Revista Internacional de Investigación e Innovación Tecnológica

Página principal: www.riiit.com.mx

Efecto alelopático de extractos de *Jatropha dioica* y *Flourensia cernua* en plantas de *Phaseolus vulgaris* como planta modelo en el control de malezas

Allelopathic effect of *Jatropha dioica* and *Flourensia cernua* extracts on *Phaseolus vulgaris* as a model plant for weed control

Coronado-Domínguez, R.[2], Arredondo-Valdés, R.[2], Barrera-Martínez, C.[1], Cabello-Anguiano, J.[2], Pérez-Rodríguez, P.[3], Laredo-Alcalá, E.[1]*

[1] Centro de Investigación para la Conservación de la Biodiversidad y Ecología de Coahuila (CICBEC). Universidad Autónoma de Coahuila, C.P. 25280, Saltillo, Coahuila, México.
[2] Facultad de Ciencias Químicas. Universidad Autónoma de Coahuila, C.P. 25280, Saltillo, Coahuila, México.
[3] Departamento de Ciencias del Suelo, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Calzada Antonio Narro 1923, Buenavista, Saltillo, Coahuila, 25315. México.
coronado.rocio@uadec.edu.mx; r-arredondo@uadec.edu.mx; cynthia_barrera@uadec.edu.mx; julia_c922@hotmail.com; pedro.perezr@uaaan.edu.mx; elan_laredo@uadec.edu.mx*

Innovación tecnológica: La extensa variedad de especies vegetales del semi-desierto y las propiedades bioactivas que presentan, las hacen atractivas para su aprovechamiento agroindustrial como controlador de malezas.

Área de aplicación industrial: Agricultura, control de malezas, bioherbicida.

Recibido: 05 diciembre 2023
Aceptado: 26 agosto 2023

Abstract

Weed infestation in cropping systems is a problem that affects agro-industrial producers worldwide and Mexico is no exception. Weeds affects crops directly, impacting productivity and causing excessive economic losses. Weed management and control is carried out mainly with the use of chemically synthesized herbicides such as glyphosate which although effective are associated with harmful effects on public health and the environment. Conversely, the use of herbicides of natural origin such as plant extracts are products that could be capable of exceeding the performance found in chemical products. In the present work, the plants *Jatropha dioica* and *Flourensia cernua*, native to the Chihuahuan semi-desert were tested for flavonoids, tannins, coumarins, purines and saponins, which have been reported to reach values up to 32% inhibition in the germination of Phaseolus vulgaris seeds; while in the post-emergence evaluation the extracts reached an efficacy

between 60 and 90 %, causing a moderate to severe effect on the treated seedlings. Use of vegetal material with bioherbicide properties could have an outstanding potential for weed control.

Keywords: Semi-desert, Vegetable extracts, Control, Weeds.

Resumen

La infestación de malezas en sistemas de cultivos es una problemática que afecta a productores agroindustriales a nivel mundial, México no es la excepción. Las malezas afectan los cultivos de manera directa impactando en la productividad y con pérdidas económicas excesivas. El manejo y control de malezas se lleva a cabo principalmente con el uso de herbicidas de síntesis química como el glifosfato, el cual a pesar de ser efectivo está relacionado con efectos nocivos para la salud pública y el medio ambiente. Por el contrario, el uso de herbicidas de origen natural como extractos vegetales son productos que podrían ser capaces de superar los rendimientos encontrados en los productos químicos. En el presente trabajo, las plantas originarias del semidesierto Chihuahuense *Jatropha dioica* y *Flourensia cernua* fueron analizadas encontrando en su composición flavonoides, taninos, cumarinas, purinas y saponinas, los cuales se ha reportado que alcanzaron valores de hasta 32% de inhibición en la germinación de semillas de *Phaseolus vulgaris*; mientras que en la evaluación post-emergencia los extractos alcanzaron una eficacia de entre 60 a 90 % causando efecto de moderado a severo en las plántulas tratadas. El uso de material vegetal con propiedades bioherbicidas podría tener un potencial sobresaliente para control de malezas.

Palabras clave: Semi-desierto, extractos vegetales, control, malezas.

1. Introducción

La organización de las naciones unidas (ONU), prevé que para el año 2050, la población mundial aumentara a 9.7 billones de habitantes, este incremento poblacional representa un enorme desafío en suministro de alimentos (1). Uno de los principales retos a superar es la reducción de pérdidas de cultivos por la infestación de malezas (2). Las malezas son todas aquellas plantas que interfieren en el adecuado crecimiento de cultivos compitiendo de manera directa por nutrientes, luz, agua y espacio (3). Estas plantas representan una enorme problemática incrementando los costos de producción entre un 5 a 20 % del gasto total (2). Su método de control principal es la aplicación de herbicidas, los cuales son sustancias o mezcla de sustancias capaces de dañar estructuraras y mecanismos fisiológicos o alterar el metabolismo por un tiempo suficientemente largo como para matar o reducir el crecimiento de las plantas (4). A nivel mundial, el uso de herbicidas esta aceptado por las entidades reguladoras gubernamentales y es a la fecha un producto de alta dependencia. Tan solo en México se identificó un consumo de al menos 11.1 mil toneladas de herbicidas y defoliantes para el año 2017 (5).

El uso desmedido de estos productos se ha asociado con efectos negativos para la agricultura biodiversidad y la salud pública como desequilibro en el balance bioquímico en suelo, alteraciones en el crecimiento, desarrollo y apareamiento de especies y cambios fisiológicos por daño genético, respectivamente (6).

Debido a los efectos que generan, la búsqueda de nuevas alternativas menos contaminantes se torna de gran importancia, en este caso en la naturaleza existen plantas que contienen ingredientes alternativos como ácido cinámico, cumarinas, flavonoides, taninos, terpenoides, esteroides, entre otros (7-10). La literatura describe a los compuestos mencionados anteriormente como aleloquímicos (11). La alelopatía es la sucesión de especies de hongos, algas, bacterias y plantas; específicamente en plantas, estas compiten entre sí liberando aleloquímicos que interfieren con la germinación, crecimiento, supervivencia y reproducción. Las interacciones alelopáticas entre plantas juegan un papel muy importante en la naturaleza ya que determinan la cantidad y distribución de las especies (12; 13). Además, estas interacciones en forma de extractos de plantas con alta especificidad pueden ser capaces de inhibir la germinación de semillas de malezas y afectar su desarrollo en post-emergencia sin dañar los cultivos (14; 15).

Dentro de la biodiversidad del semi-desierto Chihuahuense, existen plantas que han sido utilizadas tradicionalmente en la región principalmente como tratamientos medicinales, dos de las más importantes son la *Jatropha dioica* y *Flourensia cernua* o comúnmente conocidas como sangre de drago y hojasén, respectivamente. La sangre de drago es un arbusto perenne que mide entre 30 a 150 cm de altura, con tallos semi-leñosos de color negro-rojizo y que segrega un látex incoloro que al contacto con el oxígeno se torna rojizo, de ahí el origen de su nombre (Figura 1a). En la medicina tradicional, la sangre de drago ha sido utilizada como tratamiento de enfermedades como úlceras, gastritis, hemorroides, manchas en la piel, dolor de dientes y encías, entre otros. En la actualidad y debido a su actividad antioxidante, se ha indicado su acción contra cáncer de próstata, colon, piel y esófago (16; 17). De manera similar, la hojasén (Figura 1b) es un arbusto y su uso medicinal se ha enfocado contra reumatismo, resfriado común, bronquitis y enfermedades gastrointestinales. Adicionalmente se ha reportado que los extractos de hojasén tienen una potente actividad antibacterial y antifúngica (18-20). Por otro lado, en México, existen más de 100 familias catalogadas como malezas, algunas de ellas son Acanthaceae (*Anisacanthus quadrifidus*), Asteraceae (*Pseudognaphalium viscosum*; gordolobo), Bromeliaceae (*Tillandsia usneoides*; heno), Fabaceae (*Phaseolus vulgaris*; frijol silvestre), Martyniaceae (*Martynia annua*; uña de gato), entre otras (21). Algunos extractos vegetales han sido empleados para el control de algunas plantas consideradas como malezas como *Triticum aestivum L., Phaseolus vulgaris L., Sorghum halepense, Helianthus annuus, Parthenium hysterophorus L y Ambrosia artemisiifolia L*., por mencionar algunas (22-24). De entre las plantas utilizadas alrededor del mundo para control de malezas se encuentran aquellas pertenecientes a las zonas desérticas y semi-deserticas como *Haloxylon salicornicum, Tamarix mannifera, Citrullus colocynthis* (25; 26). Dentro de la vasta biodiversidad vegetal del semidesierto mexicano, la sangre de drago (*Jatropha dioica)* y la hojasén (*Flourensia cernua),* poseen propiedades antibacterianas, antifúngicas y antioxidantes (27; 28).

Por lo anterior, en el presente trabajo se busca una alternativa eco amigable para la inhibición del desarrollo vegetal utilizando extractos de plantas del semidesierto Chihuahuense, como la sangre de drago (*Jatropha dioica)* y la hojasén (*Flourensia cernua)* sobre el desarrollo de plantas de *Phaseolus vulgaris*.



Figura 1. Material vegetal de: a) Sangre de drago (*Jatropha dioica)* y b) Hojasén (*Flourensia cernua).*

2. Materiales y equipos

Para la formulación de extractos vegetales se adquirió etanol anhidro (99.5%) (Jalmex), ácido acético grado alimenticio (5.1%) (Menu solutions), ácido acético glacial (99%) (J.T. Baker) y Tween 80 (Sigma- Aldrich). Se utilizó agua destilada en todos los experimentos realizados.

3. Métodos experimentales

3.1. Obtención de material vegetal.

El material vegetal de *Flourensia cernua* (*Fc*) y *Jatropha dioica* (*Jd*) se identificó y recolectó en San Juan de la Sauceda, municipio de Ramos Arizpe (Longitud (dec): -101.283889; Latitud (dec): 25.726944) y Nuevo Atalaya (San Marcos) en el municipio de Cuatro Ciénegas (Longitud (dec): -102.159167; Latitud (dec): 26.805278), ambos en el estado de Coahuila, en la temporada otoño-invierno del año 2021. Estas se almacenaron en bolsas de papel hasta ser trasladadas al laboratorio. Una vez en las instalaciones correspondientes se procedió con el secado del material vegetal, el cual se colocó en una estufa a 30 ˚C durante 15 días, una vez transcurrido este periodo, los tejidos vegetales secos se molieron y trituraron. Las muestras se almacenaron en un lugar fresco y seco dentro de costales de nylon.

3.2.Formulación de extractos vegetales.

Los extractos se prepararon de acuerdo con el método reportado por Castillo y colaboradores (29), con algunas modificaciones, utilizando como solventes: etanol, agua y ácido acético. Se colocaron 10 g de materia prima seca y pulverizada en 100 mL de solvente, estos se mantuvieron en agitación magnética durante 30 min a temperatura ambiente (~ 25 °C). Posteriormente, las muestras se colocaron en un rotaevaporador en vacío a 45 °C con agitación de 150 rpm para eliminar el solvente; el residuo resultante se disolvió en una solución acuosa de Tween 80 (1% p/v). Los extractos obtenidos se mantuvieron a 4 °C durante 24 h y se filtraron (Whatman n°4) para su posterior caracterización (30; 31).

3.3. Identificación de grupos fitoquímicos y composición elemental en extractos vegetales de *Jatropha dioica* y *Flourensia cernua.*

Se realizó la identificación de fitoquímicos presentes en los extractos vegetales mediante pruebas cualitativas en presencia de alcaloides (reacción de Dragendorff y Sonneschain), glucósidos cianógenos (reacción de Grignard), azucares reductores (reacción Feling y Benedict), saponinas

(reacción de Libermad Bouchard), taninos (reacción gelatina y $FeCl_3$), quinonas (reacción de hidróxido de amonio y Borntragüer) cumarinas (reacción de Erlich y de hidróxido de amonio), purinas y carotenoides (32).

La composición elemental de los polvos vegetales de *Fc y Jd* se estimó mediante fluorescencia de rayos X (equipo Panalytical, Epsilon 1, Almelo (Países Bajos)), que está integrado por un espectrómetro y utiliza el software Omniam (32).

3.4. Efectividad biológica de los extractos vegetales de *Fc* y *Jd* como inhibidoras de crecimiento

Inhibición preemergencia: Se utilizaron semillas de frijol (*Phaseolus vulgaris)* las cuales se trataron con 0.5% de hipoclorito de sodio, durante 2 minutos. Cada extracto crudo se disolvió en una solución acuosa con Tween 80 (1% p/v). El papel filtro se humedeció con 2 ml de solución acuosa con Tween 80 como control y una solución del extracto crudo de 5 gL^{-1} para los tratamientos. Posteriormente se colocaron 10 semillas *Pv* en cada placa Petri. Para cada tratamiento se realizaron pruebas por triplicado. Todas las placas petri se colocaron al azar en una cámara de crecimiento a 24 ± 1 °C, en oscuridad. Durante 7 días se realizó un conteo de plantas germinadas y se midió la longitud de sus hipocótilos y raíces. La tasa de inhibición de crecimiento (IC) se calculó con la siguiente ecuación (33):

$$IC\ (\%) = \frac{T}{C} * 100$$

Donde T es la longitud de las raíces o hipocótilos de las semillas tratadas, y C representa la longitud de las raíces o hipocótilos de las plántulas control.

Inhibición post-emergencia: Se utilizó la metodología descrita por Rojas-Garcidueñas (34). Se mezcló 50% de peatmoss con 50% de sustrato comercial para jardinería. Después, se esterilizó la tierra en una autoclave vertical. Una vez listo, se llenaron las macetas necesarias con tres cuartas partes de sustrato y a cada una se le colocaron 10 semillas. Los recipientes se mantuvieron en una cámara bioclimática y se ordenaron en base a un diseño completamente al azar.

La evaluación de post-emergencia inicio cuando las plantas de *Pv* presentaron al menos 3 hojas, las cuales se rociaron con 10 ml de cada una de las siguientes soluciones: extracto vegetal a 5000 gL^{-1}(T1), extracto vegetal a 2500 gL^{-1} (T2), extracto vegetal a 1250 gL^{-1} (T3), agua destilada como control negativo y herbicida biológico comercial (Glufosinato de amonio) (TARANG 150 SL; UPL) como control positivo, utilizando cada planta como unidad experimental y cada tratamiento se realizó por triplicado. La metodología descrita anteriormente fue utilizada para cada uno de los materiales vegetales y solventes extractantes.

El porcentaje de eficacia (PE) se calculó mediante la siguiente ecuación:

$$PE\ (\%) = \frac{N}{T} * 100$$

Donde N es el número de hojas necróticas o marchitas, y T representa el número total de hojas en la planta (33).

El control de efectividad de los tratamientos con extractos de *Jatropha dioica y Flourensia cernua* fueron evaluados visualmente comparándolos con el control positivo y negativo mediante la escala del Consejo Europeo de Investigación de Malezas (CEIM) (tabla 1), en donde se establece que la fitotoxicidad de la planta se evalúa a través de la comparación de su estado vegetativo con y sin tratamiento por efecto de un herbicida (35; 36).

Tabla 1. Escala del CEIM para la clasificación de la tolerancia de cultivos y la eficacia del herbicida aplicado.

Clasificación EWRC	Tolerancia del cultivo	Eficacia	Control de maleza (%)
1	Sin efecto	Efecto completo (muerte total)	100
2	síntomas muy leves, coloración amarillenta apenas visible	Muy buena	99.9-98.0
3	Síntomas leves, coloración amarillenta y retraso en el crecimiento (efectos reversibles)	Buena	97.9-95.0
4	Clorosis sustancial o retraso en el crecimiento, efectos probablemente reversibles	Suficiente	94.9-90.0
5	Clorosis fuerte/retraso en el crecimiento, adelgazamiento de soporte	Moderada	89.9-82.0
6	Aumento de la severidad del daño	Regular	81.9-70.0
7	Síntomas fuertes, aumento de la severidad del daño	Pobre	69.9-55.0
8	Síntomas muy fuertes, daño severo hasta destrucción completa	Muy pobre	54.9-30.0
9	Pérdida total de plantas y rendimiento	Sin efecto	29.9-0

3.5. Análisis estadístico.

Los resultados se analizaron con el software SAS, utilizando un análisis de varianza de una vía (ANOVA) completamente al azar, seguido de la prueba de rango múltiple (Tukey), las diferencias entre las medias individuales se consideraron significativas solo si $p<0.05$ (33).

4. Resultados y discusión

4.1. Obtención, formulación y caracterización de extractos vegetales de *Jatropha dioica* y *Flourensia cernua.*

Mediante la caracterización de compuestos metabólicos presentes en los extractos de Fc y Jd formulados con diferentes solvente y agua, se demostró la presencia de flavonoides y quinonas en todas las formulaciones. Específicamente en los extractos de Fc se mostró la presencia de taninos y purinas en todos los tratamientos. Por otra parte, en los tratamientos de Jd se observó en todos los casos la presencia de cumarinas y saponinas (Tabla 2).

En 2018, Terrazas y col (37), reportaron una alta concentración de flavonoides en extractos de sangre de drago. Mientras que, para el mismo extracto, Gutiérrez-Tlahque (38), revelaron la presencia de ésteres alquílicos de ácido ferúlico, cetonas diterpénicas y fenoles. Con relación a la hojasén, algunas investigaciones como la de Aranda (20), estudiaron la composición química de la hojasén, encontrando un alto contenido de flavonoides, monoterpenos (mirceno y limoneno) y sesquiterpenos (*β*-cariofileno y α-humuleno) (39). Como se mencionó con anterioridad, los aleloquímicos provenientes de plantas pueden ser considerados una estrategia sustentable e innovadora para el control de malezas ya que estos compuestos pueden utilizarse en forma de extractos, fundamento principal para la fabricación de bioherbicidas (40).

Tabla 2. Identificación cualitativa de compuestos fitoquímicos presentes en extractos de ácido acético (COO^-), acuosos (H_2O) y etanólicos (EtOH) de *Flourensia cernua* y *Jatropha dioica*.

Metabolito	*Jatropha dioica*			*Flourensia cernua*		
	COO-	H_2O	EtOH	COO-	H_2O	EtOH
Alcaloides	-	+	-	+	-	+
Carbohidratos	+	+	+	+	+	+
Flavonoides	+	+	+	+	+	+
Glucósidos cianogénicos	-	+	-	-	-	-
Cumarinas	+	+	+	+	-	-
Azucares reductores	-	-	-	-	-	-
Saponinas	+	+	+	-	+	-
Taninos	-	+	+	+	+	+
Quinonas	+	+	+	+	+	-
Purinas	-	+	+	+	+	+
Carotenoides	-	+	-	-	+	-

Extracto de ácido acético (COO-), acuoso (H2O) y etanólico (EtOH). Ausencia (-); Presencia (+).

4.2. Efectividad biológica de los extractos vegetales de *FC* y *Jd* como inhibidoras de crecimiento.

Inhibición preemergencia: las pruebas mostraron que los extractos de *Fc* y *Jd* presentan efecto inhibitorio en la germinación de las semillas de *Pv* con respecto al control negativo (agua destilada), sin embargo, se observó que este efecto puede verse influenciado en base a la concentración aplicada. Se demostró que la mayor concentración utilizada (500 gL^{-1}) para *Fc* y con los tres compuestos extractantes, generó los más altos porcentaje de inhibición (3.35% H_2O; 15.76% CH_3COO^-; 32.28% EtOH). Por otra parte, los extractos de *Jd* mostraron una relación inversa entre la concentración de los extractos y los porcentajes de inhibición, siendo el extracto etanólico a 1250 gL^{-1} quien presento el mayor porcentaje de inhibición (24.54%) (Figura 2).

Este comportamiento ya ha sido reportado en la literatura. En 2022, Dai y colaboradores reportaron que el efecto inhibitorio de semillas de verde de Shanghái, trigo y pasto de corral fue directamente proporcional a la concentración utilizada en extractos acuosos de *Flaveria bidentis* (41). Por otro lado, el mismo año, Sawadogo/Ilboudo y colaboradores indicaron que algunos extractos con las que trabajaron (*A. indica, J. curcas, J. gossypiifolia, L. inermis, C. obtusifolia, C. retusa, P. amarus* y *B. aegyptiaca*) inhibieron por completo la germinación de semillas de *Striga hermonthica*, mientras que otros cinco extractos (*E. hirta, A. indica, K. senegalensis, M. oleifera, E. camaldulensis*) aplicados a las mismas semillas estimularon su crecimiento hasta en 60% dando a conocer una estrategia favorecedora con gran potenciar agronómico (42).

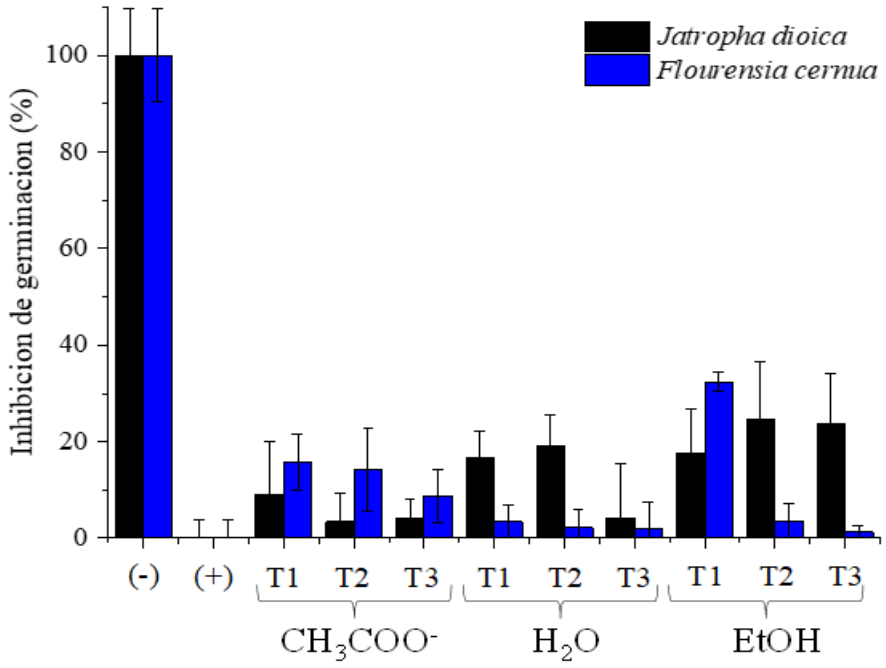


Figura 2. Evaluación del porcentaje de inhibición de los extractos vegetales de ácido acético, acuosos y etanólicos de *Jatropha dioica* y *Flourensia cernua* sobre *Phaseolus vulgaris.* 5000 gL^{-1}(T1), 2500 gL^{-1} (T2), 1250 gL^{-1} (T3), agua destilada (-) y Glufosinato de amonio (+).

Los compuestos aleloquímicos presentes en los extractos vegetales como flavonoides, saponinas, fenoles, glucósidos, entre otros; pueden alteran la estructura celular interfiriendo en las actividades de la membrana, la respiración, fotosíntesis y el consumo de nutrientes, por lo que, este podría ser el mecanismo primario de los bioherbicidas para inhibir la germinación de semillas, el crecimiento de raíces y de las plántulas (43-45). De los hallazgos encontrados en el presente trabajo, se puede resaltar que los extractos vegetales que mostraron mayor porcentaje inhibitorio sobre las semillas de frijol fueron etanólicos, esto se podría deber a que el etanol pudiera acumularse en las semillas en el proceso de imbibición de los extractos, causando disminución en la tasa de germinación e incluso la inhibición de estas (46).

Inhibición post-emergencia: en comparación y analizando con la escala del CEIM, se determinó que los tratamientos utilizados en ese experimento lograron generar una eficiencia de pobre/moderada a suficiente para la inhibición de *Pv* en condiciones de invernadero. Siendo los tratamientos formulados con ácido acético los que generaron un efecto más severo sobre el tejido vegetal (figura 2).

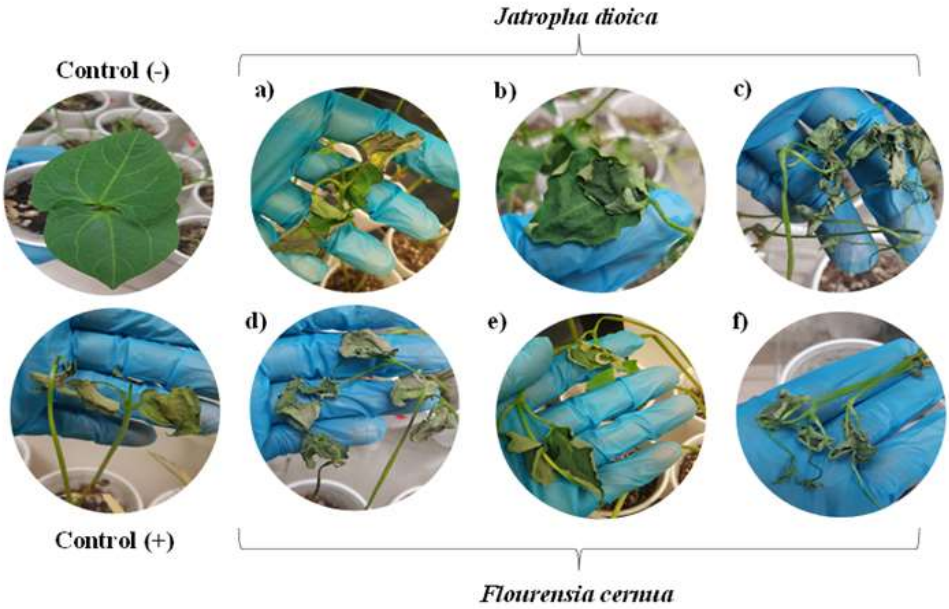


Figura 2. Daño ocasionado a plántulas de frijol (*Phaseolus vulgaris*) por extractos de ácido acético (a y d), acuosos (b y e) y etanólicos (c y f) de *Jatropha dioica* y *Flourensia cernua.*

Dentro del género *Jatropha*, existen investigaciones que reportan el efecto de extractos acuosos y alcohólicos sobre la germinación de semillas y el crecimiento de las plántulas. En 2013, Reichel (47), utilizaron extracto acuoso y alcohólico de *Jatropha curcas* L., evaluando su efecto sobre semillas y plántulas de trigo. Los hallazgos reportados fueron que los extractos alcohólicos presentan mayor efecto inhibitorio sobre la germinación de trigo que los extractos acuosos. Adicionalmente y de manera similar a los resultados obtenidos en el presente trabajo, los autores mencionados reportan que el efecto es más severo y marcado en el crecimiento de la plántula, que en la germinación de las semillas (pre-emergencia) debido a que los metabolitos secundarios (aleloquímicos) presentes en los extractos pueden inducir síntomas de necrosis en raíz, mientras que las semillas utilizan sus reservas como protección. Por otro lado, Khattak y colaboradores (48), reportaron que el uso de extractos acuosos de *Jatropha curcas* L., en bajas concentraciones, estimulo de manera positiva la germinación de semillas y el crecimiento de plántulas de trigo.

5. Conclusiones.

Los extractos vegetales obtenidos a partir de las plantas del semi-desierto Chihuahuense sangre de drago (*J. dioica*) y hojasén (*F. cernua*) presentan diversos compuestos alelopáticos capaces de inhibir la germinación y desarrollo de las semillas de *Phaseolus vulgaris*. De forma similar, los compuestos obtenidos a partir de la extracción con ácido acético cuentan con la capacidad, según la escala del CEIM, de inhibir moderadamente el desarrollo del tejido vegetal en plántulas de frijol.

6. Agradecimientos

Se agradece al Consejo Nacional de Humanidades, Ciencias y Tecnologías (CONAHCYT) por el apoyo al desarrollo de este manuscrito mediante el financiamiento del proyecto número de referencia 320692 aprobado en la Convocatoria de Ciencia Básica y/o Ciencia de Frontera Modalidad: Paradigmas y Controversias de la Ciencia 2022.

7. Referencias

1. United Nations Department of Economic and Social Affairs, Population Division (2022). World Population Prospects 2022: Summary of Results. UN DESA/POP/2022/TR/NO. 3.
2. Lima Monteiro, Alex., de Freitas Souza, Matheus., Anizio Lins, Hamurábi., da Silva Teófilo, Taliane Maria., Barros Júnior, Aurélio Paes., Valadão Silva, Daniel., Mendonça, Daniel. (2021). A new alternative to determine weed control in agricultural systems based on artificial neural networks (ANNs). Field Crops Research, 263. https://doi.org/10.1016/j.fcr.2021.108075.
3. Riemens, Marleen., Sønderskov, Mette., Moonen, Anna-Camilla., Storkey, Jonathan., Kudsk, Per. (2022). An Integrated Weed Management framework: A pan-European perspective. European Journal of Agronomy, 133. https://doi.org/10.1016/j.eja.2021.126443.
4. Álvaro, A. (2007). Herbicidas: Modos y mecanismos de acción en plantas. Consultado 20 de septiembre de 2021. Disponible en: https://aulavirtual.agro.unlp.edu.ar/pluginfile.php/47809/mod_resource/content/1/Herbicidas%20Modos%20y%20Mec%20accion%20Anzalone.pdf
5. CEDRSSA. (2020). Uso y regulación de herbicidas en México. Consultado 24 septiembre de 2021. Disponible en: http://www.cedrssa.gob.mx/files/b/13/76Herbicidas.pdf
6. Marin-Morales, M., Ventura-Camargo, B., Hoshina, M. (2013). Toxicity of Herbicides: Impact on Aquatic and Soil Biota and Human Health.
7. Radhakrishnan, R., Alqarawi, A. A., Abdallah, E. F. (2018). Bioherbicides: Current knowledge on weed control mechanism. Ecotoxicology and environmental safety, 158: 131-138.
8. Kato-Noguchi, H., Suzuki, M., Noguchi, K., Ohno, O., Suenaga, K. Laosinwattana, C. (2016), A Potent Phytotoxic Substance in *Aglaia odorata* LOUR. Chem. Biodiversity, 13, 549-554. https://doi.org/10.1002/cbdv.201500175
9. Hasan, M., Ahmad-Hamdani, M. S., Rosli, A. M., Hamdan, H. (2021). Bioherbicides: An Eco-Friendly Tool for Sustainable Weed Management. Plants, 10 (6), 1212. https://doi.org/10.3390/plants10061212
10. Anwar, S., Naseem, S., Karimi, S., Asi, M.R., Akrem, A., Ali, Z (2021). Bioherbicidal Activity and Metabolic Profiling of Potent Allelopathic Plant Fractions Against Major Weeds of Wheat—Way Forward to Lower the Risk of Synthetic Herbicides. Front. Plant Sci. 12:632390. doi: 10.3389/fpls.2021.632390
11. Yunes, J.S. (2019). Chapter 22 - Cyanobacterial Toxins. Editor(s): A.K. Mishra, D.N. Tiwari, A.N. Rai. Cyanobacteria, Academic Press. 443-458. https://doi.org/10.1016/B978-0-12-814667-5.00022-2.
12. Korres, N.E., Burgos, N.R., Travlos, I., Vurro, M., Gitsopoulos, T.K., Varanasi, V.K., Duke, S.O., Kudsk, P., Brabham, C., Rouse, C.E., Salas-Perez, R. (2019). Chapter Six - New directions for integrated weed management: Modern technologies, tools and knowledge discovery. Editor(s): Donald L. Sparks.

Advances in Agronomy. Academic Press. 155, 243-319. https://doi.org/10.1016/bs.agron.2019.01.006.

13. Stewart, A.J., Stewart, R.F. (2008). Phenols, Editor(s): Sven Erik Jørgensen, Brian D. Fath, Encyclopedia of Ecology, Academic Press, 2682-2689. https://doi.org/10.1016/B978-008045405-4.00417-1.
14. Tucuch-Pérez, M.A., Arredondo-Valdés, R., Hernández-Castillo, F.D. (2020). Antifungal activity of phytochemical compounds of extracts from Mexican semi-desert plants against Fusarium oxysporum from tomato by microdilution in plate method. Nova scientia, 12(25), 00007. Epub 17 de febrero de 2021. https://doi.org/10.21640/ns.v12i25.2345
15. El-Mergawi, R.A., Al-Humaid, A.I. (2019). Searching for natural herbicides in methanol extracts of eight plant species. Bull Natl Res Cent. 43, 22. https://doi.org/10.1186/s42269-019-0063-4
16. Martínez, G Almaguer, P Vazquez-Alvarado, A Figueroa, C Zúñiga, A Hernández-Ceruelos. 2014. Análisis fitoquímico de *Jatropha dioica* y determinación de su efecto antioxidante y quimioprotector sobre el potencial genotóxico de ciclofosfamida, daunorrubicina y metilmetanosulfonato evaluado mediante el ensayo cometa. Bol Latinoam Caribe Plant Med Aromat 13(5): 437 – 457.
17. Ramírez Moreno, A., Serrano Gallardo, L. B., Barragán Ledezma, L. E. B. L., Quintanar Escorza, M. A., Arellano Pérez-Vertti, R. D., & Delgadillo Guzmán, 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. [fecha de Consulta 5 de Diciembre de 2022]. ISSN: 1870-0195. Recuperado de: https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=57956612004
18. Guerrero-Rodríguez, Eugenio, Solís-Gaona, Susana, Hernández-Castillo, Francisco Daniel, Flores-Olivas, Alberto, Sandoval-López, Víctor, & Jasso-Cantú, Diana. (2007). Actividad Biológica in vitro de Extractos de Flourensia cernua D.C. en Patógenos de Postcosecha: Alternaria alternata (Fr.:Fr.) Keissl., Colletotrichum gloeosporioides (Penz.) Penz. y Sacc. y Penicillium digitatum (Pers.:Fr.) Sacc. *Revista mexicana de fitopatología*, *25*(1), 48-53. Recuperado en 05 de diciembre de 2022, de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0185-33092007000100007&lng=es&tlng=es.
19. Molina-Salinas, G. M., Peña-Rodríguez, L. M., Mata-Cárdenas, B. D., Escalante-Erosa, F., González-Hernández, S., Torres de la Cruz, V. M., Martínez-Rodríguez, H. G., & Said-Fernández, S. (2011). Flourensia cernua: Hexane Extracts a Very Active Mycobactericidal Fraction from an Inactive Leaf Decoction against Pansensitive and Panresistant Mycobacterium tuberculosis. *Evidence-based complementary and alternative medicine: eCAM*, *2011*, 782503. https://doi.org/10.1155/2011/782503
20. Aranda-Ledesma, N.E.; González-Hernández, M.D.; Rojas, R.; Paz-González, A.D.; Rivera, G.; Luna-Sosa, B.; Martínez-Ávila, G.C.G. (2022). Essential Oil and

Polyphenolic Compounds of Flourensia cernua Leaves: Chemical Profiling and Functional Properties. Agronomy, 12, 2274. https://doi.org/10.3390/agronomy12102274

21. CONABIO (Consejo Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad). Malezas de México. http://www.conabio.gob.mx/malezasdemexico/2inicio/home-malezas-mexico.htm
22. Melgar-Rodríguez M. (2018). Tesis: Evaluación del efecto herbicida de Chloris gayana Kunth y aceite de coco sobre semillas de plántula de trigo Triticum aestivum L y frijol Phaseolus vulgaris L como plantas indicadoras. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Departamento de parasitología. Saltillo, Coahuila. México.
23. Castro-Carvajal, J.M. (2017). Tesis: Herbicidas en maíz, residualidad e impacto sobre la microbiota del suelo. Universidad Autónoma de Sinaloa. Facultad de agronomía. Culiacán, Sinaloa. México.
24. Muñiz-Moreno, L. (2017). Tesis: Manejo de herbicidas sintéticos y extractos vegetales para control de malezas en cultivos básicos: maíz, frijol y sorgo. Universidad Autónoma de Nuevo León. Facultad de agronomía. General Escobedo, Nuevo León. México.
25. El-Mergawi, R.A., Al-Humaid, A.I. (2019). Searching for natural herbicides in methanol extracts of eight plant species. Bull Natl Res Cent 43, 22. https://doi.org/10.1186/s42269-019-0063-4
26. Iqbal, J., Rehmani, M.I.A., Sagheer, S. Kaleem, N., Muneer, J. (2018). Herbicidal Potential of Some Dry Land Plants Against Lathyrus aphaca (L.), Winter Season Weed. Planta Daninha, v38:e020171297. https://doi.org/10.1590/S0100-83582020380100001.
27. Araujo-Espino D.I., Lazalde-Ramos B.P., Zamora-Perez A.L. (2023). Phytochemical and pharmacological properties of Jatropha dioica. J Plant Sci Phytopathol. 7: 010-013. DOI: 10.29328/journal.jpsp.1001098.
28. Guerrero-Rodríguez, E., Solís-Gaona, S., Hernández-Castillo, F.D., Flores-Olivas, A., Sandoval-López, V. (2007). Actividad Biológica in vitro de Extractos de Flourensia cernua D.C. en Patógenos de Postcosecha: *Alternaria alternata* (Fr.:Fr.) *Keissl., Colletotrichum gloeosporioides* (Penz.) Penz. y Sacc. y *Penicillium digitatum* (Pers.:Fr.) Sacc. Revista Mexicana de Fitopatología. 25 (1), 48-53.
29. Castillo, F., Hernández, D., Gallegos, G., Mendez, M., Rodríguez, R., Reyes, A., and Aguilar, C. N. (2010). *In vitro* antifungal activity of plant extracts obtained with alternative organic solvents against *Rhizoctonia solani Kühn*. Industrial Crops and Products, 32(3): 324-328.
30. 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. C R Biol. May;331(5):372-9. doi: 10.1016/j.crvi.2008.02.008. Epub 2008 Mar 17. PMID: 18472083.
31. Ben Kaab, S., Lins, L., Hanafi, M., Bettaieb Rebey, I., Deleu, M., Fauconnier, M. L., Ksouri, R., Jijakli, M. H., & Clerck, C. (2020). *Cynara cardunculus* Crude Extract as a Powerful Natural Herbicide and Insight into the Mode of Action of Its Bioactive Molecules. *Biomolecules*,

10(2), 209. https://doi.org/10.3390/biom10020209

32. García, J. D., Anguiano-Cabello, J. C., Arredondo-Valdés, R., Candido-Toro, C. A., Martínez-Hernández, J. L., Segura-Ceniceros, E. P., Govea-Salas, M., González-Chávez, M. L., Ramos-González, R., Esparza-González, S. C., Ascacio-Valdés, J. A., López-Badillo, C. M., & Ilyina, A. (2021). Phytochemical characterization of *phoradendron bollanum* and *viscum album* subs. *Austriacum* as mexican mistletoe plants with antimicrobial activity. Plants, 10(7), 1–16. https://doi.org/10.3390/plants10071299
33. Kaab, S.B.; Rebey, I.B.; Hanafi, M.; Hammi, K.M.; Smaoui, A.; Fauconnier, M.L.; 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.
34. Rojas-Garcidueñas, M., & Gámez-Gonzales, H. (2002). Herbicidas de origen natural. Ciencia, 5(2), 160–164.
35. Dear B. S., Sandral G. A., Spencer D., Khan M. R. I. Higgins T. J. V. (2003) The tolerance of three transgenic subterranean clover (Trifolium subterraneum L.) lines with the bxn gene to herbicides containing bromoxynil. Australian Journal of Agricultural Research 54, 203-210. https://doi.org/10.1071/AR02134.
36. Ekhator, F & Ola, Oluwaseun & Ikuenobe, C. (2018). Effectiveness of tank mixture of glyphosate plus metsulfuron for weed control in a juvenile oil palm in Nigeria. 10.13140/RG.2.2.22890.77768.
37. Terrazas-Hernández J, Santos-López EM, Cariño-Cortés R, Jiménez-Alvarado R, López-Palestina CU, Hernández-Fuentes AD. Effects of Sterilization on Bioactives of *Jatropha dioica* and *Opuntia oligacantha* Extracts, and on Antimicrobial Capacity against *Streptococcus mutans*. *Applied Sciences*. 2018; 8(12):2516. https://doi.org/10.3390/app8122516
38. Gutiérrez-Tlahque, Jorge & Aguirre-Mancilla, Cesar L. & López-Palestina, César Uriel & Sánchez Fernández, Rosa & Hernández-Fuentes, Alma & Torres-Valencia, J. (2019). Constituents, Antioxidant and Antifungal Properties of Jatropha dioica var. dioica. Natural Product Communications. 14. 1934578X1985243. 10.1177/1934578X19852433.
39. Tellez, M., Estell, R., Fredrickson, E., Powell, J., Wedge, D., Schrader, K., & Kobaisy, M. (2001). Extracts of Flourensia cernua (L): volatile constituents and antifungal, antialgal, and antitermite bioactivities. *Journal of chemical ecology*, *27*(11), 2263–2273. https://doi.org/10.1023/a:1012283005014
40. Kaur, S., Dhanda,S., Yadav, A., Sagwal, P., Yadav, D.V., Chauhan, B.S. (2022). Chapter Six - Current status of herbicide-resistant weeds and their management in the rice-wheat cropping system of South Asia, Editor(s): Donald L. Sparks, Advances in Agronomy, Academic Press, 172, 307-354. https://doi.org/10.1016/bs.agron.2021.10.004.
41. Dai, L., Wu, L., Zhou, X. *et al*. 2022. Effects of water extracts of *Flaveria bidentis* on the seed germination and seedling growth of three plants. *Sci*

Rep 12, 17700. https://doi.org/10.1038/s41598-022-22527-z

42. Sawadogo/Ilboudo, T.C., Yonli, D., Sourabie, S. *et al.* 2022. Aqueous extracts from indigenous plant in Burkina Faso with bio-herbicide properties to reduce *Striga hermonthica* (Del.) Benth propagation. *CABI Agric Biosci* 3, 61. https://doi.org/10.1186/s43170-022-00129-z
43. Martínez Cárdenas, C. A., Balaguera-López, H. E. and Fonseca Carreño, J. A. (2022). Bioherbicidal activity of seed extract of Campomanesia lineatifolia on the weed Sonchus oleraceus L. *Agronomía Colombiana*, *40*(1), 49–57. https://doi.org/10.15446/agron.colomb.v40n1.98502
44. Gniazdowska, A., & Bogatek, R. (2005). Allelopathic interactions between plants. Multi site action of allelochemicals. *Acta Physiologiae Plantarum, 27*, 395–407.
45. Jabran, K. (2017). Wheat Allelopathy for Weed Control. In: Manipulation of Allelopathic Crops for Weed Control. SpringerBriefs in Plant Science. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-319-53186-1_2
46. Chen, Y., Althiab Almasaud, R., Carrie, E., Desbrosses, G., Binder, B. M., Chervin, C. (2020). Ethanol, at physiological concentrations, affects ethylene sensing in tomato germinating seeds and seedlings. *Plant science: an international journal of experimental plant biology*, *291*, 110368. https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2019.110368
47. Reichel, Tharyn & Barazetti, J.F. & Stefanello, Suzana & Paulert, R. & Zonetti, Patricia. (2013). Allelopathy of leaf extracts of jatropha (Jatropha curcas L.) in the initial development of wheat (Triticum aestivum L.). Idesia. 31. 45-52.
48. Khattak, Adnan & Ullah, F. & Bokhari, T. & Wazir, S. & Shinwari, Zabta. (2015). Allelopathic Potential of Jatropha Curcas L. Leaf Aqueous Extracts on Seed Germination and Early Seedling Growth of Wheat. Pakistan Journal of Botany. 47. 2449-2454.