte de la planta no fueron estadísticamente significativas, ya que sus valores de p fueron 0.492 y 0.589 respectivamente. Sin embargo, todos los factores individuales fueron significativos estadísticamente.

Tabla 11. Análisis de Varianza compuestos fenólicos totales.

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Modelo	11	317.226	28.839	88.24	0.000
Lineal	4	273.436	68.359	209.16	0.000
Relación SL	1	2.865	2.865	8.76	0.005
Tiempo	1	8.955	8.955	27.40	0.000
Parte de la planta	2	261.616	130.808	400.23	0.000
Cuadrado	2	41.527	20.763	63.53	0.000
Relación SL*Relación SL	1	1.979	1.979	6.05	0.018
Tiempo*Tiempo	1	39.548	39.548	121.00	0.000
Interacción de 2 factores	5	2.263	0.453	1.38	0.250
Relación SL*Tiempo	1	1.441	1.441	4.41	0.042
Relación SL*Parte de la planta	2	0.471	0.236	0.72	0.492
Tiempo*Parte de la planta	2	0.351	0.175	0.54	0.589
Error	42	13.727	0.327		
Falta de ajuste	15	9.590	0.639	4.17	0.001
Error puro	27	4.137	0.153		
Total	53	330.952			

En la Figura 13 se muestra el diagrama de Pareto de efectos estandarizados para la respuesta compuestos fenólicos totales, en donde las barras se ordenan de la frecuencia de ocurrencias más alta a la frecuencia de ocurrencias más baja. La línea de referencia indica cuáles efectos son estadísticamente significativos, pudiendo observar que la mayoría de los factores e interacciones son importantes, siendo BB (Tiempo²) y C (Parte de

la planta) quienes tienen mayor efecto en la respuesta, a diferencia de AC (Relación SL*Parte de la planta) y BC (Tiempo*Parte de la planta) que tienen la menor frecuencia de ocurrencias, por lo que no son significativos estadísticamente sobre la variable de respuesta.

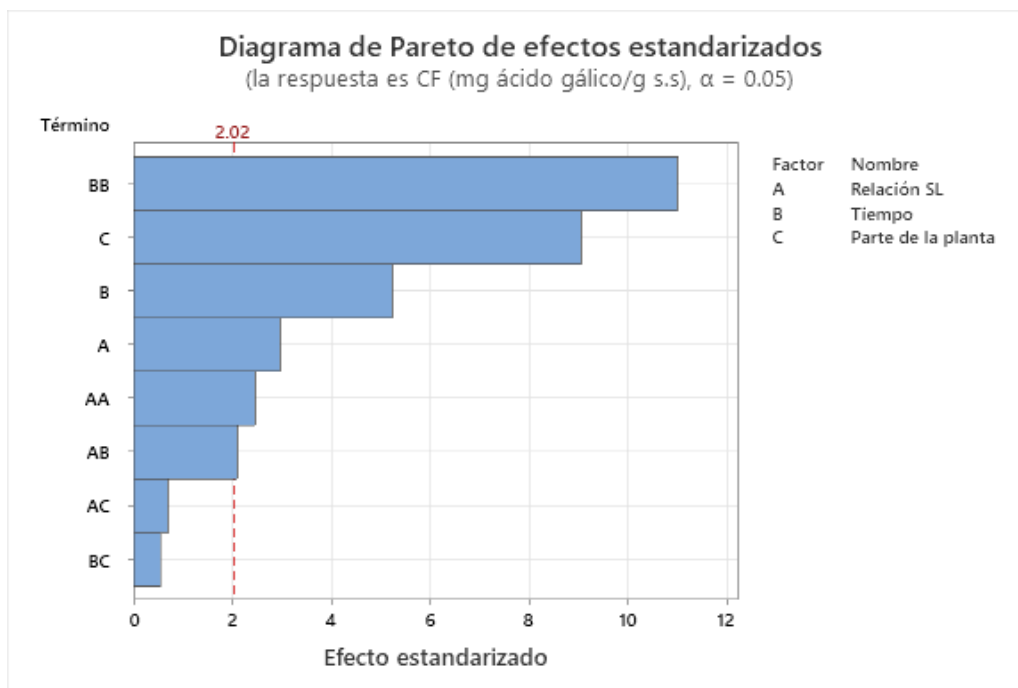


Figura 13. Diagrama de Pareto de efectos estandarizados, como respuesta compuestos fenólicos totales (mg ácido gálico/g s.s.). Fuente: propia.

En la Figura 14 se muestran las gráficas de contorno y superficie de las hojas, tallo y fruto (A1, A2, B1, B2, C1 y C2 respectivamente) con los factores tiempo y relación sólido-líquido. Las gráficas de superficie muestran una representación visual de una superficie tridimensional donde los ejes X y Y representan dos variables continuas (tiempo de extracción y relación sólido-líquido) y el eje Z representa la variable de respuesta (mg ácido gálico/g sólidos secos). Estas gráficas son útiles para identificar combinaciones óptimas de las variables de entrada que maximizan o minimizan la variable de respuesta. Las gráficas de contorno representan la superficie mediante líneas, cada línea de contorno conecta puntos en el plano XY que tienen el mismo valor de la variable de respuesta (Z), las regiones de color azul intenso representan los puntos a los cuales el valor de la respuesta es menor y en las áreas color verde intenso se indican los valores de las

variables que ocasionan datos más altos en la respuesta. También, se puede visualizar la forma de la superficie e identificar regiones de interés, como picos o valles, que corresponden a valores altos o bajos de la variable de respuesta. En este caso, puede observarse que a un tiempo de extracción de 10 min se obtienen respuestas más favorables en todos los casos y con relaciones sólido-líquido tanto altas como bajas (0.01 y 0.02 g/mL). Con ayuda de las gráficas de contorno se comprueba que el tallo, un tiempo de extracción de 10 min y una relación sólido-líquido de 0.02 g/mL son las variables que influyen más estadísticamente en la respuesta (mg ácido gálico/g s.s. > 12.0).

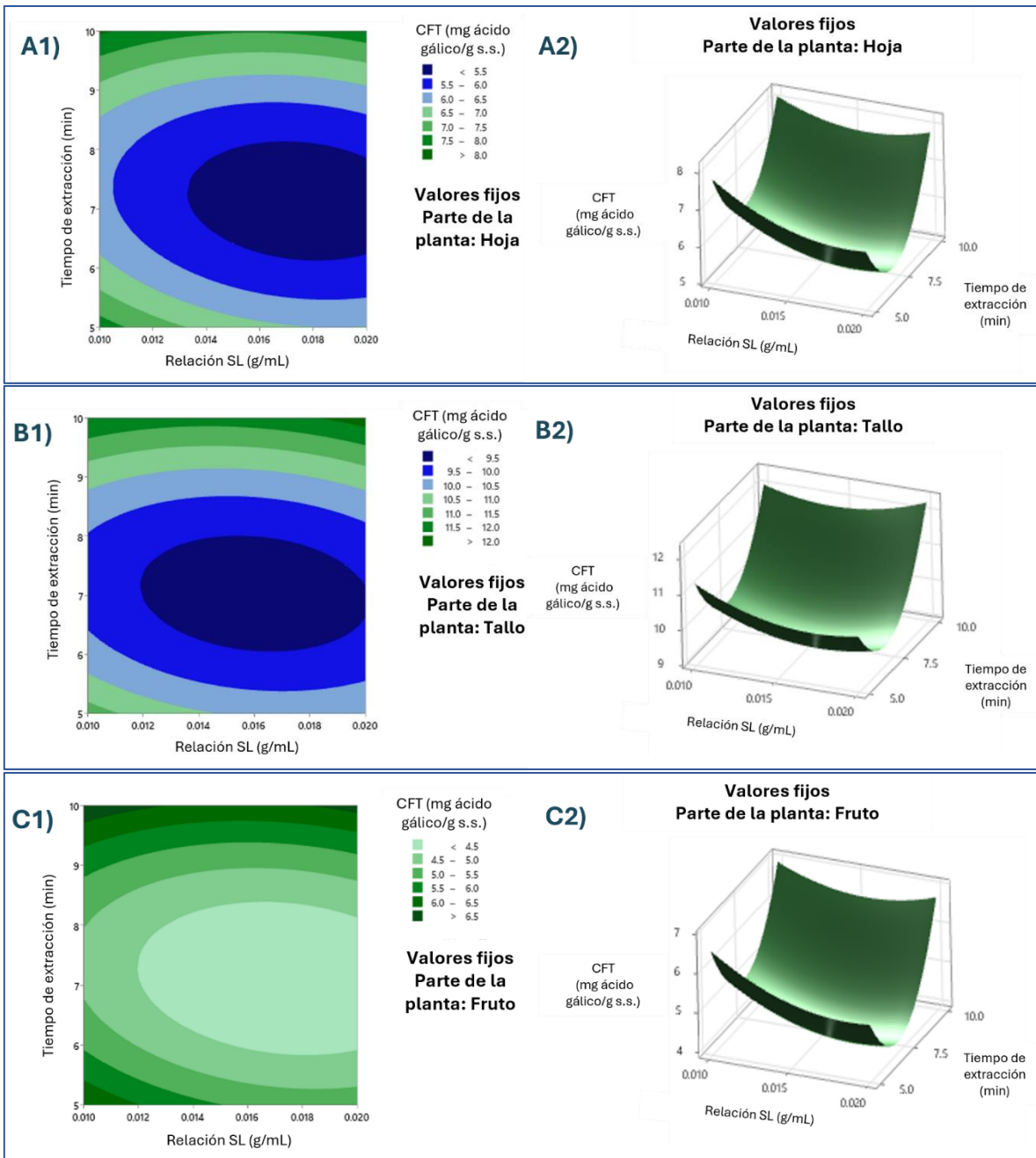


Figura 14. A1) Gráfica de contorno en CFT de la hoja, B1) Gráfica de contorno en CFT del tallo, C1) Gráfica de contorno en CFT del fruto, A2) Gráfica de superficie en CFT de la hoja, B2) Gráfica de superficie en CFT del tallo, C2) Gráfica de superficie en CFT del fruto.

Fuente: propia.

7.4.2. Evaluación de la actividad antioxidante de los extractos acuosos de las hojas, tallo y fruto de *Jatropha oaxacana*

Por medio de una curva de calibración de trolox (6-hydroxy-2,5,7,8 tetramethylchromane-2-carboxylic acid) se reporta la actividad antioxidante como mg de trolox/g de sólidos secos siguiendo la metodología de Conde-Hernández y Guerrero-Beltrán (2014), utilizando el factor de dilución (relación líquido-sólido en mL/g) y la relación p.m.h/p.m.s., en cada caso, como se muestra en la Tabla 12. Los resultados de la evaluación por duplicado de la actividad antioxidante por ABTS y DPPH de los 27 extractos acuosos de las hojas, tallo y fruto de *Jatropha oaxacana* de acuerdo con el diseño de experimentos se reportan en la Tabla 13, y el análisis con Minitab 22 se detalla en las siguientes secciones.

Tabla 12. Conversión de unidades de los resultados de la evaluación de la actividad antioxidante por ABTS y DPPH para el tratamiento de los datos en Minitab 22.

<p>Respuesta de la técnica con la curva de calibración de trolox (6-hydroxy-2,5,7,8 tetramethylchromane-2-carboxylic acid)</p>	<ul style="list-style-type: none"> • ABTS: $\frac{mg\ trolox}{mL} = \frac{\%inhibición - 3.177}{386.9}$ • DPPH: $\frac{mg\ trolox}{mL} = \frac{\%inhibición - 0.7975}{218.38}$
<p>Relaciones utilizadas</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Factor de dilución: $FD = \frac{mL\ de\ solvente}{g\ de\ la\ planta\ húmeda}$ • $\frac{p.m.h}{p.m.s} = \frac{g\ parte\ de\ la\ planta\ húmeda}{g\ sólidos\ secos}$ – Hojas:

	$\frac{p.m.h}{p.m.s} = 1.1052$ <p>– Tallo:</p> $\frac{p.m.h}{p.m.s} = 1.1016$ <p>– Fruto:</p> $\frac{p.m.h}{p.m.s} = 1.0785$
Conversión de las unidades	$\frac{mg\ trolox}{g\ sólidos\ secos} = \frac{mg\ trolox}{mL} * FD * \frac{p.m.h}{p.m.s}$

Tabla 13. Resultados de la evaluación por duplicado de la actividad antioxidante por ABTS y DPPH de los 27 extractos de *Jatropha oaxacana* en mg trolox/g sólidos secos analizados en Minitab 22.

Parte de la planta	Tiempo (min)	FD: Relación L-S (mL/g)	Relación S-L (mL/g)	Promedio por ABTS: mg trolox/g sólidos secos	Promedio por DPPH: mg trolox/g sólidos secos
HOJA	5	100	0.01	9.0775 ± 0.7127	9.9254 ± 0.8292
	5	100	0.01		
	5	66.6667	0.015	9.3066 ± 0.3233	9.6239 ± 0.9781
	5	66.6667	0.015		
	5	50	0.02	8.1032 ± 0.0059	10.3302 ± 1.0525
	5	50	0.02		
	7.5	100	0.01	7.2261 ± 1.944	8.6625 ± 0.1914
	7.5	100	0.01		
	7.5	66.6667	0.015	7.5063 ± 0.1417	7.6393 ± 0.8930
	7.5	66.6667	0.015		
	7.5	50	0.02	6.8865 ± 0.5553	8.8769 ± 1.5347

	7.5	50	0.02			
	10	100	0.01			13.2012 ± 2.3208
	10	100	0.01	12.0949 ± 0.9194		
	10	66.6667	0.015			10.3889 ± 1.2976
	10	66.6667	0.015	10.5275 ± 0.0889		
	10	50	0.02			16.7909 ± 0.1497
	10	50	0.02	11.0812 ± 0.0286		
	<hr/>					
	5	100	0.01			28.7402 ± 0.1304
	5	100	0.01	19.892 ± 0.0574		
	5	66.6667	0.015			21.9883 ± 0.0869
	5	66.6667	0.015	14.6385 ± 0.0412		
	5	50	0.02			18.7276 ± 0.0326
	5	50	0.02	13.4889 ± 0.0147		
	7.5	100	0.01			27.8179 ± 0.1304
	7.5	100	0.01	19.5353 ± 0.0288		
	7.5	66.6667	0.015			20.8816 ± 0.1739
	7.5	66.6667	0.015	13.471 ± 0.0384		
	7.5	50	0.02			17.9437 ± 0.0326
	7.5	50	0.02	13.28 ± 0.028		
	10	100	0.01			31.1841 ± 0.0652
	10	100	0.01	21.5357 ± 0.0282		
	10	66.6667	0.015			24.2939 ± 0.1304
	10	66.6667	0.015	15.511 ± 0.0736		
	10	50	0.02			18.9812 ± 0.0652
	10	50	0.02	13.52 ± 0.0288		
	<hr/>					
	5	100	0.01			9.6859 ± 0.4217
	5	100	0.01	9.6139 ± 0.0794		
	5	66.6667	0.015			7.8490 ± 0.2249
	5	66.6667	0.015	8.7861 ± 0.1201		
	<hr/>					
TALLO						
FRUTO						

5	66.6667	0.015			
5	50	0.02			
5	50	0.02	7.3648	± 0.0978	6.9305 ± 0.2109
7.5	100	0.01			
7.5	100	0.01	7.7931	± 0.3479	8.5805 ± 0.0734
7.5	66.6667	0.015			
7.5	66.6667	0.015	7.6073	± 0.0044	6.6887 ± 0.3424
7.5	50	0.02			
7.5	50	0.02	6.9087	± 0.2189	5.6909 ± 0.1100
10	100	0.01			
10	100	0.01	12.7155	± 0.1025	11.8487 ± 0.1467
10	66.6667	0.015			
10	66.6667	0.015	9.5802	± 0.4339	8.7103 ± 0.0976
10	50	0.02			
10	50	0.02	8.695	± 0.0483	7.6457 ± 0.0366

Los experimentos que presentaron las respuestas más favorables por la técnica ABTS fueron a una relación sólido-líquido de 0.01 g/mL y 10 min de extracción para las hojas, tallo y fruto. En la técnica DPPH, se obtuvieron mejores respuestas para las hojas, tallo y fruto a relaciones sólido-líquido de 0.02, 0.01 y 0.01 g/mL respectivamente, a un tiempo de extracción de 10 min en cada caso.

7.4.2.1. Método ABTS

En la Tabla 14 se muestran los resultados del análisis de varianza con los datos de la respuesta compuestos fenólicos totales medidos en mg trolox/g sólidos secos, pudiendo observar la importancia de la mayoría de los factores e interacciones, ya que los valores p para la mayoría de los términos son menores que el nivel de significancia de 0.05, siendo la parte de la planta el factor que más influyó ($F = 354.69$). Las interacciones: Relación

SL*Tiempo y Tiempo*Parte de la planta no fueron estadísticamente significativas, ya que sus valores de p fueron 0.141 y 0.134 respectivamente.

Tabla 14. Análisis de Varianza de la actividad antioxidante por ABTS.

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Modelo	11	861.761	78.342	90.23	0.000
Lineal	4	741.938	185.484	213.62	0.000
Relación SL	1	101.040	101.040	116.37	0.000
Tiempo	1	24.965	24.965	28.75	0.000
Parte de la planta	2	615.932	307.966	354.69	0.000
Cuadrado	2	53.912	26.956	31.05	0.000
Relación SL*Relación SL	1	8.271	8.271	9.53	0.004
Tiempo*Tiempo	1	45.642	45.642	52.57	0.000
Interacción de 2 factores	5	65.911	13.182	15.18	0.000
Relación SL*Tiempo	1	1.953	1.953	2.25	0.141
Relación SL*Parte de la planta	2	60.298	30.149	34.72	0.000
Tiempo*Parte de la planta	2	3.660	1.830	2.11	0.134
Error	42	36.468	0.868		
Falta de ajuste	15	30.478	2.032	9.16	0.000
Error puro	27	5.990	0.222		
Total	53	898.228			

En la Figura 15 se muestra el diagrama de Pareto de efectos estandarizados para la respuesta por ABTS en mg trolox/g sólidos secos, en donde las barras se encuentran

ordenadas de la frecuencia de ocurrencias más alta a la frecuencia de ocurrencias más baja, pudiendo así observar que la mayoría de los términos son importantes y estadísticamente significativos ya que superan la línea de referencia, siendo A (Relación SL) el factor que más influye en la respuesta. El diagrama indica que las relaciones BC (Tiempo*Parte de la planta) y AB (Relación SL*Tiempo) tienen la menor frecuencia de ocurrencias, por lo que no son significativas estadísticamente sobre la variable de respuesta.

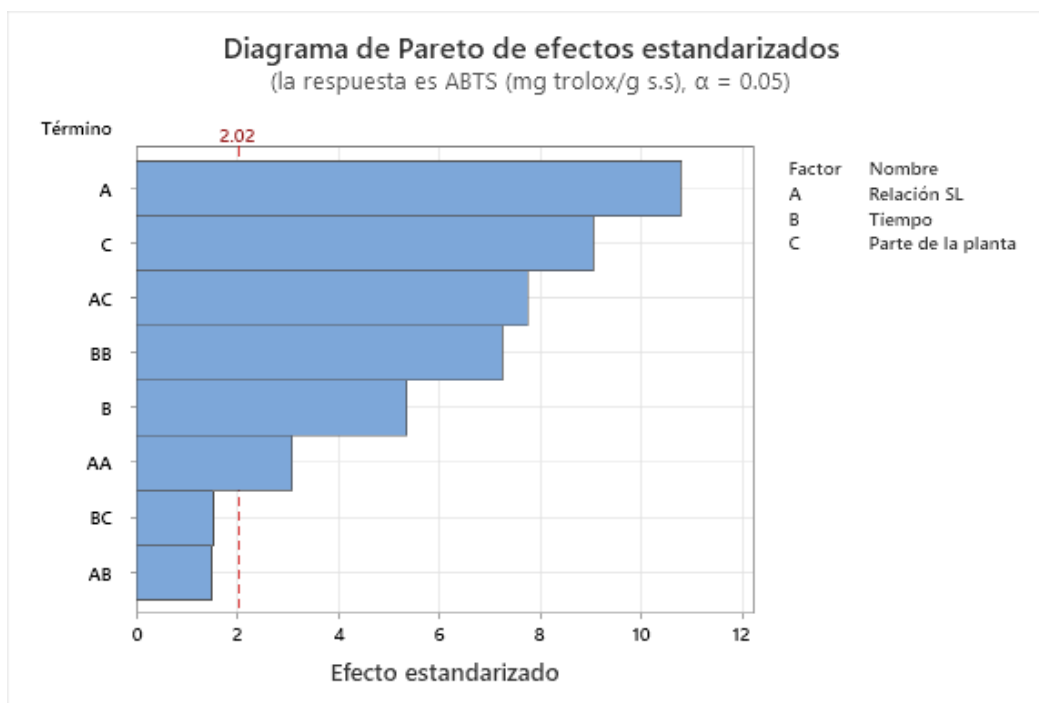


Figura 15. Diagrama de Pareto de efectos estandarizados, como respuesta actividad antioxidante por ABTS (mg trolox/g s.s.). Fuente: propia.

En la Figura 16 se muestran las gráficas de contorno y superficie de las hojas, tallo y fruto (A1, A2, B1, B2, C1 y C2 respectivamente) con los factores tiempo y relación sólido-líquido. Las gráficas de superficie muestran una representación visual de un espacio tridimensional donde los ejes X y Y representan dos variables continuas (tiempo de extracción y relación sólido-líquido) y el eje Z representa la variable de respuesta por ABTS (mg trolox/g sólidos secos), estas gráficas permiten identificar combinaciones óptimas de las variables de entrada que pudieran maximizar o minimizar la variable de respuesta. En las gráficas de contorno se muestra la superficie mediante líneas, las cuales conectan puntos en el plano

XY con los mismos valores de la variable de respuesta (Z), las regiones de color azul intenso representan los puntos a los cuales el valor de la respuesta es menor y en las áreas color verde intenso se indican los valores de las variables que ocasionan datos más altos en la respuesta. Los datos indican que a tiempos de extracción cercanos a 10 min se obtienen respuestas más favorables en todos los casos y con relaciones sólido-líquido bajas (cerca de 0.01 g/mL). Con ayuda de las gráficas de contorno se comprueba que el tallo es la variable que influye más estadísticamente en la respuesta ($\text{mg trolox/g s.s.} > 20.0$) con un tiempo de extracción de 10 min y una relación sólido-líquido de 0.01 g/mL.

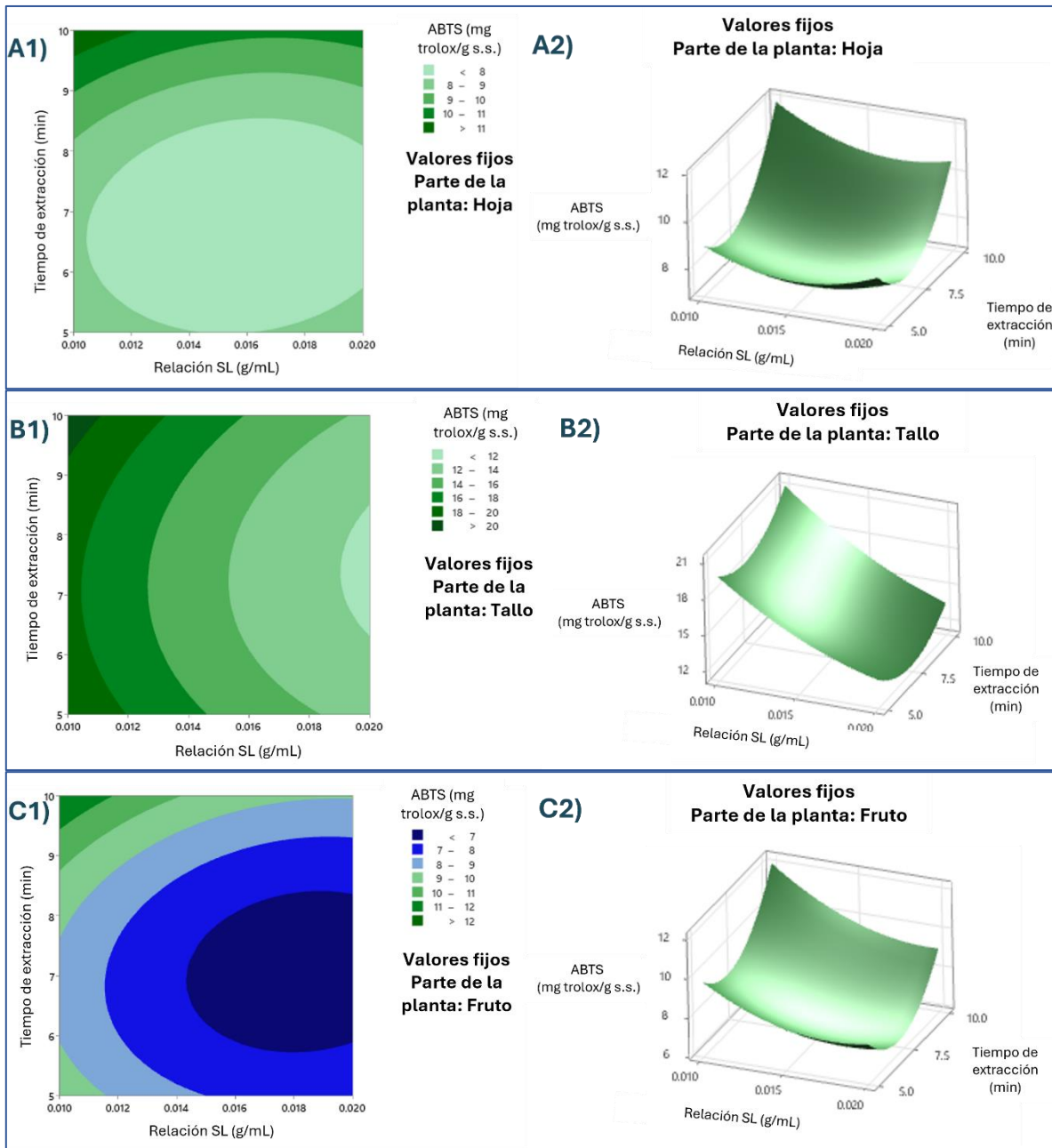


Figura 16. A1) Gráfica de contorno en ABTS de la hoja, B1) Gráfica de contorno en ABTS del tallo, C1) Gráfica de contorno en ABTS del fruto, A2) Gráfica de superficie en ABTS de la hoja, B2) Gráfica de superficie en ABTS del tallo, C2) Gráfica de superficie en ABTS del fruto. Fuente: propia.

7.4.2.2. Método DPPH

En la Tabla 15 se muestran los resultados del análisis de varianza con los datos de la respuesta por DPPH medidos en mg trolox/g sólidos secos, donde se observa que con un nivel de confianza del 95% todos los factores y las interacciones entre estos son estadísticamente significativos, ya que los valores p son menores que el nivel de significancia de 0.05, excepto la interacción (Relación SL*Tiempo) puesto que el valor de p es 0.867. Los datos indican que el factor que más influyó en la respuesta fue la parte de la planta (F = 1004.48) y la interacción (Tiempo*Parte de la planta) tuvo menor influencia en la variable de respuesta (F = 3.60).

Tabla 15. Análisis de Varianza de la actividad antioxidante por DPPH.

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Modelo	11	2924.10	265.83	221.98	0.000
Lineal	4	2605.05	651.26	543.85	0.000
Relación SL	1	158.16	158.16	132.08	0.000
Tiempo	1	41.15	41.15	34.36	0.000
Parte de la planta	2	2405.74	1202.87	1004.48	0.000
Cuadrado	2	87.08	43.54	36.36	0.000
Relación SL*Relación SL	1	23.96	23.96	20.01	0.000
Tiempo*Tiempo	1	63.12	63.12	52.71	0.000
Interacción de 2 factores	5	231.97	46.39	38.74	0.000
Relación SL*Tiempo	1	0.03	0.03	0.03	0.867
Relación SL*Parte de la planta	2	223.32	111.66	93.24	0.000
Tiempo*Parte de la planta	2	8.62	4.31	3.60	0.036
Error	42	50.30	1.20		
Falta de ajuste	15	36.72	2.45	4.87	0.000
Error puro	27	13.57	0.50		
Total	53	2974.39			

En la Figura 17 se muestra el diagrama de Pareto de efectos estandarizados para la respuesta por DPPH, en donde las barras muestran la frecuencia de ocurrencias de la más alta a la más baja y con base en la línea de referencia se interpreta que todos los factores e interacciones son significativos estadísticamente, excepto AB (Relación SL*Tiempo) ya que está por debajo de la línea de referencia. El diagrama indica que por la técnica DPPH los términos más influyentes en la respuesta fue A (Relación SL), C (Parte de la planta) y AC (Relación SL* Parte de la planta), ya que tuvieron mayor frecuencia de ocurrencias.

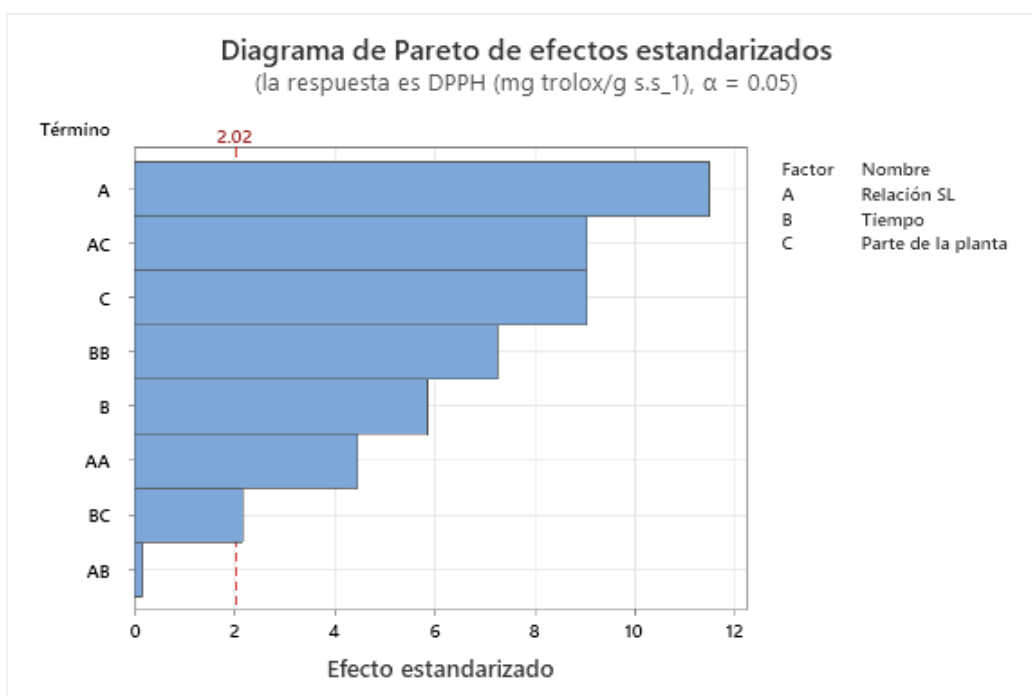


Figura 17. Diagrama de Pareto de efectos estandarizados, como respuesta actividad antioxidante por DPPH (mg trolox/g s.s.). Fuente: propia.

En la Figura 18 se muestran las gráficas de contorno y superficie de las hojas, tallo y fruto (A1, A2, B1, B2, C1 y C2 respectivamente) con los factores tiempo y relación sólido-líquido. En las gráficas de superficie los ejes X y Y representan dos variables continuas (tiempo de extracción y relación sólido-líquido) y el eje Z representa la variable de respuesta (mg trolox/g sólidos secos) por la técnica DPPH, en estas gráficas se pueden identificar combinaciones óptimas de las variables de entrada que maximizan o minimizan la variable de respuesta. En las gráficas de contorno se observa la forma de la superficie y se pueden visualizar más a fondo regiones de interés. Cada línea de contorno conecta puntos en el

plano XY que tienen el mismo valor de la variable de respuesta (Z), las regiones de color azul intenso representan los puntos a los cuales el valor de la respuesta es menor y en las áreas color verde intenso se indican los valores de las variables que ocasionan datos más altos en la respuesta. Con base en ello se comprueba que el extracto acuoso del tallo a un tiempo de extracción de 10 min y una relación sólido-líquido de 0.01 g/mL tuvo la respuesta más favorable (mg ácido gálico/g s.s. > 30.0). También, puede observarse tanto en las gráficas de superficie como en las de contorno, que a tiempos de extracción cercanos a 10 min se obtienen respuestas más favorables en todos los casos, con relaciones sólido-líquido altas en el caso de las hojas (cercanas a 0.02 g/mL) y bajas en el caso del tallo y fruto (cercanas a 0.01 g/mL).

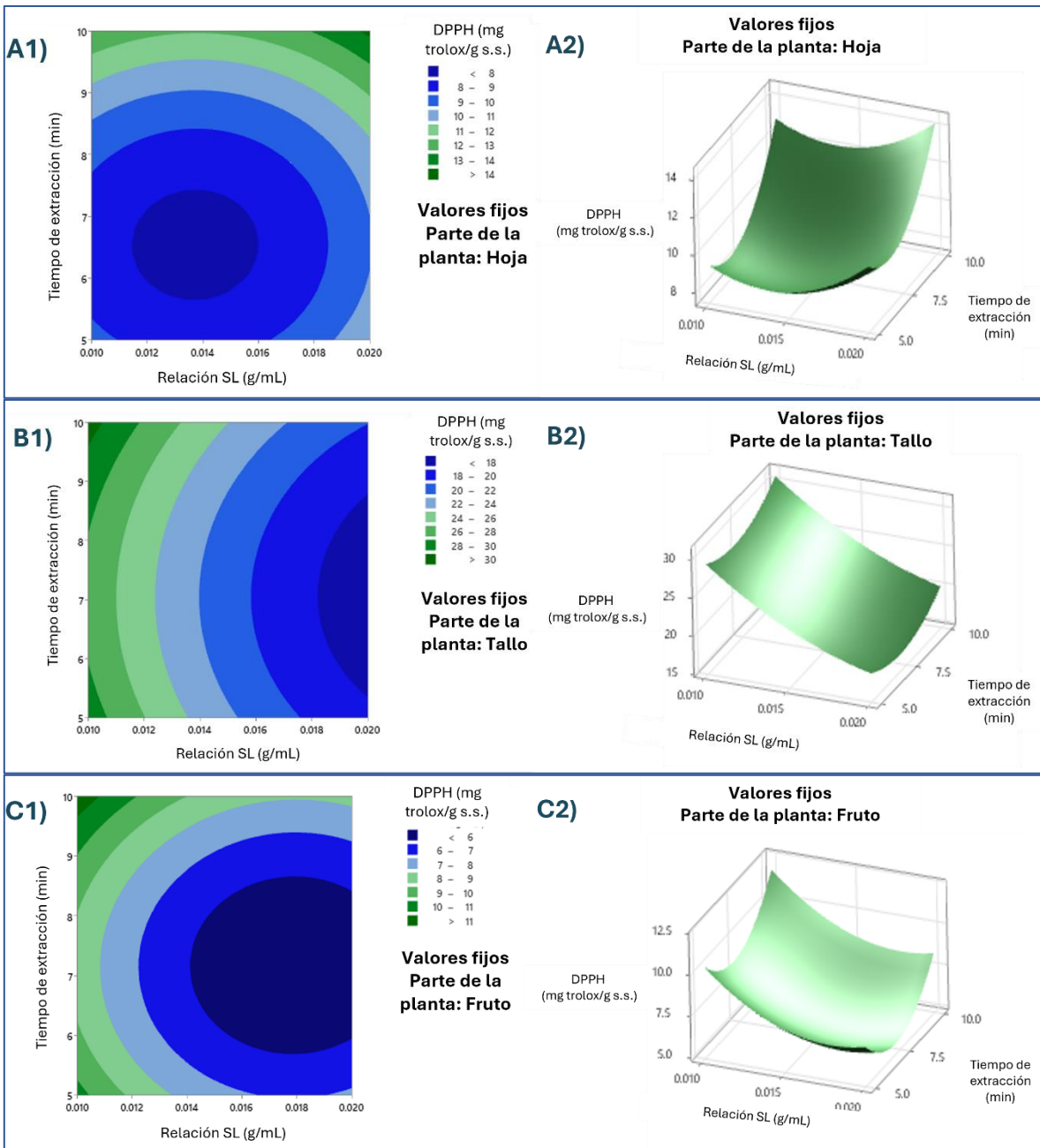


Figura 18. A1) Gráfica de contorno en DPPH de la hoja, B1) Gráfica de contorno en DPPH del tallo, C1) Gráfica de contorno en DPPH del fruto, A2) Gráfica de superficie en DPPH de la hoja, B2) Gráfica de superficie en DPPH del tallo, C2) Gráfica de superficie en DPPH del fruto. Fuente: propia.

En resumen, los resultados de las gráficas de contorno y superficie indican que, aunque los valores de respuesta son distintos en cada técnica (CFT, ABTS y DPPH), las variables con mayor importancia estadística son las mismas (tallo y 10 min). En las gráficas de superficie, puede observarse que no se encuentran máximos locales definidos, esto puede deberse a que la función de varias variables puede tener comportamientos más complejos que las funciones de una sola variable, como se observó también en el análisis de varianza.

Actualmente, no se han encontrado estudios que apliquen un diseño de experimentos (DOE) para optimizar la extracción de compuestos bioactivos en especies del género *Jatropha*. Sin embargo, en algunas investigaciones se han utilizado técnicas colorimétricas para evaluar la actividad antioxidante de extractos obtenidos de algunas plantas de este género. Un estudio realizado a extractos de las hojas de *Jatropha neopauciflora* Pax por la técnica DPPH, evidencia la capacidad antioxidante de esta planta, siendo los extractos metanólicos-hexánicos los que mostraron mayor actividad antioxidante (Hernández, 2010). También, los resultados son comparables con un estudio realizado por Méndez *et al.* (2018) al extracto diclorometanólico de las hojas de *Jatropha curcas* L., el cual mostró una gran actividad antioxidante con un valor de IC50 de 1.54 mg/mL. De igual forma, estudios revelan que el extracto etanólico de hojas-tallo de *Jatropha cardiophylla* tiene gran capacidad antioxidante, ya que los resultados muestran valores de 296.26 ± 1.73 y 456.71 ± 2.67 micromoles de equivalentes trolox por gramo de extracto ($\mu\text{molET/g}$) por la técnica DPPH e inhibición del radical ABTS respectivamente (Leon-Bejarano *et al.*, 2021).

Los resultados de este trabajo tienen similitud con estudios realizados a extractos hidroalcohólicos de raíz y tallo (EHR, EHT) e infusión de raíz (IR) y tallo (IT) al 10% de *Jatropha dioica*, donde se determinó la presencia de compuestos polifenólicos por el método Folin Ciocalteu y su relación con la capacidad antioxidante total por ABTS. Los valores para la media y desviación estándar (DS) de concentración de polifenoles en orden descendente fueron: EHR> IR>IT>EHT (43.44 ± 0.723 ; 40.56 ± 0.446 ; 33.24 ± 1.02 ; 24.05 ± 0.927 $\mu\text{g/mL}$ ac. gal. respectivamente). Los valores de la media para la capacidad antioxidante en orden descendente fueron: EHR>IR>IT>EHT (0.2609 ± 0.0027 ; $0.2328 \pm$

0.0095; 0.2273 ± 0.0092 ; 0.1467 ± 0.0064 mM trolox, respectivamente) (Ramírez *et al.*, 2016).

También, los resultados de esta investigación son equiparables con estudios reportados sobre el extracto etanólico de las hojas de *Croton argyrophyloides* Muell. Arg., especie de la misma familia del género *Jatropha* (Euphorbiaceae), el cual manifestó actividad antioxidante significativa en la prueba DPPH con una bioactividad de 84.70 AAO% en 500 µg/mL, con una CE50 de 236.79. El contenido de compuestos fenólicos totales por el método Folin-Ciocalteu fue de 946.06 mg de equivalentes de ácido gálico/g de muestra, y por la técnica ABTS fue de 718 µM Trolox/g de muestra (Neri *et al.*, 2023).

7.5. Determinación de la toxicidad de los extractos acuosos de las hojas, tallo y fruto de *Jatropha oaxacana* en el modelo de *Artemia salina*

La toxicidad de los extractos acuosos de hojas, tallo y fruto de *Jatropha oaxacana* se evaluó mediante el ensayo in vivo con el modelo de *Artemia* spp., obteniéndose una CL₅₀ de 115.257, 242.943 y 28.573 µg/mL respectivamente. El valor obtenido de CL₅₀ en cada caso se interpreta como: moderadamente tóxico (para el extracto acuoso de las hojas y tallo) y altamente tóxico (para el extracto acuoso del fruto).

Aunque no se encuentran otros estudios que reporten la toxicidad de la *J. oaxacana*, el resultado de esta investigación pudo compararse con estudios similares de algunas especies del mismo género y familia. Los valores de CL₅₀ de los extractos evaluados en la presente investigación son similares a los reportados para extractos metanólicos, hexánicos y metanólicos-hexánicos de *Jatropha neopauciflora* con una CL₅₀ de 17.42 µg/mL, 41.66 µg/mL, 289.61 µg/mL, respectivamente, los cuales fueron reportados como altamente tóxicos y moderadamente tóxicos en el caso de los extractos metanólicos-hexánicos (Hernández, 2010). También, los valores de CL₅₀ de los extractos acuosos analizados en esta investigación resultaron similares a estudios reportados en extractos metanólicos de las partes aéreas de *Colliguaya integerrima* y *Euphorbia marginata*, plantas de la familia Euphorbiaceae, mostrando valores de CL₅₀ menores a 150 µg/mL y 162 µg/mL en cada caso (Pinto *et al.*, 2004). Las diferencias y semejanzas entre estos

estudios pueden deberse a distintos factores que influyen en la toxicidad de las plantas, como el tipo de solvente utilizado para obtener el extracto, la dosis (cantidad de soluto/solvente), la parte de la planta utilizada, la estación del año, la composición química, grado de maduración y la presencia de resinas, las cuales son liberadas cuando la planta ha sufrido daños físicos (González Álvarez *et al.*, 2024).

Si bien, los valores de CL₅₀ de los extractos acuosos de *J. oaxacana* analizados resultaron menores a 1000 µg/mL, se consideran como buenos agentes bioactivos de acuerdo con lo descrito por da Silva Ramos *et al.* (2017), ya que el valor de CL₅₀ se encuentra por debajo de 1000 µg/mL, y cuando un extracto vegetal demuestra actividad a 100 µg/mL o menos se afirma que posee una fuerte actividad citotóxica. Debido a que, hasta el momento, no se encuentran estudios sobre la toxicidad de la *J. oaxacana*, es importante realizar más estudios o pruebas en otros modelos, incluyendo distintos factores como la cantidad de material vegetal, tipo de solvente, método de extracción, etc., para conocer mejor el comportamiento de esta planta y a futuro puedan hacerse las consideraciones necesarias para su uso seguro en animales y humanos.

7.6. Evaluación de la actividad insecticida del extracto acuoso de las hojas de *Jatropha oaxacana* en *Ullumoides dermestoides*

Los resultados obtenidos de la actividad insecticida del extracto se muestran en la Tabla 16, en las muestras de control negativo, se observó un crecimiento exponencial de adultos y larvas; en concentraciones de 50, 100 y 250 ppm se presentó un mayor número de adultos y larvas muertos (Figura 19); en las muestras de control y a concentraciones de 500 y 1000 ppm se obtuvo un mayor número de adultos y larvas vivos. De acuerdo con los datos obtenidos, se considera que el agua destilada es un factor clave en el crecimiento de adultos y larvas, ya que las muestras de control negativo y concentraciones de 500 y 1000 ppm son las que tuvieron mayor cantidad de agua destilada, así como de ejemplares vivos (Figura 20).

Tabla 16. Resultados de 3 meses de exposición del extracto acuoso de *Jatropha oaxacana* en *Ullumoides dermestoides*.

Muestras	Adultos (promedio)			Larvas (promedio)		
	Iniciales	Vivos	Muertos	Nacidos	Vivas	Muertas
Blanco	10	2	8	0	3	28
Control	10	57	4	53	316	32
50 ppm	10	1	9	0	5	47
100 ppm	10	1	9	0	3	43
250 ppm	10	1	9	0	4	52
500 ppm	10	3	7	0	13	61
1000 ppm	10	3	7	0	59	65

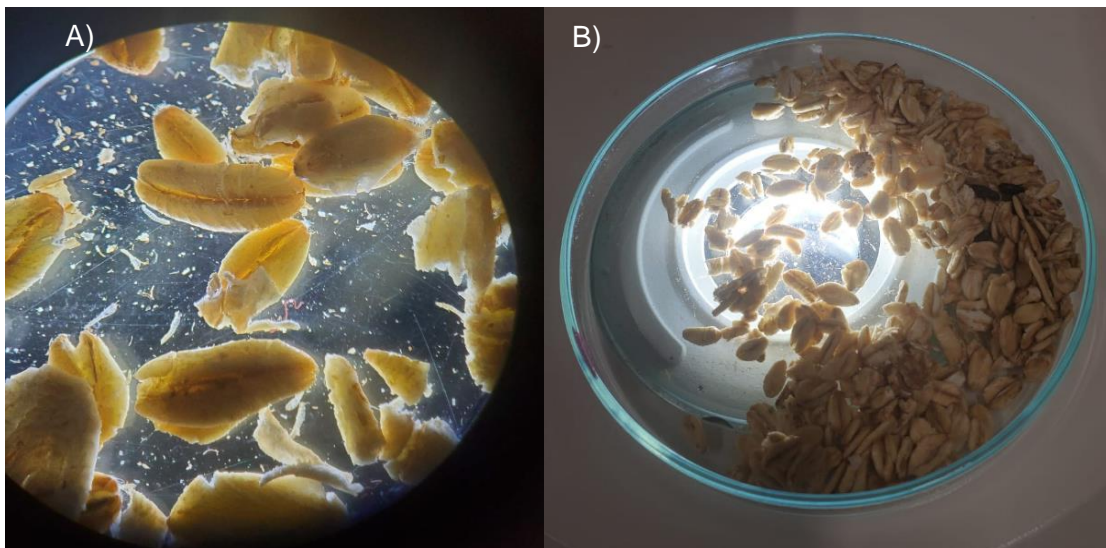


Figura 19. A) Conteo de larvas en el estereoscopio. B) Conteo de adultos vivos y muertos.
Fuente: propia.



Figura 20. A) Muestra de control negativo a los 3 meses de exposición. B) Muestra con 1000 ppm de extracto a los 3 meses de exposición. C) Muestra con 500 ppm de extracto a los 3 meses de exposición. Fuente: propia.

Con ayuda del software Statgraphycs 19, se realizó un análisis estadístico de los datos reportados en los 3 meses de observación, obteniendo valores de CL_{50} (concentración letal media) de 398.553 $\mu\text{g}/\text{mL}$ y 911.681 $\mu\text{g}/\text{mL}$, en adultos y larvas respectivamente. Actualmente, la Organización Mundial de la Salud (OMS) no establece criterios específicos para clasificar el potencial insecticida de productos de origen vegetal, sin embargo, distintos investigadores adoptan el valor de CL_{50} como parámetro orientativo para determinar el nivel de actividad biológica de dichos productos (Muhammed *et al.*, 2022). De acuerdo con los parámetros propuestos por varios investigadores (Días y Moraes, 2014; Komalamisra *et al.*, 2005) un extracto es considerado altamente activo si su CL_{50} es inferior a 50 ppm; activo si se encuentra por debajo de 100 ppm; moderadamente activo si está entre 100 y 200 ppm; poco activo si oscila entre 200 y 750 ppm; y sin actividad significativa cuando la CL_{50} supera los 750 ppm. De acuerdo con dicha propuesta, los valores obtenidos de CL_{50} nos sugieren que el extracto acuoso de las hojas de *Jatropha oaxacana* puede actuar como un agente insecticida poco activo para el control biológico de adultos, y para el control de larvas se considera como nula la actividad insecticida.

Aunque no se encuentran estudios similares en extractos de *Jatropha oaxacana*, los resultados obtenidos en esta investigación pueden compararse con investigaciones similares en *Jatropha curcas* (González *et al.*, 2007).

Estudios sobre la bioactividad de extractos acuosos y metanólicos de semillas y hojas, aceite de semilla y extractos de semilla de éter de petróleo de *J. curcas* contra plagas de insectos en diversos tipos de cultivos, reportan alta efectividad contra distintas plagas de insectos de granos almacenados, áfidos de col y sorgo, moscas de la fruta y langostas del desierto; los extractos causaron alta mortalidad, redujeron la oviposición, controlaron las poblaciones, aumentaron el efecto antialimentario y disminuyeron la incubabilidad (Valdez-Ramírez *et al.*, 2023).

Sin embargo, para aumentar la bioactividad de los extractos de plantas, es importante considerar como elementos clave, el método de aplicación (por contacto o alimentario) y el tipo de solvente utilizado (Nava-Pérez *et al.*, 2010).

8. CONCLUSIONES

Por medio de las técnicas ABTS, DPPH y Folin-ciocalteu se determinó que todos los factores influyen en la actividad antioxidante de los extractos y en la obtención de compuestos fenólicos totales.

Entre los factores evaluados, la parte de la planta resultó ser el factor que más influyó en las respuestas, esto puede deberse a que las hojas, tallo y fruto, no poseen la misma composición química.

Algunas combinaciones entre estos no resultan significativas estadísticamente, por lo que no influyen en las respuestas, como es el caso de las interacciones: Relación SL*Parte de la planta y Tiempo*Parte de la planta con la técnica Folin-ciocalteu; Relación SL*Tiempo y Tiempo*Parte de la planta con ABTS; y Relación SL*Tiempo con DPPH.

Las gráficas de contorno y superficie fueron herramientas valiosas para el análisis de la actividad antioxidante de los extractos y en la obtención de compuestos fenólicos totales, ya que la visualización de datos tridimensionales permitió identificar patrones, tendencias y relaciones entre las variables que no fueron evidentes en datos tabulares.

No pudo observarse la formación de la campana en la mayoría de los casos, lo cual es útil para lograr la optimización; se identificaron puntos máximos en una dirección y puntos mínimos en otra.

En tiempos de extracción intermedios (cerca de 7.5 min) disminuye la actividad antioxidante de los extractos y la recuperación de compuestos fenólicos totales, esto puede deberse a otros factores como la composición química.

Mediante la técnica GC-MS (cromatografía de gases acoplada a espectrometría de masas) se identificaron compuestos químicos de gran importancia, siendo el carvacrol, el licoperseno y el β -eudesmol los componentes con mayor presencia en el extracto etanólico de las hojas de *Jatropha oxacana*, todos estos con una alta capacidad antioxidante, antiinflamatoria y antibacteriana, lo cual comprueba nuevamente la capacidad antioxidante de los extractos acuosos de las hojas evaluada por ABTS y DPPH.

Con el ensayo de letalidad con *Artemia* spp., se determinó que los extractos acuosos de las hojas y tallo tienen un nivel de toxicidad moderado y el fruto un nivel alto, el nivel de

toxicidad de las hojas podría deberse a la presencia del compuesto 3-terc-butil-4-hidroxianisol.

Mediante la prueba de actividad insecticida del extracto acuoso de las hojas de *Jatropha oaxacana* en *Ullumoides dermestoides* se determinó que es poco activo para el control biológico de adultos y que no presenta actividad insecticida contra larvas, esto podría comprobarse con la identificación de los compuestos químicos en las hojas de *Jatropha oaxacana*, ya que compuestos como el óxido de cariofileno poseen propiedades insecticidas, pero su presencia en las hojas es menor a diferencia de los demás compuestos reportados.

Los resultados de las pruebas de actividad antioxidante de los extractos de *Jatropha oaxacana* obtenidos mediante ultrasonido fueron similares a los de las plantas del género *Jatropha* (*Jatropha neopauciflora* Pax, *Jatropha curcas* L., *Jatropha cardiophylla* y *Jatropha dioca*). La cantidad de compuestos fenólicos totales presente en los extractos de *Jatropha oaxacana* fue comparable con los datos reportados de extractos de *Jatropha dioca*. El nivel de toxicidad de los extractos de *Jatropha oaxacana* fue semejante al reportado sobre extractos de *Jatropha neopauciflora* Pax. Con respecto a la composición química y actividad insecticida, los resultados de esta investigación fueron distintos a los reportados sobre *Jatropha neopauciflora* Pax y *J. curcas* L. respectivamente.

Por último, es importante resaltar que los resultados de esta investigación son novedosos y útiles, ya que aportan información fundamental sobre los extractos de plantas mexicanas poco estudiadas, en este caso de la planta *Jatropha oaxacana*, dicha información será de gran utilidad en un futuro para el desarrollo de tecnologías relevantes en este campo y diversas aplicaciones.

9. RECOMENDACIONES

Se recomienda realizar la identificación de los compuestos químicos presentes en el tallo y el fruto de *Jatropha oxacana*, así como un análisis del impacto del proceso de extracción en la composición química de los extractos obtenidos.

También, se sugiere evaluar el potencial repelente, antimicrobiano y antifúngico de las hojas considerando los compuestos químicos presentes, así como la actividad insecticida, repelente, antimicrobiana y antifúngica del tallo y fruto.

Es importante realizar estudios a largo plazo sobre la toxicidad de los extractos de las distintas partes de la planta en diversos sistemas biológicos para evaluar su seguridad en posibles productos terapéuticos o cosméticos. Asimismo, se sugiere evaluar por otra técnica el potencial citotóxico del fruto teniendo en cuenta su valor de CL_{50} y considerando la evaluación de su composición química.

También, se recomienda realizar un análisis más profundo de los resultados en el diseño de experimentos por las tres técnicas utilizadas para lograr la optimización, partiendo de la identificación de los puntos críticos para determinar si cada punto crítico es un máximo, un mínimo o un punto silla, tomando en cuenta las características biológicas y químicas de la planta.

Por último, se recomienda la implementación de un diseño de experimentos considerando distintos factores como: técnicas de obtención de extractos, solventes, mezclas de las partes de la planta, % de humedad, tamaño de partícula, ubicación geográfica, entre otros. Para tener más conocimiento sobre el comportamiento de la planta y a futuro puedan hacerse las consideraciones necesarias para su uso seguro en animales y humanos.

10. BIBLIOGRAFÍA

- Albarano, L., Ruocco, N., Lofrano, G., Guida, M., & Libralato, G. (2022). Genotoxicity in *Artemia* spp.: An old model with new sensitive endpoints. *Aquatic Toxicology*, 252. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.aquatox.2022.106320>
- Almeida-Bezerra, J. W., Rodrigues Costa, A., & Figueirêdo dos Santos, M. A. (2024). Bioensayos con *Artemia salina* en la investigación biomédica. En Mex Álvarez, R. M., Chan Martínez, R. E., Guillen Morales, M. M., Garma Quen, P. M., & Yanez Nava, D (Ed.), *Perspectivas em saúde, bem-estar e qualidade de vida*, 141-148. Atena. DOI: <https://doi.org/10.22533/at.ed.654241410>
- Arumugam, S., Ramesh, C., Kaliappan, G. K., Govindhan, R., Prakasam, S. B., Murugan, S., Pandian, S., Asgar, E., & Ravi, P. (2023). Lycopersene: A review on extraction, identification and purification and applications. *Chemical Biology & Drug Design*, 101(1), 158-174. DOI: <https://doi.org/10.1111/cbdd.14158>
- Azuola, R., & Vargas, P. (2007). Extracción de sustancias asistida por ultrasonido (EUA). *Tecnología en Marcha*, 20(4), 3-11.
- 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. DOI: 10.1016/j.indcrop.2017.05.063
- Barroto, J., Trujillo, R., C. de la Torre, Y., Waksman, N., Hernández, M., & Salazar, R. (2011). Actividad antimicrobiana y toxicidad frente a *Artemia salina* del extracto diclorometánico de raíces de *Morinda royoc* L. *Revista Cubana de Plantas Medicinales*, 16(1), 34-42. Recuperado de: http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1028-47962011000100004
- Bedoya, M. P., Lázaro, B. A., Bizarro, A. L., Gutti, Y. A., Poma, K. F., & Cisneros, C. B. (2023). Eucaliptol: Una vista de la medicina tradicional en el siglo XXI. *Revista Científica Ciencia Médica*, 26(1), 52-58. Recuperado de: http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1817-74332023000100052&lng=es&tlng=es.
- Bermúdez Toledo, D., Monteagudo Jiménez, E., Boffill Cárdenas, M., Díaz Costa, L. E., Roca Simeón, A., Betancourt Morgado, E., & Silveira Prado, E. A. (2007). Evaluación de la toxicidad aguda de extractos de plantas medicinales por un método alternativo. *REDVET. Revista Electrónica de Veterinaria*, 8(3), 1-7. Recuperado de: <https://www.redalyc.org/pdf/636/63613302006.pdf>

Biblioteca Digital de la Medicina Tradicional Mexicana. (2009). Atlas de las Plantas de la Medicina Tradicional Mexicana. Hecho en México. Recuperado de: <http://www.medicinatradicionalmexicana.unam.mx/>

Biblioteca Digital de la Medicina Tradicional Mexicana. (2009). Sangre de drago o sangregado. Hecho en México. Recuperado de: <http://www.medicinatradicionalmexicana.unam.mx/apmtm/termino.php?l=3&t=sangre-drago-sangregado>

Chappell, J. & Coates, R. M. (2010). Sesquiterpenes. *Comprehensive Natural Products II*, 1, 609-641. DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-008045382-8.00005-8>

CONABIO (Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad). (2020). Plantas medicinales. Recuperado de: <https://www.biodiversidad.gob.mx/diversidad/medicinal/plantas>

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. DOI: 10.1016/j.foodchem.2013.07.078

Conde-Hernández, L. A., Ibarra-Cantún, D., Luna-Vital, D., Luna-Guevara, J. J., & Luna-Guevara, M. L. (2023). Functional properties of bioactive compounds contained in vegetables commonly consumed in Mexico. En A. Rahman (Ed.), *Studies in Natural Products Chemistry*, 79, 241-288. Elsevier. DOI: 10.1016/B978-0-443-18961-6.00016-0

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. DOI: 10.1155/2021/5594278

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., Gómez, 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(107184). DOI: 10.1016/j.microc.2022.107184

De Groot, A. C., & Schmidt, E. (2016). Tea tree oil: contact allergy and chemical composition. *Contact Dermatitis*, 75(3), 129-194. DOI: <https://doi.org/10.1111/cod.12591>

- Días, C. N. & Moraes, D. F. C. (2014). Aceites esenciales y sus compuestos como larvicidas de *Aedes aegypti* L. (Diptera: Culicidae). *Res. Parasitol*, 113(2), 565–92. Recuperado de: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/24265058/>
- Fidy, K., Fiedorowicz, A., Strzdała, L., & Szumny, A. (2016). β -caryophyllene and β -caryophyllene oxide—natural compounds of anticancer and analgesic properties. *Cancer Medicine*, 5(10), 3007–3017. DOI: 10.1002/cam4.816
- Figuroa, F. L. (2022). Fitoquímica. México: Comité Editorial de la Facultad de Estudios Superiores Zaragoza. Recuperado de: <https://www.zaragoza.unam.mx/wp-content/2022/Publicaciones/libros/cbiologia/Fitoquimica.pdf>
- Fundación CANNA. (2025). Los terpenos. Recuperado de: <https://www.fundacion-canna.es/los-terpenos#:~:text=Llamamos%20comu%CC%81nmente%20Cariofileno%20a%20la%20mezcla%20de,presente%20en%20la%20melisa%20y%20el%20eucalipto.>
- FUNDAME (Fundación Alfonso Martín Escudero). (2013). Las plantas de extractos: bases para un plan de desarrollo del sector. Recuperado de: <https://www.fundame.org/cientificas/pdfs/extractos/volsin.pdf>
- Gao, M. & Liu, C. (2005). Comparison techniques for the extraction of flavonoids from cultured cells of *Saussurea medusa* Maxim. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 21(8), 1461-1463. DOI: 10.1007/s11274-005-6809-1
- Gao, X., Ohlander, M., Jeppsson, N., Björk, L., & Trajkovski, V. (2000). Changes in antioxidant effects and their relationship to phytonutrients in fruits of sea buckthorn (*Hippophae rhamnoides*). *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 48(5), 1485–1490. DOI: 10.1021/jf991072g
- García, C., Martínez, A., Ortega, J. L., & Castro, F. (2010). Componentes químicos y su relación con las actividades biológicas de algunos extractos vegetales. *Química Viva*, 9(2), 86-96. Recuperado de: <https://www.redalyc.org/pdf/863/86314868005.pdf>
- Gill, B. S., & Qiu, F. (2020). Technologies for extraction and production of bioactive compounds. En L. V. Madan y K. C. Anuj (Ed.), *Biotechnological Production of Bioactive Compounds*, 1-36. Elsevier. DOI: 10.1016/B978-0-444-64323-0.00001-1
- Gimeno, E. (2004). Compuestos fenólicos, un análisis de sus beneficios para la salud. *OFFARM*, 23(6), 80-83. Recuperado de: <https://www.elsevier.es/es-revista-offarm-4-pdf-13063508>

- González Álvarez, M., Salcedo Martínez, S. M., & Vargas López, V. R. (2024). Las plantas tóxicas como factor de riesgo para la salud. *Revista Planta*, 5(9). Recuperado de: <https://revistaplanta.uanl.mx/index.php/p/article/view/111>
- González, R., Bohórquez, J., Márquez, L., De La Rosa, C. (2007). Fotoquímica preliminar y evaluación de la toxicidad aguda de las semillas de *Jatropha Curcas* Linneo. *Actual Biol*, 27(1), 109-111.
- Hernández, A. B. (2010). Actividad antifúngica de *Jatropha neopauciflora* Pax. UNAM. Recuperado de: https://ru.dgb.unam.mx/jspui/bitstream/20.500.14330/TES01000667499/3/0667499_A1.pdf
- INIFAP (Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias). (2020). Elaboración de extractos vegetales. *Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural*. Recuperado de: https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/737322/10_Extractos_vegetales.pdf
- Instituto Nacional del Cáncer (NIH). (2025). Carotenoide. Recuperado de: <https://www.cancer.gov/espanol/publicaciones/diccionarios/diccionario-cancer/def/carotenoide>
- Jangam, S.V., & Thorat, B.N. (2010). Optimization of spray drying of ginger extract, *Drying Technology*, 28(12), 1426–1434. DOI: 10.1080/07373937.2010.482699
- Jaramillo, B. E., Olivero, J. T., & Muñoz, K. (2007). Composición química volátil y toxicidad aguda (CL50) frente a *Artemia salina* del aceite esencial del *Croton malambo* colectado en la costa norte colombiana. *Scientia et Technica*, 33, 299-302. Recuperado de: <https://revistas.utp.edu.co/index.php/revistaciencia/article/view/6185/3187>
- 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 and Technology*, 119, 579-591. DOI: 10.1016/j.tifs.2021.11.019
- Jiménez, J. & Torres, R. (1994). Especie nueva del género *Jatropha* (Euphorbiaceae) de la sección Mozinna. *Anales Del Instituto De Biología Serie Botánica*, 65(1), 1-5. Recuperado de: <https://anales.ib.unam.mx/index.php?journal=SerBot&page=article&op=view&path%5B%5D=2333&path%5B%5D=2378>
- Juárez, Z. N., Hernández, L. R., Bach, H., Sánchez-Arreola, E. & Bach, H. (2015). Antifungal activity of essential oils extracted from *Agastache mexicana* ssp. *xolocotziana* and *Porophyllum*

linaria against post-harvest pathogens. *Industrial Crops and Products*, 74, 178-182. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2015.04.058>

- Komalamisra, N., Trongtokit, Y., Rongsriyam, Y. & Apiwathnasorn, C. (2005). Detección de la actividad larvicida en algunas plantas tailandesas contra cuatro especies de mosquitos vectores. *Southeast Asian J Trop Med Public Health*, 36(6), 1412. Recuperado de: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/16610643/>
- Leon-Bejarano, M., Ovando-Martínez, M., Molina-Domínguez, C. C., Trasviña-Mendoza, R. A., & Medina-Juárez, L. A. (2021). Identificación y Actividad Antioxidante de los Compuestos Fenólicos de *Jatropha cardiophylla* (Torr.) Müll. Arg. Revista especializada en ciencias químico-biológicas, 24, e375. DOI: <https://doi.org/10.22201/fesz.23958723e.2021.375>
- Luiz de Oliveira, J., Ramos, E. V., Bakshi, M., Abhilash, P. C., & Fernandes, L. (2014). Application of nanotechnology for the encapsulation of botanical insecticides for sustainable agriculture: Prospects and promises. *Biotechnology Advances*, 32(8), 1550-1561. DOI: 10.1016/j.biotechadv.2014.10.010
- Méndez, L., Rojas, J., Contreras-Moreno, B., Velasco, J., Rosenzweig, P., & Celis, M. T. (2017). Actividades biológicas analizadas en los extractos de *Jatropha curcas* Linn. *Ciencia e Ingeniería*, 39(2), 153-160. Recuperado de: <https://www.redalyc.org/journal/5075/507557606006/html/>
- Meyer, B. N., Ferrigni, N. R., Putnam, J. E., Jacobsen, L. B., Nichols, D. E. & McLaughlin L. B. (1982) Shrimp: A convenient general bioassay for active plant constituents. *Journal of medical plant Reserch*, 55, 31-34.
- Muhammed, M., Dugassa, S. & Belina, M. (2022). Efectos insecticidas de algunos extractos de plantas seleccionadas contra *Anopheles stephensi* (Culicidae: Diptera). *Malaria Journal*, 21(295), 295. DOI: <https://doi.org/10.1186/s12936-022-04320-5>
- Nava-Pérez, E., Gastélum-Hurtado, P., Camacho-Báez, J. R., Valdez-Torres, B., Bernal-Ruiz, C. R., & Herrera-Flores, R. (2010). Utilización de extractos de plantas para el control de gorgojo pardo *Acanthoscelides obtectus* (Say) en frijol almacenado. *Ra Ximhai*, 6(1), 37-43. Recuperado de: <https://www.redalyc.org/pdf/461/46112896005.pdf>
- Neri, T. S., Silva, K. W. L., Mayor, L. P. S., Oliveira-Silva, S. K., Azevedo, P. V. M., Gomes, D. C. S., Souza, M. A., Pavão, J. M. S. J., Costa, J. G., Cunha, A. L., Ferreira-Júnior, G. C., Matos-Rocha, T. J., Santos, A. F., & Fonseca, S. A. (2023). Phytochemical characterization, antioxidant potential and antibacterial activity of the *Croton argyrophylloides* Muell. Arg. (Euphorbiaceae). *Brazilian Journal of Biology*, 83, 1-9. DOI: <https://doi.org/10.1590/1519-6984.236649>

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>

Ohara, K., Fukuda, T., Ishida, Y., Takahashi, C., Ohya, R., Katayama, M., Uchida, K., Tominaga, M., & Nagai, K. (2017). β -Eudesmol, an oxygenized sesquiterpene, stimulates appetite via TRPA1 and the autonomic nervous system. *Scientific Reports*, 7(15785). DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-017-16150-6>

Ohara, K., Misaizu, A., Kaneko, Y., Fukuda, T., Miyake, M., Miura, Y., Okamura, H., Yajima, J., & Tsuda, A. (2018). β -Eudesmol, an Oxygenized Sesquiterpene, Reduces the Increase in Saliva 3-Methoxy-4-Hydroxyphenylglycol After the "Trier Social Stress Test" in Healthy Humans: A Randomized, Double-Blind, Placebo-Controlled Cross-Over Study. *Nutrients*, 11(1), 9. DOI: <https://doi.org/10.3390/nu11010009>

Oliveira, M. A., Velázquez, D., & Bermúdez, A. (2005). La investigación etnobotánica sobre plantas medicinales una revisión de sus objetivos y enfoques actuales. *Interciencia: Revista de ciencia y tecnología de América*, 30(8), 453-459. Recuperado de: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=1373833>

OMS (Organización Mundial de la Salud). (2015). Estrategia de la OMS sobre medicina tradicional 2014-2023. Geneve, Switzerland. Recuperado de: https://apps.who.int/gb/ebwha/pdf_files/WHA67/A67_26-sp.pdf

OMS (Organización Mundial de la Salud). (2022). Enfermedades no transmisibles. Recuperado de: <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/noncommunicable-diseases>

Pavela, R. (2016). Historia, presencia y perspectiva del uso de extractos de plantas como insecticidas botánicos comerciales y productos agrícolas para la protección contra insectos: una revisión. *Plant Prot Sci*, 52, 229–41

Pinto Vitorino, G., Toledo, I. B., Cordoba, O. L., Flores, M. L., & Cabrera, J. L. (2004). Análisis fitoquímico de *Colliguaya integerrima* (Hook.) Gill. et Hook. (Euphorbiaceae), una planta de la Patagonia Argentina. *Acta farmacéutica bonaerense*, 23(4), 459-465. Recuperado de: https://www.researchgate.net/profile/Jose-Cabrera-24/publication/279938369_Phytochemical_analysis_of_Colliguaya_integerrima_Hook_Gill_et_Hook_Euphorbiaceae_a_plant_of_Patagonia_Argentina/links/57bc6eaa08ae52593355c7a7/Phytochemical-analysis-of-Colliguaya-integerrima-Hook-Gill-et-Hook-Euphorbiaceae-a-plant-of-Patagonia-Argentina.pdf

Ramírez, A., Serrano, L. B., Barragán, L. E., Quintanar, M. A., Pérez-Vertti, R. D. A., & Delgadillo, D.

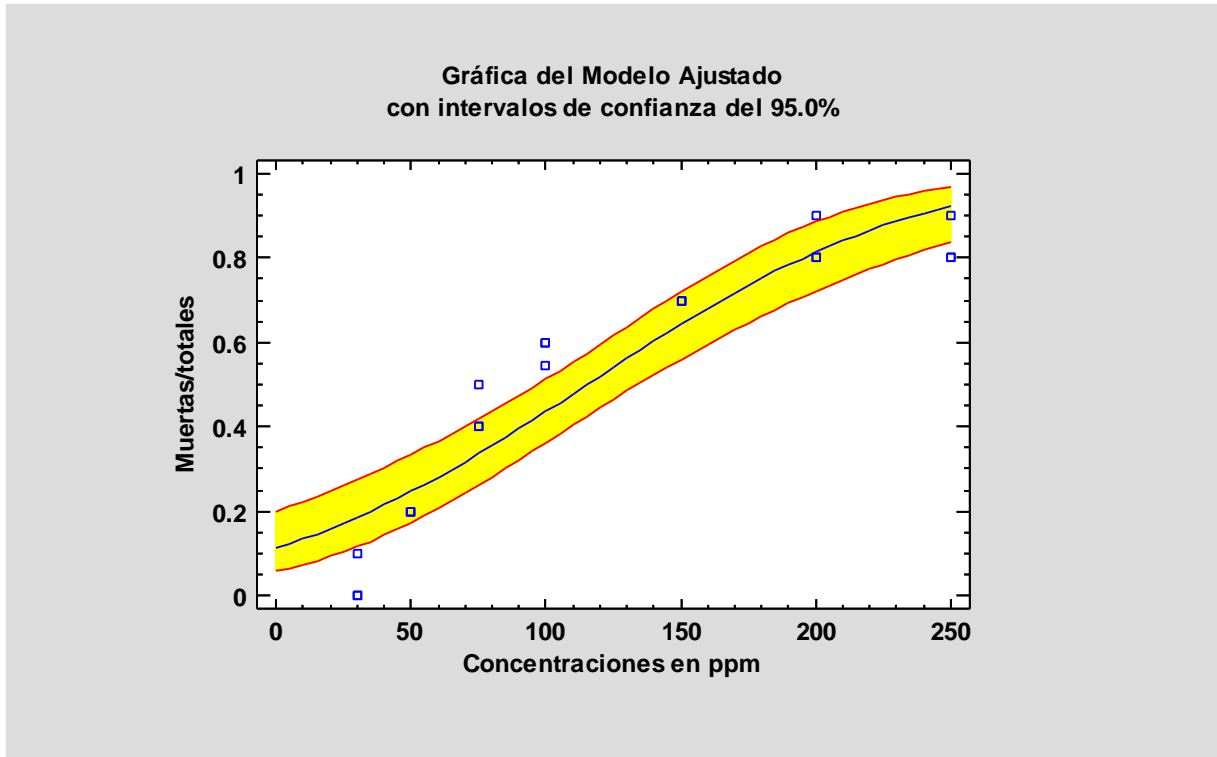
- (2016). Determinación de los compuestos polifenólicos en extractos de *Jatropha dioica* y su capacidad antioxidante. *Revista Mexicana de Ciencias Farmacéuticas*, 47(4), 42-48. Recuperado de: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=57956612004>
- Rangel-Fajardo, M. A., Tucuch-Haas, J. I., Gómez-Montiel, N. O., Basto-Barbudo, D., & Burgos-Díaz, J. A. (2020). Control de gorgojo (*Sitophilus zeamais* Motschulsky) con polvos de epazote (*Dysphania ambrosioides* (L.) Mosyakin & Clemants) en diferentes genotipos de maíz. *Revista fitotecnia mexicana*, 43(3), 307-315. DOI: <https://doi.org/10.35196/rfm.2020.3.307>
- Rodríguez-Acosta, M., Vega-Flores, K., Gante-Cabrera, V. H., & Jiménez-Ramírez, J. (2009). Distribución del género *Jatropha* L. (Euphorbiaceae) en el estado de Puebla, México. *Polibotánica*. Recuperado de: https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-27682009000200003
- Rychen, G., Aquilina, G., Azimonti, G., Bampidis, V., Bastos, M., Bories, G., Chesson, A., Cocconcelli, P. S., Flachowsky, G., Kolar, B., Kouba, M., López-Alonso, M., López, S., Mantovani, A., Mayo, B., Ramos, F., Saarela, M., Villa, R. E., Wallace, R. J., Wester, P., Lundebye, A. K., Nebbia, C., Renshaw, D., Innocenti, M. L., & Gropp, J. (2018). Safety and efficacy of butylated hydroxyanisole (BHA) as a feed additive for all animal species. *EFSA JOURNAL*, 16(3), e05215. DOI: 10.2903/j.efsa.2018.5215
- Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural. (2022). Maíz, frijol, arroz y trigo, los granos básicos de México. Recuperado de: <https://www.gob.mx/agricultura/articulos/maiz-frijol-arroz-y-trigo-los-granos-basicos-de-mexico>
- 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
- Serrano, M. E., López, M. & Sainz, T. (2006). Componentes bioactivos de alimentos funcionales de origen vegetal. *Revista Mexicana de Ciencias Farmacéuticas*, 37(4), 58-68. Recuperado de: <https://www.redalyc.org/pdf/579/57937408.pdf>
- Sharifi-Rad, M., Varoni, E. M., Iriti, M., Martorell, M., Setzer, W. N., Contreras, M., Salehi, B., Soltani-Nejad, A., Rajabi, S., Tajbakhsh, M., & Sharifi-Rad, J. (2018). Carvacrol and human health: A comprehensive review. *Phytother Res*, 32(9), 1675-1687. DOI: 10.1002/ptr.6103
- Valdez-Ramírez, A., Flores-Macías, A., Figueroa-Brito, O. R., de la Torre-Hernández, M. E., Ramos-López, M. A., Beltrán-Ontiveros, S. A., Becerril-Camacho, D. M. & Díaz, D. (2023). Una revisión sistemática de la bioactividad de los extractos de *Jatropha curcas* L. (Euphorbiaceae) en el control de plagas de insectos. *Journal of Sustainability*, 15(15), 11637. DOI: <https://doi.org/10.3390/su151511637>

- Vera-Graziano, J. & Cruz-Izquierdo, S. (2016). Parámetros poblacionales del insecto *Acanthoscelides obtectus* (Say.) en granos de cinco cultivares de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.). *Agrociencia*, 50(3), 347-353. Recuperado de: https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-31952016000300347
- Visioli, F., Galli, C., Bornet, F., Mattei, A., Patelli, R., Galli, G., & Caruso, D. (2000) Olive oil phenolics are dose-dependently absorbed in humans. *FEBS Letters*, 468(2-3), 159-160. DOI: 10.1016/S0014-5793(00)01216-3
- Vora, B. V., Kocal, J. A., Barger, P. T., Schmidt, R. J., & Johnson, J. A. (2003). Alkylation. *Kirk-Othmer Encyclopedia of Chemical Technology*. DOI: <https://doi.org/10.1002/0471238961.0112112508011313.a01.pub2>

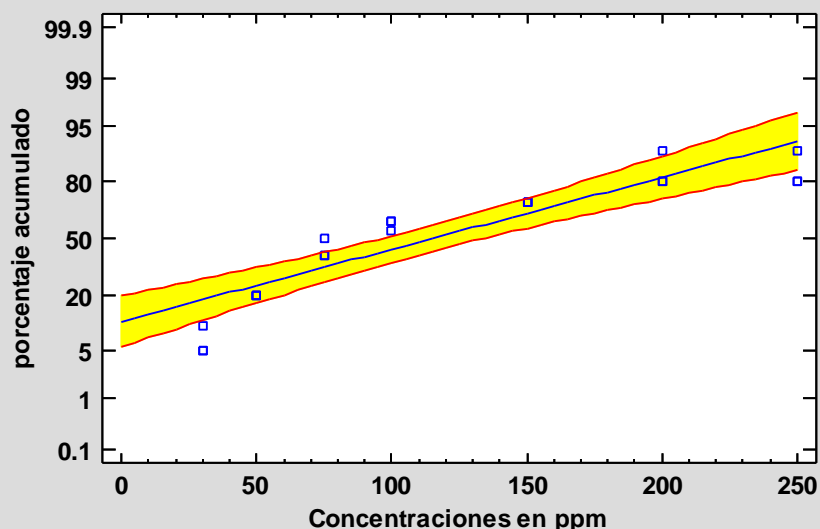
ANEXOS

Anexo 1

Análisis probit para determinar la CL_{50} del extracto acuoso de las hojas de *Jatropha oaxacana* en el modelo de *Artemia salina*.



**Probit(Muertas/totales)
con intervalos de confianza del 95.0%**

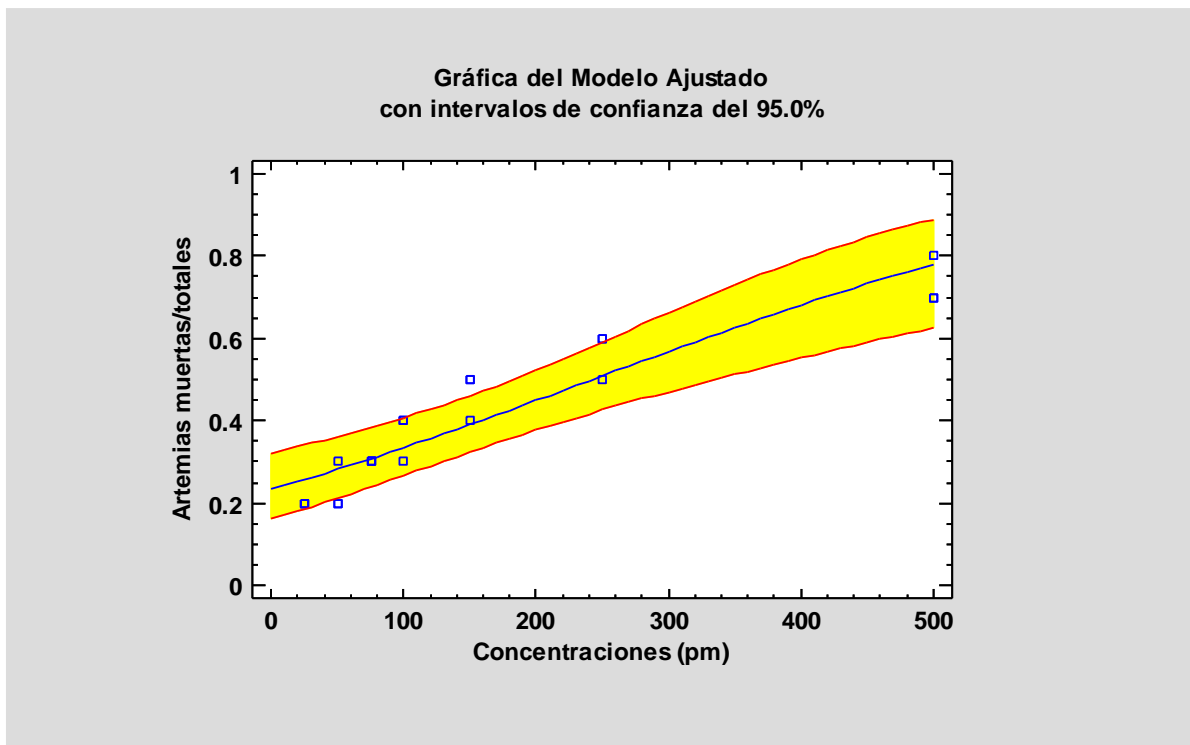


Porcentaje	Concentraciones en ppm	LC Inferior 95.0% Límite Conf.	LC Superior 95.0% Límite Conf.
0.1	-178.564	-286.725	-115.112
0.5	-129.653	-220.409	-76.1063
1.0	-105.932	-188.307	-57.129
2.0	-80.0131	-153.298	-36.3273
3.0	-63.5686	-131.133	-23.0815
4.0	-51.198	-114.491	-13.0855
5.0	-41.1355	-100.979	-4.93021
6.0	-32.5707	-89.4977	2.03163
7.0	-25.0611	-79.449	8.15364
8.0	-18.3371	-70.4678	13.6513
9.0	-12.2219	-62.3147	18.6662
10.0	-6.59281	-54.8238	23.2966
15.0	16.713	-23.9922	42.6499
20.0	35.2358	0.218413	58.3249
25.0	51.1267	20.6737	72.0877
30.0	65.3972	38.684	84.8064
35.0	78.6209	54.9526	97.0128
40.0	91.169	69.8974	109.088
45.0	103.309	83.7937	121.334
50.0	115.257	96.8549	133.999
55.0	127.204	109.288	147.292
60.0	139.344	121.32	161.402
65.0	151.892	133.212	176.531
70.0	165.116	145.268	192.95
75.0	179.387	157.867	211.08
80.0	195.277	171.536	231.629
85.0	213.8	187.136	255.914
90.0	237.106	206.429	286.806
91.0	242.735	211.049	294.307
92.0	248.85	216.053	302.471

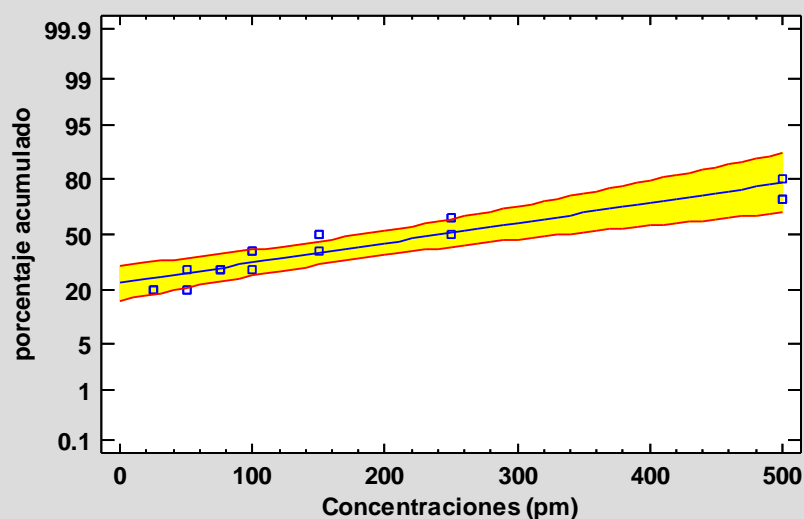
93.0	255.574	221.541	311.463
94.0	263.084	227.652	321.522
95.0	271.649	234.604	333.013
96.0	281.711	242.749	346.535
97.0	294.082	252.735	363.188
98.0	310.526	265.969	385.364
99.0	336.445	286.757	420.387
99.5	360.166	305.726	452.497
99.9	409.077	344.719	518.825

Anexo 2

Análisis probit para determinar la CL₅₀ del extracto acuoso del tallo de *Jatropha oaxacana* en el modelo de *Artemia salina*.



**Probit(Artemias muertas/totales)
con intervalos de confianza del 95.0%**

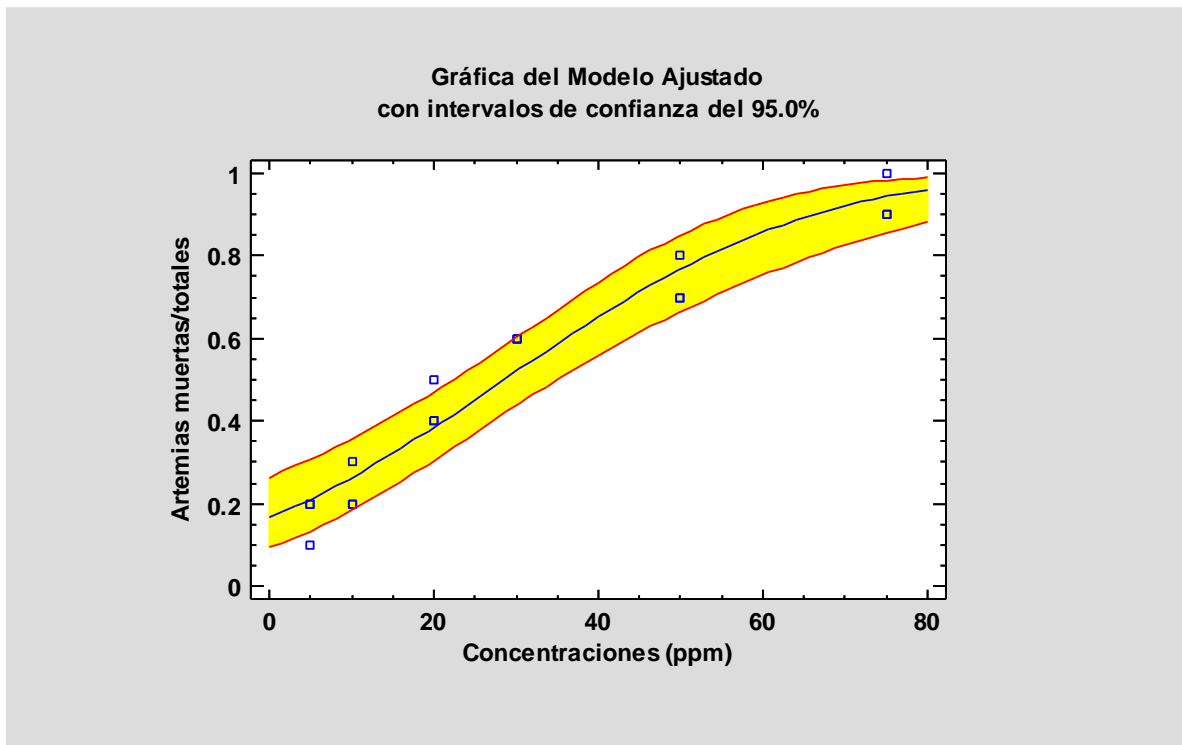


Porcentaje	Concentraciones (pm)	LC Inferior 95.0% Límite Conf.	LC Superior 95.0% Límite Conf.
0.1	-789.278	-1440.86	-510.728
0.5	-617.448	-1153.05	-387.437
1.0	-534.114	-1013.64	-327.469
2.0	-443.059	-861.514	-261.745
3.0	-385.288	-765.147	-219.893
4.0	-341.829	-692.761	-188.304
5.0	-306.478	-633.965	-162.522
6.0	-276.389	-583.995	-140.504
7.0	-250.007	-540.249	-121.13
8.0	-226.385	-501.143	-103.72
9.0	-204.902	-465.639	-87.825
10.0	-185.126	-433.018	-73.1334
15.0	-103.251	-298.806	-11.4558
20.0	-38.1783	-193.733	39.1581
25.0	17.648	-105.729	84.7192
30.0	67.7816	-29.7844	128.72
35.0	114.238	36.1063	173.977
40.0	158.321	92.673	222.878
45.0	200.971	140.901	276.692
50.0	242.943	182.787	335.224
55.0	284.915	220.695	397.735
60.0	327.565	256.59	463.882
65.0	371.648	291.956	533.985
70.0	418.104	328.03	609.058
75.0	468.238	366.085	690.949
80.0	524.064	407.77	782.828
85.0	589.136	455.768	890.517
90.0	671.012	515.585	1026.59
91.0	690.788	529.965	1059.52
92.0	712.271	545.562	1095.32
93.0	735.893	562.687	1134.72

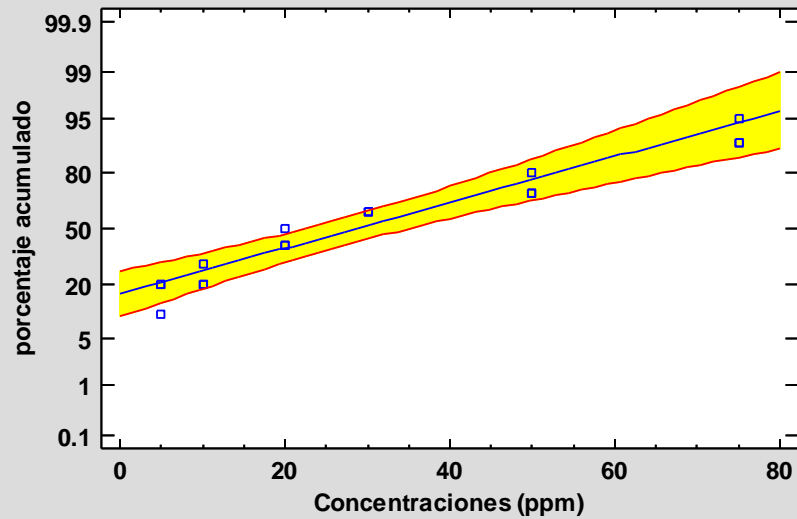
94.0	762.275	581.785	1178.74
95.0	792.364	603.535	1228.98
96.0	827.715	629.051	1288.04
97.0	871.174	660.372	1360.69
98.0	928.945	701.941	1457.34
99.0	1020.0	767.338	1609.8
99.5	1103.33	827.091	1749.42
99.9	1275.16	950.093	2037.52

Anexo 3

Análisis probit para determinar la CL_{50} del extracto acuoso del fruto de *Jatropha oaxacana* en el modelo de *Artemia salina*.



**Probit(Artemias muertas/totales)
con intervalos de confianza del 95.0%**



Porcentaje	Concentraciones (ppm)	LC Inferior 95.0% Límite Conf.	LC Superior 95.0% Límite Conf.
0.1	-62.0207	-100.017	-41.0154
0.5	-46.9399	-78.7674	-29.2344
1.0	-39.626	-68.4821	-23.5003
2.0	-31.6345	-57.2665	-17.2124
3.0	-26.5642	-50.1669	-13.2066
4.0	-22.75	-44.837	-10.1824
5.0	-19.6474	-40.51	-7.71398
6.0	-17.0066	-36.834	-5.60595
7.0	-14.6912	-33.6171	-3.75146
8.0	-12.6179	-30.7423	-2.08539
9.0	-10.7324	-28.1329	-0.56496
10.0	-8.99683	-25.736	0.839518
15.0	-1.81093	-15.8757	6.71827
20.0	3.9002	-8.14257	11.494
25.0	8.79983	-1.62038	15.7033
30.0	13.1999	4.10774	19.6123
35.0	17.2771	9.26368	23.3867
40.0	21.1461	13.9775	27.1468
45.0	24.8893	18.3346	30.9885
50.0	28.573	22.4024	34.989
55.0	32.2567	26.2484	39.2112
60.0	36.0	29.9482	43.7101
65.0	39.8689	33.5873	48.545
70.0	43.9462	37.2635	53.7991
75.0	48.3462	41.0952	59.6046
80.0	53.2459	45.2441	66.1872
85.0	58.957	49.9724	73.9678
90.0	66.1429	55.8129	83.8662
91.0	67.8785	57.2106	86.2701
92.0	69.764	58.7243	88.886
93.0	71.8372	60.3839	91.7673

94.0	74.1527	62.232	94.9907
95.0	76.7935	64.3336	98.673
96.0	79.896	66.7956	103.007
97.0	83.7103	69.8132	108.343
98.0	88.7806	73.8119	115.45
99.0	96.7721	80.0914	126.674
99.5	104.086	85.8198	136.965
99.9	119.167	97.5931	158.222