Explorando el atributo alelopático de *Agave lechuguilla* y *Flourensia cernua* en la inhibición de semillas de *Zea mays* L. y *Phaseolus vulgaris* L.

David Castillo-Quiroz[1], Raymundo Cuevas-González[2], Francisco Castillo-Reyes[1*], Adriana Antonio-Bautista[2]

[1]Campo Experimental Saltillo, Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícola y Pecuarias (INIFAP). Carretera Saltillo-Zacatecas km 342+119 No. 9515, Hacienda de Buenavista. C. P. 25315. Saltillo, Coahuila de Zaragoza, México.
[2] Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Calzada Antonio Narro No. 1923, Colonia Buenavista, Saltillo. C.P. 25315, Coahuila de Zaragoza, México

Artículo recibido 4 de junio del 2025 y aceptado el 7 de julio del 2025

Exploring the allelopathic attribute of Agave lechuguilla and Flourensia cernua in the inhibition of seeds of Zea mays L. and Phaseolus vulgaris L.

Abstract

Desert plants, when growing under extreme conditions, produce allelopathic compounds that can be used to make natural herbicides. The objective of the work was to evaluate the effect of an experimental mixture based on the extracts of lechuguilla guishe (*Agave lechuguilla* Torr.) and hojasen (*Flourensia cernua* DC.) on the germination of mono and dicotyledonous angiosperms [maize (*Zea mays* L.) and common bean (*Phaseolus vulgaris* L.)]. An absolute control T1 (water) and six different concentrations of the extract T2 (5%), T3 (10%), T4 (15%), T5 (20%), T6 (50%) and T7 (100%) were evaluated on seeds of these species based on the germination percentage response (PG), the germination speed index (IVG), the germination rate (TSG) and the biomass production (PBM). The results indicated that the treatments with concentrations greater than 20% (T5, T6 and T7) totally affected these variables. Where the values were contrasting with respect to the control (germination greater than 98%), so that the mixture of lechuguilla guishe extract and hojasén showed great potential non-selective allelopathic activity, since it affected the seeds in the same way of the model plants used in this study.

Key words: Organic agriculture, weeds, plant extracts, allelopathic compounds.

Resumen

Las plantas del desierto al estar bajo condiciones extremas producen compuestos alelopáticos que pueden ser utilizados para la elaboración de herbicidas naturales. El objetivo del trabajo fue evaluar el efecto de una mezcla experimental a base de los extractos de guishe de lechuguilla (*Agave lechuguilla* Torr.), y hojasén (*Flourensia cernua* DC.), sobre la germinación de las angiospermas mono y dicotiledóneas [maíz (*Zea mays* L.) y frijol (*Phaseolus vulgaris* L.)]. Un testigo absoluto T1(agua), y seis diferentes concentraciones del extracto T2 (5%), T3 (10%), T4 (15%), T5 (20%), T6 (50%) y T7 (100%), fueron evaluados sobre semillas de estas especies con base en la respuesta de porcentaje de germinación (PG), el índice de velocidad de germinación (IVG), la tasa de germinación (TSG), y la producción de la biomasa (PBM). Los resultados indicaron que los tratamientos con concentraciones mayores a 20% (T5, T6 y T7), afectaron totalmente dichas variables. Los valores fueron contrastantes respecto al testigo (germinación superior al 98%), por lo que la mezcla del extracto de guishe de lechuguilla y hojasén mostró un gran potencial actividad alelopática de tipo no selectivo, ya que afectó de la misma manera a las semillas de las plantas modelo utilizadas en éste estudio.

*Autor de correspondencia
Email: reyes.francisco@inifap.gob.mx
ISSN 2594-0384 (Electrónica)

Palabras claves: Agricultura orgánica, maleza, extractos vegetales, compuestos alelopáticos.

Introducción

La agricultura orgánica es una alternativa para el cuidado del medio ambiente, debido a que en la agricultura convencional se hace un uso desmedido de agroquímicos quienes han demostrado tener desventajas como ocasionar daños al suelo, agua, así como al ecosistema en general, inclusive daños al propio ser humano por el consumo de alimentos contaminados con residuos (Gómez *et al.*, 2008). En este sentido, las arvenses y su control son todo un reto para los agricultores, para lograr una baja densidad poblacional y evitar la resistencia a los herbicidas comerciales de síntesis química. Una posible alternativa a lo anterior, es el metabolismo secundario que se producen en las mismas plantas (Dayan y Duke, 2014), ya es factible encontrar metabolitos con un efecto alelopático que intervienen directamente con una actividad fitotóxica en algunas especies vegetales cuando son puestos en interacción con la planta productora (López *et al.*, 2021). La capacidad fitotóxica de los extractos vegetales es ideal para sustituir a los agroquímicos, a un bajo costo y que además ayuden a disminuir el nivel de contaminación ambiental (Cruz y Flores, 2022).

Las plantas del semidesierto poseen un sinnúmero de metabolitos secundarios debido a que están expuestas a condiciones extremas (De Rodríguez *et al.*, 2012; Morreeuw *et al*., 2021a), tanto *Flourensia cernua* DC. como *Agave lechuguilla* Torr.), poseen gran cantidad de compuestos que pueden ser de utilidad agrícola (Díaz *et al.*, 2019; Peña *et al.*, 2020; Morreeuw *et al.*, 2021b). Tropicos (2022), señala que *Agave lechuguilla* Torr. pertenece a la familia Asparagaceae. Planta suculenta, con distribución en el noreste de México y el sur de los Estados Unidos de América (Peña *et al.*, 2020). Su beneficio es principalmente socioeconómico al obtenerse de ella fibra (ixtle), con gran utilidad para la elaboración de estropajos, cepillos y la confección de lazos y cordelería en general (Castillo *et al.*, 2005; Chávez, 2022). Al extraer la fibra solo se aprovecha un 15% del peso total del cogollo, mientras que el 85% restante queda como residuo, el cual es denominado guishe (Peña *et al.*, 2020). El guishe es un subproducto que no tiene forma de ser aprovechado, normalmente es quemado o tirado a cielo abierto con efectos negativos al suelo, animales de granja (muerte por su ingesta), y al medio ambiente; recientemente diversos reportes de estudios demuestran que el guishe contiene moléculas que pueden ser de utilidad nutricional, farmacéutica o agrícola (Díaz *et al.*, 2019; Peña *et al.*, 2020), como: diosgenina, esmilagenina, hecogenina, manogenina, tigogenina hexosa, yucagenina, clorogenina, diglucósido de diosgenina y flavonoles como: quercitina y kampferol (Morreeuw *et al*., 2021a; Peña *et al.*, 2020; García, 2018).

Respecto a la planta de hojasén (*Flourensia cernua* DC.), esta pertenece a la familia Asteraceae (Tropicos, 2022). Es considerada una planta arbustiva, endémica de las zonas semiáridas de México y el sur de Estados Unidos de América, con variados usos como planta medicinal, entre otras con propiedades antifúngicas, bactericidas y antioxidantes (De Rodríguez *et al.*, 2012; Álvarez *et al.*, 2020). Estos compuestos se han identificado del tipo polifenólicos como: lactona, benzofurano y benzopirano (De Rodríguez *et al.*, 2012). Así mismo, se menciona que dentro de los compuestos polifenólicos se encuentran luteolina-7-O-rutinósido, 6-C glucosil 8-C arabinosil apigenina, ermanina y la γ-lactonas; además el ácido dehidrofluorencico y el orsellinato de metilo causaron una inhibición significativa del crecimiento radicular de *Amaranthus hypochondriacus* L. y Echinochloa crus-galli (L.) Beauv (Álvarez *et al.* 2020; Mata *et al.*, 2003).

Los compuestos alelopáticos liberados por una planta, causan efectos negativos sobre otras plantas o microorganismos (Chludil, 2017). Las primeras observaciones sobre los efectos alelopáticos en la agricultura fueron desde la antigüedad, cuando un filósofo griego llamado Teofrasto (300 a.C.), mencionó que la marchitez y decaimiento de las plantas de vid, eran provocadas por el brócoli al excretar compuestos orgánicos que provocan interacciones bioquímicas (aleloquímicos), alterando el crecimiento normal de las plantas (Arévalo *et al.*, 2011). En palabras simples la alelopatía es una guerra química entre plantas, se ha descubierto que cultivos como el nogal negro (*Juglans nigra* L.), el trigo (*Triticum aestivum* L.), y el arroz (*Oriza sativa* L.), entre otros, poseen compuestos alelopáticos (Cook *et al.*, 2010).

Arévalo *et al.* (2011), señalan que en el reino Plantae son conocidas alrededor de 10,000 sustancias alelopáticas, las cuales están agrupadas en: 1) Fenoles y derivados del ácido benzoico, 2) Flavonoides y taninos, 3) Alcaloides, 4)

Terpenoides y esteroides, 5) Glucósidos cianogenéticos, 6) Aminoácidos no proteicos, 7) Lactonas no saturadas, 8) Ácidos orgánicos, alcoholes alifáticos, aldehídos y cetonas, 9) Ácidos grasos, naftoquinonas, antraquinonas, y complejos de quinonas, 10) Cumarina. Estos compuestos alelopáticos alteran una gran cantidad de procesos fisiológicos, como: división y diferenciación celular, traslado de iones y agua, metabolismo de fitohormonas, respiración, fotosíntesis, funciones de enzimas y traducción de expresión de genes (Zhou y Yu, 2006). Estos compuestos alelopáticos, son elaborados por las plantas y liberados para el ambiente a través de procesos como la volatilización, lixiviación, exudación radicular y descomposición de residuos de plantas incorporados al suelo (Arévalo *et al.*, 2011).

En función a la importancia de las malezas en los sistemas agrícolas y ante la contaminación ambiental causada por los herbicidas sintéticos, y la finalidad de buscar una alternativa a tal situación, esta investigación tuvo como objetivo evaluar el potencial herbicida de una mezcla a base de extractos de guishe de lechuguilla y hojasén sobre semillas de maíz y frijol como indicativos de los grupos modelo de las monocotiledóneas y dicotiledóneas en diferentes concentraciones.

Materiales y métodos

Material vegetal

Se utilizaron semillas de los cultivares maíz y frijol como plantas indicadoras de las especies monocotiledóneas (hoja angosta), y dicotiledóneas (hoja ancha), respectivamente, estas semillas fueron proporcionadas por el Campo Experimental Saltillo-INIFAP.

Extracto experimental

La mezcla experimental (extractos de *Agave lechuguilla* Torr. y *Flourensia cernua* DC), fue formulada en por la Facultad de Ciencias Químicas de la Universidad Autónoma de Coahuila como resultado del proyecto de investigación titulado "Aprovechamiento de extractos naturales de plantas nativas del semidesierto coahuilense como una alternativa orgánica al uso de herbicidas sintéticos".

Diseño experimental

Para evaluar la capacidad bioherbicida de la mezcla experimental en la inhibición de la germinación de las semillas de especies modelo (Maíz y frijol), se diseñó los tratamientos como diferentes concentraciones a partir del extracto original (extracto concentrado al 50%) (Tabla 1).

Los experimentos fueron conducidos bajo condiciones de laboratorio en el Campo Experimental Saltillo-INIFAP, localizado en Carretera Saltillo-Zacatecas km. 342+119 # 9515 Hacienda de Buenavista, Saltillo, Coah., en las siguientes coordenadas geográficas: 25°20′40" de latitud norte y 101°02′01" longitud oeste y a una altitud de 1811 m. La unidad experimental consistió en cajas de Petri de 8.0 cm de diámetro, sobre la cual se colocó papel secante que sirvió como soporte para retener el extracto bajo evaluación según su concentración determinada (0, 5, 10, 15 20, 50 y 100%). El diseño experimental fue completamente al azar, con 4 repeticiones por tratamiento para cada especie modelo. A cada unidad experimental se le colocó una cantidad estándar de 25 semillas según la especie modelo, posteriormente fue agregado un volumen de 10 ml del extracto a la concentración a evaluar. Para mantener la condición de humedad necesaria para iniciar el proceso de germinación, todas las unidades experimentales de cada tratamiento se colocaron al interior de una bolsa de polietileno y colocadas al interior de una incubadora a una temperatura de 25 ± 2°C. Se realizó un registro diario del avance de la germinación de ambas especies durante un periodo de 8 días, considerando

Tabla 1. Tratamientos evaluados a base del extracto de *Agave lechuguilla* Torr. y *Flourensia cernua* DC. para determinar su efecto en la inhibición de la germinación de semillas maíz y frijol.

No.	Tratamiento
1	Testigo absoluto (agua)
2	Extracto experimental al 5%
3	Extracto experimental al 10%
4	Extracto experimental al 15%
5	Extracto experimental al 20%
6	Extracto experimental al 50%
7	Extracto experimental al 100%

Fuente: Elaboración propia.

como semilla germinada aquella con la presencia de una radícula igual o mayor 2 mm de longitud. De este total de semilla germinadas se determinó porcentaje de germinación (PG) [Ecuación 1], índice de velocidad de germinación (IVG), y tasa de germinación (TSG). El IVG se obtuvo a través del conteo diario de las semillas germinadas (radícula > =2 mm), a partir de la siembra y fue determinado según la siguiente [Ecuación 2), la TSG se obtuvo mediante el conteo diario de semillas germinadas desde la siembra hasta el último día de la evaluación y se determinó mediante [Ecuación 3].

Ecuación 1: Porcentaje de germinación

$$\%PG = \left(\frac{\text{NSG}}{\text{NSS}}\right) * 100$$

Dónde: NSG= número de semillas germinadas y NSS=número de semillas sembradas.

Ecuación 2: Índice de velocidad de germinación

$$IVG = \sum_{i=1}^{n} \left(\frac{ni}{ti}\right)$$

Dónde: ni= Número de semillas germinadas en el intervalo de tiempo; ti: Número de días después de la siembra; n= Número de conteos 1, 2…, n conteos (Ranal y García, 2006).

Ecuación 3: Tasa de germinación

$$TSG = (N1T1 + N2T2 + \ldots. + NnTn) / (N1 + N2 + \ldots. + Nn)$$

Dónde: N= es el número de semillas germinadas no acumuladas; T= es el tiempo en días (Hartmann y Kester, 2001).

Al final del conteo de la germinación, se procedió a estimar el peso de la biomasa (PBM), generada por cada tratamiento y por especie, para ello con la ayuda de una báscula digital marca Fuzion UF200H con capacidades máxima de 200 ± 0.01 g, se pesó un grupo de cinco semillas tomadas al azar en cada repetición y tratamiento. La biomasa producida (g), se determinó de acuerdo al peso de las cinco semillas germinadas por repetición menos el peso de cinco semillas sin germinar.

La actividad biológica del extracto como bioherbicida [Porcentaje de inhibición de la germinación (PIG)], se determinó como la relación inversa del porcentaje de germinación. En este sentido el PIG se obtuvo del conteo de las semillas no germinadas hasta el último día de la evaluación y se determinó por la siguiente [Ecuación 4].

Ecuación 4: Porcentaje de inhibición de la germinación

$$\%PIG = \left(\frac{\text{SGT} - \text{SGdn}}{\text{SGT}}\right) * 100$$

Dónde: SGT= semillas germinadas en testigo y SGdn= semillas germinadas en cada tratamiento.

Análisis estadístico

Los resultados fueron estadísticamente analizados usando un análisis de varianza (ANOVA), y las medias fueron comparadas usando la prueba de Tukey con el programa estadístico R Studio versión 2022.02.3.0. En todos los análisis un valor de probabilidad menor que 0.05 fue considerado estadísticamente significante ($p < 0.05$).

Resultados y discusión

Efecto de tratamientos

El análisis de varianza encontró diferencias altamente significativas entre tratamientos (concentración), dentro de especies y entre especies para todas las variables evaluadas como Porcentaje de inhibición de la germinación (PIG), Porcentaje de germinación (PG), Índice de velocidad de germinación (IVG), Tasa de germinación (TSG) y Peso de Biomasa (PBM) (Tabla 2).

Este comportamiento fue altamente diferencial, es decir, el efecto de la mezcla del extracto se va incrementado conforme se aumenta la concentración del extracto para todas y cada una de las variables analizadas. En la tabla 3 se aprecia que el porcentaje de inhibición de la germinación (PIG), aumenta conforme aumenta la concentración aplicada en ambas especies modelo.

Tabla 2. Cuadrados medios de las variables PG, IVG, TSG y PBM evaluadas en la determinación del efecto bioherbicida de la mezcla de extractos a base de *Agave lechuguilla* Torr. y *Flourensia cernua* DC. en las semillas de maíz y frijol.

F.V	G.L	PG	IVG	TSG	PBM
Tratamientos	6	11381**	367.7**	28.867**	3.926**
Especies	1	440*	17.8**	0.004NS	0.738**
Tratamiento*Especies	6	224^{NS}	15.3**	4.699**	0.118^{NS}

NS= No significativo, **= Diferencias altamente significativas, *= Diferencias significativas. PIG = Porcentaje de inhibición de la germinación, PG = Porcentaje de germinación, IVG = Índice de velocidad de germinación, TSG = Tasa de germinación y PBM = Peso de Biomasa. Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3. Comparación de medias del efecto de la concentración de la mezcla del extracto a base de *Agave lechuguilla* Torr. y *Flourensia cernua* DC. en las variables PIG, PG, IVG, TSG y PBM evaluadas para determinar afectación de la germinación en semillas de frijol y maíz.

Cultivar	Tratamiento	PIG (%)	PG (%)	IVG (Planta/día)	TSG (Días)	PBM **(g)**
Maíz	T1 (Testigo)	0.00d	98.66a	24.38a	2.03bc	2.12a
	T2 (5%)	20.27d	78.66a	12.90bc	3.87ab	0.64bc
	T3 (10%)	27.70cd	71.33ab	10.00c	4.61ab	0.35bc
	T4 (15%)	82.43ab	17.33cd	2.14d	4.59ab	0.07c
	T5 (20%)	92.57a	7.33d	0.61d	6.06a	0.00c
	T6 (50%)	100a	0.00d	0.00d	0.00c	0.00c
	T7 (100%)	100a	0.00d	0.00d	0.00c	0.00c
Frijol	T1 (Testigo)	0.00d	98.66a	16.17a	3.54ab	2.37[a]
	T2 (5%)	3.37d	95.33a	11.73bc	4.48ab	1.13b
	T3 (10%)	20.94d	78.00a	9.10c	4.59ab	0.76bc
	T4 (15%)	53.37bc	46.00bc	3.88d	6.07a	0.77bc
	T5 (20%)	99.33a	0.66d	0.04d	2.33bc	0.00c
	T6 (50%)	100a	0.00d	0.00d	0.00c	0.00c
	T7 (100%)	100a	0.00d	0.00d	0.00c	0.00c

Medias con la misma letra son estadísticamente iguales según la prueba de Tukey (P≤0.05). PIG = Porcentaje de inhibición de la germinación, PG = Porcentaje de germinación, IVG = Índice de velocidad de germinación, TSG = Tasa de germinación y PBM = Peso de Biomasa. Fuente: Elaboración propia.

Respuesta alelopática del extracto experimental en la germinación de semillas

En la figura 1 se muestran los efectos de las concentraciones de la mezcla del extracto experimental de *Agave lechuguilla* Torr. y *Flourensia cernua* DC. con efecto alelopático en las especies modelo de maíz y frijol. En ambas especies tomadas como modelo hay un marcado efecto de la actividad biológica del extracto, se nota claramente que la germinación está determinada por la concentración evaluada, es decir a mayor concentración aplicada mayor es la respuesta de inhibición de la germinación. Aunque la respuesta del extracto experimental con efecto alelopático para cada especie difiere, en términos generales es muy similar, es decir, que conforme aumenta la concentración la germinación también es afectada. En este sentido se observa que el testigo presenta una alta tasa de germinación con valores promedio de 98% en ambas especies tomadas como modelo y que esta respuesta va disminuyendo conforme aumenta la concentración del extracto en el medio donde germinan las semillas. Como se aprecia en la figura 1, la respuesta de inhibición (PIG), para la concentración más baja (5%), tuvo valores entre 3.37 y 20.27 (%), para frijol y maíz, respectivamente.

Se encontró que el mayor efecto alelopático fue a partir de la concentración del 20% donde se observaron valores muy cercanos a la nula germinación (0.66 y 7.33%), lo que representa un porcentaje de inhibición del 92.57 y 99.33% para semillas de frijol y maíz, respectivamente. Estos resultados coinciden con los obtenidos por Marín (2014), quien evaluó el efecto del extracto de guishe de lechuguilla en semillas de maíz y frijol, en el que disminuyó la germinación un 80% en semillas de maíz y un 50% en frijol, utilizando un 75% del extracto combinado con 25% de la pimienta negra **(***Piper nigrum* L.).

Índice de velocidad de germinación (IVG)

En la figura 2, se observa el valor IVG, cabe mencionar que el IVG normal para las semillas evaluadas fue de 24.4 y 16.2 plántulas/día para ambas especies de maíz y frijol, respectivamente. Y que esta IVG disminuyó conforme la concentración de la mezcla del extracto de *A. lechuguilla* y *F. cernua* en los tratamientos aumentó. Tanto así, que la concentración más baja evaluada (5%), disminuyó cerca de 50% este índice para el caso de maíz, sin embargo, para frijol el IVG solo se redujo 27.7%, en contraste a cuando no se usa. Para el caso de la concentración de 20% que fue la que

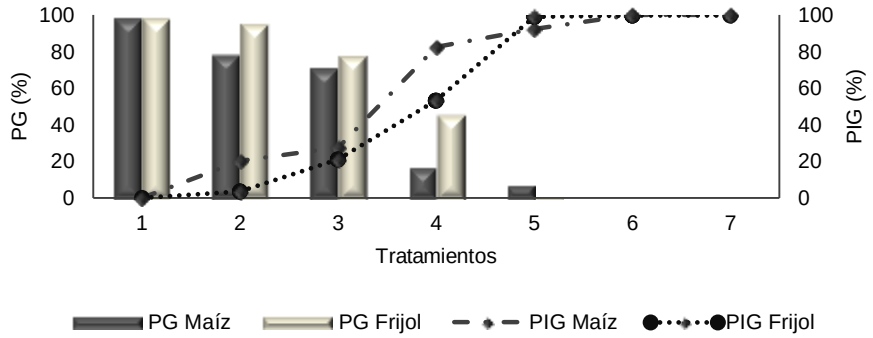


Figura 1. Porcentaje de germinación *vs* Porcentaje de inhibición de las semillas de maíz y frijol bajo diferentes concentraciones (0, 5, 10, 15, 20, 50 y 100%), de la mezcla del extracto de *Agave lechuguilla* Torr. y *Flourensia cernua* DC. Fuente: Elaboración propia.

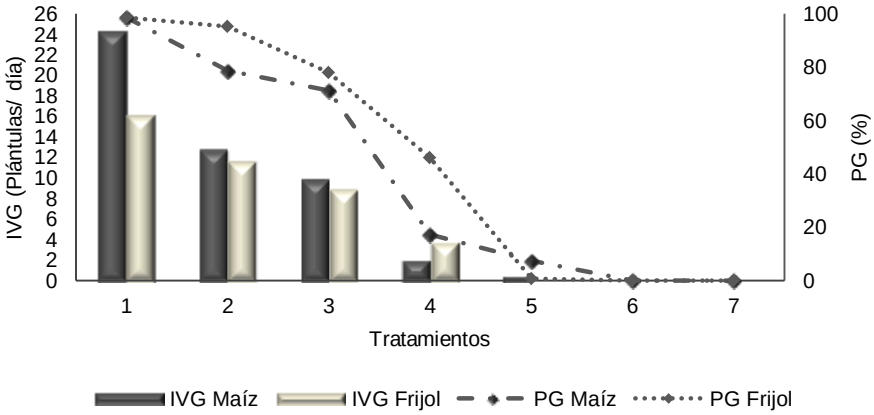


Figura 2. Efecto de diferentes concentraciones (0, 5, 10, 15, 20, 50 y 100%), de la mezcla del extracto evaluadas como tratamientos en el índice de velocidad de germinación de las semillas de maíz y frijol. Fuente: Elaboración propia.

presentó el IVG cercanos a 0 plantas germinadas por día, es decir, esta es la concentración que afectó totalmente el IVG.

Padilla (2004), reportó que el IVG de semillas de sotol se vio afectado hasta en un 10% cuando utilizó extractos de raíz de lechuguilla (*Agave lechuguilla* Torr.). Este comportamiento en la IVG pudiera ser causados por los efectos alelopáticos de los compuestos fenólicos como flavonoides, ácidos fenólicos y saponinas los cuales retrasan o inhiben la germinación (Morreeuw *et al*., 2021a; Laynez-Garsaball y Méndez-Natera, 2007), presentes tanto en el guishe como en el hojasén.

Tasa de germinación (TSG)

En la figura 3, se muestran los días que se requieren para alcanzar la máxima germinación respecto al concentración de la mezcla del extracto de *A. lechuguilla* y *F. cernua*, pudiendo observar que entre más alta es la concentración del extracto más días son requeridos para germinar. Lo mismo ocurrió con la concentración al 20%, que aunque se observó un 0.66% de germinación de semillas de frijol, se requirió de 2.33 días para alcanzar ese porcentaje; mientras que en maíz fueron necesarios 6.06 días para alcanzar un 7.33%. Como puede verse la germinación se ve afectada proporcionalmente conforme aumenta la concentración y así mismo aumenta los días para que ocurra la germinación.

La reducción de la tasa de germinación de semillas tanto de maíz como de frijol pudo deberse a los compuestos presentes en la mezcla del extracto de *A. lechuguilla* y *F. cernua*, según Sampietro (2003), quien señala que los compuestos fitoquímicos pueden causar alteraciones hormonales; efectos sobre la absorción de agua; efectos sobre la absorción de minerales; efectos sobre la actividad

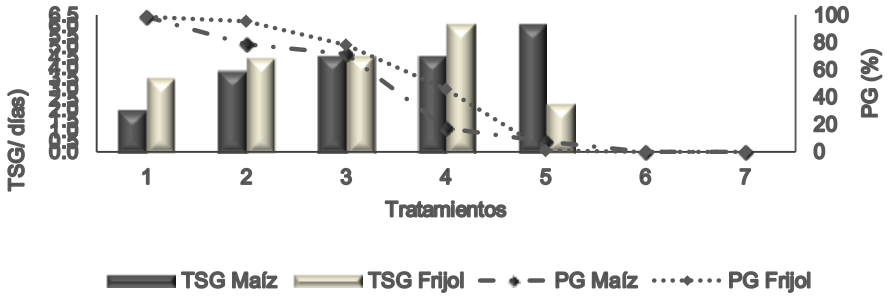


Figura 3. Efecto de diferentes concentraciones (0, 5, 10, 15, 20, 50 y 100%), de la mezcla del extracto de *Agave lechuguilla* Torr. y *Flourensia cernua* DC. evaluadas en la tasa de germinación de las semillas de maíz y frijol en contraste con el porcentaje de germinación. Fuente: Elaboración propia.

enzimática; efectos sobre la fotosíntesis y efectos sobre la respiración. La mayoría de estos compuestos son producidos como metabolitos secundarios y se incluyen a: las saponinas quienes reducen la permeabilidad del tegumento de las semillas al oxígeno, a los flavonoides que interfieren en la síntesis de ATP mitocondrial y cadena de transporte de electrones, y a los fenoles que a nivel de las giberelinas (las cuales están implicadas directamente en el control y promoción de la germinación), los compuestos fenólicos inhiben la acción de estas, ya sea por unión a la molécula hormonal o por bloqueo del proceso mediado por las mismas (Laynez-Garsabal y Méndez-Natera, 2007).

Peso de la biomasa (PBM)

En la figura 4 se muestra la biomasa producida como peso fresco (PMB), de las plantas germinadas de maíz y frijol con la aplicación de la mezcla del extracto de *A. lechuguilla* y *F. cernua*, donde se observó que PBM disminuye conforme la concentración de la mezcla del extracto de *A. lechuguilla* y *F. cernua* aumenta. Al cabo de un periodo de 8 días de crecimiento la PBM observada normalmente fue superior a los 2 g de tejido para ambas especies y bajo tratamiento esta PBM disminuyó hasta un 69.8% y 52.32% para maíz y frijol, respectivamente, con tan sólo el uso de la concentración del 5 % de la mezcla del extracto de *A. lechuguilla* y *F. cernua*. A partir de la concentración del 20% la producción PBM fue totalmente nula.

Cruz y Flores (2022), mencionan que a pesar de que las semillas que logran germinar después de la aplicación de extractos vegetales con posible acción herbicida no quedan exentas del todo, sino que son afectadas en su crecimiento, longitud radicular y peso. Santos *et al*. (2019), encontraron una reducción de la longitud radicular de *Lactuca sativa* L. cercana al 50% al tratar semillas con extracto de *Solanum muricatum* Aiton. y *Solanum betaceum* Cav. además, se observó la condensación de los núcleos de *L. sativa*, asociado a fragmentación del ADN y encogimiento citoplasmático.

En un análisis por HPLC-UV-MS/MS del extracto de *A. lechuguilla* por nuestro grupo de trabajo (Morreeuw *et al*., 2021), se determinó la presencia de los compuestos flavanonas, isorhamnetina, catequina, cianidina, delfinina, hesperidina, quercetina, apigenina, kaempferol y naringenina. Dentro de estos compuestos reportados con actividad alelopática se encuentra quercetina, apigenina y otras flovononas (Morreeuw *et al*., 2021). Fernández *et al*. (2021), aislaron la quercetina de raíces *Fagopyrum esculentum* y encontraron un efecto inhibitorio en *Phelipanche ramose*. En general, el grupo de flavonoides presenta efectos potenciales en la germinación y desarrollo de malezas, Silva *et al*. (2013), identificaron cinco stilbenos y cuatro dihidroflavonoles; de estos últimos [urucuol A (1), urucuol B (2) and isotirumalin (3)], quienes fueron evaluados a 150 mg/L en *Mimosa púdica* y se encontró que solo Urocuol B inhibió la germinación de semillas (26%), mientras que isotirumalina redujo el desarrollo del hipocotíleo (25%).

Ante esta cualidad observada en nuestra mezcla de estudio, se debería dar un enfoque más estricto a la elaboración de extractos a base de plantas del semidesierto que están expuestas a condiciones extremas, ya que poseen muchos metabolitos secundarios con capacidad fitotóxica y posible potencial uso en los sistemas de producción agrícola, además es importante la identificación de dichos metabolitos para poder conocer con exactitud la molécula activa y su capacidad alelopática.

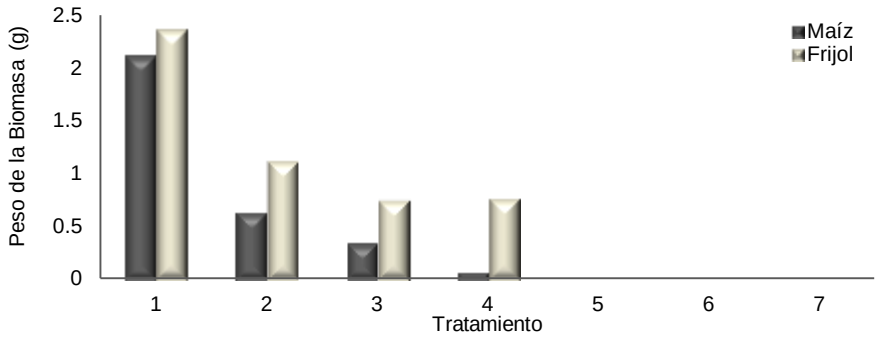


Figura 4. Efecto de diferentes concentraciones (0, 5, 10, 15, 20, 50 y 100%), de la mezcla del extracto evaluadas como tratamientos en el peso de la biomasa de las semillas de maíz y frijol. Fuente: Elaboración propia.

Conclusiones

Las diferentes variables evaluadas PG, IGV, PBM y PIG se vieron afectadas con el uso de la mezcla del extracto de *Agave lechuguilla* Torr. y *Flourensia cernua* DC. desde la concentración más baja (5%), con reducción en los valores hasta la mitad que cuando no se emplea. La concentración donde valores de las variables fue casi nula fue a partir de la concentración del 20%. Por lo tanto, se concluye que la combinación del extracto de guishe de lechuguilla y hojasén demostró tener un gran potencial en la inhibición de la germinación de tipo preemergente, no selectivo, ya que afectó de la misma manera a las semillas de nuestras plantas modelo de maíz (monocotiledóneas) y frijol (dicotiledóneas).

Agradecimientos

Los autores agradecen al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), por el financiamiento a través del Proyecto No. 315846 “Aprovechamiento de extractos naturales de plantas nativas del semidesierto coahuilense como una alternativa natural al uso de herbicidas sintéticos”.

Descargos de responsabilidad

Todos los autores realizaron aportes significativos al documento y quienes están de acuerdo son su publicación y manifiestan que no existen conflictos de interés en este estudio.

Referencias

Álvarez-Pérez, O.B., Ventura-Sobrevilla, J.M., Ascacio-Valdés, J.A., Rojas, R., Verma, D.K., Aguilar, C.N. 2020. Valorization of *Flourensia cernua* DC as source of antioxidants and antifungal bioactives. *Industrial Crops and Products, 152*, 112422. https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2020.112422

Arévalo, R.A., Bertoncini, E.I., Aranda, E.M., González, T.A. 2011. Alelopatía en *Saccharum* spp. (caña de azúcar). *Avances en Investigación Agropecuaria, 15*(1), 51-60. ISSN: 0188-7890. Recuperado de: https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=83717122004

Castillo, Q.D., Berlanga, R.C.A., Cano, P.A. 2005. Recolección, extracción y uso de la fibra de lechuguilla (*Agave lechuguilla* Torr.) en el estado de Coahuila. Publicación Especial Núm. 6. INIFAP-CIRNE. Campo Experimental Saltillo. México. http://www.inifapcirne.gob.mx/Biblioteca/Publicaciones/198.pdf

Chávez, C.J.A. 2022. Análisis de factibilidad de un bioproceso para la obtención de antocianinas a partir del bagazo de *Agave lechuguilla*. Tesis. Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste. http://dspace.cibnor.mx:8080/bitstream/handle/123456789/3117/chavez_j%20TESIS.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Chludil, H.D. 2017. Compuestos Aleloquímicos. *Ciencia Hoy, 26*(153), 33-39. https://cienciahoy.org.ar/compuestos-aleloquimicos/

Cook, D., Rimando, A.M., Clemente, T.E., Schröder, J., Dayan, F.E., Nanayakkara, N.D., Baerson, S.R. 2010. Alkylresorcinol synthases expressed in *Sorghum bicolor* root hairs play an essential role in the biosynthesis of the allelopathic benzoquinone sorgoleone. *The Plant Cell, 22*(3), 867-887. https://doi.org/10.1105/tpc.109.072397

Cruz, O.L., Flores, M. 2022. Avances en el desarrollo de nuevos herbicidas biológicos a partir de extractos vegetales fitotóxicos aplicados in vitro. *Informador Técnico, 86*(1), 34-45. https://doi.org/10.23850/22565035.3648

Da Silva, E.A.S., Lôbo, L.T., Da Silva, G.A., Da Souza-Filho, A.P., Da Silva, M.N., Arruda, A.C., Guilhon, G.M.S.P., Lourivaldo S.S., Arruda, M.S.P. 2013. Flavonoids from leaves of *Derris urucu*: assessment of potential effects on seed germination and development of weeds. *Anais da Academia Brasileira de Ciências, 85*(3), 881-889. https://doi.org/10.1590/S0001-37652013000300004

Dayan, F.E., Duke, S.O. 2014. Natural compounds as next-generation herbicides. *Plant Physiology, 166*(3), 1090-1105. https://doi.org/10.1104/pp.114.239061

De Rodríguez, D.J., Hernández, F.D., Solís, S., Rodríguez, R., Rodríguez, R.M. 2012. *Flourensia cernua* DC: a plant from Mexican semiarid regions with a broad spectrum of action for disease control. Integrated Pest Management and Pest Control, Current and Future Tactics, InTech, Rijeka, 639-650.

https://www.researchgate.net/publication/265811438_Flourensia_cernua_DC_A_Plant_from_Mexican_Semiarid_Regions_with_a_Broad_Spectrum_of_Action_for_Disease_Control

Díaz-Jiménez, L., Carlos-Hernández, S., Jasso de Rodriguez, D., Rodríguez-García, R. 2019. Conceptualization of a biorefinery for guishe revalorization. Industrial Crops and Products, 138, 111441. https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2019.06.004

Fernández-Aparicio, M., Masi, M., Cimmino, A., Vilariño, S., Evidente, A. 2021. Allelopathic Effect of Quercetin, a Flavonoid from *Fagopyrum esculentum* Roots in the Radicle Growth of *Phelipanche ramosa*: Quercetin Natural and Semisynthetic Analogues Were Used for a Structure-Activity Relationship Investigation. *Plants*, *10*(3), 543. https://doi.org/10.3390/plants10030543

García, L.J. 2018. Aprovechamiento del bagazo de *Agave lechuguilla* Torr. como aditivo alimenticio para el crecimiento y fortalecimiento inmunológico de camarón blanco. Tesis. Instituto Tecnológico de Veracruz. https://rinacional.tecnm.mx/jspui/handle/TecNM/2534

Gómez, A.R., Lázaro, J.G., León, N.J.A. 2008. Producción de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) y de rábano (*Rhabanus sativus* L.) en huertos biointensivos en el trópico húmedo de Tabasco. *Universidad y Ciencia, 24*(1), 11-20. <http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0186-29792008000400002&lng=es&nrm=iso

Hartmann, H., Kester, F. 2001. Propagación de plantas, principios y prácticas. México: Editorial Continental. 760 p.

Laynez-Garsaball, J.A., Méndez-Natera, J.R. 2007. Efectos de extractos acuosos de la maleza *Cyperus rotundus* L. (Cyperaceae) sobre la germinación de semillas y crecimiento de plántulas de maíz (*Zea mays* L.) cv. Pioneer 3031. Revista Peruana de Biología, 14(1), 55-60. Recuperado en 30 de julio de 2022, de http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1727993320070002000013&lng=es&tlng=es.

Laynez-Garsaball, J.A., Méndez-Natera, J.R. 2007. Efectos de extractos acuosos de la maleza *Cyperus rotundus* L. (Cyperaceae) sobre la germinación de semillas y crecimiento de plántulas de maíz (*Zea mays* L.) cv. Pioneer 3031. Revista Peruana de Biología, 14(1), 55-60. Recuperado en 19 de abril de 2023, de http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1727-99332007000200013&lng=es&tlng=es

López-Valdez, F., Ríos-Cortez, A.M., López-Gayou, V., Torres-Valencia, N., Cabrera-Hilerio, S.L., Miranda-Arámbula, M. 2021. Fitotóxicos como Herbicidas Naturales y Otras Alternativas de Uso. *Frontera Biotecnológica*. https://www.revistafronterabiotecnologica.cibatlaxcala.ipn.mx/volumen/vol18/pdf/vol-18-4.pdf

Marín, L.F.J. 2014. Extractos Vegetales con Propiedades Alelopáticas sobre el Desarrollo en Maíz (*Zea mays* L.) y Frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) y su Posible Uso para el Control de Malezas. Tesis Licenciatura. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. http://repositorio.uaaan.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/3893/K%2040036%20Mar%c3%adn%20Lara%2c%20Francisco%20Javier.pdf?sequence=3&isAllowed=y

Mata, R., Bye, R., Linares, E., Macías, M., Rivero-Cruz, I., Pérez, O., Timmermann, B.N. 2003. Phytotoxic compounds from *Flourensia cernua*. *Phytochemistry, 64*(1), 285-291. https://doi.org/10.1016/S0031-9422(03)00217-6

Morreeuw, P.Z., Castillo-Quiroz, D., Ríos-González, L.J., Martínez-Rincón, R., Estrada, N., Melchor-Martínez E.M., Hafiz, M.N.I, Parra-Saldívar, R., Reyes, A.G. 2021. High Throughput Profiling of Flavonoid Abundance in *Agave lechuguilla* Residue-Valorizing under Explored Mexican Plant. *Plants 10*(4), 695. https://doi.org/10.3390/plants10040695

Morreeuw, P.Z., Castillo-Quiroz, D., Ríos-González, L.J., Martínez-Rincón, R., Estrada, N., Melchor-Martínez, E.M., Hafiz, M.N.I., Parra-Saldivar, R., Reyes, A.G. 2021a. High Throughput Profiling of Flavonoid Abundance in *Agave lechuguilla* Residue-Valorizing under Explored Mexican Plant. *Plants*, *10*(4), 695. https://doi.org/10.3390/plants1004069519

Morreeuw, P.Z., Escobedo-Fregoso, C., Ríos-Gonzalez, L.J., Castillo-Quiroz, D., Reyes, A.G. 2021b. Transcriptome-based metabolic profiling of flavonoids in *Agave lechuguilla* waste biomass *Agave lechuguilla* is one of the most abundant species in arid and semiarid regions of Mexico, and is used to extract fiber. *Plants Science*, 305, 110748 https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2020.110748

Padilla, V.G. 2004. Pruebas de germinación en semillas de Sotol (*Dasylirion cedrosanum* Trel.) utilizando extractos de lechuguilla (*Agave lechuguilla* Torr.) bajo condiciones de laboratorio. Tesis Licenciatura. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. http://repositorio.uaaan.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/6333/T14504%20PADILLA%20VILLA%2c%20GLORIA%20%20TESIS.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Peña, R.A., Morreeuw, P.Z., García, J., Rodríguez, M.C., Guzmán, L., Escobedo, C., Tovar, D., Reyes, A.G. 2020. Evaluation of *Agave lechuguilla* by-product crude extract as a feed additive for juvenile shrimp *Litopenaeus vannamei*. Aquaculture Research, 51(4), 1336-1345. https://doi.org/10.1111/are.14497

Ranal, M.A., García de Santana, D. 2006. How and why to measure the germination process? *Revista Brasileira de Botânica*, 29(1), 1-11. https://www.scielo.br/j/rbb/a/ZfHBJBGtpDcXzfknWfmNM4G/?format=pdf&lang=en

Sampietro, D. 2003. Alelopatía: concepto, características, metodología de estudio e importancia. Facultad de Bioquímica, Química y Farmacia. Universidad de Tucumán, Argentina. 14 p. https://www.produccion-animal.com.ar/produccion_y_manejo_pasturas/pasturas%20artificiales/19-alelopatia.pdf

Santos, A.G. 2020. Estudio de prefactibilidad de una planta de producción de un herbicida orgánico a partir del mucílago del cacao. Universidad San Francisco de Quito, Colegio Politécnico de Ciencias e Ingenierías. http://repositorio.usfq.edu.ec/handle/23000/9275

Tropicos. 2022. Tropicos.org. Missouri Botanical Garden. 13 de julio de 2022. https://tropicos.org

Zhou, Y.H., Yu, J.Q. 2006. "Allelochemicals and photosynthesis." In: Reigosa, M., Pedrol, N., González, L. (eds) Allelopathy. Springer, Dordrecht. https://doi.org/10.1007/1-4020-4280-9_6