

Evaluación *in vitro* de extractos vegetales adicionados con nanopartículas para el control de *Fusarium oxysporum*

Evaluation *in vitro* of plant extracts spiked with nanoparticles for the control of *Fusarium oxysporum*

Ernesto Cerna-Chávez¹ ,
Irasema del Rosario
Malacara-Herrera¹ ,
Yisa María Ochoa-
Fuentes^{1*} ,
Agustín Hernández-Juárez¹ 

¹Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Departamento de Parasitología. Laboratorio de Toxicología. Calzada Antonio Narro 1923. CP. 25315. Buenavista, Saltillo, Coahuila de Zaragoza, México.

*Autor de correspondencia:
yisa8a@yahoo.com

Nota científica

Recibida: 08 de diciembre
2021

Aceptada: 08 de junio 2023

Como citar: Cerna-Chávez E, Malacara-Herrera IR, Ochoa-Fuentes YM, Hernández-Juárez A (2023) Evaluación *in vitro* de extractos vegetales adicionados con nanopartículas para el control de *Fusarium oxysporum*. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios* 10(2): e3424. DOI: 10.19136/era.a10n2.3424

RESUMEN. *Fusarium oxysporum*, ocasiona marchitamiento y pudrición de raíces. El objetivo del trabajo fue evaluar *in vitro* extractos de *Larrea tridentata* L. a concentraciones de (10, 100, 500, 1 000, 3 000 y 5 000 ppm) y *Sinapis alba* L. con dos concentraciones más de 1 500 y 2 000 ppm, con nanopartículas de óxido de silicio y zinc a concentraciones de: 1, 3 y 5% sobre la inhibición del crecimiento micelial y esporulación de *F. oxysporum* de ajo. Se determinaron las concentraciones inhibitorias y el número de conidios. Los datos se analizaron con un análisis Probit, ANOVA y Tukey. Los resultados indicaron que los extractos de gobernadora y mostaza con SiO₂, presentaron mejor efecto inhibitorio sobre el crecimiento micelial, y redujeron la esporulación, a diferencia de los extractos con ZnO. Las nanopartículas de SiO₂ con extractos de gobernadora y mostaza son efectivas para el manejo *in vitro* de *F. oxysporum*.

Palabras clave: Ajo, crecimiento micelial, efecto inhibitorio, medios envenenados, nanotecnología.

ABSTRACT. *Fusarium oxysporum*, causing wilting and root rot. The objective of the work was to evaluate *in vitro* extracts of *Larrea tridentata* L. to dose (10, 100, 500, 1 000, 3 000 y 5 000 ppm) and mustard *Sinapis alba* L. with two additional concentration of 1 500 y 2 000 ppm with silicon oxide and zinc oxide at doses of: 1, 3 y 5% nanoparticles on mycelial growth and sporulation of *F. oxysporum* of garlic. Inhibitory concentrations and the number of conidia were determined. Data were analyzed by Probit analysis, ANOVA and Tukey's test. The results indicated that governor and mustard extracts with SiO₂, presented better inhibitory effect on mycelial growth, and significant reduction in sporulation was observed, unlike the extracts added with ZnO. SiO₂ nanoparticles with governor and mustard extracts are effective for *in vitro* management of *F. oxysporum*.

Key words: Garlic, mycelial growth, inhibitory effect, poisoned media, nanotechnology.

INTRODUCCIÓN

El ajo (*Allium sativum* L.) es una hortaliza de bulbo de gran importancia por sus propiedades medicinales y condimentales (Escobar y Parra 2012). Su producción en México hasta marzo de 2021 fue de 87 249.61 toneladas, la superficie sembrada de 7 140.98 hectáreas y se cosecharon 6 786.71 hectáreas, con rendimiento promedio de 12.86 udm ha⁻¹ (SIAP 2021). El estado con mayor producción es Zacatecas con al menos el 50% del volumen total nacional, otros estados productores son: Aguascalientes, Sonora, Guanajuato, Puebla, Baja California, Michoacán y Veracruz (SADER 2021). Por lo que se considera un cultivo importante y competitivo.

La principal causa de la disminución del rendimiento y calidad de las semillas, son las enfermedades de etiología fúngica (Izquierdo-Oviedo, Gómez-Consuegra 2012), entre las cuales destaca la marchitez vascular causada por *Fusarium oxysporum* (Parreño et al. 2023). Por esta razón, el manejo de enfermedades es una de las prácticas primordiales, aunque el control químico es el principal método, causa resistencia al seleccionan cepas con mayor virulencia y de difícil manejo (Pupo-Feria et al. 2016). Por tal motivo es importante introducir alternativas ecológicas y económicas para reducir su impacto (Tamilselvi y Arumugan 2017), por lo anterior se estudian nuevos compuestos provenientes de vegetales, como aceites esenciales y extractos, comprobando que son más seguros para el medio ambiente y las personas (Villa-Martínez et al. 2014). Sobre lo mismo Tucuch-Pérez et al (2021) estudiaron plantas del semidesierto como *Agave lechuguilla* y *Lippia graveolens* para el control de *Fusarium oxysporum*, donde ambos extractos controlaron la enfermedad a nivel invernadero de forma eficiente. En lo que respecta a *Fusarium oxysporum*, *Fusarium solani* y *Rhizoctonia solani* Rodríguez-Castro et al. (2020) reportan que fueron controladas con extractos vegetales entre los que destaca *Larrea tridentata*, que inhibe el crecimiento de los tres hongos.

Actualmente, los nanomateriales están emergiendo como herramienta para el manejo de enfermedades de las plantas y mejorar la producción

de cultivos para satisfacer la creciente necesidad mundial de alimentos (El-Sayed et al. 2023). La nanotecnología, tiene numerosas aplicaciones que contribuyen a solucionar los problemas que afectan a los cultivos, la producción de nanopartículas a partir de diferentes tipos de metales como el platino, oro y óxidos metálicos, son utilizadas para desarrollar estrategias de manejo de enfermedades (Gómez-Garzón 2018, Gurunathan et al. 2015). Para que el impacto de los plaguicidas sea menor, se han utilizado como alternativa las nanopartículas, que mejoran su eficacia, ya que se utilizan dosis de aplicación muy bajas del producto (Patil et al. 2012). Se pueden encontrar pesticidas elaborados a base de nanopartículas, su función es hacer más lenta y controlada su liberación, resultando que su nivel de acción sea mayor (Sun et al. 2014, Kah 2015). Por tal motivo, el objetivo fue evaluar in vitro los extractos de gobernadora (*Larrea tridentata* L.) y mostaza (*Sinapis alba* L.), adicionados con nanopartículas de óxido de silicio (SiO₂) y de óxido de zinc (ZnO) sobre el crecimiento micelial y esporulación de *F. oxysporum*, como potencializadores a la función de los extractos.

MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación se llevó a cabo en el Laboratorio de Toxicología del departamento de parasitología, perteneciente de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. ubicada a 25° 23' 36.24" LN, 101° 0' 1.8" LO.

Material biológico

La cepa de *F. oxysporum* con similaridad del 99.80% número de acceso, MT448908 se obtuvo del cepario del laboratorio de Toxicología, obtenida de la zona productora del estado de Zacatecas, las características morfológicas coincidieron con la descripción reportada por Leslie y Summerell (2006), así mismo, fue reactivada en medio de cultivo Papa Dextrosa Agar (PDA) (MCD LAB®).

Evaluación *in vitro* de extractos vegetales adicionados con nanopartículas de SiO₂ y ZnO

Los extractos evaluados fueron de gobernadora (*Larrea tridentata*) y mostaza (*Sinapis alba*), los cuales fueron proporcionados por la empresa productora, al igual que las nanopartículas de SiO₂ y ZnO.

Los extractos fueron mezclados con las nanopartículas de SiO₂ y ZnO a 1, 3 y 5% por cada 100 mL de extracto, por lo cual se obtuvieron 14 tratamientos incluyendo los extractos puros, para realizar las diferentes concentraciones (10, 100, 500, 1 000, 3 000 y 5 000 ppm), a excepción de la mostaza donde se añadieron 1 500 y 2 500 ppm. Los bioensayos se realizaron mediante la metodología de medio de cultivo PDA envenenado (Ochoa-Fuentes et al. 2012), en cajas Petri, se dejaron 24 h para su solidificación. Después se colocó en cada caja Petri un explante del fitopatógeno *F. oxysporum*, se incubaron a 26 °C hasta observar crecimiento del micelio, el cual se midió cada 24 h con un vernier, hasta que el testigo (PDA sin tratamiento) alcanzara las medidas de la caja Petri. El porcentaje de inhibición de crecimiento micelial se obtuvo con la fórmula propuesta por Ezziyani et al. (2004) (% inhibición = crecimiento micelial del testigo - crecimiento micelial del tratamiento / crecimiento micelial del testigo x 100). Mientras que, para el conteo de esporas, se utilizó una cámara de Neubauer, siguiendo el método para cuantificación de suspensión de esporas de hongos, descrito por Bustillo (2010). Donde se evaluaron, las dosis de 1 000, 3 000 y 5 000 ppm para gobernadora, sola y con nanopartículas; mientras que para mostaza fueron las dosis de 1 500, 2 500 y 3 000 ppm.

Análisis estadístico

Se realizó un análisis Probit para obtener la dosis inhibitoria media (DL₅₀) con los porcentajes de inhibición, con el programa estadístico SAS System versión 9.0. Para evaluar la producción de esporas se utilizaron los datos de esporulación de cada tratamiento y se hizo un análisis de varianza y comparación de medias por el método Tukey ($p \leq 0.05$), mediante el programa estadístico SAS System ver-

sión 9.0.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Evaluación *in vitro* de extractos vegetales adicionados con nanopartículas de SiO₂ y ZnO

En la Tabla 1 se muestran los resultados de los extractos de gobernadora y mostaza sin y con nanopartículas de SiO₂ y ZnO. Donde se observa que las DL₅₀ de gobernadora presentaron valores muy similares, siendo la gobernadora más silicio a 3% el tratamiento con el valor más bajo con 2 327 ppm, y gobernadora con ZnO al 5% el valor más alto con 2 651 ppm. También se observó que el tratamiento de gobernadora más SiO₂ al 1% mostró un valor mayor que el tratamiento de gobernadora sin nanopartículas, al ser un tratamiento con un porcentaje pequeño de nanos, esto posiblemente se debió a que el hongo activa un mecanismo de defensa para sobrevivir, por lo que su crecimiento se ve acelerado como una respuesta de supervivencia (Carroll et al. 2016). Mientras que gobernadora más SiO₂ al 3 y 5% presentan valores menores que la gobernadora sin nanopartículas. Los tratamientos con nanopartículas de ZnO fueron los que tuvieron DL₅₀ más altas, ya que se observa que conforme sube el porcentaje de las nanopartículas de ZnO, los valores van en aumento, ya que se observa que, en lugar de inhibir al hongo, lo activa el crecimiento de la dosis. Estos resultados coinciden con Pariona et al. (2020) quienes reportan que el ZnO no tiene actividad significativa en este hongo. Por otra parte, en los resultados de los tratamientos con mostaza, se observó que los valores más bajos, fueron en los tratamientos de mostaza SiO₂ y mostaza ZnO al 5% con 821.31 y 843.79 ppm, respectivamente, seguido de mostaza SiO₂ y ZnO al 3% con 1 047 y 1 061 ppm, mientras que el valor más alto lo presentó mostaza SiO₂ al 1% con 1 567 ppm. En un estudio sobre los síntomas del marchitamiento por *Fusarium*, en plantas de banano, se encontró que al aplicar diferentes tratamientos con SiO₂, disminuyeron las enfermedades causadas por *F. oxysporum* (Fortunato et al. 2012). Razón por la cual, la mostaza con SiO₂ mostró mejores resultados que la gobernadora. Al respecto, Drakopoulos et al.

Tabla 1. Dosis Inhibitoria media (DL₅₀) de extractos de gobernadora (*Larrea tridentata*), de mostaza (*Sinapis alba*), adicionadas con nanopartículas de óxido de silicio y zinc sobre el crecimiento micelial de *Fusarium oxysporum*.

Tratamiento	DL ₅₀ (ppm)	Limite Fiducial		DL90 (ppm)	P-valor	Ecuación de predicción
		Inferior	Superior			
Gobernadora	2372	1969	2852	8932	<.0001	y = (-7.511719865 ± 2.2256065484)
Gobernadora/Silicio 1%	2379	1951	2898	9695	<.0001	y = (-7.091031757 ± 2.1001982485)
Gobernadora/Silicio 3%	2327	1922	2810	9326	<.0001	y = (-7.156405575 ± 2.1256037816)
Gobernadora/Silicio 5%	2331	1899	2857	10070	<.0001	y = (-6.790595941 ± 2.0165145785)
Gobernadora/Zinc 1%	2444	1937	3030	9246	<.0001	y = (-7.515045436 ± 2.2180382884)
Gobernadora/Zinc 3%	2558	2167	3010	10632	<.0001	y = (-7.059178847 ± 2.0713907138)
Gobernadora/Zinc 5%	2651	2086	3321	9733	<.0001	y = (-7.767956726 ± 2.269034895)
Mostaza	1451	456.66	3359	5587	0.0078	y = (-6.918469067 ± 2.1883091217)
Mostaza/Silicio 1%	1567	410.23	5965	6769	0.0136	y = (-6.442748389 ± 2.0165045653)
Mostaza/Silicio 3%	1047	473.12	2138	5309	0.0003	y = (-5.488408269 ± 1.8174422102)
Mostaza/Silicio 5%	821.31	341.59	1657	4722	0.0002	y = (-4.917342507 ± 1.6871939522)
Mostaza/Zinc 1%	1200	315.35	37715	61547	0.0026	y = (-2.307821614 ± 0.7494710185)
Mostaza/Zinc 3%	1061	415.77	3974	45111	<.0001	y = (-2.380970482 ± 0.7869144921)
Mostaza/Zinc 5%	843.79	476.29	1361	4269	<.0001	y = (-5.326123008 ± 1.8201277371)

(2020) reportan que un extracto a base de mostaza funciona como bioplaguicida *in vitro* de *Fusarium graminearum*, lo que indica que el extracto puede favorecer el control de enfermedades causadas por este hongo.

En relación con la actividad antiesporulante, el tratamiento de gobernadora tuvo diferencias significativas en concentraciones de 5 000 ppm sin nanopartículas presentando menor producción de esporas (Tabla 2), mientras que los tratamientos al 3 y 5% de gobernadora más SiO₂ también mostraron valores bajos con 0.83 y 0.64 millones de esporas mL⁻¹, respectivamente. Sin embargo, la gobernadora con el SiO₂ al 1, 3 y 5% obtuvo la producción más alta de esporas, en todas las concentraciones excepto con 5 000 ppm y 3% de nanopartículas. Se observó que la producción de esporas en los tratamientos de ZnO y gobernadora incrementó. Al respecto Kasproicz *et al.* (2010), mencionan que la esporulación intensa, la germinación más lenta y los brotes más cortos a menudo son inducidos por el estrés. Las nanopartículas exhibieron tales propiedades en el caso de la formación de esporas, especialmente para cultivos desarrollados en un medio de crecimiento incompleto. Por otro lado, los tratamientos de mostaza a 3 000 ppm con y sin nanopartículas inhiben la producción de esporas. Para el extracto de mostaza con los diferentes porcentajes de ZnO,

las tres concentraciones presentan el mismo comportamiento, el testigo es el que muestra la mayor producción se esporas. Estos resultados se asemejan a un estudio *in vitro* de NPs de ZnO contra *F. oxysporum* de Yehia y Ahmed (2013) quienes reportan que la actividad antifúngica del ZnO depende de la concentración.

Entre los tratamientos de gobernadora y mostaza con SiO₂ y ZnO, los que presentan mejor inhibición son los que contienen SiO₂, resultados similares con el óxido de zinc presentó Guerrero *et al.* (2020) al utilizar óxido de cobre y óxido de zinc en alteraciones miceliales y daño a la membrana celular, presentando el cobre los mayores efectos. Mientras que Abbai *et al.* (2019) reportan que el silicio tuvo los mejores resultados con reducción del 50% de las enfermedades fúngicas. El extracto de mostaza y los tratamientos adicionados con óxido de SiO₂ y ZnO, fueron los más efectivos para inhibir el crecimiento de *F. oxysporum*. Sin embargo, los tratamientos adicionados con el óxido de zinc, no mostraron efectos significativos para el extracto de gobernadora. Por lo tanto, los extractos de mostaza con SiO₂ y ZnO al 5%, son una alternativa viable para escalar estos estudios a nivel invernadero y/o campo, para de esta manera en un futuro cercano la enfermedad pueda ser controlada.

Tabla 2. Efecto de las nanopartículas de Óxido Silicio y Zinc en la esporulación de *Fusarium oxysporum*.

Tratamiento	Concentración (ppm)	Concentración (%)			
		0%	1%	3%	5%
Gobernadora +SiO ₂	0	11.79 ^a	11.79 ^a	11.79 ^a	11.79 ^a
	1 000	1.01 ^b	2.95 ^b	1.88 ^b	1.44 ^b
	3 000	0.46 ^c	2.35 ^c	0.85 ^c	1.19 ^c
	5 000	0.05 ^d	1.28 ^d	0.83 ^d	0.64 ^d
Mostaza +SiO ₂	0	11.79 ^a	11.79 ^a	11.79 ^a	11.79 ^a
	1 500	5.76 ^b	1.38 ^b	5.38 ^b	2.53 ^b
	2 500	1.86 ^{bc}	1.70 ^b	2.77 ^{bc}	0.10 ^b
	3 000	0.00 ^c	0.05 ^b	0.00 ^c	0.00 ^b
Gobernadora +ZnO	0	11.79 ^a	11.79 ^c	11.79 ^b	11.79 ^b
	1 000	1.01 ^b	37.70 ^a	12.66 ^b	27.40 ^a
	3 000	0.45 ^c	27.62 ^b	16.25 ^b	29.97 ^a
	5 000	0.05 ^d	6.80 ^d	39.36 ^a	24.60 ^{ab}
Mostaza +ZnO	0	11.79 ^a	11.79 ^a	11.79 ^a	11.79 ^a
	1 500	5.76 ^b	5.30 ^b	6.37 ^b	7.04 ^b
	2 500	1.86 ^{bc}	0.907 ^{bc}	0.67 ^c	5.70 ^b
	3 000	0.00 ^c	0.00 ^c	0.00 ^c	0.00 ^c

Los tratamientos con la misma letra entre columnas son iguales Tukey ($p \leq 0.05$).

LITERATURA CITADA

- Abbai R, Kim YJ, Mohanan P Farh, MEA, Mathiyalagan R, Yang DU, Yang C (2019) Silicon confers protective effect against ginseng root rot by regulating sugar efflux into apoplast. *Natureresearch Scientific Reports* 9: 18259. DOI: 10.1038/s41598-019-54678-x.
- Bustillo A (2010) Método para cuantificar suspensiones de esporas de hongos y otros organismos. Universidad Nacional de Colombia, Palmira, Colombia. Doi: 10.13140/RG.2.1.3594.5128.
- Carroll KC, Hobden JA, Miller S, Morse SA, Mietzner TA, Detrick B, Mitchell TG, McKerrrow JH, Sakanari JA (2016) Crecimiento, supervivencia y muerte de microorganismos (eds.). *Microbiología médica*. McGrawHill. México. 865p.
- Drakopoulos D, Meca G, Torrijos R, Marty A, Kägi A, Jenny E, Vogelgsang S (2020) Control of *Fusarium graminearum* in wheat with mustard-based botanicals: From *in vitro* a in planta. *Frontiers in Microbiology* 11: 1595. DOI: 10.3389/fmicb.2020.01595.
- El-Sayed ESR, Mohamed SS, Mousa SA, El-Seoud MMA, Elmehlawy AA, Abdou DAM (2023) Bifunctional role of some biogenic nanoparticles in controlling wilt disease and promoting growth of common bean. *AMB Express* 13: 41. DOI: 10.1186/s13568-023-01546-7.
- Escobar H, Parra M (2012) Producción de semilla garantizada de ajo. Universidad de Bogotá. Editorial Tadeo Lozano. Colombia. Primera edición. 52p.
- Ezziyyani M, Sánchez CP, Requena ME, Rubio L, Castillo MEC (2004) Biocontrol por *Streptomyces rochei*-Ziyani-, de la podredumbre del pimiento (*Capsicum annum* L.) causada por *Phytophthora capsici*. *Anales de Biología* 26: 69-78.
- Fortunato AA, Rodrigues, FÁ, Nascimento KJT (2012) Physiological and biochemical aspects of the resistance of banana plants to *Fusarium* wilt potentiated by silicon. *Phytopathology* 102: 957-966.
- Gómez-Garzón M (2018) Nanomateriales, nanopartículas y síntesis verde. *Revista Repertorio de Medicina y Cirugía* 27: 75-80.

- Guerrero JJG, Songkumarn P, Dalisay TU, Pangga IB, Organo ND (2020) Toxicity of CuO and ZnO nanoparticles and their bulk counterparts on selected soil-borne fungi. *Agriculture and Natural Resources*. 54: 325-332.
- Gurunathan T, Mohanty S, Nayak SK (2015) A review of the recent developments in biocomposites based on natural fibres and their application perspectives. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing* 77: 1-25. DOI: 10.1016/j.compositesa.2015.06.007.
- Izquierdo-Oviedo H, Gómez-Consuegra O (2012) 'Criollo-9', un cultivar de ajo resistente a las enfermedades fitopatógenas y elevado potencial de rendimiento. *Cultivos Tropicales* 33: 68.
- Kah M (2015) Nanopesticides and nanofertilizers: emerging contaminants or opportunities for risk mitigation? *Frontiers in Chemistry* 3: 64. DOI: 10.3389/fchem.2015.00064.
- Kasproicz MJ, Koziół M, Gorczyca A (2010) The effect of silver nanoparticles on phytopathogenic spores of *Fusarium culmorum*. *Canadian Journal of Microbiology* 56: 247-53.
- Leslie JF, Summerell BA (2006) *The Fusarium laboratory manual*. Blacwell. Iowa. EUA. 388p.
- Ochoa -Fuentes YM, Cerna-Chávez E, Landeros-Flores J, Hernández-Camacho S, Delgado-Ortiz JC (2012) Evaluación *in vitro* de la actividad antifúngica de cuatro extractos vegetales metanólicos para el control de tres especies de *Fusarium* spp. *Revista Internacional de Botánica Experimental* 81: 69-73.
- Pariona N, Paraguay-Delgado F, Basurto-Cereceda S, Morales-Mendoza JE, Hermida-Montero LA, Mtz-Enriquez AI (2020) Actividad antifúngica dependiente de la forma de partículas de ZnO contra hongos fitopatógenos. *Nanociencia aplicada* 10: 435-443.
- Parreño R, Rodríguez-Alcocer E, Martínez-Guardiola C, Carrasco L, Castillo P, Arbona V, Jover-Gil S, Candela H (2023) Turning garlic into a modern crop: State of the art and perspectives. *Plants* 12: 1212. 1-18. DOI: 10.3390/plants12061212.
- Patil C, Borase H, Patil S, Salunkhe R, Salunke B (2012) Larvicidal activity of silver nanoparticles synthesized using *Pergularia daemia* plant latex against *Aedes aegypti* and *Anopheles stephensi* and nontarget fish *Poecillia reticulata*. *Parasitology Research* 111: 555-562.
- Pupo-Feria C, González-Ramírez G, Carmenate-Figueroa O, Peña-Molina L, Pérez-Lemes V, Rodríguez-Obrador E (2016) Respuesta del cultivo del ajo (*Allium sativum* L.) a la aplicación de dos bioproductos en las condiciones edafoclimáticas del centro este de la provincia Las Tunas, Cuba. *Cultivos Tropicales* 37: 57-66.
- Rodríguez-Castro A, Torres-Herrera S, Domínguez- Calleros A, Romero-García A, Silva-Flores M (2020) Extractos vegetales para el control de *Fusarium oxysporum*, *Fusarium solani* y *Rhizoctonia solani*, una alternativa sostenible para la agricultura. *Abanico Agroforestal*. 2: 1-13. DOI: 10.37114/abaagrof/2020.7.
- SADER (2021) Se ubica México como el noveno exportador mundial de ajos. Prensa. Comunicado. <https://www.gob.mx/agricultura/prensa/se-ubica-mexico-como-el-noveno-exportador-mundial-de-ajos?idiom=es>. Fecha de consulta: 1 de septiembre de 2021.
- SIAP (2021) Avance de siembras y cosechas. Resumen nacional por cultivo. https://nube.siap.gob.mx/avance_agricola/. Fecha de consulta: 1 septiembre de 2021.
- Sun C, Shu K, Wang W, Ye Z, Liu T, Gao Y, Zheng H, He G, Yin Y (2014) Encapsulation and controlled release of hydrophilic pesticide in shell cross-linked nanocapsules containing aqueous core. *International Journal of Pharmaceutics* 463: 108-114.
- Tamilselvi N, Arumugam T (2017) Breeding approaches for sustainable vegetable production-A review. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences* 6: 2845-2860.

- 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.
- Villa-Martínez A, Pérez-Leal R, Morales-Morales HA, Basurto-Sotelo M, Soto-Parra JM, Martínez-Escudero E (2015) Situación actual en el control de *Fusarium* spp. y evaluación de la actividad antifúngica de extractos vegetales. *Acta Agronómica* 64: 194-205.
- Yehia RS, Ahmed OF (2013) *In vitro* study of the antifungal efficacy of zinc oxide nanoparticles against *Fusarium oxysporum* and *Penicillium expansum*. *African Journal of Microbiology Research* 7: 1917-1923.