

## Actividad biológica de extractos vegetales del semidesierto mexicano para manejo de *Fusarium oxysporum* de tomate

### Biological activity of plant extracts from Mexican semi-desert to management of *Fusarium oxysporum* from tomato

Marco Antonio Tucuch-Pérez<sup>1</sup> ,  
José Jesús Bojórquez-Vega<sup>2</sup> ,  
Roberto Arredondo-Valdes<sup>3</sup> ,  
Francisco Daniel Hernández-Castillo<sup>1\*</sup> ,  
Julia Cecilia Anguiano-Cabello<sup>4</sup> 

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

<sup>2</sup>Universidad Autónoma de Chapingo. Departamento de Parasitología. Carretera Federal México-Texcoco Km 38.5. CP. 56230. Texcoco, Estado de México, México.

<sup>3</sup>Universidad Autónoma de Coahuila. Facultad de Ciencias Químicas. Departamento de Nanobiociencias. Saltillo, Coahuila, México. Ing. J.Cardenas Valdez S/N, Col. República, CP. 25280. Saltillo, Coahuila, México.

<sup>4</sup>Universidad LaSalle. Carretera Antigua a Arteaga Km 8. CP. 25298. Saltillo, Coahuila, México.

\*Autor de correspondencia:  
fdanielhc@hotmail.com

#### Nota científica

Recibida: 19 de octubre 2020

Aceptada: 29 de julio 2021

**Como citar:** Tucuch-Pérez MA, Bojórquez-Vega JJ, Arredondo-Valdes R, Hernández-Castillo FD, Anguiano-Cabello JC (2021) Actividad biológica de extractos vegetales del semidesierto mexicano para manejo de *Fusarium oxysporum* de tomate. Ecosistemas y Recursos Agropecuarios 8(2): e2745. DOI: 10.19136/era.a8n2.2745

**RESUMEN.** *Fusarium oxysporum* causa pérdidas en la producción de tomate, para su control se emplean fungicidas químicos que afectan el medio ambiente y causan problemas de resistencia; por lo que se han desarrollado alternativas como los extractos vegetales. El objetivo del presente trabajo fue evaluar la efectividad biológica de extractos de plantas del semidesierto mexicano contra *F. oxysporum* bajo condiciones de invernadero. Los tratamientos fueron: T1 = *A. lechuguilla* hoja (250 mg L<sup>-1</sup>), T2 = *C. illinoensis* ruezno (250 mg L<sup>-1</sup>), T3 = *L. graveolens* hoja (500 mg L<sup>-1</sup>), T4 = *L. graveolens* tallo (125 mg L<sup>-1</sup>), T5 = testigo químico, T6 = testigo absoluto (inoculado) y T7 = control; a los que se les evaluó la incidencia y severidad de la enfermedad, y variables morfométricas. Se observó disminución de la incidencia y severidad de la enfermedad con extractos de *A. lechuguilla* hoja y *L. graveolens* tallo, además de un mayor desarrollo en parámetros morfométricos de las plantas.

**Palabras clave:** Agricultura orgánica, *A. lechuguilla*, fungicidas botánicos, *L. graveolens*, manejo de enfermedades.

**ABSTRACT.** *Fusarium oxysporum* causes losses in tomato production, to control it are used chemical fungicides that affect the environment and cause resistance problems; so alternatives such as plant extracts have been developed. The objective of the present work was to evaluate the biological effectiveness of plant extracts from the Mexican semi-desert against *F. oxysporum* under greenhouse conditions. The treatments were: T1 = *A. lechuguilla* leaf (250 mg L<sup>-1</sup>), T2 = *C. illinoensis* husk (250 mg L<sup>-1</sup>), T3 = *L. graveolens* leaf (500 mg L<sup>-1</sup>), T4 = *L. graveolens* stem (125 mg L<sup>-1</sup>), T5 = chemical witness, T6 = absolute witness (inoculated) and T7 = control; the incidence and severity of the disease, and morphometric variables were evaluated. A decrease in the incidence and severity of the disease was observed with extracts of *A. lechuguilla* leaf and *L. graveolens* stem, also a higher development in morphometric parameters of the plants.

**Key words:** Organic farming, *A. lechuguilla*, botanical fungicides, *L. graveolens*, diseases management.

## INTRODUCCIÓN

El tomate (*Solanum lycopersicum* L.) es el cuarto vegetal cultivado en el mundo, con una superficie de más de 3 millones de hectáreas, solo por detrás del arroz, trigo y soya (FAOSTAT 2019). En México la superficie sembrada es de 52 374 ha, con una producción de 2 875 164 t; siendo el séptimo cultivo con mayor valor solo por detrás del maíz, caña de azúcar, aguacate, pastos, sorgo y chile verde. Pero el cultivo del tomate es afectado por hongos fitopatógenos como *Fusarium oxysporum* que causa el marchitamiento vascular, una de las enfermedades más destructivas en regiones donde se cultiva el tomate, pudiendo causar pérdidas de 80 a 100% si no es controlado (Ates et al. 2019). Su control actualmente se realiza con productos sintéticos, pero el uso excesivo e indiscriminado de estos productos ha ocasionado resistencia de los microorganismos hacia los ingredientes activos; debido a esto se hace necesario el desarrollo de alternativas para el control de enfermedades vasculares como la causada por *F. oxysporum* (Jeong et al. 2017).

Los extractos vegetales con propiedades antifúngicas son una alternativa para el manejo de enfermedades en plantas, debido a metabolitos secundarios como flavonoides, fenoles, terpenos, aceites esenciales, alcaloides, lectinas y polipéptidos, los cuales presentan mecanismos de acción variable. En el caso de los fenoles la toxicidad sobre microorganismos se atribuye a inhibición enzimática por oxidación de compuestos. El modo de acción de los terpenos y aceites esenciales no ha sido dilucidado por completo, pero se postula que pueden causar rompimiento de la membrana a través de los compuestos lipofílicos; de los alcaloides se ha postulado que se intercalan con el ADN y lo degradan. Las lectinas y polipéptidos se conocen que pueden formar canales iónicos en la membrana microbiana o causar la inhibición competitiva por adhesión de proteínas microbianas a los polisacáridos receptores del hospedero (Górniak et al. 2019).

En el caso de México, en el desierto Chihuahuense existen gran diversidad de plantas que producen compuestos con actividad antifúngica. En

tre estas plantas se encuentran *Agave lechuguilla*, *Carya illinoensis* y *Lippia graveolens*. *A. lechuguilla* produce saponinas, esteroides y compuestos fenólicos (Tucuch et al. 2020); de *C. illinoensis* se han identificado moléculas bioactivas como compuestos fenólicos y compuestos antioxidantes (Rábago - Panduro et al. 2020); mientras que *L. graveolens* presenta compuestos como aceites esenciales, timol, carvacrol, flavonoides y monoterpenos (García-Pérez et al. 2012). En este sentido Messgo-Moumene et al. (2017) mencionan que extractos etanólicos de *C. illinoensis* presentaron actividad antifúngica de hasta el 90% de inhibición sobre *Phytophthora infestans*. Por lo anterior el objetivo del presente trabajo fue determinar la actividad biológica de extractos etanólicos de *A. lechuguilla*, *C. illinoensis* y *L. graveolens* sobre *F. oxysporum* en plantas de tomate bajo condiciones de invernadero.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Colecta de plantas con actividad antifúngica

La colecta de las especies *A. lechuguilla*, *C. illinoensis* y *L. graveolens* se llevó a cabo en el municipio de General Cepeda, Coahuila, México. Las muestras se colocaron en bolsas plásticas y se trasladaron al Laboratorio de Micología y Biotecnología de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. En el laboratorio, las muestras se lavaron con agua, se secaron, se cortaron en piezas de un 1 cm y se separaron las distintas partes de las plantas, en el caso de *A. lechuguilla* se utilizaron las hojas, para *L. graveolens* las hojas y tallos, y el ruzno de *C. illinoensis*; el siguiente paso consistió en colocarlas en estufa de secado a 60 °C hasta peso constante; para posteriormente pulverizarla y tamizarlas con malla de poro de 0.2 mm (Castillo et al. 2010).

### Obtención de la cepa de *F. oxysporum*

La cepa de *F. oxysporum* aislada de plantas de tomate fue proporcionada por el Laboratorio de Micología y Biotecnología del Departamento de Parasitología de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Esta cepa pertenece a la colección microbiológica de dicho laboratorio. La cepa está

identificada con el código FoC1, con clave de acceso al GenBank KU533843.1; para asegurar la patogenicidad de dicha cepa, se realizaron pruebas de patogenicidad, las cuales resultaron positivas.

### Preparación de los extractos vegetales

Se utilizó etanol como solvente; se agregaron 14 g del polvo en 200 mL de etanol, y se colocaron en agitación durante 72 h a 50 °C (Shami *et al.* 2013, Jasso de Rodríguez *et al.* 2015). Posteriormente el extracto se filtró con papel filtro Wathman No. 1, se rotoevaporó a 150 RPM a 60 °C; se colocó en una estufa de secado para posteriormente pulverizarlo y almacenarlo a -20 °C (Martins *et al.* 2013).

### Inoculación de *F. oxysporum*

Se utilizaron plantas de tomate Saladette variedad Rio Grande, las cuales se trasplantaron en macetas de 4 kg. El sustrato utilizado consistió de una mezcla de tierra y peat moss previamente esterilizado en una relación 50/50; las plantas se fertilizaron con solución Steiner mediante fertirrigación. La cepa proporcionada se cultivó en medio de cultivo PDA y se incubó durante siete días a 28 °C. Se cosecharon las esporas de *F. oxysporum* y se concentraron en una solución a  $1 \times 10^6$  esporas mL<sup>-1</sup>. La inoculación de las plantas se realizó mediante un corte en la parte apical de las raíces, sumergiéndolas en la solución de conidios durante 3 min; transcurrido el tiempo se trasplantaron a las macetas.

### Aplicación de los tratamientos

Los tratamientos utilizados fueron: T1 = *A. lechuguilla* hoja (250 mg L<sup>-1</sup>), T2 = *C. illinoensis* ruezno (250 mg L<sup>-1</sup>), T3 = *L. graveolens* hoja (500 mg L<sup>-1</sup>), T4 = *L. graveolens* tallo (125 mg L<sup>-1</sup>), T5 = testigo químico (Benomilo 1 g L<sup>-1</sup>), T6 = Testigo absoluto (inoculado) y T7 = control; en relación al testigo químico este se eligió ya que está reportado para control de *F. oxysporum*. Estos tratamientos se seleccionaron a partir de lo reportado por Tucuch *et al.* (2020), por ser plantas nativas del semidesierto mexicano, y de las cuales se tiene reporte de su actividad antifúngica. Los tratamientos se aplicaron por aspersión y se realizaron tres aplicaciones. La

primera fue durante el trasplante antes de colocar las plántulas en las macetas directamente en el hoyo donde se colocaron las plántulas, asperjando tres veces 15 mL; las otras dos aplicaciones se realizaron a los 15 y 40 días después de la primera aplicación, directamente en la base del tallo.

### Variables evaluadas

Se evaluó la incidencia y la severidad de la enfermedad; así como variables morfológicas a los 90 días después del trasplante. La incidencia se evaluó utilizando la fórmula:

$$\text{Incidencia} = \frac{\text{No. de plantas enfermas}}{\text{Total de plantas}} (100)$$

En el caso de severidad del follaje se utilizó la escala propuesta por Marlatt *et al.* (1996), que mide en un rango del 1 al 5, donde: 1 = sin síntomas; 2 = clorosis ligera; 3 = clorosis moderada y marchitamiento; 4 = clorosis severa y marchitamiento y 5 = muerte de la planta. Las variables morfológicas fueron: peso seco de biomasa aérea, altura de planta, diámetro de tallo y clorofila en hojas.

### Diseño experimental

La prueba de efectividad biológica se estableció bajo un diseño completamente al azar con siete tratamientos y seis repeticiones. Los datos de las variables evaluadas (incidencia, severidad, peso seco de biomasa aérea, altura de planta, diámetro de tallo y clorofila en hojas) se sometieron a ANOVA y prueba de comparación de medias de Tukey ( $p \leq 0.05$ ), con el programa estadístico Statistical Analysis Sys, versión 9.0., cumpliéndose los supuestos de normalidad.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Incidencia y severidad de la enfermedad

No se observaron diferencias estadísticas entre los tratamientos en relación al testigo absoluto (inoculado); las plantas tratadas con *A. lechuguilla* hoja y *L. graveolens* tallo fueron las que presentaron menor incidencia en relación al testigo absoluto (inoculado) con 83.33 y 91.67%, respectivamente

(Tabla 1). En relación a la severidad de la enfermedad, no se observaron diferencias estadísticas entre los extractos vegetales, solamente se presentó diferencia entre el extracto de *L. graveolens* tallo con el testigo absoluto (inoculado). De todos los extractos vegetales, en las plantas tratadas con *L. graveolens* tallo se observó la menor severidad de la enfermedad con 2.08, seguidas de las plantas tratadas con los extractos de *A. lechuguilla*, *C. illinoensis* ruezno, el testigo químico y *L. graveolens* hoja con 2.17, 2.58, 2.58 y 2.67 respectivamente; siendo la severidad de todos los tratamientos menor a la presentada en relación al testigo absoluto (inoculado) (Tabla 1).

**Tabla 1.** Incidencia y severidad en follaje de plantas de tomate por *F. oxysporum* tratadas con diversos tratamientos.

Tratamiento	Incidencia (%)	Severidad en follaje*
1. <i>A. lechuguilla</i> hoja	83.33 <sup>a</sup>	2.17 <sup>ab</sup>
2. <i>C. illinoensis</i> ruezno	100.00 <sup>a</sup>	2.58 <sup>ab</sup>
3. <i>L. graveolens</i> hoja	100.00 <sup>a</sup>	2.67 <sup>ab</sup>
4. <i>L. graveolens</i> tallo	91.67 <sup>a</sup>	2.08 <sup>b</sup>
5. Químico	100.00 <sup>a</sup>	2.58 <sup>ab</sup>
6. Testigo absoluto (inoculado)	100.00 <sup>a</sup>	2.75 <sup>a</sup>
7. Control	8.33 <sup>b</sup>	0.25 <sup>c</sup>

\*Valores con misma letra son estadísticamente iguales (Tukey,  $p \leq 0.05$ ).

El análisis de varianza demostró que no existieron diferencias estadísticas en incidencia y severidad de *F. oxysporum* entre tratamientos, sin embargo, numéricamente los extractos de *A. lechuguilla* hoja y *L. graveolens* tallo lograron disminuir la incidencia y severidad de la enfermedad, este efecto pudo ser debido a los compuestos fitoquímicos presentes en los extractos vegetales. En el caso del extracto de *A. lechuguilla*, la disminución en el desarrollo de la enfermedad se puede adjudicar a las saponinas ya que forman complejos con esteroides, los cuales pueden afectar las proteínas y fosfolípidos de la membrana del patógeno; así como a los taninos que son capaces de inhibir el transporte de electrones de la membrana del patógeno, y alteraciones como el hierro y el cobre causando inhibición de algunas enzimas esenciales para los microorganismos (Stuardo y San Martín 2008, Jasso de Rodríguez et al. 2011). El extracto de *L. graveolens* tallo posee flavonoides, taninos y saponinas, los cuales

pueden otorgar protección a las plantas frente a la enfermedad; en el caso de los flavonoides, estudios recientes demuestran que su actividad antioxidante afecta especies reactivas de oxígeno fúngicas procedentes de las mitocondrias del patógeno, las cuales intervienen en la formación del tubo germinal y de hifas, dilucidando así el modo de acción de su actividad antifúngica (Candiracci et al. 2012, Warris y Ballou 2019); estos compuestos también están presentes en las hojas, pero en el tallo es donde podría estar concentrada la mayor cantidad. Además de los compuestos mencionados la especie *L. graveolens* produce monoterpenos como el timol y carvacrol los cuales inducen la activación de genes de resistencia que podrían ser los responsables de proteger a la planta por lo que disminuye la severidad de la enfermedad (Banani et al. 2018). En este sentido Hanaa et al. (2011), observaron en plantas de tomate una reducción en la incidencia de la enfermedad de la marchitez causada por *F. oxysporum* de hasta un 30% con extractos de *Azardiachta indica* y *Salix babylonica*. En este trabajo se observó que para *L. graveolens*, el tallo puede ser una fuente potencial de flavonoides que podrían servir para desarrollar nuevos compuestos con aplicaciones agronómicas como lo mencionan Güereca et al. (2007).

### Peso seco de biomasa aérea y altura de planta

Se observó diferencia significativa entre el tratamiento químico y el tratamiento correspondiente a *C. illinoensis*. El mayor peso seco lo presentaron las plantas tratadas con el tratamiento químico con 32.17 g, seguidas de las plantas tratadas con el extracto de *A. lechuguilla* con 29.41 g, *L. graveolens* tallo con 26.53 g, y el extracto de *L. graveolens* hoja con 26.28 (Tabla 2). Para la variable altura de planta presentó diferencias estadísticas entre el tratamiento químico, y los extractos vegetales en relación al testigo absoluto (inoculado). Todos los tratamientos mostraron mayor altura que el testigo absoluto (inoculado), siendo el testigo químico el que otorgó mayor porte con 84.67 cm, seguido de las plantas tratadas con los extractos de *L. graveolens* hojas, *A. lechuguilla* hoja y *L. graveolens* tallo con 80.58 cm, 71.75 cm y 68.58 respectivamente; en el caso de

**Tabla 2.** Peso seco de biomasa aérea, altura de planta, diámetro de tallo, clorofila en hojas, número y peso de frutos de plantas de tomate inoculadas con *F. oxysporum* y tratadas con diversos tratamientos bajo condiciones de invernadero. Valores con misma letra son estadísticamente iguales.

Tratamientos	Peso seco (cm)	Altura de planta (cm)	Diámetro de tallo (mm)	Clorofila en hojas (Unidades SPAD)
1. <i>A. lechuguilla</i> hoja	29.41 <sup>ab</sup>	71.75 <sup>bc</sup>	10.15 <sup>a</sup>	18.72 <sup>b</sup>
2. <i>C. illinoensis</i> ruezno	20.47 <sup>d</sup>	67.83 <sup>c</sup>	8.83 <sup>c</sup>	14.00 <sup>bc</sup>
3. <i>L. graveolens</i> hoja	26.28 <sup>bc</sup>	80.58 <sup>ab</sup>	9.40 <sup>abc</sup>	12.96 <sup>b</sup>
4. <i>L. graveolens</i> tallo	26.53 <sup>bc</sup>	69.58 <sup>bc</sup>	9.57 <sup>abc</sup>	16.74 <sup>bc</sup>
5. Químico	32.17 <sup>a</sup>	84.67 <sup>a</sup>	9.65 <sup>abc</sup>	14.76 <sup>bc</sup>
6. Testigo absoluto (inoculado)	23.84 <sup>dc</sup>	52.17 <sup>d</sup>	8.94 <sup>bc</sup>	10.89 <sup>c</sup>
7. Control	26.58 <sup>bc</sup>	73.42 <sup>abc</sup>	9.76 <sup>abc</sup>	26.87 <sup>a</sup>

\*Valores con misma letra son estadísticamente iguales (Tukey,  $p \leq 0.05$ ).

las plantas tratadas con el extracto de *C. illinoensis* ruezno se observó que presentaron mayor altura en relación al testigo absoluto (inoculado); pero fueron las de menor altura en comparación a los demás tratamientos (Tabla 2).

A pesar de no haberse presentado diferencias estadísticas en el peso seco de biomasa aérea y altura de planta, de nueva cuenta los tratamientos a base de extractos de *A. lechuguilla* y *L. graveolens* otorgaron mayor peso seco y altura en relación al testigo absoluto (inoculado), pudiéndose atribuir a la protección que otorgaron estos mediante compuestos como saponinas y taninos, así como a la capacidad de inducir resistencia de flavonoides como la luteolina, naringenina, galangina y eriodictol presentes en *L. graveolens* los cuales modulan la actividad de auxinas induciendo a la planta a tener mayor crecimiento (García-Pérez et al. 2012, Cruz-García et al. 2013, Mierziak et al. 2014). También la presencia de micronutrientes como Ca, F, Mg, P, K, Na, Zn, Cu, Mn y Se presentes en *L. graveolens*; y de N, P, K, Ca, Mg, Fe, Mn y Zn en *A. lechuguilla* reportados por otros autores (García-Pérez et al. 2012, Cruz-García et al. 2013) pueden influir en el aumento de la biomasa y altura de plantas. Con respecto a los azúcares reductores se sabe que intervienen en el desarrollo de las plantas, debido a que inducen la activación de proteínas como las ciclinas; hormonas como las auxinas; además de inducir expresión de genes que permiten mayor crecimiento e incremento de biomasa (Fu et al. 2012, Lastdrager et al. 2014).

### Diámetro de tallo y clorofila en hojas

En la variable diámetro de tallo, estadísticamente el tratamiento *A. lechuguilla* fue el único que presentó diferencia significativa en relación al testigo absoluto (inoculado), siendo los demás tratamientos estadísticamente iguales entre ellos. Las plantas tratadas con el extracto de *A. lechuguilla* hoja fueron las que reportaron mayor grosor en el tallo con 10.15 mm, seguidas de las plantas tratadas con el químico, *L. graveolens* tallo, y *L. graveolens* hoja con 9.65 mm, 9.57 mm y 9.40 mm respectivamente (Tabla 2). En relación a la cantidad de clorofila en hojas, no se presentaron diferencias estadísticas entre los tratamientos correspondientes a los extractos vegetales y el químico, existiendo diferencias únicamente entre los tratamientos de *A. lechuguilla* hoja y *L. graveolens* hoja en relación al testigo absoluto (inoculado). La mayor cantidad de clorofila estuvo presente en las plantas sin inoculo ya que reportaron 26.87 unidades SPAD, a estas le siguieron las plantas que recibieron los tratamientos de *A. lechuguilla* hoja con 18.72 unidades SPAD, *L. graveolens* tallo, el químico y *L. graveolens* hoja con 16.74 unidades SPAD, 14.76 unidades SPAD y 14.00 unidades SPAD respectivamente (Tabla 2).

El mayor diámetro de tallo pudo deberse a que los extractos vegetales pueden contener hormonas y nutrientes que afectan de forma positiva el desarrollo de la planta, induciendo mayor crecimiento como lo menciona Khan et al. (2020) quienes realizando aplicaciones exógenas de extracto de moringa reportaron mayor desarrollo en variable morfológicas de plantas de trigo.

En su metabolismo *F. oxysporum* produce ácido fusarico, el cual es un metabolito fúngico que contribuye a colonizar la planta hospedero ocasionando marchitamiento; debido a que contiene la capacidad de alterar el metabolismo de las plantas lo que trae la degradación de pigmentos como la clorofila. Al respecto, se observó que aunque estadísticamente las plantas tratadas con los extractos de *A. lechuguilla* hoja y *L. graveolens* tallo no fueron diferentes al testigo absoluto (inoculado), numéricamente presentaron mayor cantidad de clorofila en hojas; lo que puede atribuirse al efecto protector que otorgaron a las plantas mediante los diversos compuesto fitoquímicos, que afectaron el desarrollo de *F. oxyporum* y por lo tanto la producción de metabolitos fúngicos como el ácido fusarico (Chávez-Arias et al. 2019).

Los extractos de *A. lechuguilla* y *L. graveolens* poseen compuestos fitoquímicos como azúcares re-

ductores, flavonoides, saponinas y taninos; los cuales mejoraron el desarrollo de las plantas mediante diversos modos de acción. Dichos extractos permitieron manejar la enfermedad causada por *F. oxysporum* de manera eficiente, y permitieron que el desarrollo de las plantas tratadas con estos extractos fuera superior a los demás tratamientos. Por lo que el uso de extractos vegetales de *A. lechuguilla* y *L. graveolens* pueden ser efectivos para un control natural del marchitamiento vascular del tomate causado por *F. oxysporum* bajo condiciones de invernadero.

### AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, mediante el proyecto número 708037, y a la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro por el proyecto número 2003.

### LITERATURA CITADA

- Ates CA, Fidan HAKAN, Karacaoglu M, Dasgan HY (2019) The identification of the resistance levels of *Fusarium oxysporum* f. sp. *radicis-lycopersici* and Tomato yellow leaf curl viruses in different tomato genotypes with traditional and molecular methods. *Applied Ecology and Environmental Research* 17: 2203-2218.
- Banani H, Olivieri L, Santoro K, Garibaldi A, Gullino M, Spadaro D (2018) Thyme and savory essential oil efficacy and induction of resistance against *Botrytis cinerea* through priming of defense responses in apple. *Foods* 7(2): 11. DOI: 10.3390/foods7020011.
- Candiracci M, Citterio B, Piatti E (2012) Antifungal activity of the honey flavonoid extract against *Candida albicans*. *Food chemistry* 131: 493-499.
- 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: 324-328.
- Chávez-Arias CC, Gómez-Caro S, Restrepo-Díaz H (2019) Physiological, biochemical and chlorophyll fluorescence parameters of *Physalis peruviana* L. seedlings exposed to different short-term waterlogging periods and Fusarium wilt infection. *Agronomy* 9: 213. DOI: 10.3390/agronomy9050213.
- Cruz-García H, Enríquez-del Valle JR, Velasco-Velasco VA, Ruiz-Luna J, Ángeles C, Virginia G, Aquino-García DE (2013) Nutrientes y carbohidratos en plantas de *Agave angustifolia* Haw. y *Agave karwinskii* Zucc. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 4(SPE6): 1161-1173.
- FAOSTAT (2019) Page of Food and agriculture data. Food and Agriculture Organization. Roma, Italia. <http://www.fao.org/faostat/en/> Fecha de consulta: 5 de febrero de 2020.

- Fu C, Sunkar R, Zhou C, Shen H, Zhang J, Matts J, Wolf J, Mann DGJ, Stewart CN, Tang Y, Wang Z (2012) Overexpression of miR156 in switchgrass (*Panicum virgatum* L.) results in various morphological alterations and leads to improved biomass production. *Plant Biotechnology Journal* 10: 443-452.
- García-Pérez E, Fernando Francisco CÁ, Gutiérrez-Urbe JA, García-Lara S (2012) Revisión de la producción, composición fitoquímica y propiedades nutraceuticas del orégano mexicano. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 3: 339-353.
- Górniak I, Bartoszewski R, Króliczewski J (2019) Comprehensive review of antimicrobial activities of plant flavonoids. *Phytochemistry Reviews* 18: 241 - 272.
- Güereca MCG, Hernández MS, Kite G, Vázquez MM (2007) Actividad antioxidante de flavonoides del tallo de orégano mexicano (*Lippia graveolens* HBK var. *berlandieri* Schauer). *Revista Fitotecnia Mexicana* 30: 43-49.
- Hanaa RF, Abdou ZA, Salama DA, Ibrahim MA., Srour HAM (2011) Effect of neem and willow aqueous extracts on *Fusarium* wilt disease in tomato seedlings: Induction of antioxidant defensive enzymes. *Annals of Agricultural Sciences* 56: 1-7.
- Jasso de Rodríguez D, Trejo-González FA, Rodríguez-García R, Díaz-Jimenez MLV, Sáenz-Galindo A, Hernández Castillo FD, Villarreal-Quintanilla JA, Peña-Ramos FM (2015) Antifungal activity *in vitro* of *Rhusmuelleri* against *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici*. *Industrial Crops and Products* 75: 150-158.
- Jasso de Rodríguez DJ, García RR, Castillo FH, González CA, Galindo AS, Quintanilla JV, Zuccolotto LM (2011) *In vitro* antifungal activity of extracts of Mexican Chihuahuan Desert plants against postharvest fruit fungi. *Industrial Crops and Products* 34: 960-966.
- Jeong MH, Lee YS, Cho JY, Ahn YS, Moon JH, Hyun HN, Kim KY (2017) Isolation and characterization of metabolites from *Bacillus licheniformis* MH48 with antifungal activity against plant pathogens. *Microbial pathogenesis* 110: 645-653.
- Khan S, Basra SMA, Nawaz M, Hussain I, Foidl N (2020) Combined application of moringa leaf extract and chemical growth-promoters enhances the plant growth and productivity of wheat crop (*Triticum aestivum* L.). *South African Journal of Botany* 129: 74-81.
- Lastdrager J, Hanson J, Smeekens S (2014) Sugar signals and the control of plant growth and development. *Journal of Experimental Botany* 65: 799-807.
- Marlatt MLJ, Correll JC, Kaufman P, Cooper PE (1996) Two genetically distinct populations of *Fusarium oxysporum* f. sp. *Iycopersici* race 3 in the United States. *Plant Diseases* 80: 1336-1342.
- Martins S, Amorim EL, Sobrinho TJP, Saraiva AM, Pisciotano MN, Aguilár CN, Mussatto SI (2013) Antibacterial activity of crude methanolic extract and fractions obtained from *Larrea tridentata* leaves. *Industrial Crops and Products* 41: 306-311.
- Messgo-Moumene S, Boukhalfa R, Belaïdi D (2017) *In vitro* antifungal activity of different plant extracts against *Phytophthora infestans* the causal agent of potato late blight. *Tunisian Journal of Plant Protection* 12: 19-33.
- Mierziak J, Kostyn, K, Kulma A (2014) Flavonoids as important molecules of plant interactions with the environment. *Molecules* 19: 16240-16265.
- Rábago-Panduro L M, Martín-Belloso O, Welti-Chanes J, Morales-de la Peña M (2020) Changes in bioactive compounds content and antioxidant capacity of pecan nuts [*Carya illinoensis* (Wangenh. K. Koch)] during storage. *Revista Mexicana de Ingeniería Química* 19: 1439-1452.

- Shabana YM, Abdalla ME, Shahin AA, El-Sawy MM, Draz IS, Youssif A W (2017) Efficacy of plant extracts in controlling wheat leaf rust disease caused by *Puccinia triticina*. *Egyptian Journal of Basic and Applied Sciences* 4: 67-73.
- Shami AMM, Philip K, Muniady S (2013) Synergy of antibacterial and antioxidant activities from crude extracts and peptides of selected plant mixture. *BMC Complementary and Alternative Medicine* 13: 360. DOI: 10.1186/1472-6882-13-360
- Stuardo M, San Martín R (2008) Antifungal properties of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd) alkali treated saponins against *Botrytis cinerea*. *Industrial Crops and Products* 27: 296-302.
- Tucuch-Pérez M, Arredondo-Valdés R, Hernández-Castillo FD (2020) Antifungal activity of phytochemical compounds of extracts from Mexican semi-desert plants against *Fusarium oxysporum* from tomato by microdilution in plate method. *NovaScientia* 12: 1-19. DOI: 10.21640/ns.v12i25.2345
- Warris A, Ballou ER (2019) Oxidative responses and fungal infection biology. *Seminars in Cell & Developmental Biology* 89: 34-46.