

# Actividad herbicida preemergente de extractos de *Agave lechuguilla* Torr., *Larrea tridentata* (DC.) Coville y *Syzygium aromaticum* (L.) Merr. & L.M. Perry sobre semillas de frijol y avena como plantas modelo

Pre-emergent herbicidal activity of extract from *Agave lechuguilla* Torr., *Larrea tridentata* (DC.) Coville and *Syzygium aromaticum* (L.) Merr. & L.M. Perry on seeds of bean and oat as model plants

Marco Antonio Tucuch-Pérez<sup>1</sup> , Víctor Navarro-Macías<sup>2</sup> , Alexis Candido del Toro<sup>2</sup> , Mayela Govea-Salas<sup>2</sup> , Elan Iñaky Laredo-Alcalá<sup>3</sup> , Cynthia Lizeth Barrera-Martínez<sup>3</sup> , Roberto Arredondo-Valdés<sup>2\*</sup> 

<sup>1</sup> Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Departamento de Botánica, Calzada Antonio Narro 1923, Buenavista, 25315, Saltillo, Coahuila, México.

<sup>2</sup> Universidad Autónoma de Coahuila, Facultad de Ciencias Químicas, Ing. J. Cárdenas Valdez S/N, República, 25280, Saltillo, Coahuila, México.

<sup>3</sup> Universidad Autónoma de Coahuila, Centro de Investigación para la Conservación de la Biodiversidad y Ecología de Coahuila, Miguel Hidalgo 212, Zona Centro, 27640, Cuatro Ciénegas de Carranza, Coahuila, México.

\*Autor para correspondencia: r-arredondo@uadec.edu.mx

**Fecha de recepción:**  
14 de enero de 2025

**Fecha de aceptación:**  
5 de febrero de 2025

**Disponible en línea:**  
16 de febrero de 2026

**Este es un artículo en acceso abierto que se distribuye de acuerdo a los términos de la licencia Creative Commons.**



**Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional (CC BY-NC-SA 4.0)**

**Cómo citar:**  
Tucuch-Pérez, M. A., Navarro-Macías, V., Cándido del Toro, A., Govea-Salas, M., Laredo-Alcalá, E. I., Barrera-Martínez, C. L., & Arredondo-Valdés, R. (2026). Actividad herbicida preemergente de extractos de *Agave lechuguilla* Torr., *Larrea tridentata* (DC.) Coville y *Syzygium aromaticum* (L.) Merr. & L.M. Perry sobre semillas de frijol y avena como plantas modelo. *Acta Agrícola y Pecuaria*, 12, e0121010. <https://doi.org/10.30973/aap/2026.12.0121010>

## RESUMEN

En la agricultura, las malezas representan un 40 % de pérdidas a nivel mundial. Por lo que, para su control, el uso de herbicidas químicos es el tratamiento más común. Sin embargo, estos productos afectan el medio ambiente y causan la aparición de malezas resistentes. Existen plantas que han demostrado tener compuestos con actividad herbicida, como *Agave lechuguilla* Torr., *Larrea tridentata* (DC.) Coville y *Syzygium aromaticum* (L.) Merr. & L.M. Perry. El objetivo del presente trabajo fue evaluar la actividad herbicida en preemergencia de extractos de *A. lechuguilla*, *L. tridentata* y *S. aromaticum* en las plantas modelo *Avena sativa* L. y *Phaseolus vulgaris* L. Se observó que estas especies presentaron actividad herbicida. Sin embargo, la actividad está en función del tipo de extracción debido a que, gracias a una caracterización fitoquímica, se observó que la extracción de los compuestos depende del tipo de solvente utilizado.

## PALABRAS CLAVE

Bioherbicidas, compuestos fitoquímicos, malezas, agricultura orgánica.

## ABSTRACT

In agriculture, weeds account for approximately 40 % of global yield losses. Therefore, chemical herbicides are the most commonly used method for weed control. However, these products negatively affect the environment and promote the emergence of herbicide-resistant weeds. Several plant species that have been shown to contain compounds with herbicidal activity, including *Agave lechuguilla* Torr., *Larrea tridentata* (DC.) Coville and *Syzygium aromaticum* (L.) Merr. & L.M. Perry. The objective of this study was to evaluate the pre-emergence herbicidal activity of extracts from *A. lechuguilla*, *L. tridentata*, and *S. aromaticum* using *Avena sativa* L. and *Phaseolus vulgaris* L. as model plants. The results showed that these species exhibited herbicidal activity. However, this activity depended on the extraction method, as phytochemical characterization revealed that compound extraction varied according to the solvent used.

## KEYWORDS

Bioherbicides, phytochemicals, weeds, organic farming.

## INTRODUCCIÓN

Dentro de la agricultura, las malezas son uno de los principales problemas que ocasionan pérdidas de hasta el 40 % en la producción de los alimentos. Ello es debido a que compiten con los cultivos por nutrientes y agua (Kaab et al., 2020). Estas se caracterizan por adaptarse y sobrevivir a una gran variedad de condiciones ambientales (Cassalett Dávila et al., 1995). Una de las causas más comunes para el óptimo desarrollo de las malezas es que aprovechan la preparación que se le da al suelo antes de la siembra, ya que pueden germinar y utilizar todos los nutrientes presentes en el suelo (Cassalett Dávila et al., 1995). En este sentido, De la Cruz y Gómez (1971) demostraron que las malezas comienzan a desarrollarse 15 días después del establecimiento del suelo y pueden durar hasta seis meses, dependiendo de las características climatológicas de la zona, así como de la práctica de siembra.

Actualmente se utilizan dos tipos de tratamientos para eliminar las malezas: la eliminación mecánica y la eliminación química. La eliminación mecánica es la extracción de la planta junto con la raíz, manualmente o con máquinas; mientras que la eliminación química consiste en el uso de herbicidas químicos (Cassalett Dávila et al., 1995; Perdomo R. et al., 2004).

Los herbicidas se dividen en dos tipos, los de acción preemergente y los de acción postemergente. Los preemergentes tienen diferentes modos de acción en la germinación de la semilla, siendo un tratamiento preventivo para los campos de cultivo. En la acción postemergente, el herbicida ataca en la plántula; generalmente este tipo de productos se aplican cuando aparecen las primeras malezas (Paguaga González, 2007). A pesar del control que tienen los herbicidas químicos sobre las malezas, estos tienen un impacto negativo en el medio ambiente, la salud animal y humana, además de que generan la aparición de poblaciones resistentes de malezas (Böcker et al., 2019).

Por lo que, en la actualidad, se buscan alternativas para su control. En este sentido, los extractos vegetales se presentan como una opción, pues contienen diversos compuestos fitoquímicos con actividad alelopática, lo que evita el desarrollo de malezas. Así, plantas como *Agave lechuguilla* Torr., *Larrea tridentata* (DC.) Coville y *Syzygium aromaticum* (L.) Merr. & L.M. Perry tienen compuestos como flavonoides (Castillo-

Quiroz et al., 2014), fenoles (Omezzine et al., 2011), saponinas (Martins et al., 2013), entre otros. Estos compuestos promueven la actividad herbicida, es decir, logran inhibir el crecimiento y germinación de la maleza (Kaab et al., 2020). Por lo anterior, el objetivo de la presente investigación fue producir y caracterizar extractos de *A. lechuguilla*, *L. tridentata* y *S. aromaticum*, además de determinar su actividad herbicida en preemergencia sobre las plantas modelo de *Avena sativa* L. y *Phaseolus vulgaris* L.

## MATERIALES Y MÉTODOS

El material vegetal de *A. lechuguilla* y *L. tridentata* se colectó en el municipio de General Cepeda, Coahuila, el cual forma parte del desierto Chihuahuense, en tanto que *S. aromaticum* se obtuvo de un comercio local. Las plantas se lavaron cuidadosamente y se dejaron secar durante 15 días a 30 °C; posteriormente, la materia vegetal seca fue molida y pulverizada (Kaab et al., 2020).

Para la preparación de los extractos vegetales se utilizó agua, etanol al 96 % y ácido acético al 5 %. Para esto, se colocó el material pulverizado en cada solvente durante 48 h en agitación constante a 25 °C. Luego se utilizó un rotavapor en vacío a 45 °C con agitación de 150 rpm para separar los solventes de los extractos, los cuales se colocaron en una estufa de secado para eliminar la humedad. Finalizado el proceso, los extractos se almacenaron a 4° C bajo condiciones de oscuridad (Falleh et al., 2008).

Posteriormente se realizó la caracterización fitoquímica por pruebas cualitativas, utilizando la metodología propuesta por Arredondo-Valdés et al. (2021). Estas pruebas permitieron determinar la presencia o ausencia de los compuestos fitoquímicos mediante la colorimetría. Para esto, los extractos se prepararon a 2,500 ppm y se realizaron pruebas para flavonoides (reactivos de Shinoda y NaOH al 1 %), terpenoides (reactivo Ac<sub>2</sub>O), saponinas (test de espuma), esteroideos (reactivo de Bouchard), taninos (reactivos FeCl<sub>3</sub> y ferrocianuro) y cumarinas (reactivo de Erlich).

La actividad antioxidante de los extractos se llevó a cabo por el método descrito por Martins et al. (2013), para lo cual se preparó una solución de 1-difenil-2-picrilhidrazil (DPPH); se tomaron 2,950 µL de esta solución y se agregaron a 50 µL del extracto. La mezcla se agitó vigorosamente y se incubó por 30 min a 37 °C, final-

mente se realizó una lectura de absorbancia a 517 nm. La solución control consistió de 100 µL de agua destilada. Los resultados se expresaron en porcentaje de inhibición, siguiendo la siguiente fórmula:

$$\text{Porcentaje de inhibición DPPH} = \left( \frac{1 - As}{Ac} \right) \times 100$$

Donde:  $Ac$  y  $As$  son la absorbancia de control y la absorbancia de la solución, respectivamente.

El análisis por HPLC-MS se realizó utilizando un sistema Varian HPLC, el cual incluyó un automuestreador (Varian ProStar 410, Artisan Technology Group, Champaign, Estados Unidos), una bomba ternaria (Varian ProStar 230I, Artisan Technology Group, Champaign, Estados Unidos) y un detector PDA (Varian ProStar 330, Artisan Technology Group, Champaign, Estados Unidos). También se utilizó un espectrómetro de masas con trampa de iones (Varian 500-MS IT Mass Spectrometer, Estados Unidos) equipado con una fuente de ionización por electropulverización. Se inyectaron 5 µL de cada muestra en una columna Denali C18 (Avantor Inc., Radnor, Estados Unidos). La temperatura se mantuvo a 30 °C. Los eluyentes utilizados fueron ácido fórmico y acetonitrilo. Mientras que el gradiente utilizado fue el siguiente: inicial, 3 % B; 0-5 min, 9 % B lineal; 5-15 min, 16 % B lineal; 15-45 min, 50 % B lineal. El flujo se mantuvo a 0.2 mL/min y la elución se monitoreó a 245 nm, 280 nm, 320 nm y 550 nm. El efluente completo se inyectó en la fuente del espectrómetro de masas sin división. Se utilizó nitrógeno como gas de nebulización y helio como gas de amortiguación. Los parámetros de la fuente de iones fueron: voltaje de pulverización de 5.0 kV, voltaje de capilar de 90.0 V y temperatura de 350 °C. Los datos se recolectaron y procesaron con el software MS Workstation (V 6.9). Las muestras se analizaron inicialmente en modo de escaneo completo con un rango de m/z de 50-2,000 (Cerda-Cejudo et al., 2022).

Para la evaluación de la actividad herbicida en preemergencia, se utilizaron semillas de *A. sativa* y *P. vulgaris* como plantas indicadoras para simular las malezas de hoja angosta y hoja ancha respectivamente. Las semillas fueron desinfectadas y esterilizadas. Los tratamientos utilizados fueron extractos de *A. lechuguilla*, *L. tridentata* y *S. aromaticum* a concentraciones de 1,250 ppm, 2,500 ppm y 5,000 ppm; además, se utilizó como control negativo agua destilada y como control positivo,

un herbicida químico (glufosinato). El ensayo se llevó a cabo en cajas Petri donde se colocaron diez semillas en una cama de algodón estéril, luego se aplicaron los tratamientos al colocar 5 mL de cada extracto sobre cada semilla. Se realizaron seis repeticiones para cada extracto y concentración, y se utilizó un diseño experimental completamente al azar. Finalmente, las cajas Petri se incubaron a 25 °C durante siete días. Transcurridos los siete días, se midió la longitud de la raíz y se determinó el porcentaje de inhibición mediante la siguiente fórmula (Tucuch-Pérez et al., 2023):

$$\text{Porcentaje de inhibición} = \left( \frac{T}{C} \right) \times 100$$

Donde:  $T$  representa el número de semillas germinadas en el tratamiento y  $C$ , el número de semillas germinadas en el control negativo.

Los datos obtenidos fueron analizados utilizando el software Statistical Analysis System (SAS), versión 9.0. Todos los datos se examinaron mediante ANOVA, y las comparaciones múltiples de medias se realizaron con la prueba de rangos múltiples de Tukey ( $p < 0.05$ ).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Caracterización fitoquímica de extractos de *A. lechuguilla*, *L. tridentata* y *S. aromaticum*

La obtención de los compuestos bioactivos depende del tipo de solvente que se utilice para la extracción, esto debido a la polaridad de los solventes y de los compuestos presentes. Por lo anterior, se observó diferencia entre los extractos acuosos, etanólicos y ácidos, tal como se muestra en el Cuadro 1. Se observó la presencia de flavonoides, terpenos y fenoles en todos los extractos. Sin embargo, en la extracción etanólica no se encontró presencia de cumarinas, así como las saponinas se observaron solamente en extractos de *A. lechuguilla*. Los resultados obtenidos de la caracterización fitoquímica de *A. lechuguilla* coinciden con otros autores que estudiaron extractos acuosos de distintos agaves. Se observó presencia de saponinas, flavonoides y taninos en *A. americana* L., *Agave angustigolia* Haw. (Camacho-Campos et al., 2020) y *A. lechuguilla* (López-Salazar et al., 2025). Los compuestos obtenidos están relacionados con el control microbiano y el control de malezas debido a su alta producción de saponinas,

**Cuadro 1. Composición fitoquímica de extractos acuosos, etanólicos y ácidos de *A. lechuguilla*, *L. tridentata* y *S. aromaticum*.**

Extracto	Flavonoides	Terpenos	Esteroides	Saponinas	Taninos	Cumarinas
<i>Agave lechuguilla</i> (acuoso)	+	+	-	+	-	+
<i>Agave lechuguilla</i> (etanólico)	+	+	+	+	+	-
<i>Agave lechuguilla</i> (ácido)	+	+	-	+	-	+
<i>Larrea tridentata</i> (acuoso)	+	+	+	-	+	+
<i>Larrea tridentata</i> (etanólico)	+	+	+	-	+	-
<i>Larrea tridentata</i> (ácido)	+	+	+	-	+	+
<i>Syzygium aromaticum</i> (acuoso)	+	+	+	-	+	+
<i>Syzygium aromaticum</i> (etanólico)	+	+	+	-	+	-
<i>Syzygium aromaticum</i> (ácido)	+	+	+	-	+	+

siendo la sapogenina a la que se le atribuye esta capacidad herbicida (Castillo-Quiroz et al., 2014).

Solís-De la Cerda et al. (2016) analizaron extractos de *L. tridentata* metanólicos y reportaron la ausencia de cumarinas, la presencia de flavonoides y fenoles, lo que concuerda con los resultados obtenidos en esta investigación. Sin embargo, a pesar de que en los extractos metanólicos hay ausencia de cumarinas, al momento de hacer las extracciones acuosas y ácidas, se observó la presencia de cumarinas. Se han realizado estudios analizando las propiedades fitoquímicas del género *Syzygium*. En este sentido, autores como Yahaya et al. (2024) realizaron estudios de extractos acuosos de *S. aromaticum* y observaron la presencia de alcaloides, flavonoides, fenoles, saponinas y taninos.

#### Determinación de actividad antioxidante

##### DPPH de extractos de *A. lechuguilla*, *L. tridentata* y *S. aromaticum*

Al determinar el potencial antioxidante total de las plantas, este puede variar dependiendo del método y solvente utilizado para la extracción y preparación de los extractos. En el Cuadro 2 se muestran los resultados obtenidos para las tres especies. Los extractos con mejor potencial antioxidante fueron los obtenidos de *A. lechuguilla* con 100 %. Sin embargo, a pesar de que se encontraron compuestos similares entre los extractos, estos mostraron tener diferencia en cuanto a la actividad antioxidante, lo cual puede deberse a que

la actividad antioxidante está en función de la cantidad de fenoles y flavonoides (Birasuren et al., 2013).

#### Caracterización de compuestos fitoquímicos presentes en extractos de *A. lechuguilla*, *L. tridentata* y *S. aromaticum* por HPLC-MS

Con relación a los compuestos identificados por HPLC-MS, se encontraron diferentes familias dentro de los extractos tal como se muestra en el Cuadro 3. Se detectó la presencia de la familia de catequinas en los tres tipos de plantas, las cuales se usan como modulador de sabor en infusiones de té, así como para usos farmacéuticos para el tratamiento de la influenza A (Bustamante & Morales, 2012). Sin embargo, a esta familia de tipo flavonoide se le atribuyen acciones

**Cuadro 2. Actividad antioxidante de *A. lechuguilla*, *L. tridentata* y *S. aromaticum*.**

Extracto	Actividad antioxidante DPPH (%)
<i>Agave lechuguilla</i> (acuoso)	100 ± 0.01
<i>Agave lechuguilla</i> (etanólico)	100 ± 0.01
<i>Agave lechuguilla</i> (ácido)	100 ± 0.01
<i>Larrea tridentata</i> (acuoso)	2 ± 0.01
<i>Larrea tridentata</i> (etanólico)	66 ± 0.01
<i>Larrea tridentata</i> (ácido)	45 ± 0.03
<i>Syzygium aromaticum</i> (acuoso)	29 ± 0.01
<i>Syzygium aromaticum</i> (etanólico)	60 ± 0.00
<i>Syzygium aromaticum</i> (ácido)	67 ± 0.01

biológicas de tipo antimicrobiana, así como de remediación fitopatógena (Khan & Mukhtar, 2007). Otra familia de importancia son los ácidos hidroxicinámicos, los cuales tienen propiedades antimicrobianas y anticancerígenas, siendo su mayor atributo la actividad antioxidante. Esta familia solo se encontró en el extracto acuoso de *A. lechuguilla*, además de en los extractos acuoso y etanólico de *L. tridentata*. En el caso de *S. aromaticum* se encontró en los tres tipos de extractos. Debido a la presencia de estos compuestos, este tipo de extractos pueden ser utilizado para pre-

venir o tratar enfermedades relacionadas con el estrés oxidativo (Peña-Torres et al., 2019). Gracias a los compuestos presentes en su metabolismo, las especies *A. lechuguilla*, *L. tridentata* y *S. aromaticum* pueden ser utilizadas en diversas industrias como en la agricultura, específicamente en la formulación de bioherbicidas, dada su capacidad para intervenir procesos metabólicos dentro de las plantas (Khan & Mukhtar, 2007).

**Cuadro 3. Compuestos fitoquímicos identificados en extractos de *A. lechuguilla*, *L. tridentata* y *S. aromaticum* por HPLC-MS.**

Extracto	Compuesto	Familia
<i>A. lechuguilla</i> (acuoso)	(+)-Gallocatequina	Catequinas
	(+)-Catequina	Catequinas
	Ácido hidroxicaféico	Ácidos hidroxicinámicos
<i>A. lechuguilla</i> (etanólico)	(+)-Gallocatequina	Catequinas
	Ácido homovanílico	Ácidos metoxifenilacéticos
	Escopoletina	Hidroxicumarinas
	Pinocembrina	Flavanonas
	(+)-Gallocatequina	Catequinas
<i>A. lechuguilla</i> (ácido)	(+)-Catequina	Catequinas
	Escopoletina	Hidroxicumarinas
	(+)-Catequina	Catequinas
<i>L. tridentata</i> (acuoso)	(+)-Catequina	Catequinas
	4-O-glucósido de hidroxitirosol	Tirosoles
	Ácido 3-p-cumaroilquínico	Ácidos hidroxicinámicos
	Luteolina	Flavonas
	3-O-xilosil-glucurónido de quer cetina	Flavonoles
	Kaempferol	Flavonoles
	(+)-Gallocatequina	Catequinas
	5-Heptadecil-Resorcina	Alquilfenoles
	Ácido feruloil tartárico	Ácidos metoxicinámicos
<i>L. tridentata</i> (etanólico)	(+)-Catequina	Catequinas
	(+)-Gallocatequina	Catequinas
	4-O-glucósido de hidroxitirosol	Tirosoles
	Ácido 3-p-cumaroilquínico	Ácidos hidroxicinámicos
	Pinocembrina	Flavanonas
<i>L. tridentata</i> (ácido)	Luteolina	Flavonas
	Kaempferol	Flavonoles
	3,7-O-diglucósido de kaempferol	Flavonoles
	7-O-rutinósido de luteolina	Flavonas
	Metilgalangina	Metoxiflavonoles
	Sinensetina	Metoxiflavonas
	5-Heptadecil-resorcinol	Alquilfenoles

**Cuadro 3. Compuestos fitoquímicos identificados en extractos... (continuación)**

Extracto	Compuesto	Familia
<i>S. aromaticum</i> (acuoso)	(+)-Catequina	Catequinas
	Escopoletina	Hidroxicumarinas
	Galloilglucosa	Ácidos hidroxibenzoicos
	Acetyl-arabinósido del ácido elágico	Dímeros de ácido hidroxibenzoico
	Luteolina	Flavonas
	Ácido 1-cafeoilquínico	Ácidos hidroxicinámicos
	3-O-glucurónido de quer cetina	Flavonoles
	(+)-Catequina	Catequinas
<i>S. aromaticum</i> (etanólico)	Escopoletina	Hidroxicumarinas
	Galloilglucosa	Ácidos hidroxibenzoicos
	Ácido gálico	Ácidos hidroxibenzoicos
	Ácido 1-cafeoilquínico	Ácidos hidroxicinámicos
	3-O-glucurónido de quer cetina	Flavonoles
	(+)-Gallocatequina	Catequinas
	6,8-Dihidroxikaempferol	Flavonoles
	Pirogalol	Otros polifenoles
<i>S. aromaticum</i> (ácido)	(+)-Catequina	Catequinas
	Escopoletina	Hidroxicumarinas
	Galloilglucosa	Ácidos hidroxibenzoicos
	p-Cumaroyl tirosina	Ácidos hidroxicinámicos
	Ácido 1-cafeoilquínico	Ácidos hidroxicinámicos
	(+)-Gallocatequina	Catequinas
	3-O-glucurónido de quer cetina	Flavonoles
	3,7-Dimetilquer cetina	Metoxiflavonoles
	Quercetina	Flavonoles

## Determinación de la actividad herbicida de extractos de *A. lechuguilla*, *L. tridentata* y *S. aromaticum* en preemergencia

No se presentó diferencia estadística entre los extractos evaluados, solamente se observó diferencia estadística respecto al control positivo. Siendo este el que presentó mayor porcentaje de inhibición con 100 %, seguido del extracto ácido de *A. lechuguilla* a 1,250 ppm, con 40 % de inhibición. Por su parte, con los extractos de *L. tridentata* sobre las semillas de *P. vulgaris* tampoco se observó diferencia estadística entre los tratamientos, solamente entre estos y el control positivo, al ser este último el único que inhibió el desarrollo de las semillas con 100 % de inhibición. Finalmente, en cuanto a los extractos de *S. aromaticum* se observó diferencia estadística entre los tratamientos; en este caso, se documentó que los extractos etanólicos en sus tres dosis presentaron inhibición del 100 %, igualando al control positivo (Figura 1).

Se observó efecto inhibitorio por parte de la mayoría de los tratamientos en el desarrollo de semillas de *A. sativa* (Figura 2). Todos los extractos de *A. lechuguilla* alcanzaron el 100 % de inhibición, y no existió diferencia estadística entre los tratamientos, siendo únicamente el tratamiento correspondiente al control negativo el que fue diferente estadísticamente. Con relación a los extractos de *L. tridentata* sobre *A. sativa*, de nueva cuenta se observó un efecto inhibitorio elevado por parte de todos los tratamientos, alcanzando porcentajes de 100 % de inhibición, excepto en los tratamientos correspondientes al ácido acético. De nueva cuenta, no se observaron diferencias estadísticas entre los tratamientos. Finalmente, en los extractos procedentes de la especie *S. aromaticum*, se observaron diferencias estadísticas entre los tratamientos con respecto al control negativo; en este caso y de nueva cuenta, los extractos a base de ácido acético fueron los que tuvieron menor porcentaje de inhibición.

Los compuestos obtenidos en la caracterización de los extractos pueden tener diversos usos en industrias como la alimentaria, farmacéutica, cosmética y en la agricultura. En el caso de la agricultura, estos pueden ser aprovechados para la generación de bioherbicidas, ya que tienen la capacidad de tener efecto alelopático sobre las plantas, debido a que afectan funciones importantes en las plantas como la fotosíntesis, la res-

piración y la actividad hormonal, además de afectar estructuralmente las membranas celulares (Kaab et al., 2020; Reyes-Agüero et al., 2017). En este sentido, Ni et al. (2024) reportaron efecto fitotóxico por parte de compuestos como los monoterpenos, los cuales afectan diversas plantas en la naturaleza.

Las plantas, en su ambiente natural, compiten entre sí por nutrientes, lo que las lleva a desarrollar la producción de compuestos como los fenoles, los cuales son uno de los grupos que han reportado actividad herbicida, especialmente en preemergencia, pues inhiben la germinación y afectan la división celular y la fotosíntesis; además, los flavonoides pueden inhibir el desarrollo radicular (Tucuch-Pérez et al., 2023).

## CONCLUSIONES

Se detectó una amplia cantidad de compuestos en los extractos de *A. lechuguilla*, *L. tridentata* y *S. aromaticum*, dependiendo del solvente utilizado para la extracción. Dentro de los compuestos identificados se encontraron flavonoides, terpenos, fenoles, cumarinas y saponinas. En relación a la actividad antioxidante, se destacó el potencial antioxidante de los extractos de *A. lechuguilla*, lo cual puede ser atribuido a compuestos como catequinas y ácidos hidroxicinámicos. Finalmente, en cuanto a la actividad herbicida, los extractos evaluados en el presente trabajo demostraron tener efecto sobre la germinación de las plantas modelo *P. vulgaris* y *A. sativa*, destacando los extractos etanólicos y ácidos en los cuales se observó inhibición de hasta el 100 %. Estos resultados sugieren un potencial uso de los extractos en la formulación de bioherbicidas que aprovechen su capacidad alelopática para afectar procesos metabólicos clave como la fotosíntesis, la respiración y la actividad hormonal en plantas. Lo observado en el presente estudio reforzará el conocimiento sobre compuestos fitoquímicos y su beneficio para la formulación de alternativas sostenibles.

## AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen el apoyo de la Secretaría de Ciencia, Humanidades, Tecnología e Innovación, a través de la beca número 708037, correspondiente al programa Estancias Posdoctorales en México 2022.

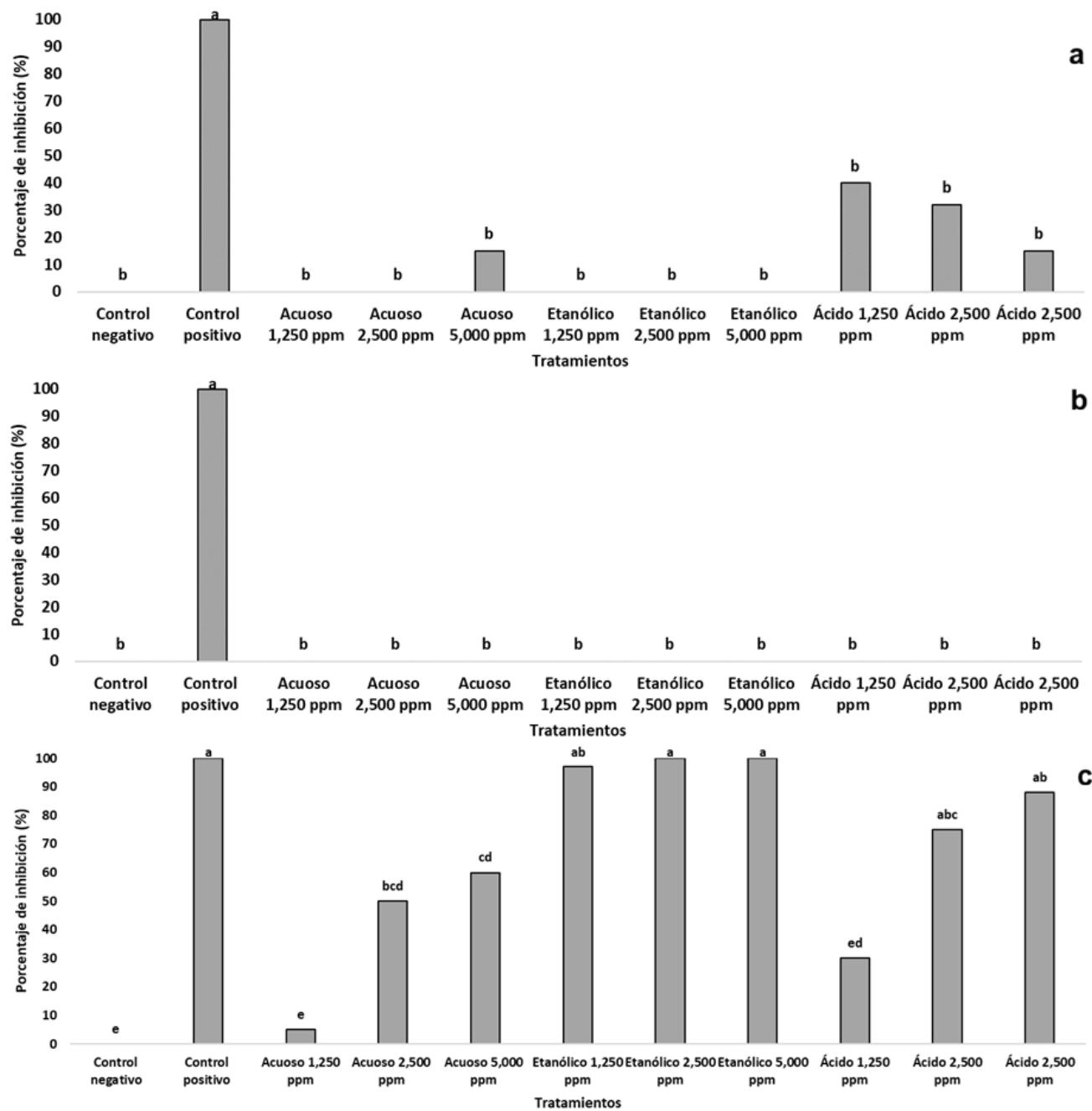


Figura 1. Actividad herbicida de extractos de *A. lechuguilla* (a), *L. tridentata* (b) y *S. aromaticum* (c) sobre semillas de *P. vulgaris* en preemergencia. Valores seguidos de letras iguales no difieren estadísticamente (Tukey,  $p > 0.05$ ).

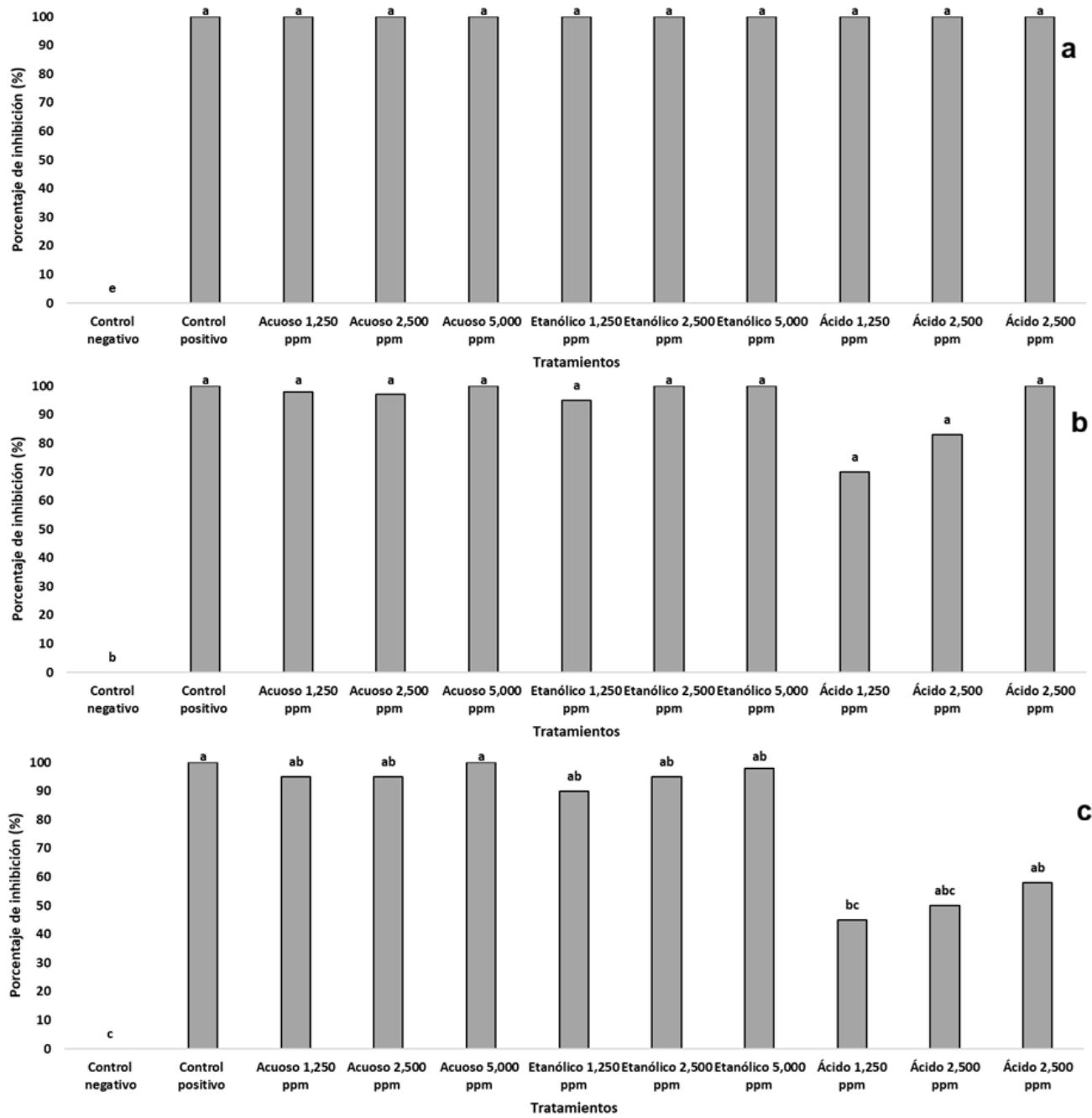


Figura 2. Actividad herbicida de extractos de *A. lechuguilla* (a), *L. tridentata* (b) y *S. aromaticum* (c) sobre semillas de *A. sativa* en preemergencia. Valores seguidos de letras iguales no difieren estadísticamente (Tukey,  $p > 0.05$ ).

## LITERATURA CITADA

- Arredondo-Valdés, R., Hernández-Castillo, F. D., Rocandio-Rodríguez, M., Anguiano-Cabello, J. C., Rosas-Mejía, M., Vanoye-Eligio, V., Irdaz-Silva, S., López-Sánchez, I. V., Carrazco-Peña, L. D., & Chacón-Hernández, J. C. (2021). *In vitro* antibacterial activity of *Moringa oleifera* ethanolic extract against tomato phytopathogenic bacteria. *Phyton-International Journal of Experimental Botany*, 90(3), 895-906. <https://doi.org/10.32604/phyton.2021.014301>
- Birasuren, B., Kim, N. Y., Jeon, H. L., & Kim, M. R. (2013). Evaluation of the antioxidant capacity and phenolic content of *Agriophyllum pungens* seed extracts from Mongolia. *Preventive Nutrition and Food Science*, 18(3), 188-195. <https://doi.org/10.3746/pnf.2013.18.3.188>
- Böcker, T., Möhring, N., & Finger, R. (2019). Herbicide free agriculture? A bio-economic modelling application to Swiss wheat production. *Agricultural Systems*, 173, 378-392. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2019.03.001>
- Bustamante, S., & Morales, M. (2012). Té verde, fitomedicamento contra la influenza A: Rol de las catequinas. *Boletín Latinoamericano y del Caribe de Plantas Medicinales y Aromáticas*, 11(2), 106-110.
- Camacho-Campos, C., Pérez-Hernández, Y., Valdivia-Ávila, A., Rubio-Fontanills, Y., & Fuentes-Alfonso, L. (2020). Evaluación fitoquímica, antibacteriana y molusquicida de extractos de hojas de *Agave* spp. *Revista Cubana de Química*, 32(3), 390-405.
- Cassalett Dávila, C., Torres Aguas, J., & Isaacs Echeverri, C. (1995). *El cultivo de la caña en la zona azucarera de Colombia*. Centro de Investigación de la Caña de Azúcar de Colombia.
- Castillo-Quiroz, D., Martínez-Burciaga, O. U., Ríos-González, L. J., Rodríguez-de la Garza, J. A., Morales-Martínez, T. K., Castillo-Reyes, F., & Avila-Flores, D. Y. (2014). Determinación de áreas potenciales para plantaciones de *Agave lechuguilla* Torr. para la producción de etanol. *Revista Científica de la Universidad Autónoma de Coahuila*, 6(12), 5-12.
- Cerda-Cejudo, N. D., Buenrostro-Figueroa, J. J., Sepúlveda, L., Torres-Leon, C., Chávez-González, M. L., Ascacio-Valdés, J. A., & Aguilar, C. N. (2022). Recovery of ellagic acid from Mexican rambutan peel by solid-state fermentation-assisted extraction. *Food and Bioproducts Processing*, 134, 86-94. <https://doi.org/10.1016/j.fbp.2022.05.001>
- De la Cruz, R., & Gómez, J. F. (1971). *Caña de azúcar*. Instituto Colombiano Agropecuario.
- Falleh, H., Ksouri, R., Chaieb, K., Karray-Bouraoui, N., Trabelsi, N., Boulaaba, M., & Abdelly, C. (2008). Phenolic composition of *Cynara cardunculus* L. organs, and their biological activities. *Comptes rendus biologies*, 331(5), 372-379. <https://doi.org/10.1016/j.crvi.2008.02.008>
- Kaab, S. B., Rebey, I. B., Hanafi, M., Hammi, K. M., Smaoui, A., Fauconnier, M. L., De Clerck, C., Jijakli, M. H., & Ksouri, R. (2020). Screening of Tunisian plant extracts for herbicidal activity and formulation of a bioherbicide based on *Cynara cardunculus*. *South African Journal of Botany*, 128, 67-76. <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2019.10.018>
- Khan, N., & Mukhtar, H. (2007). Tea polyphenols for health promotion. *Life Sciences*, 81(7), 519-533. <https://doi.org/10.1016/j.lfs.2007.06.011>
- López-Salazar, H., Negrete-León, E., Camacho-Díaz, B. H., Acevedo-Fernández, J. J., Ávila-Reyes, S. V., & Arenas Ocampo, L. A. (2025). The effect of agave bagasse extract on wound healing in a murine model. *Future Pharmacology*, 5(1), 8. <https://doi.org/10.3390/futurepharmacol5010008>
- Martins, S., Amorim, E. L. C., Sobrinho, T. J. S. P., Saraiva, A. M., Pisciottano, M. N. C., Aguilar, C. N., Teixeira, J. A., & Mussatto, S. I. (2013). Antibacterial activity of crude methanolic extract and fractions obtained from *Larrea tridentata* leaves. *Industrial Crops and Products*, 41(1), 306-311. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2012.04.037>
- Ni, X., Bai, H., Han, J., Zhou, Y., Bai, Z., Luo, S., Xu, J., Jin, C., & Li, Z. (2024). Inhibitory activities of essential oils from *Syzygium aromaticum* inhibition of *Echinochloa crus-galli*. *PLoS ONE*, 19(6), e0304863. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0304863>
- Omezzine, F., Ladhari, A., Rinez, A., & Haouala, R. (2011). Potent herbicidal activity of *Inula crithmoides* L. *Scientia Horticulturae*, 130(4), 853-861. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2011.08.013>
- Paguaga González, Y. G. (2007). Evaluación de Clomazone (Command®) aplicado como preemergente y post emergente en el cultivo de camote (*Ipomoea batatas*) [Tesis de licenciatura inédita]. Universidad Zamorano.
- Peña-Torres, E. F., González-Ríos, H., Avendaño-Reyes, L., Valenzuela-Grijalva, N. V., Pinelli-Saavedra, A., Muhlia-Almazán, A., & Peña-Ramos, E. A. (2019). Ácidos hidroxicinámicos en producción animal: farmacocinética, farmacodinamia y sus efectos como promotor de crecimiento.

- miento. *Revista Mexicana de Ciencias Agropecuarias*, 10(2), 391-415. <https://doi.org/10.22319/rmcp.v10i2.4526>
- Perdomo R., F., Vibrans L., H., Romero M., A., Domínguez V., J., & Medina P., J. L. (2004). Análisis de SHE, una herramienta para estudiar la diversidad de maleza. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 27(Núm. Esp. 1), 57-61. [https://doi.org/10.35196/rfm.2004.Especial\\_1.57](https://doi.org/10.35196/rfm.2004.Especial_1.57)
- Reyes-Agüero, J. A., Aguirre-Rivera, J. R., & Peña-Valdivia, C. B. (2017). Biología y aprovechamiento de *Agave lechuguilla* Torrey. *Boletín de la Sociedad Botánica de México*, 67, 75-88. <https://doi.org/10.17129/botsci.1626>
- Solís-De la Cerda, D., Arreola-Chapa, C., Iglesias-Galván, J. A., Garza-Ordaz, C. S., Sánchez-Galván, H., & Saenz-Esqueda, M. de los Á. (2016). Análisis fitoquímico y efectos de extracto de *Larrea tridentata* y *Nicotiana glauca* en artropofauna asociada a plantas de pepino (*Cucumis sativus* L.). En L. M. Valenzuela Núñez, J. L. Estrada Rodríguez, U. Romero Méndez, C. García De la Peña, C. Márquez Hernández, J. Sánchez Salas, G. Muro Pérez, V. Ávila Rodríguez, J. Sáenz Mata, G. Castañeda Gaytán & J. R. Estrada Arellano (Comp.), *Diversidad biológica de la Comarca Lagunera* (pp. 18-24). Universidad Juárez del Estado de Durango.
- Tucuch-Pérez, M. A., Mendo-González, E. I., Ledezma-Pérez, A., Iliná, A., Hernández-Castillo, F. D., Barrera-Martínez, C. L., Anguiano-Cabello, J. C., Laredo-Alcalá, E. I., & Arredondo-Valdés, R. (2023). The herbicidal activity of nano-and microencapsulated plant extracts on the development of the indicator plants *Sorghum bicolor* and *Phaseolus vulgaris* and their potential for weed control. *Agriculture*, 13(11), 2041. <https://doi.org/10.3390/agriculture13112041>
- Yahaya, I., Gyasi, S. F., & Hamadu, A. (2024). Phytochemical screening of bioactive compounds and antimicrobial activity of different extracts of *Syzygium samarangense* leaves. *Pharmacological Research-Natural Products*, 4, 100059. <https://doi.org/10.1016/j.prenap.2024.100059>