

Efecto alelopático de *Capsicum chinense*, *Dianthus caryophyllus* y *Sorghum bicolor* en semillas

Allelopathic effect of *Capsicum chinense*, *Dianthus caryophyllus*, and *Sorghum bicolor* on seeds

Alisa Clementina Barroso-Ake¹ , Roberto Arredondo-Valdés¹ , Leslie Carnero-Avilés² ,
Anna Ilina¹ , Rodolfo Ramos-González^{3*} 

¹Facultad de Ciencias Químicas, Universidad Autónoma de Coahuila. Blvd. Venustiano Carranza s/n esq. con Ing. José Cárdenas Valdés. Col. República Ote. CP. 25280. Saltillo, Coahuila, México.

²Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Km 2, Carretera Delicias-Rosales CP. 33000, Centro, Cd. Delicias, Chihuahua, México.

³SECIHTI – Universidad Autónoma de Coahuila. Blvd. Venustiano Carranza s/n esq. con Ing. José Cárdenas Valdés. Col. República Ote. CP. 25280. Saltillo, Coahuila, México.

*Autor de correspondencia: rodolfo.ramos@uadec.edu.mx

Artículo científico

Recibido: 08 de julio 2024

Aceptado: 10 de abril 2025

RESUMEN. Las malezas representan una amenaza para la producción agrícola, causando pérdidas significativas en los cultivos. Los herbicidas químicos han sido ampliamente utilizados para su control, sin embargo, su empleo conlleva problemas ambientales y de resistencia que plantean desafíos importantes. Por lo que se ha buscado desarrollar alternativas más sostenibles, en el marco de la agricultura sustentable, los extractos vegetales ofrecen características prometedoras, como degradabilidad, bajo costo y efectividad. En este contexto, el presente trabajo tiene como objetivo desarrollar una alternativa basada en extractos vegetales de *Capsicum chinense* L., *Dianthus caryophyllus* L. y *Sorghum bicolor* L. Se llevaron a cabo los análisis de identificación de compuestos antioxidantes (DPPH), cuantificación de fenoles totales, así como la determinación de compuestos volátiles mediante análisis HPLC/MS y GC-MS/MS. Además, se realizaron pruebas de inhibición de la germinación de semillas de *Phaseolus vulgaris* L. y *Avena sativa* L. utilizando los diferentes extractos evaluados. Los resultados revelaron la presencia de diversas familias de compuestos que contribuyen a la actividad alelopática de los extractos. Se observó inhibición de germinación en las semillas, lo que sugiere un potencial efecto herbicida pre-emergente de los tratamientos seleccionados. Los extractos vegetales analizados exhiben una amplia variedad de bioactivos y una actividad herbicida significativa. Por lo tanto, se postula su uso como una alternativa viable y sostenible para el control de la germinación de malezas en sistemas agrícolas, lo que podría contribuir a la promoción de prácticas agrícolas más respetuosas con el ambiente.

Palabras clave: Extractos naturales, control de malezas, compuestos bioactivos, inhibición de la germinación.

ABSTRACT. Weeds represent a threat to agricultural production, causing significant losses in various crops. Chemically synthesized herbicides have been widely used for their control; however, their use entails environmental and resistance problems that pose important challenges. Aware of this problem, we have sought to develop more sustainable alternatives within the framework of sustainable agriculture. Plant extracts offer promising characteristics, such as their degradability, low cost, and effectiveness. In this context, the main objective of this work is to develop an alternative based on plant extracts from *Capsicum chinense* L., *Dianthus caryophyllus* L., and *Sorghum bicolor* L. With HPLC/MS and GC-MS/MS analysis, we were able to find antioxidant compounds (DPPH), measure total phenols, and find volatile compounds. Additionally, we conducted germination inhibition tests on model seeds of *Phaseolus vulgaris* L. and *Avena sativa* L., utilizing the various extracts under evaluation. The results revealed the presence of various families of compounds, which contributed to the allelopathic activity of the extracts. The model seeds showed inhibition of germination, indicating a potential pre-emergence herbicidal effect of the selected treatments. The plant extracts analyzed exhibit a wide variety of bioactive and significant herbicidal activities. Therefore, we postulate its use as a viable and sustainable alternative for controlling weed germination in agricultural systems, potentially promoting more environmentally friendly agricultural practices.

Keywords: Natural extracts, weed control, bioactive compounds, germination inhibition.

Como citar: Barroso-Ake AC, Arredondo-Valdés R, Carnero-Avilés L, Ilina A, Ramos-González R (2025) Efecto alelopático de *Capsicum chinense*, *Dianthus caryophyllus* y *Sorghum bicolor* en semillas. Ecosistemas y Recursos Agropecuarios 12(1): e4248
DOI: 10.19136/era.a12n1.4248

INTRODUCCIÓN

Las malezas representan una amenaza significativa para la producción agrícola al competir con los cultivos por recursos vitales como luz, nutrientes y agua, lo que puede reducir la producción hasta en un 70%. En México, el manejo y control de estas malezas implica costos considerables para los productores, estimados en hasta 441 millones de dólares (Palau *et al.* 2015, Espinosa-García y Villaseñor 2017). Sin embargo, el uso frecuente de herbicidas químicos para minimizar la interferencia de las malezas conlleva problemas ambientales, de salud humana y la aparición de malezas resistentes (Fisher 2013).

Los herbicidas sintéticos, aunque aún son efectivos para aumentar los rendimientos de los cultivos, presentan crecientes evidencias de riesgos para la salud humana y animal. Esto ha motivado propuestas políticas que buscan limitar o prohibir su uso (González *et al.* 2022). Además, la creciente resistencia de las malezas ha llevado a un incremento en las dosis de herbicidas aplicadas y a la necesidad de encontrar nuevas soluciones (Montull y Torra 2023, Bastidas *et al.* 2013).

En respuesta a estos desafíos, se buscan alternativas más sostenibles que reduzcan el impacto en el ambiente, la salud y la resistencia de las malezas a los herbicidas. Una de estas alternativas es el uso de extractos vegetales, que contienen compuestos biodegradables e inofensivos, y con actividad biológica capaz de afectar la estructura celular de las malezas. Por lo tanto, la creación de herbicidas nuevos basados en productos naturales ha captado cada vez más interés en el sector agrícola (Fu *et al.* 2019). En este contexto, se busca aprovechar la capacidad de los extractos vegetales como herbicidas naturales para reducir la dependencia y resistencia de herbicidas químicos (Cordeau *et al.* 2016). Estos bioherbicidas ofrecen ventajas clave, como su degradabilidad, bajo costo y alta efectividad (Bo *et al.* 2019, Hoagland 2001, Guevara-González *et al.* 2019). Debido a lo anterior, el objetivo de este trabajo es evaluar el efecto bioherbicida de extractos vegetales de *Capsicum chinense*, *Dianthus caryophyllus* y *Sorghum bicolor* sobre la germinación de semillas, con el fin de desarrollar alternativas naturales para reducir el uso de herbicidas químicos en la agricultura.

MATERIALES Y MÉTODOS

Obtención de material vegetal

Se obtuvieron, del mercado de la localidad, muestras de cada una de las especies, para *C. chinense*, se utilizaron frutos secos los cuales inicialmente fueron desinfectados con hipoclorito de sodio al 1% durante 3 minutos y secados con toallas de papel estériles. Posteriormente, se enjuagaron con agua destilada estéril y volvieron a secarse. Las muestras se pesaron inicialmente con humedad y se colocaron en una estufa a 50 °C. Se repitió el pesaje y el proceso de secado hasta que las muestras llegaron a peso constante. Se calculó el porcentaje de humedad (%H) utilizando la fórmula propuesta por Nielsen (2003):

$$\%H = \frac{\text{masa final}}{\text{masa inicial}} * 100$$

De *D. caryophyllus* se utilizaron partes de la planta sin secar, como tallos, hojas y pétalos, mientras que de *S. bicolor* se utilizaron semillas. Las muestras de cada especie vegetal fueron trituradas de forma individual en un procesador de alimentos tradicional hasta obtener un polvo uniforme.

Extracción de hidroalcohólicos de *C. chinense*, *D. caryophyllus* y *S. bicolor*

Los polvos obtenidos de *C. chinense* y *S. bicolor* se tamizaron, y se obtuvo un tamaño de partícula de 63 µm utilizando un tamiz Ro-tap. Los extractos de *C. chinense*, *D. caryophyllus* y *S. bicolor* se prepararon siguiendo el método de Castillo *et al.* (2010) con algunas modificaciones. Se empleó una disolución de etanol al 85% en agua destilada. Inicialmente se pesaron 42 g de polvo de cada muestra y se mezclaron con 750 mL de solvente en matraces de 500 mL. Estos se llevaron a agitación en una parrilla durante 72 horas a temperatura ambiente. Luego se filtraron los extractos con papel filtro Whatman No. 1. El solvente se separó mediante rotavapor a 150 rpm a 70 °C, y los extractos se secaron en una estufa a 40 °C durante 5 días hasta obtener un polvo homogéneo.

Extracción acuosa de *D. caryophyllus*. Para la obtención del extracto acuoso se realizó la metodología reportada por Lo *et al.* (2020). Se cortaron flores, tallos y hojas de *D. caryophyllus* (40 g) y se trituraron en trozos pequeños con un procesador tradicional de alimentos. La muestra se colocó dentro de un matraz bola que se conectó con el destilador por arrastre de vapor para luego añadir 200 mL de agua destilada para generar vapor. Por último, la muestra se calentó a 200 °C y se dejó la extracción durante 6 horas.

Determinación de la actividad antioxidante

Se siguió el método de 2,2'-azinobis (ácido 3-etilbenzotiazolina-6-sulfónico) (ABTS) de acuerdo con Martínez-Ávila *et al.* (2012). La formación del radical ABTS se llevó a cabo mezclando una solución de persulfato de potasio a una concentración de 2.45 mM con ABTS a 7 mM en una relación 1:2 (v/v). La mezcla se mantuvo protegida de la luz a temperatura ambiente durante 16 h. Para luego diluir en alcohol etílico hasta alcanzar una absorbancia de 0.70 ± 0.05 a 734 nm. Después de obtener este valor, se tomó 1 mL de la solución ajustada de ABTS y se le añadieron 10 µL de la muestra (extractos de *C. chinense*, *D. caryophyllus* y *S. bicolor*), y se midió la absorbancia a 734 nm. Se empleó agua destilada como control. Los resultados se calcularon y reportaron en mEq trolox por gramo.

Contenido de fenoles totales

Se utilizó el método descrito Zenil-Lugo *et al.* (2014) con modificaciones. Se tomaron 20 µL de cada extracto, blanco y curva de calibración (98, 195, 391, 781, 1563, 3125, mg/L, $r^2 = 0.998$), y se mezclaron con 120 µL de Na_2CO_3 , 30 µL de Folin-Ciocalteu y 400 µL de agua. La reacción se llevó a cabo a 50 °C por 5 min, el estándar utilizado fue ácido gálico. La absorbancia fue tomada a 700 nm en un espectrofotómetro (Spectronic Genesys® UV10).

RP-HPLC-ESI-MS analítica

Se llevó a cabo el análisis de cromatografía líquida de alto rendimiento en fase inversa utilizando un sistema Varian HPLC. Este sistema consta de un muestreador automático Varian ProStar 410,

una bomba ternaria Varian ProStar 230I y un detector PDA Varian ProStar 330. Además, se empleó un espectrómetro de masas con trampa de iones en la cromatografía líquida, conocido como Varian 500-MS IT Mass Spectrometer, el cual estaba equipado con una fuente de iones por electropulverización. Las muestras de los extractos se inyectaron en una columna Denali C18 (150 mm × 2.1 mm, 3 μm, Grace, EE. UU.), manteniendo la temperatura del horno a 30 °C. Los eluyentes utilizados fueron ácido fórmico (0.2%, v/v; disolvente A) y acetonitrilo (disolvente B), aplicando un gradiente de elución específico. Inicialmente se utilizó un 3% de B, seguido de un aumento lineal a lo largo del tiempo. El caudal se mantuvo constante a 0.2 mL/min, y controló la elución a longitudes de onda de 245, 280, 320 y 550 nm. El efluente se inyectó de forma directa en la fuente del espectrómetro de masas sin divisiones. Todos los experimentos de espectrometría de masas se realizaron en modo negativo [M-H]⁻¹, utilizando nitrógeno como gas nebulizador y helio como gas amortiguador. Los parámetros de la fuente de iones fueron un voltaje de pulverización de 5.0 kV, un voltaje capilar de 90.0 V y temperatura de 350 °C. Los datos generados se procesaron utilizando el software MS Workstation (V 6.9). Inicialmente, se realizaron análisis de escaneo completo en el rango m/z 50-2 000, como describe Cerda-Cejudo *et al.* (2022).

GC-MS/MS analítica

La metodología utilizada para los análisis cromatográficos mediante el sistema de cromatografía de gases acoplado a masas se llevó a cabo en un cromatógrafo marca Agilent Technologies modelo 7890B equipado con un detector selectivo de masas 5977B. Las muestras fueron introducidas utilizando helio como gas portador, con una rampa de temperatura que se incrementó de 80 °C a 300 °C a una velocidad de calentamiento de 10 °C/min, manteniéndose a 300 °C durante 15 min. Se empleó el modo Split con una temperatura de división de 280 °C y una duración de 40 min. El análisis de espectrometría de masas se efectuó en un rango de masas que abarcó desde 32 hasta 750 unidades de masa atómica, manteniendo la temperatura de la línea de transferencia a 280 °C y utilizando un volumen de inyección de 2 μL.

Bioensayo de germinación

Una porción del extracto pulverizado se diluyó en un volumen de etanol para preparar tres concentraciones de ensayo: 1 250, 2 500, 5 000 ppm de cada extracto y luego se añadió una concentración de agar bacteriológico estéril en cajas Petri. Una vez solidificado el medio de cultivo, se colocaron semillas de *Avena sativa* y semillas de *Phaseolus vulgaris* como semillas indicadoras, se realizaron tres replicas por cada extracto y concentración, sobre el medio sólido. También se mantuvieron cajas Petri de control en cada experimento, utilizando sólo medio de cultivo. Posteriormente las cajas Petri se incubaron en oscuridad a temperatura ambiente. La germinación se midió cada intervalo de 0.5 días durante 4 días (el momento en que no germinaron más semillas), las semillas fueron consideradas como germinadas cuando las radículas emergieron al romper la cubierta como describe Tucuch-Pérez *et al.* (2023).

El porcentaje de germinación (PG) se calculó a partir de los mismos datos obtenidos de la germinación utilizando la ecuación siguiente.

$$PG = \left(\frac{\# \text{ de semillas germinadas}}{\# \text{ total de semillas}} \right) * 100$$

El índice PG indicó el porcentaje de germinación total de un lote de semillas después de cierto período de tiempo en el que la germinación aumentó constante.

Bioensayo de crecimiento

Las cajas Petri y los extractos se prepararon como se describió anteriormente. Se colocaron diez semillas de *A. sativa* y *P. vulgaris* germinadas en la oscuridad a 25 °C durante siete días, en placas de Petri. Se midieron las longitudes (mm) de los brotes y las raíces de cada plántula después de la incubación en condiciones de oscuridad durante siete días a 25 °C. También se mantuvieron placas de Petri de control como bioensayo de germinación.

Análisis estadístico

Los experimentos de bioensayo se realizaron según un diseño completamente al azar con tres repeticiones por cada extracto y concentración. Los datos generados en cada experimento se analizaron utilizando el paquete estadístico SAS, versión 9.01 (SAS Institute Inc., Cary, NC, EE. UU.). Las medias de los tratamientos se compararon mediante la prueba de Tukey con un nivel de probabilidad del 5% (Steel y Torrie 1981). La concentración requerida para una inhibición del crecimiento del 50%, es decir, CL50 de las especies de prueba en los ensayos, se calculó a partir de la ecuación de regresión de las curvas de respuesta de concentración mediante el programa Minitab (Minitab Statistical Software).

RESULTADOS

Determinación de la capacidad antioxidante

En la Tabla 1 se presentan los resultados de la actividad antioxidante y el contenido de fenoles totales determinado por el método de Folin-Ciocalteu destacando el extracto de *C. chinense* con mayor concentración de antioxidantes (6.70 ± 0.03), sin embargo, los extractos con mayor cantidad de fenoles fueron *D. caryophyllus* acuoso y *S. bicolor* (1.06 ± 0.03 , 1.07 ± 0.05). Se realizó un análisis de varianza (ANOVA) para evaluar las diferencias en los valores de ABTS y fenoles entre los diferentes extractos. Para comparar las medias entre los extractos, se utilizó el test de Tukey con un nivel de significancia de $\alpha = 0.05$.

Tabla 1. Actividad antioxidante (ABTS) y fenoles totales de los extractos.

Extracto	ABTS (mg EqTrolox/L)	Fenoles (mg/mL)
<i>C. chinense</i>	6.70 ± 0.03^a	1.50 ± 0.04^b
<i>D. caryophyllus</i>	6.90 ± 0.05^b	1.72 ± 0.01^c
<i>D. caryophyllus</i> acuoso	7.21 ± 0.00^c	1.06 ± 0.03^a
<i>S. bicolor</i>	6.81 ± 0.02^b	1.07 ± 0.05^a

Identificación de compuestos de *C. chinense*, *D. caryophyllus* y *S. bicolor* mediante CG-MS

Los compuestos hallados en los extractos (Tabla 2), con mayor número de compuestos identificados fueron *C. chinense* y *D. caryophyllus*.

Tabla 2. Compuestos identificados de los extractos *C. chinense*, *D. caryophyllus*, *D. caryophyllus* acuoso y *S. bicolor* usando CG-MS.

Extracto	Pico	TR (min)	Identificación
<i>C. chinense</i>	3	13.7	2,2,4-Trimetil-1,3-pentanodiol diisobutirato
<i>C. chinense</i>	4	16.8	Éster isobutílico de hept-4-ilo del ácido ftálico
<i>C. chinense</i>	5	17.0	Homosalato
<i>C. chinense</i>	6	17.03	α -N-Normetadol
<i>C. chinense</i>	7	17.06	Ftalato de dibutilo
<i>D. caryophyllus</i>	4	16.1	Salicilato de 2-etilhexilo
<i>D. caryophyllus</i>	5	16.8	Versalide
<i>D. caryophyllus</i>	7	17.3	α -N-Normetadol
<i>D. caryophyllus</i>	8	17.6	Ftalato de dibutilo
<i>D. caryophyllus</i> acuoso	4	16.1	Salicilato de 2-etilhexilo
<i>D. caryophyllus</i> acuoso	5	16.8	Versalide
<i>D. caryophyllus</i> acuoso	7	17.3	α -N-Normetadol
<i>D. caryophyllus</i> acuoso	8	17.6	Ftalato de dibutilo
<i>S. bicolor</i>	3	16.1	Salicilato de 2-etilhexilo
<i>S. bicolor</i>	4	16.21	1,2-Ácido bencenodicarboxílico

C. chinense presentó varios compuestos identificados, con picos significativos en las posiciones 3 a 7. Entre los compuestos identificados, se incluyen el 2,2,4-trimetil-1,3-pentanodiol diisobutirato (pico 3, 13.7 min), un éster isobutílico de hept-4-ilo del ácido ftálico (pico 4, 16.8 min), y homosalato (pico 5, 17.0 min). También se identificaron α -N-Normetadol (pico 6, 17.03 min) y ftalato de dibutilo (pico 7, 17.06 min). *D. caryophyllus* mostró una distribución similar de compuestos en los picos 4 a 8. El salicilato de 2-etilhexilo (pico 4, 16.1 min) y versalide (pico 5, 16.8 min) se repiten en los diferentes extractos, al igual que el α -N-Normetadol (pico 7, 17.3 min) y ftalato de dibutilo (pico 8, 17.6 min).

El extracto acuoso de *D. caryophyllus* compartió la mayoría de los picos con el extracto no acuoso de *D. caryophyllus*, indicando que no hay una gran diferencia en la composición química entre estos dos tipos de extractos. Los mismos compuestos como el salicilato de 2-etilhexilo, versalide, α -N-Normetadol y ftalato de dibutilo se identificaron en las mismas posiciones de pico, lo que indica una relativa estabilidad en la composición de los extractos acuosos y no acuosos.

S. bicolor presentó un perfil ligeramente diferente, con salicilato de 2-etilhexilo (pico 3, 16.1 min) y un 1,2-ácido bencenodicarboxílico (pico 4, 16.21 min) como los compuestos más relevantes identificados en su cromatograma.

Identificación de compuestos de *C. chinense*, *D. caryophyllus* y *S. bicolor* mediante HPLC-M

Los cromatogramas en la Tabla 3, revelan que los extractos con el mayor número de compuestos detectados pertenecen a *C. chinense*, destacando la presencia significativa de escopoletina, una cumarina biosintetizada por la ruta de los fenilpropanoides.

Tabla 3. Compuestos identificados de los extractos *C. chinense*, *D. caryophyllus*, *D. caryophyllus* acuoso y *S. bicolor* usando HPLC-M.

Extracto	TR (min)	MS	Compuesto	Familia
<i>C. chinense</i>	8.88	191	Escopoletina	Hidroxycumarinas
<i>C. chinense</i>	48.53	754.9	Kaempferol 3-O-glucosil-ramnosil-glucósido	Flavonoles
<i>D. caryophyllus</i>	51.37	448.1	Cianidina 3-O-glucósido	Antocianinas
<i>D. caryophyllus</i>	49.4	432.1	Pelargonidina 3-O-glucósido	Antocianinas
<i>D. caryophyllus</i>	47.97	593.2	Apigenina 6,8-di-C-glucósido	Flavonas
<i>D. caryophyllus</i>	46.38	725.1	Cianidina 3-O-xilosil-rutinósido	Antocianinas
<i>D. caryophyllus</i>	44.56	609.2	Quercetina 3-O-rutinósido	Flavonoles
<i>D. caryophyllus</i>	42.75	755.2	Quercetina 3-O-ramnosil-ramnosil-glucósido	Flavonoles
<i>D. caryophyllus</i>	38.66	355	Ácido ferúlico 4-O-glucósido	Ácidos metoxicinámicos
<i>D. caryophyllus</i>	36.46	325.1	Ácido p-cumárico 4-O-glucósido	Ácidos hidroxicinámicos
<i>D. caryophyllus</i>	34.01	501.1	6"-O-malonildaidzina	Isoflavonas
<i>D. caryophyllus</i>	29.38	329	3,7-dimetilquercetina	Metoxiflavonoles
<i>D. caryophyllus</i>	7.73	341.1	Ácido cafeico 4-O-glucósido	Ácidos hidroxicinámicos
<i>D. caryophyllus</i> acuoso	8.35	341	Ácido cafeico 4-O-glucósido	Ácidos hidroxicinámicos
<i>S. bicolor</i>	8.84	341	Cafeoil glucosa	Ácidos hidroxicinámicos

C. chinense destaca por la presencia de escopoletina (hidroxycumarinas) y kaempferol 3-O-glucosil-ramnosil-glucósido (flavonoles), *D. caryophyllus* sobresale por una amplia gama de compuestos, entre los cuales se destacan las antocianinas como cianidina 3-O-glucósido y pelargonidina 3-O-glucósido, así como flavonoles y ácidos fenólicos, *D. caryophyllus* acuoso comparte algunos de los compuestos de su variante no acuosa, con énfasis en el ácido cafeico, *S. bicolor* resalta por el cafeoil glucosa, un compuesto antioxidante relevante.

Efectos sobre la germinación

El efecto de *C. chinense*, *D. caryophyllus* y *S. bicolor* sobre la germinación se evaluó mediante el porcentaje de germinación sobre semillas de *P. vulgaris* y *A. sativa*. Los resultados revelaron una disminución en el crecimiento, con diferencias significativas entre los tratamientos, como se muestra en las Tablas 4 y 5 se observó que la menor germinación se encontró en las dosis de 5 000 ppm en todos los extractos evaluados para *P. vulgaris* (Figura 1), mientras que, para *A. sativa*, el extracto con mejores resultados fue el de *C. chinense*, en comparación con el control no tratado (Figura 2).

Tabla 4. Efecto de diferentes extractos vegetales en la germinación de semillas de *P. vulgaris*.

Extractos	Control (%)	1 250ppm (%)	2 500ppm (%)	5 000ppm (%)
<i>C. chienense</i>	100 ^a	6 ^{bc}	6 ^{bc}	3 ^c
<i>D. caryophyllus</i>	100 ^a	10 ^b	6 ^{bc}	0 ^c
<i>D. caryophyllus</i> acuoso	100 ^a	10 ^b	6 ^{bc}	0 ^c
<i>S. bicolor</i>	100 ^a	8 ^b	6 ^{bc}	0 ^c

Tabla 5. Efecto de diferentes extractos vegetales en la germinación de semillas de *A. sativa*.

Extractos	Control (%)	1 250ppm (%)	2 500ppm (%)	5 000ppm (%)
<i>C. chienense</i>	100 ^a	60 ^{abc}	43 ^{bcd}	6 ^d
<i>D. caryophyllus</i>	100 ^a	63 ^{ab}	66 ^a	23 ^{de}
<i>D. caryophyllus</i> acuoso	100 ^a	73 ^a	73 ^a	40 ^{cd}
<i>S. bicolor</i>	100 ^a	73 ^a	63 ^{ab}	26 ^{de}

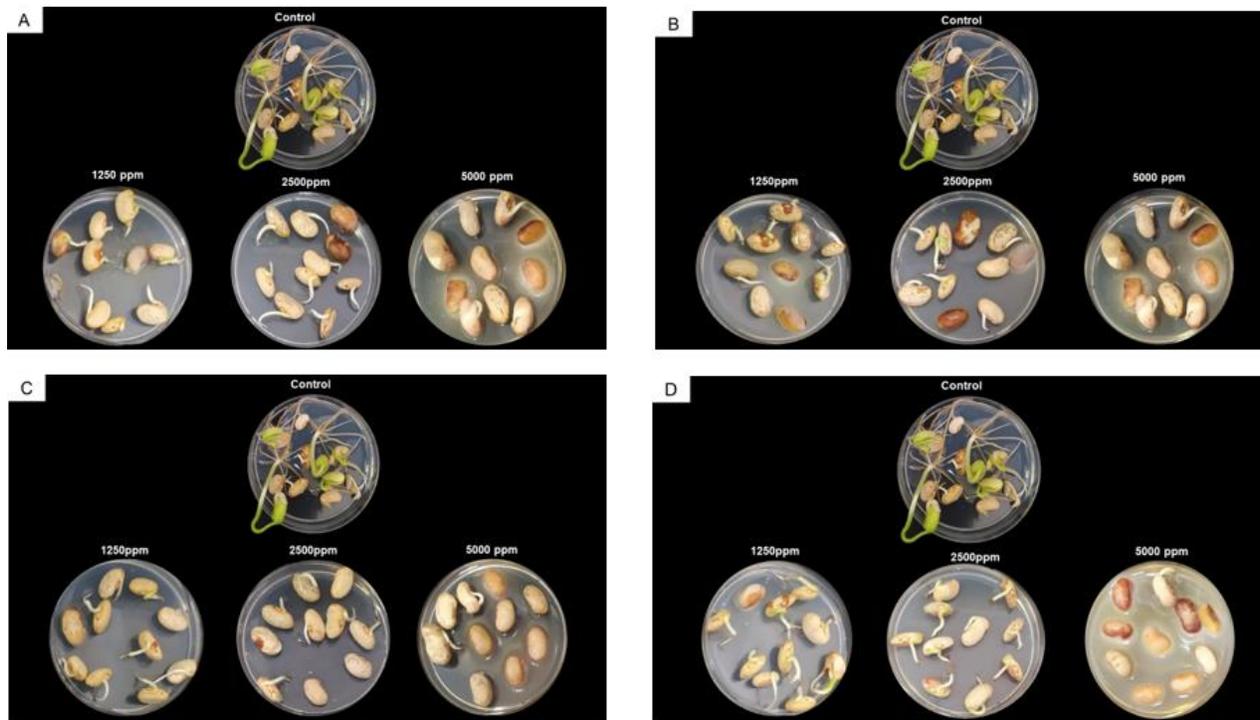


Figura 1. Crecimiento de *P. vulgaris* frente a los distintos tratamientos utilizados.

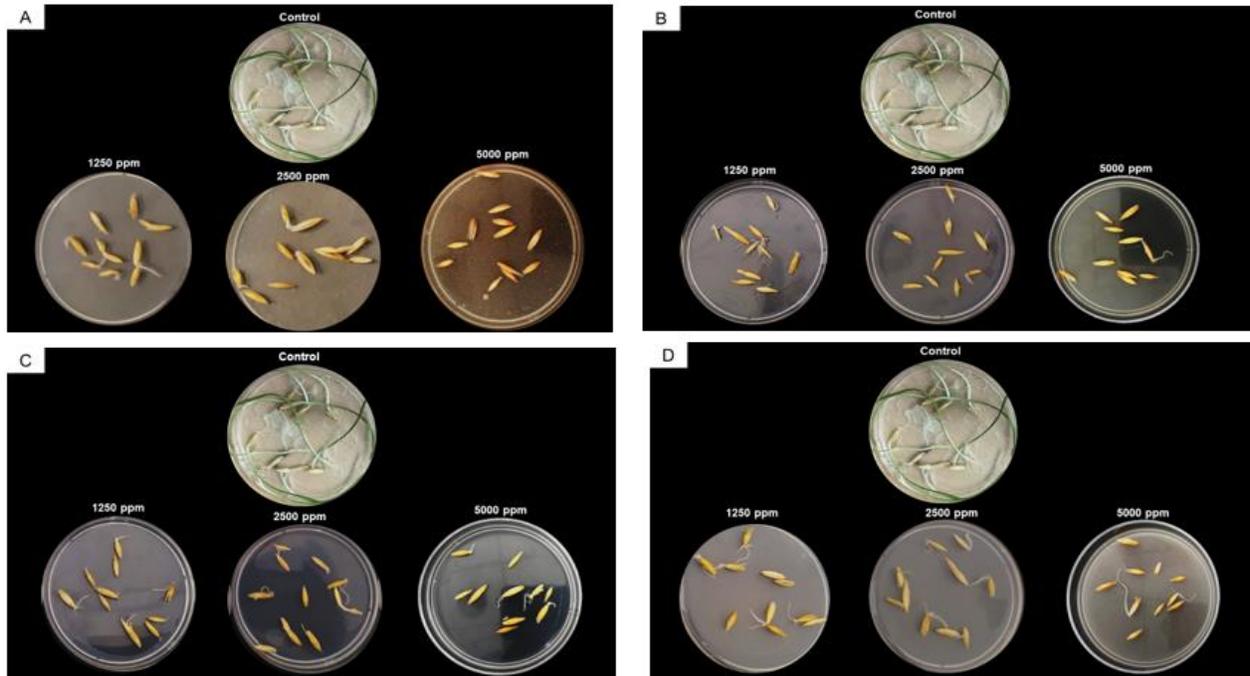


Figura 2. Crecimiento de *A. sativa* frente a los distintos tratamientos utilizados.

Se observó que las concentraciones inhibitorias para reducir la germinación en un 50% para *P. vulgaris* fueron de 1 109.23 ppm, según se muestra en la Tabla 6. En cuanto a la germinación de *A. sativa*, se puede observar que la concentración letal 50 fue de 2 502.08 ppm (Tabla 7).

Tabla 6. Concentraciones inhibitorias (ppm) de los extractos vegetales contra la germinación de semillas de *P. vulgaris*.

Extracto	CL ₅₀ (ppm)	Límite fiducial		P-valor	χ ²
		Inferior	Superior		
<i>C. chinense</i>	1 132.51	912.223	1 337.82	<.0001	15.82
<i>D. caryophyllus</i>	1 381.21	1 022.33	1 712.68	<.0001	37.41
<i>D. caryophyllus</i> acuoso	1 531.24	1 185.25	1 862.54	<.0001	28.67
<i>S. bicolor</i>	1 109.23	8 27.264	1 365.74	<.0001	159.60

Tabla 7. Concentraciones inhibitorias (ppm) de los extractos vegetales contra la germinación de semillas de *A. sativa*.

Extracto	CL ₅₀ (ppm)	Límite fiducial		P-valor	χ ²
		Inferior	Superior		
<i>C. chinense</i>	2 502.08	2 146.99	2 146.99	<.0001	09.07
<i>D. caryophyllus</i>	3 070.25	2 606	3 636.65	<.0001	15.87
<i>D. caryophyllus</i> acuoso	4 070.53	3 449.91	5 008.94	<.0001	09.63
<i>S. bicolor</i>	3 264	2 821.85	3 806.71	<.0001	06.41

DISCUSIÓN

Determinación de la capacidad antioxidante

Los resultados obtenidos de la actividad antioxidante en los extractos de *C. chinense*, *D. caryophyllus* y *S. bicolor* revelan diferencias significativas en la composición de los compuestos activos que podrían estar relacionados con su capacidad para neutralizar los radicales libres. En el caso de *C. chinense*, su capacidad antioxidante puede ser atribuida a compuestos como los capsaicinoides, carotenoides y ácidos orgánicos, los cuales se han relacionado con la neutralización de radicales libres en varias especies vegetales (Kothari *et al.* 2010, Sora *et al.* 2015). Los capsaicinoides, por ejemplo, tienen una estructura molecular que incluye un grupo fenólico que puede donar electrones para neutralizar los radicales (Reyes-Escogido *et al.* 2011). Este tipo de actividad antioxidante podría ser de gran relevancia en la protección celular frente al estrés oxidativo (Balbi y Devoto 2008). Es importante destacar que, en concentraciones altas, algunos antioxidantes pueden tener efectos negativos sobre el crecimiento de las plantas, lo que resalta la necesidad de estudios adicionales para comprender mejor las dosis óptimas para su uso (Ratnayaka *et al.* 2003).

Identificación de compuestos de *C. chinense*, *D. caryophyllus* y *S. bicolor* mediante CG-MS

El análisis mediante cromatografía de gases-espectrometría de masas (CG-MS) indentificó diversos compuestos activos en los extractos de *C. chinense*, *D. caryophyllus* y *S. bicolor*. En *C. chinense*, destacan compuestos como la escopoletina, una cumarina conocida por sus propiedades antioxidantes y herbicidas (Razavi 2011), y el kaempferol 3-O-glucosil-ramnosil-glucósido, un flavonoide con potentes propiedades antioxidantes. Estos compuestos contribuyen no solo a la actividad antioxidante, sino también a la acción de inhibición de la germinación de semillas. En *D. caryophyllus*, la cianidina 3-O-glucósido y la pelargonidina 3-O-glucósido son antocianinas con reconocidas propiedades antioxidantes y pueden actuar como aleloquímicos, inhibiendo la germinación de semillas y el crecimiento vegetativo (Al-Snafi 2017). El ftalato de dibutilo (DBP) identificado en este extracto es un disruptor endocrino, lo que indica que podría influir en las interacciones hormonales durante la germinación, afectando el desarrollo de las semillas. Para *S. bicolor*, destacó la presencia de cafeoil glucosa, un compuesto de la familia de los ácidos hidroxicinámicos, que también puede contribuir a las propiedades fitotóxicas observadas (Shajib *et al.* 2012).

Identificación de compuestos de *C. chinense*, *D. caryophyllus* y *S. bicolor* mediante HPLC-M

El análisis mediante HPLC-M también permitió identificar compuestos relevantes en los extractos de *C. chinense*, *D. caryophyllus* y *S. bicolor*. En *C. chinense*, la escopoletina y el kaempferol 3-O-glucosil-ramnosil-glucósido fueron nuevamente identificados, reforzando su posible contribución a la actividad antioxidante y a las propiedades bioherbicidas del extracto. En *D. caryophyllus*, se identificaron varias antocianinas, como la cianidina 3-O-xilosil-rutinósido y la quercetina 3-O-rutinósido, los cuales están asociados con propiedades antioxidantes y fitotóxicas (Liu *et al.* 2016). Estos compuestos, junto con las flavonas y cumarinas, podrían ejercer un efecto inhibitorio sobre la germinación y el crecimiento vegetal, lo que sugiere que el extracto de *D. caryophyllus* tiene un gran potencial como bioherbicida (Ding *et al.* 2020). Diversos estudios han evaluado la actividad de compuestos individuales aislados de plantas, como flavonoides, alcaloides y terpenoides. Estas

diferentes clases de metabolitos secundarios varían en su relevancia en términos de actividad bioherbívora (Morra *et al.* 2018). En los extractos de las mismas especies, las proporciones de estos compuestos pueden diferir dependiendo del tipo de extracto y del método de extracción utilizado (De-Mastro *et al.* 2021).

Efectos sobre la germinación

El estudio de los efectos de los extractos sobre la germinación de semillas mostró que los extractos de *C. chinense*, *D. caryophyllus* y *S. bicolor* presentan propiedades fitotóxicas que afectan la germinación y el crecimiento de las semillas. En particular, los compuestos identificados en *C. chinense*, como los capsaicinoides y salicilatos, pueden interferir con la germinación y el desarrollo de las raíces, lo que es consistente con la literatura sobre sus efectos bioherbívora (Vlot *et al.* 2009, Loake y Grant 2007). De manera similar, el extracto de *D. caryophyllus* presentó efectos inhibitorios en la germinación, posiblemente debido a la presencia de antocianinas y el ftalato de dibutilo, un disruptor endocrino que interfiere en el equilibrio hormonal necesario para la germinación (Waliszewski *et al.* 2002).

Por último, el extracto de *S. bicolor*, con la presencia de cafeoil glucosa, mostró un efecto negativo sobre la germinación de las semillas, sugiriendo que sus compuestos activos tienen potencial para ser utilizados en el control de malezas. Estos hallazgos respaldan la evidencia de que las fitotoxinas derivadas de plantas, como los aleloquímicos y aceites esenciales, tienen un alto potencial para controlar malezas (Islam y Kato-Noguchi 2014, Dos Santos *et al.* 2019, De-Mastro *et al.* 2021). Los aleloquímicos, metabolitos secundarios que inducen cambios perjudiciales en las enzimas y procesos metabólicos de otras plantas, pueden causar estrés y muerte gradual (Nazemi *et al.* 2018, Roberts *et al.* 2022, Dos-Santos *et al.* 2019). Los compuestos bioactivos en los extractos de *C. chinense*, *D. caryophyllus* y *S. bicolor* muestran efectos antioxidantes y fitotóxicos significativos, lo que sugiere su potencial como bioherbívora naturales. No obstante, se requieren más investigaciones para determinar las concentraciones óptimas y su seguridad en aplicaciones agrícolas.

CONCLUSIONES

La identificación de compuestos bioactivos en los extractos de *C. chinense*, *D. caryophyllus* y *S. bicolor* a través de técnicas como CG-MS y HPLC-M reveló una amplia variedad de componentes antioxidantes. Los extractos demostraron diferentes concentraciones de fenoles y antioxidantes, destacándose *C. chinense* por su mayor actividad antioxidante. Además, los efectos de los extractos sobre la germinación mostraron que las concentraciones inhibitorias de germinación fueron de 1109.23 ppm para *P. vulgaris* y 2502.08 ppm para *A. sativa*, lo que subraya la importancia de determinar la concentración letal para evaluar estos compuestos en aplicaciones biológicas.

CONFLICTO DE INTERÉS

Los autores declaran que no tienen intereses en competencia.

LITERATURA CITADA

- Al-Snafi AE (2017) Chemical contents and medical importance of *Dianthus caryophyllus*- A review. IOSR Journal of Pharmacy 07(03): 61-71. <https://doi.org/10.9790/3013-0703016171>
- Balbi V, Devoto A (2008) Jasmonate signalling network in Arabidopsis thaliana: Crucial regulatory nodes and new physiological scenarios. New Phytologist 177(2): 301-318. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2007.02292.x>
- Bastidas DA, Guerrero JA, Wyckhuys K (2013) Residuos de plaguicidas en cultivos de pasifloras en regiones de alta producción en Colombia. Revista Colombiana de Química 42(2): 39-47.
- Bo AB, Kim JD, Kim YS, Sin HT, Kim HJ, Khaitov B, Choi JS (2019) Isolation, identification and characterization of *Streptomyces* metabolites as a potential bioherbicide. PloS One 14(9): e0222933. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0222933>
- Castillo F, Hernández D, Gallegos G, Mendez M, Rodríguez R, Reyes A, Aguilar CN (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. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2010.05.013>
- Cerda-Cejudo ND, Buenrostro-Figueroa JJ, Sepúlveda L, Torres-Leon C, Chávez-González ML, Ascacio-Valdés JA, Aguilar CN (2022) Recovery of ellagic acid from mexican rambutan peel by solid-state fermentation-assisted extraction. Food and Bioprocess Processing 134: 86-94. <https://doi.org/10.1016/j.fbp.2022.05.001>
- Cordeau S, Triolet M, Wayman S, Steinberg C, Guillemain JP (2016) Bioherbicides: Dead in the water? A review of the existing products for integrated weed management. Crop Protection 87: 44-49. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2016.04.016>
- Ding J, Liu J, Zhang Z, Guo J, Cheng M, Wan Y, Xie SS (2020). Design, synthesis and biological evaluation of coumarin-based N-hydroxycinnamamide derivatives as novel histone deacetylase inhibitors with anticancer activities. Bioorganic Chemistry 101: 104023. <https://doi.org/10.1016/j.bioorg.2020.104023>
- De-Mastro G, El-Mahdi J, Ruta C (2021). Bioherbicidal potential of the essential oils from Mediterranean *Lamiaceae* for weed control in organic farming. Plants 10(4): 818. <https://doi.org/10.3390/plants10040818>
- Dos Santos FE, Carvalho MSS, Silveira GL, Correa FF, Cardoso MDG, Andrade-Vieira LF, Vilela LR (2019) Phytotoxicity and cytogenotoxicity of hydroalcoholic extracts from *Solanum muricatum* Ait. and *Solanum betaceum* Cav. (*Solanaceae*) in the plant model *Lactuca sativa*. Environmental Science and Pollution Research 26: 27558-27568. <https://doi.org/10.1007/s11356-017-1015-x>
- Espinosa-García FJ, Villaseñor JL (2017) Biodiversity, distribution, ecology and management of non-native weeds in Mexico: A review. Revista Mexicana de Biodiversidad 88: 76-96. <https://doi.org/10.1016/j.rmb.2017.10.010>
- Fisher AJ (2013) Resistencia a herbicidas: Mecanismos y mitigación. Revista Especial de Malezas 29: 13-19.
- Fu Y, Zhang SQ, Liu YX, Wang JY, Gao S, Zhao LX, Ye F (2019) Design, synthesis, SAR and molecular docking of novel green niacin-triketone HPPD inhibitor. Industrial Crops and Products 37: 566-575. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2019.05.070>
- González XA, Ronquillo-Cedillo I, Ávila-Nájera DM, Rodríguez-Hernández C, Pedraza-Mandujano J, Martínez-Jiménez DL (2022) Riesgos a la salud por el uso de herbicidas. Producción Agropecuaria y Desarrollo Sostenible 10(1): 23-33. <https://doi.org/10.5377/payds.v10i1.13341>
- Guevara-González J, Narváez-Flies C, Marín-Navarrete A, Gutiérrez-López J, Troncoso-Troncoso C (2019) Bioherbicida a partir de extracto fenólico obtenido de residuos de almazaras. Scientia Agropecuaria 10(4): 497-503. <http://dx.doi.org/10.17268/sci.agropecu.2019.04.06>
- Hoagland RE (2001) Microbial allelochemicals and pathogens as bioherbicidal agents. Weed Technology 15(4): 835-857. [https://doi.org/10.1614/0890-037X\(2001\)015\[0835:MAAPAB\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1614/0890-037X(2001)015[0835:MAAPAB]2.0.CO;2)

- Islam AM, Kato-Noguchi H (2014) Phytotoxic activity of *Ocimum tenuiflorum* extracts on germination and seedling growth of different plant species. *The Scientific World Journal* 2014(1): 676242. <https://doi.org/10.1155/2014/676242>
- Kothari SL, Joshi A, Kachhwaha S, Ochoa-Alejo N (2010) Chilli peppers a review on tissue culture and transgenesis. *Biotechnology Advances* 28(1): 35-48. <https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2009.08.005>
- Liu X, Tian F, Tian Y, Wu Y, Dong F, Xu J, Zheng Y (2016) Isolation and identification of potential allelochemicals from aerial parts of *Avena fatua* L. and their allelopathic effect on wheat. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 64(18): 3492-3500. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.5b05498>
- Lo CM, Han J, Wong ES (2020) Chemistry in aromatherapy—extraction and analysis of essential oils from plants of *Chamomilla recutita*, *Cymbopogon nardus*, *Jasminum officinale* and *Pelargonium graveolens*. *Biomedical and Pharmacology Journal* 13(03): 1339-1350. <https://dx.doi.org/10.13005/bpj/2003>
- Loake G, Grant M (2007) Salicylic acid in plant defense the players and protagonists. *Current Opinion in Plant Biology* 10(5): 466-472. <https://doi.org/10.1016/j.pbi.2007.08.008>
- Martínez-Ávila GC, Aguilera-Carbó AF, Rodríguez-Herrera R, Aguilar CN (2012) Fungal enhancement of the antioxidant properties of grape waste. *Annals of Microbiology* 62(3): 923-930. <https://doi.org/10.1007/s13213-011-0329-z>
- Montull JM, Torra J (2023) Herbicide resistance is increasing in Spain: Concomitant management and prevention. *Plants* 12(3): 469. <https://doi.org/10.3390/plants12030469>
- Morra MJ, Popova IE, Boydston RA (2018) Bioherbicidal activity of *Sinapis alba* seed meal extracts. *Industrial Crops and Products* 115: 174-181. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2018.02.027>
- Nazemi AH, Asadi GA, Ghorbani R (2018) Allelopathic potential of lavender's Extract and coumarin applied as pre-plant incorporated into soil under agronomic conditions. *Planta Daninha* 36: e018160777. <https://doi.org/10.1590/S0100-83582018360100069>
- Nielsen SS (2003) Food analysis laboratory manual. 3 edición. Kluwer Academic/Plenum Publishers, New York, NY, USA. 557p.
- Palau H, Senesi S, Moggi L, Ordoñez I (2015) Impacto económico macro y micro de malezas resistentes en el agro argentino. *ADAMAFABA* 43(1): 66-68.
- Qiao L, Hao S (2018) Novel trifluoromethylcoumarinyl urea derivatives: Synthesis, characterization, fluorescence, and bioactivity. *Molecules* 23(3): 600 <https://doi.org/10.3390/molecules23030600>
- Ratnayaka HH, Molin WT, Sterling TM (2003) Physiological and antioxidant responses of cotton and spurred anoda under interference and mild drought. *Journal of Experimental Botany* 54(391): 2293-2305. <https://doi.org/10.1093/jxb/erg251>
- Razavi SM (2011) Plant coumarins as allelopathic agents. *International Journal of Biological Chemistry* 5(1): 86-90.
- Reyes-Escogido ML, Gonzalez-Mondragon EG, Vazquez-Tzompantzi E (2011) Chemical and pharmacological aspects of capsaicin. *Molecules* 16(2): 1253-1270. <https://doi.org/10.3390/molecules16021253>
- Roberts J, Florentine S, Fernando WD, Tennakoon KU (2022) Achievements, developments and future challenges in the field of bioherbicides for weed control: A global review. *Plants* 11(17): 2242. <https://doi.org/10.3390/plants11172242>
- Shajib MTI, Pedersen HA, Mortensen AG, Kudsk P, Fomsgaard IS (2012) Phytotoxic effect, uptake, and transformation of biochanin A in selected weed species. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 60(43): 10715-10722. <https://doi.org/10.1021/jf3023589>
- Sora GTS, Haminiuk CWI, da Silva MV, Zielinski AAF, Gonçalves GA, Bracht A, Peralta RM (2015) A comparative study of the capsaicinoid and phenolic contents and *In vitro* antioxidant activities of the peppers of the genus *Capsicum*: An application of chemometrics. *Journal of Food Science and Technology* 52: 8086-8094.

- Steel RG, Torrie JH (1981) Principles and procedures of statistics, a biometrical approach. McGraw-Hill Kogakusha, Ltd. Japan. 633p.
- Tucuch-Pérez MA, Mendo-González EI, Ledezma-Pérez A, Iliná A, Hernández-Castillo FD, Barrera-Martínez CL, 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>
- Vlot AC, Dempsey DMA, Klessig DF (2009) Salicylic acid, a multifaceted hormone to combat disease. Annual Review of Phytopathology 47: 177-206. <https://doi.org/10.1146/annurev.phyto.050908.135202>
- Waliszewski SM, Szymczynski GA, Serafin Z, Infanzón RM, Siliceo J (2002) Ésteres de ftalatos-factor orquidotóxico. Revista Internacional de Contaminación Ambiental 18(2): 91-105.
- Zenil-Lugo N, Colinas-León MT, Bautista-Bañuelos C, Vázquez-Rojas TR, Lozoya-Saldaña H, Martínez-Damián MT (2014) Fenoles totales y capacidad antioxidante estimada con los ensayos DPPH/ABTS en rosas en soluciones preservantes. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas 5(6): 1029-1039.