

## **Estudio del potencial biocontrolador de las plantas autóctonas de la zona árida del noroeste de México: control de fitopatógenos**

### **Study of the autochthonous plants as a potential biocontroller in the northwest area of Mexico: control of phytopathogens**

Gabriela Andrade-Bustamante<sup>1</sup>, Alejandro Manelik García-López<sup>1</sup>, Lourdes Cervantes-Díaz<sup>1</sup>, Carlos Enrique Aíl-Catzim<sup>1</sup>, Jesús Borboa-Flores<sup>3</sup>, Edgar O. Rueda-Puente<sup>3</sup>

Originales: *Recepción: 23/03/2016 - Aceptación: 13/09/2016*

#### **RESUMEN**

Los compuestos generados por medio del metabolismo secundario de las plantas tienen diferentes propiedades tanto repelentes como antimicrobianas, las cuales pueden ser utilizadas por la misma para controlar factores bióticos que alteran su calidad. La presencia de enfermedades en los cultivos agrícolas es una de las principales causas de pérdidas de producción, debido a que los microorganismos causales deterioran la calidad organoléptica y visual del fruto. En las zonas áridas, las condiciones de salinidad, altas y bajas temperaturas, entre otros factores abióticos, promueven en las plantas silvestres la expresión de compuestos como son los aceites esenciales, los cuales pueden ser utilizados en condiciones *in vitro* e *in vivo* para una inhibición en el crecimiento de fitopatógenos generando efectos fungicidas, fungistáticos, bactericidas. El uso de estos productos para controlar enfermedades en productos hortofrutícolas, motiva a ser una opción alterna al uso de pesticidas químicos. Sin embargo, la literatura es escasa cuando se trata de auscultar información relacionada con el biocontrol de plagas y enfermedades respecto de plantas del desierto, autóctonas de las zonas áridas.

#### **Palabras clave**

metabolitos secundarios • biocontrol • fitopatógenos

- 
- 1 Instituto de Ciencias Agrícolas. Universidad Autónoma de Baja California, Carretera a Delta s/n. C.P. 21705, Ejido Nuevo León, Baja California, México.
  - 2 Departamento de Investigación y Posgrado en Alimentos, Universidad de Sonora. Blvd. Luis Encinas y Rosales s/n, Col. Centro. C.P. 83000, Hermosillo, Sonora, México.
  - 3 Departamento de Agricultura y Ganadería, Universidad de Sonora, Carretera a Bahía de Kino Km. 21. C.P. 23000 Sonora, México. erueda04@santana.uson.mx

## ABSTRACT

The compounds generated by the metabolism of plants have different properties such as antimicrobial like repellents which can be used by itself to control biotic factors which affect the quality. The presence of diseases in agricultural crops is one of the main causes of production losses, because the microorganisms are affecting the organoleptic and visual quality of the fruits. In dry arid zones, the conditions like salinity, high and low temperatures, among other abiotic factors promoted in wild plants the expression of compounds such as essential oils, which can be used in *in vitro* and *in vivo* conditions for growth inhibition of phytopathogenic to generate effects fungicides, fungistatic, bactericidal. The use of these products to control diseases in fruit and vegetable products, is an alternative option to the use of chemical pesticides. However, the literature is limited when it comes to auscultating information related with pests and diseases considering desert plants such as those grown in natural conditions in dry arid zones.

### Keywords

secondary metabolites • biocontrol • plant pathogen

## INTRODUCCIÓN

Una de las áreas importantes de producción agrícola a nivel mundial son las zonas áridas. Dentro de los rasgos característicos de estas áreas, son la indisponibilidad del recurso agua, altas y bajas temperaturas e intrusión salina entre otras.

Las zonas áridas producen el 60% de los alimentos a nivel mundial (32).

Una de las zonas de relevancia en la producción de alimentos en la República Mexicana, es el noroeste de México, el cual está conformado por los estados de Baja California, Baja California Sur, Chihuahua, Sinaloa y Sonora.

Las condiciones que prevalecen en esta región van desde los 50 a 230 mm de precipitación anual, con temperaturas que oscilan en los meses de verano entre los 38 y 52°C. Una marcada fluctuación de temperaturas diurna/nocturna y la velocidad del viento; baja disponibilidad de agua, debido a la alta evaporación; radiación solar incidente; los suelos de

estas zonas son variables en profundidad, variable textura, pH alcalinos, conductividad eléctrica altas y baja fertilidad; en ellos se acumulan carbonato y la tasa de infiltración del horizonte cálcico depende del contenido de carbonato (52). La intrusión salina se enfatiza provocando que las conductividades eléctricas varíen entre los 2 a los 8 decisiemens, ensalitrando los pozos de agua utilizados para la agricultura y lleguen a contener hasta 8±4 grL agua.

No obstante, la zona del noroeste de México, entre los principales cultivos con interés comercial de exportación son trigo, algodón, cártamo, ajonjolí, garbanzo, sorgo, maíz, vid, nogal, tomate, sandía, entre otros productos hortofrutícolas. La superficie destinada para estos cultivos en los estados de Baja California es de 206, 914 ha; Baja California Sur 45, 527 ha; Chihuahua 1, 110, 946 ha; Sonora 614, 606 ha y Sinaloa 1, 247, 384 ha (50, 77, 78, 85).

En las dos últimas décadas, en esta región noroeste, la producción de alimentos se ha visto mermada por factores bióticos, entre los que figuran las plagas y enfermedades.

Existen diversos patógenos que afectan los rendimientos de los cultivos bajo condiciones favorables hasta en un 65% de la producción total.

Entre los principales agentes causantes de enfermedades, se destacan los hongos fitopatógenos como son *Fusarium oxysporum* f. sp. cepae, *Sclerotium cepivorum*, *Pyrenochaeta terrestres*, *Alternaria dauci* f. solani (66, 72), *Botrytis cinerea*, *Fluvia fulva* y *Laveillula taurina*, entre otros. Con relación a bacterias fitopatógenas figuran *Clavibacter michiganensis*, *Pseudomonas siringe*, *Xanthomonas campestris* y *Pseudomonas corrugata* (14, 27, 41).

Los productores para competir comercialmente, se encargan de obtener una producción máxima de alimentos de alta calidad y buscan una reducción en la incidencia de plagas y microorganismos patógenos que afectan los cultivos y poscosecha.

En este sentido, como principal alternativa recurren al uso de agroquímicos. No obstante, una de sus principales desventajas es la resistencia a microorganismos fitopatógenos. Además, la sociedad al sector agrícola le demanda que el uso de los productos químicos como agroinsumos, sean cada vez menor, por lo que se buscan medidas alternativas que ayuden a reducir la incidencia de plagas y enfermedades, sin afectar la salud del consumidor y el medio ambiente (3, 6, 70).

Una de las alternativas de control para estos problemas es la producción orgánica, la cual busca favorecer los mecanismos de defensa que los organismos vivos poseen de manera natural, siendo la diversidad

un pilar fundamental para obtener y mantener el equilibrio. Además lleva a cabo el control por medio de agentes biológicos, microbiales, con el uso de extractos de origen vegetal.

El uso de productos naturales es cada vez más aceptado debido a la necesidad de emplear compuestos eficaces que no provoquen daño a la salud y al ambiente. Basándose en los usos populares de las plantas medicinales con potencial a ser utilizados en diferentes sectores como el agrícola, a pesar de la visión de las nuevas alternativas, hace falta investigación que permita enriquecer esta línea como una opción en el control de plagas y enfermedades a nivel comercial (22).

En las zonas áridas y semiáridas, a pesar de las condiciones extremas previamente indicadas, se desarrollan especies vegetales con potencial a ser utilizadas para la obtención de extractos y aceites esenciales con interés bioparasitocida (48, 72).

El uso de productos naturales se ha estudiado con base a que las plantas poseen un metabolismo secundario, el cual le permite producir compuestos de química diversa. Estos compuestos denominados metabolitos secundarios (MS) son utilizados por la planta como estrategia de defensa contra condiciones de estrés biótico y abiótico (49), principalmente cuando están expuestas a un ataque por insectos o microorganismos patógenos.

Las plantas sintetizan enzimas que degradan la pared celular de microorganismos o que tienen la capacidad de inactivar tóxicos de origen microbiano (5, 75).

Diferentes productos derivados de las plantas presentan compuestos con efectos sobre el control de algunos microorganismos, se destacan: flavonoides, fenoles, terpenos, alcaloides, lectinas y polipéptidos (1, 37).

Sus mecanismos de acción son variables; por ejemplo, la toxicidad de los fenoles en microorganismos se atribuye a inhibición enzimática por oxidación de compuestos.

El modo de acción de los terpenos no ha sido dilucidado por completo, pero se postula que pueden causar rompimiento de la membrana a través de los compuestos lipofílicos (38, 42).

Debido a la información generada en los estudios mencionados, es importante destacar la importancia de contribuir con estudios que generen nuevas alternativas a los cultivos agrícolas para el control de plagas y enfermedades con productos que se encuentran disponibles en las zonas áridas.

### Objetivo

Dar a conocer la importancia de las plantas autóctonas de zonas áridas y su relación con el biocontrol de enfermedades fitopatógenas.

### Plantas nativas con potencial biocontrolador en zonas áridas de México

México tiene una biodiversidad muy amplia, en el país se llega a encontrar alrededor del 41% del territorio correspondiente a zonas áridas y semiáridas. Una región importante en el sector agrícola en la República Mexicana es la región noroeste, correspondiente a la zona árida localizada en las partes bajas de los estados de Sonora y las dos Baja Californias, extendiéndose a los Estados Unidos de América (Alta California y Arizona), la cual se conoce como Desierto Sonorense. Las zonas áridas en México tiene alrededor de 6.000 especies de plantas, de las cuales el 50% son endémicas (53).

Las especies de plantas en las zonas áridas tienen la característica de desarrollar adaptaciones morfológicas, fisiológicas y estrategias

biológicas, tal es el caso de la producción de metabolitos secundarios (MS).

El clima árido debido a su fisiografía, hidrología y edafología han creado condiciones adversas para el desarrollo de muchas especies vegetales. Estas condiciones de las zonas áridas obligan a las plantas a desarrollar adaptaciones, las cuales le permiten afrontar con éxito largos períodos de escasez de agua, ayudando a adaptarse y activar sus defensas para enfrentar estas adversidades (40).

En las zonas áridas se encuentran entre las principales familias de plantas las Acanthaceae, Agavaceae, Amaranthaceae, Anacardiaceae, Apiaceae, Apocynaceae, Arecaceae, Asclepiadaceae, Bignoniaceae, Boraginaceae, Bromeliaceae, Burseraceae, Buxaceae, Cactaceae, Capparidaceae, Celastraceae, Compositae, Convolvulaceae, Cucurbitaceae, Ebenaceae, Ericaceae, Euphorbiaceae, Fagaceae, Fouquieriaceae, Krameriaceae, Labiatae, Leguminosae, Loasaceae, Loranthaceae, Lythraceae, Malpighiaceae, Sterculiaceae, Malvaceae, Moraceae, Mutisieae, Nyctaginaceae, Papaveraceae, Poaceae, Polemoniaceae, Polygalaceae, Polygonaceae, Portulacaceae, Rhamnaceae, Rubiaceae, Rutaceae, Salicaceae, Sapindaceae, Solanaceae, Sterculiaceae, Turneraceae, Ulmaceae, Verbenaceae, Vitaceae, Zygophyllaceae, principalmente, (2, 23, 60).

El aprovechamiento de las especies endémicas de las zonas áridas ha jugado siempre un papel socioeconómico muy importante. Se puede mencionar a la medicina tradicional cuyo estudio incluye una gran variedad de plantas dentro de su aplicación básica, además el uso doméstico de estas especies ha sido de gran relevancia algunas como fuente de alimento por su riqueza alimenticia, además se ser utilizadas por su valor ornamental y estético (35).

Con el paso del tiempo y como consecuencia del crecimiento de la población humana, del desarrollo social y de la aparición de la industria, muchas plantas han tenido una mayor demanda y cada día son más las especies requeridas en diversos ámbitos del desarrollo, puesto que representan una fuente natural de compuestos químicos y biológicos que tienen una vasta aplicación dentro de la economía (7, 15). Así se puede mencionar el caso del orégano, que ha sido explotado desde las culturas antiguas y consumido no solo a nivel nacional, sino internacionalmente (26).

Como parte de los mecanismos bioquímicos de defensa, las plantas también responden al ataque de patógenos a través de una gran cantidad de mecanismos. Los MS que producen las plantas no siempre están implicados en los ciclos metabólicos del vegetal sino que actúan como defensa contra depredadores o como sustancias de reserva, estos metabolitos pueden acumularse en distintos tejidos de la planta, frutos o sus aceites esenciales (51, 86).

En la tabla 1 (pág. 132), se identifican el tipo de microorganismos fitopatógenos que son controlados por compuestos de familias botánicas.

Debido a la falta de selectividad y biodegradabilidad de los plaguicidas, las plantas de las zonas áridas presentan un potencial para uso biocontrolador en la agricultura; el mal uso de agroquímicos los ha hecho potencialmente tóxicos tanto para el hombre como para el medio ambiente, siendo el principal problema, la acumulación de residuos tóxicos persistentes. Esto último, ha dado pie a la búsqueda de plantas de zonas áridas para uso biocontrolador. Tal es el caso de estudios de Vargas-Arispuro y Martínez-Telléz (1998), quienes realizaron investigación con extractos de plantas endémicas provenientes de las zonas áridas del estado de Sonora, donde los

estudios de extractos con diclorometano de *Larrea tridentata*, *Chenopodium ambrosioides*, *Encelia farinosa* inhibieron más del 70% a *Botrytis cinérea*, considerando el uso de las plantas de zonas áridas como una fuente de obtención de extractos de interés antifúngico.

Desde hace dos décadas, otro de los usos que están teniendo este tipo de plantas, es el ser utilizadas en sector agrícola como repelentes contra plagas insectiles, tal es el caso del uso de productos derivados de neem (*Azadirachta indica*) que redujo la ovoposición, eclosión de huevecillos y emergencia de adultos de *Bemisia tabaci* (23,1; 53,2 y 26,6%, respectivamente) (39).

Extractos de Nim (*Azadirachta indica*) también aparecen reportados en el cultivo de algodón, ocasionando del 73 al 100% de mortalidad en ninfas de la mosca blanca (68).

Otros estudios de Osuna-Carreón *et al.* (2014), indican que el aceite esencial de *Pluchea sericea* sobre adultos de *Bemisia tabaci*, mostró resultados donde la planta tiene potencial para controlar adultos de mosquita blanca donde se presentaron valores de CL50 menores cuando el extracto provino de las hojas de planta.

Las plantas nativas del Noroeste de México se encuentran reportadas con estudios para el control de microorganismos patógenos que afectan a los cultivos agrícolas, tal es el caso de plantas como Orégano (*Lippia* sp.) y Gobernadora (*Larrea tridentata*), que se presentan con efectos fungicidas (48).

El orégano localizado en las regiones de Coahuila, Chihuahua y Sonora, con componentes mayoritarios al Timol y Carvacrol fue utilizado como inhibidor de crecimiento de hongos contaminantes y bacterias patógenas relacionadas con los alimentos (*E. coli*, *S. aureus*, *L. monocytogenes*, *B. cereus*, *Salmonella* sp.) (60, 74).

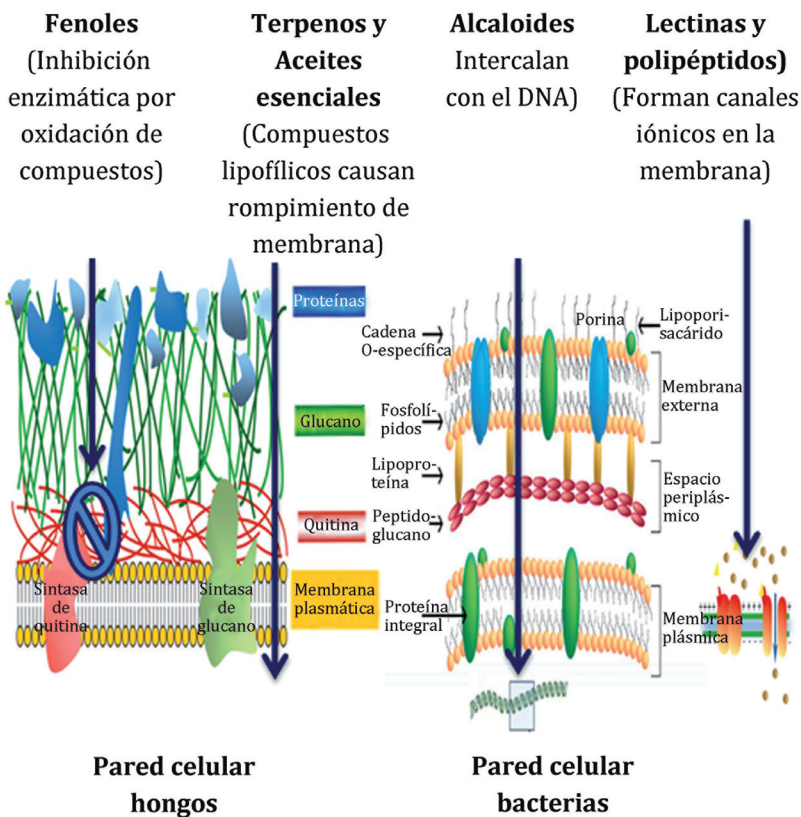
**Tabla 1.** Identificación de microorganismos fitopatógenos que son controlados por compuestos de familias botánicas.**Table 1.** Identification of phytopathogenic microorganisms that are controlled by compounds of botanical families.

Familia	Compuestos identificados	Fitopatógeno que controla	Referencia
Amaranthaceae ( <i>Chenopodium ambrosioides</i> )	p-cimeno y ascaridole	<i>Tilletia indica</i>	(Rivera-Castañeda <i>et al.</i> , 2001) (Vargas-Arispuro <i>et al.</i> , 1998) (Degenhardt <i>et al.</i> , 2016)
Asteraceae ( <i>Baccharis glutinosa</i> )	Flavonoides, fenoles	<i>Aspergillus flavus</i> , <i>Aspergillus parasiticus</i> , <i>Fusarium verticillioides</i> , <i>Fusarium poae</i> , <i>Fusarium moniliforme</i> y <i>Penicillium expansum</i> .	(Rosas-Burgos <i>et al.</i> , 2009) (Suárez-Jiménez <i>et al.</i> , 2007) (Tequida-Meneses <i>et al.</i> , 2002) (Valenzuela-Cota <i>et al.</i> , 2014) (Sartori <i>et al.</i> , 2015)
Asteraceae ( <i>Encelia farinosa</i> )	No reportados	<i>Tilletia indica</i>	(Rivera-Castañeda <i>et al.</i> , 2001) (Vargas-Arispuro <i>et al.</i> , 1998)
Martyniaceae ( <i>Proboscidea parviflora</i> )	No reportados	<i>Fusarium poae</i>	(Tequida-Meneses <i>et al.</i> , 2002)
Meliaceae ( <i>Swietenia humilis</i> )	Alcaloides y glucósidos terpenoides	<i>Rhizopus stolonifer</i> <i>Pseudocercospora opuntiae</i>	(Angulo-Escalante <i>et al.</i> , 2009) (Ochoa <i>et al.</i> , 2016)
Solanaceae ( <i>Capsicum annuum</i> L. var. <i>Glabriusculum</i> )	Compuestos fenólicos (ácidos camarico y clorogénico)	<i>Alternaria alternata</i> y <i>Fusarium oxysporum</i>	(Montoya-Ballesteros <i>et al.</i> , 2010) (Rodríguez-Maturino <i>et al.</i> , 2015)
Solanaceae ( <i>Datura discolor</i> )	No reportados	<i>Fusarium poae</i> , <i>Aspergillus flavus</i> y <i>Penicillium expansum</i>	(Tequida-Meneses <i>et al.</i> , 2002)
Theophrastaceae ( <i>Jacquinia macrocarpa</i> )	No reportados	<i>Aspergillus flavus</i> , <i>Aspergillus parasiticus</i> y <i>Fusarium verticillioides</i>	(Nava-Pérez <i>et al.</i> , 2012)
Verbenaceae verbenaceae ( <i>Lippia berlandieri</i> )	Ácidos fenólicos, flavonoides y compuestos volátiles (Eugenol, Timol y Carvacrol)	<i>Fusarium oxysporum</i> , <i>Alternaria alternata</i> , <i>Geotrichum candidum</i> , <i>Trichoderma</i> spp., <i>Penicillium digitatum</i> y <i>Aspergillus niger</i>	(Cáceres-Rueda de León <i>et al.</i> , 2013) (Castellanos González <i>et al.</i> , 2015)
Verbenaceae ( <i>Lippia graveolens</i> )	Carvacrol, p-cimeno y timol	<i>Alternaria alternata</i>	(Rodríguez-García <i>et al.</i> , 2016)
Verbenaceae ( <i>Lippia palmeri</i> W.)	p-cimeno, timol, iso-aromandrene, carvacrol, i $\beta$ -terpineno, p-timol, epóxido longipinene, $\alpha$ -eudesmol, epóxido $\alpha$ -bisaboleno, limoneno-6-ol, p-cimeno, Cariofileno, acetato de timol, mirceno, $\alpha$ -cariofileno, linalool y terpineno-4-ol.	<i>Clavibacter michiganensis</i> subespecie <i>Michiganensis</i>	(Borboa-Flores <i>et al.</i> , 2010)
Zygophyllaceae ( <i>Larrea tridentata</i> )	Lignanos fenólicos (Ácido Dihidroguaiaarético, Hemimorisoguaiaicin, Ácido nordihidroguaiaarético, Nordihidroguaiaicin); flavonoides (Apigenin, Kaempferol); saponinas (Larreaagenin A, Ácido Larréico).	<i>Alternaria tenuissima</i> , <i>Aspergillus flavus</i> , <i>Aspergillus niger</i> , <i>Aspergillus parasiticus</i> , <i>Botrytis cinérea</i> , <i>Fusarium moniliforme</i> , <i>Fusarium poae</i> , <i>Penicillium chrysogenum</i> , <i>Penicillium expansum</i> , <i>Penicillium polonicum</i> , <i>Rhizopus oryzae</i> y <i>Tilletia indica</i> .	(Lira-Saldívar, 2003) (Peñuelas-Rubio <i>et al.</i> , 2015) (Tequida-Meneses <i>et al.</i> , 2002) (Rivera-Castañeda <i>et al.</i> , 2001) (Vargas-Arispuro <i>et al.</i> , 1997) (Vargas-Arispuro <i>et al.</i> , 1998) (Boiteux <i>et al.</i> , 2015)

En la figura 1, puede identificarse las rutas involucradas de los extractos de plantas que se utilizan para el control de enfermedades. Para el caso de los terpenos y aceites esenciales como compuestos lipofílicos que provocan un rompimiento de membrana de hongos; los fenoles por su parte generan una inhibición enzimática por oxidación de compuestos en hongos; los alcaloides, intercalan con el DNA bacteriano y las lectinas y polipéptidos, forman canales iónicos en la membrana de los procariones.

### Actividad antifúngica y antibacterial de extractos de plantas en la agricultura

Las plantas para protegerse de plagas y enfermedades por sí mismas recurren a la producción de diversos metabolitos secundarios, muchos de los cuales están reportados presentando actividad antifúngica. Entre los compuestos destacados mencionados por la literatura se encuentran los más conocidos como los flavonoides, fenoles, glicósidos de fenoles, saponinas, etc. (29, 88).



**Figura 1.** Rutas involucradas de los extractos de plantas que se utilizan para el control de enfermedades.

**Figure 1.** Involved routes of plant extracts used for the control of diseases.

El mecanismo de acción es variable, por ejemplo la toxicidad de los fenoles en 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 DNA, y de las lectinas y polipéptidos se conoce 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 (47).

Las actividades antifúngica y antibacteriales de las especies de plantas de diferentes ambientes ecológicos y abundantes en la naturaleza ha sido reportada en diferentes estudios frente a fitopatógenos, tanto en condiciones *in vitro* como *in vivo* con el fin de apoyar en el control de enfermedades de cultivos agrícolas (19, 55).

Las enfermedades más comunes en productos hortofrutícolas son después de la cosecha, reflejados en daño fisiológico y patológico (13).

Según Calvo y Martínez-Martínez (2009), los antimicrobianos tienen diferentes mecanismos de acción: a) la inhibición en la síntesis de la pared bacteriana; b) los que bloquean mecanismos de resistencia (los más importantes son los inhibidores de  $\beta$ -lactamasas de serina, que incluyen ácido clavulánico, sulbactam y tazobactam); c) los mecanismos que actúan en la membrana citoplásmica; d) los inhibidores de la síntesis proteica; e) los que actúan en el metabolismo o la estructura de los ácidos nucleicos y f) los de mecanismo de bloqueo de la síntesis de factores metabólicos.

Los aceites y extractos de las plantas principalmente de clavo (*Syzygium aromaticum*), orégano (*Origanum vulgare*), tomillo (*Thymus vulgaris*), entre otros, presentan actividad inhibitoria contra ciertos microorganismos de importancia en los alimentos, a estos compuestos no se les atribuye un mecanismo de acción específico. Sin embargo, existen algunos sitios de acción en la célula donde puede ocurrir algún efecto como daño a la membrana citoplasmática, degradación de la pared celular, daño a las proteínas, filtración del contenido celular, coagulación al citoplasma o disminución a la fuerza motriz.

El carvacrol presente en aceites esenciales de orégano y tomillo, presenta un mecanismo de acción donde es capaz de desintegrar la membrana externa de las bacterias (Gram negativas), permitiendo la salida de lipopolisacáridos e incrementando la permeabilidad de la membrana citoplasmática provocando la salida del ATP inhibiendo la actividad de las ATPasas (38).

Los metabolitos secundarios de las plantas tiene diversos métodos de obtención dependiendo del fin para la aplicación. Estudios mencionan las maneras más comunes de extraer los metabolitos de material vegetal, el cual se puede obtener a partir de extractos acuosos (46), aceites esenciales (8, 11, 89) y productos alcohólicos con la ayuda de disolventes metanólicos y etanólicos entre otros (55).

### **Extractos alcohólicos**

El uso indiscriminado de sustancias desarrolladas sintéticamente para el control de plagas y enfermedades, ha ocasionado la inducción de resistencia de algunos microorganismos. Es por ello que se buscan nuevas alternativas para el control.



Se ha estudiado el uso de productos etanólicos y metanólicos derivados de plantas, tal es el caso de estudios de Gamboa-Alvarado *et al.* (2003) donde se extrajo la resina de *Flourensia cernua*, *Origanum majorana* y *Bouvardia ternifolia* con metanol mediante el método de Sóxhlet, para evaluar su efecto en el crecimiento micelial de *Rhizoctonia solani* y *Phytophthora infestans in vitro*.

Los resultados expresados en porcentaje de inhibición fueron aceptables para los tres extractos sobre *R. solani*, mostrando un efecto fungistático hasta la dosis de 20,000 ppm.

Para el caso de *P. infestans* se obtuvieron valores altamente significativos al obtenerse que el extracto de *O. majorana* presentó un efecto fungicida desde la dosis de 8,000 ppm; mientras que los extractos *F. cernua* y *B. ternifolia* mostraron un ligero efecto fungistático a dosis altas.

Estudios reportados por Tequida-Meneses (2002), con extractos alcohólicos utilizando los solventes metanol y etanol al 70% en *Larrea tridentata*, *Datura discolor*, *Baccharis glutinosa* y *Proboscidea parviflora* sobre las especies de hongos *Aspergillus flavus*, *Aspergillus niger*, *Penicillium chrysogenum*, *Penicillium expansum*, *Fusarium poae* y *Fusarium moniliforme*, controlaron al menos el crecimiento de dos especies de hongos. Por ejemplo, *L. tridentata*, inhibió el crecimiento de las seis especies de hongos en un rango de 41,5% hasta el 100% tomando en cuenta tanto a los extractos metanólicos como a los extractos etanólicos.

### Estudios con aceites esenciales

Las plantas poseen una capacidad casi ilimitada para sintetizar sustancias aromáticas, entre las cuales se encuentran como la mayoría fenoles o sus derivados oxígeno-sustituídos.

En general son metabolitos secundarios, es decir, que no tienen un papel esencial en el metabolismo de la plantas pero sirven a la planta para otras funciones entre las que destacan las de defensa, de acuerdo con Walton y Brown (1999). Estos productos nombrados comúnmente esencias, son sustancias olorosas volátiles contenidas normalmente en los vegetales. Su volatilidad los diferencia de los aceites fijos que producen los lípidos, los cuales son particularmente abundantes en las Retaceas, Umbelíferas, Mirtáceas y Labiadas (82). Son compuestos del agradable olor de determinadas plantas y algunos con poder antimicrobiano como el mentol obtenido de la menta (*Menta piperita*) y la capsaicina de la planta conocida como pimiento rojo o chile (*Capsicum annuum*) (31).

El uso de aceites esenciales en el control de microorganismos patógenos ha sido estudiado en los últimos años, tal es el caso donde se ha mostrado que el aceite esencial de orégano (*Lippia palmeri* S. Wats) de materiales recolectados en el estado de Sonora y utilizado frente a patógenos de salud humana ha presentado actividad antimicrobiana contra *Escherichia coli* O157:H7 y *Staphylococcus aureus*. Atribuyendo la propiedad a la presencia de compuestos como carvacrol, timol, p-cimeno, cariofileno, acetato de timol,  $\alpha$ -bisaboleno,  $\gamma$ -terpineno, mirceno y  $\alpha$ -cariofileno (58). Estos resultados apoyan el concepto de que pueden ser utilizados para saborizar y preservar alimentos (26).

Esta misma especie *Lippia palmeri*, ha sido reportada por Borboa-Flores *et al.* (2010) en el control de fitopatógenos como *Clavibacter michiganensis* el cual ocasiona la enfermedad chancro bacteriano en tomate; también se utilizaron aceites esenciales como (*Thymus vulgaris*) y Canela (*Cinnamomum zeylanicum*). Con

mayor efecto antibacteriano, destaca el aceite esencial de orégano en tres concentraciones 1:1, 1:5 y 1:10.

El fitopatógeno *Fusarium* sp. ha sido reportado afectando frutos, por lo que se han reportado efecto antifúngico de aceites esenciales. En bioensayos en la inhibición del crecimiento micelial de *Fusarium* sp., se observó un efecto antifúngico del el aceite de *Thymus vulgaris* con total inhibición a 200, 250 y 300 µg/ml. Mientras que los aceites de *Cinnamomum zeylanicum*, *Syzygium aromaticum* y *Teloxysambrosioides*, mostraron una inhibición del crecimiento micelial con dosis de 100 a 300 µg/ml (57).

### **Mecanismos de acción de aceites esenciales**

Los aceites esenciales han demostrado poseer características insecticidas, antioxidantes, anti-bacterianos, antifúngicos, antiviral (16, 25, 44).

Se ha demostrado que los géneros *Origanum* (orégano) y *Thymus* (Tomillo), *Cinnamom* (Canela), tienen propiedades antioxidantes, relacionadas con los compuestos fenólicos, carvacrol y el timol que pueden ser utilizados bajo ciertas condiciones como fungicidas y bactericidas, para inducir la lisis rápida de la célula bacteriana (9).

Los mecanismos de acción de los diversos compuestos orgánicos de las plantas son variables, y la toxicidad de los fenoles se atribuye a la oxidación de compuestos en la célula (28). Del carvacol se ha reportado que se encuentra presente en aceite esencial de orégano en un 60 a 70% y en tomillo 45%. La inhibición de crecimiento de muchos patógenos por carvacol ha sido reportada en varios artículos, sin embargo no se ha definido el mecanismo de acción de este (65).

Respecto del aceite de tomillo, se menciona que su mecanismo de acción es por un rompimiento de la membrana a

través de los compuestos lipofílicos (62).

Los triterpenos pueden actuar siguiendo diversos mecanismos en dependencia de su naturaleza química. Los triterpenos de naturaleza alcohólica pueden alterar la naturaleza coloidal del protoplasma celular provocando su muerte (63).

De los alcaloides se ha postulado que se intercala con el ADN, el de las lectinas y polipéptidos se conoce 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 (28).

Otro estudio reporta que los componentes del aceite esencial interfieren con las funciones de permeabilidad de la membrana celular (45).

Se ha reportado que el aceite esencial de fragarin, puede alterar la permeabilidad e interrumpir la función de la membrana celular de hongos y bacterias, dando por resultado la disipación del potencial de la membrana. De igual forma, fue confirmado que con el uso de los liposomas, la inhibición inmediata del consumo de oxígeno y la disipación inmediata del potencial de la membrana, el efecto sobre la membrana precede o es simultáneo con la muerte celular (34).

Otros compuestos como los esteroides pueden interferir en determinados procesos de síntesis vitales de la célula bacteriana (63).

En la búsqueda de sustancias naturales que permitan desarrollar nuevas estrategias para controlar y eliminar plagas, se han realizado numerosas investigaciones con aceites esenciales, y se ha observado que actúan como bio-controladores debido a la presencia de metabolitos secundarios, los cuales están implicados en el control biológico contra organismos fitopatógenos, y en ciertos casos, activando procesos de defensa

en la planta, brindando una protección preventiva (21, 33, 43). Estas fracciones líquidas volátiles que contienen las sustancias responsables del aroma de las plantas, son mezclas complejas de hasta 100 componentes, entre ellos: terpenoides, fenoles aromáticos, éteres, ésteres, aldehídos y cetonas que determinan el aroma característico de la planta donante (10, 76).

Shiva (2007), indica que los metabolitos secundarios, se encuentran en estructuras histológicas especializadas, localizadas sobre o cerca de la superficie de la planta.

Su función en la planta sigue en estudio pero se asocia a la inhibición de la germinación de malas hierbas y como protección contra bacterias, hongos e insectos y para favorecer la polinización (76).

Los aceites esenciales son biodegradables, amigables con el ambiente y poseen bajos o inexistentes niveles de toxicidad, lo que permite que sean utilizados en cualquier ambiente (24). Lo anterior se ha reflejado en el interés que han mostrado los investigadores para obtener nuevos conocimientos sobre el potencial de las plantas aromáticas, sobre las bacterias fitopatógenas, donde se evaluó la actividades antibacterianas de los aceites esenciales de las plantas medicinales contra el crecimiento del *Clavibacter michiganensis* subsp. *michiganensis* utilizando los aceites esenciales obtenidos de las plantas de orégano (*Origanum syriacum*), tomillo (*Thymbra spicata*), menta (*Mentha spicata*) y lavanda (*Lavandula stoechas* ssp. *stoechas*).

El resultado indicó que el aceite

esencial del tomillo fue el más eficaz de inhibir el crecimiento de bacterias como *Clavibacter michiganensis*, seguido por los aceites de orégano, menta y lavanda (79).

## CONCLUSIÓN

Las zonas áridas presentan una diversidad de plantas con potencial para ser utilizadas en el biocontrol de enfermedades fitopatógenas, ya que presentan metabolitos secundarios entre los que figuran monoterpenos, sesquiterpenos y compuestos fenólicos que tienen acción biocontroladora de agentes causantes de enfermedades en plantas.

El uso de plantas nativas de ambientes árido-salinos es una alternativa útil para el apoyo en campo y postcosecha de productos hortícolas para reducir la presencia de agentes patógenos que son causantes de pérdidas de rendimiento y producción, además de deteriorar la calidad en el fruto. Estos productos vegetales con enfoque biocontrolador ayudan a reducir el uso de químicos sintéticos utilizados en la agricultura.

No obstante, es importante dilucidar más especies vegetales que se desarrollan en ambientes de aridez y salinidad como es el Desierto de Sonora y ahondar sobre la composición de metabolitos secundarios presentes y su posible acción biocontroladora sobre plagas y microorganismos fitopatógenos.

## BIBLIOGRAFÍA

1. Aballa, A.; Rosen, J. P. 2001. The effects of stabilized extracts of sage and oregano on the oxidation of salad dressings. *European Food Research and Technology*. 212: 551-560.
2. Ackerman, B. A.; Johnson, G. D.; Navarro, C. A.; Alcaraz, F. R. 1991. Gramíneas de Sonora. Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos. Comisión Técnico Consultiva de Coeficientes de Agostadero. 174 p.
3. Andrade, L. A. T.; Orozco, M. S. S.; Correa, C. R. B.; Davey, C. H. 2015. Efecto fungistático de extractos y aceites esenciales de *Lippia origanoides* HBK y *Thymus vulgaris* L. como alternativas de manejo de *Botrytis cinerea* en fresa. *Acta Agronómica*. 64(1): 93-99.
4. Angulo-Escalante, M. Á.; Armenta-Reyes, E.; García-Estrada, R. S.; Carrillo-Fasio, J. A.; Salazar-Villa, E.; Valdéz-Torres, J. B. 2009. Extractos de Semilla de *Swietenia humilis* Zucc. con Actividad Antifúngica en *Rhizopus stolonifer* (Ehrenb.: Fr.) Vuill. *Revista mexicana de Fitopatología*. 27(2): 84-92.
5. Ávalos, G. A.; Pérez-Urria, C. E. 2009. Serie Fisiología Vegetal. *Reduca Biología* 2 (3): 119-145.
6. Badii, M. H.; Landeros, J. 2015. Plaguicidas que afectan a la salud humana y la sustentabilidad. *Cultura Científica y Tecnológica*. 4(19): 22-34.
7. Barkla, B. J.; Vera-Estrella, R.; Balderas, E.; Pantoja, O. 2007. Mecanismos de tolerancia a la salinidad en plantas. *Biocología*. 14: 263-272.
8. Barrera, L. L.; García, L. J. 2008. Actividad antifúngica de aceites esenciales sobre el crecimiento de *Fusarium* sp. *Revista Universidad de Oriente Agrícola*. 8(1): 33-41.
9. Basim, E.; Basic, H.; Dikstein, E. R.; Jones, J. B. 2004. Bacterial Canker caused by *Clavibacter michiganensis* subsp. *michiganensis* on greenhouse-grow tomato in the Western Mediterranean region of Turkey. *Plant Disease*. 88: 1048.
10. Batish, D.; Singh, H.; Kohli, R.; Kaur, S. 2008. Eucalyptus essential oil as a natural pesticide. *Forest Ecol. Manage. In Press*. Doi. 10: 1016.
11. Bedoya, O. A.; Bolaños, F.; Villota, O.; Hurtado B. A.; Toro, I. 2012. Optimización del rendimiento y contenido de timol de aceite esencial de orégano silvestre obtenido por arrastre con vapor. *Biocología en el sector agropecuario y agroindustrial*. 10(2): 217-226.
12. Boiteux, J. J.; Hapon, M. V.; Fernández, M. de los A.; Lucero, G. C.; Pizzuolo, P. H. 2015. Efecto del extracto acuoso de chañar (*Geoffroea decorticans* Burkart) sobre *Botrytis cinerea*, como posible alternativa para su control durante poscosecha de uva de mesa. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Cuyo. Mendoza. Argentina*. 47(1): 241-250.
13. Bolívar, K.; Sanabria, M. E.; Rodríguez, D.; De Camacaro, M. P.; Ulacio D.; Cumana, L. J.; Crescente O. 2009. Potencial efecto fungicida de extractos vegetales en el desarrollo *in vitro* del hongo *Colletotrichum gloeosporioides* (Penz.) Penz. y Sacc. y de la antracnosis en frutos de mango. *Revista Científica UDO Agrícola*. 9(1): 175-181.
14. Borboa-Flores, J.; Rueda-Puente, E.; Acedo-Félix, E.; Ponce, J.; Cruz-Villegas, M.; García-Hernández, J.; Ortega-Nieblas, M. 2010. Evaluación de la actividad antibacteriana *in vitro* de aceites esenciales contra *Clavibacter michiganensis* subespecie *michiganensis*. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*. 12(3): 539-547.
15. Borrego-Alonso, S. 2015. Los biocidas vegetales en el control del biodeterioro del patrimonio documental. *Perspectivas e impacto*. *Revista CENIC Ciencias Biológicas*. 46(3): 259-269.
16. Burt, S. 2004. Essential oils: their antibacterial properties and potential applications in foods a review. *International Journal of Food Microbiology*. 94: 223-253.
17. Cáceres-Rueda de León, I.; Colorado-Vargas, R.; Salas-Muñoz, E.; Muñoz-Castellanos, L. N.; Hernández-Ochoa, L. 2013. Actividad Antifúngica *in vitro* de extractos acuosos de especies contra *Fusarium oxysporum*, *Alternaria alternata*, *Geotrichum candidum*, *Trichoderma* spp., *Penicillium digitatum* y *Aspergillus niger*. *Revista mexicana de Fitopatología*. 31(2): 105-112.
18. Calvo, J.; Martínez-Martínez, L. 2009. Mecanismos de acción de los antimicrobianos. *Enfermedades infecciosas y microbiología clínica*. 27(1): 44-52.

19. Camele, I.; Altieri, L.; De Martino, L.; De Feo, V.; Mancini, E.; Rana, G. L. 2012. *In vitro* control of post-harvest fruit rot fungi by some plant essential oil components. International Journal of Molecular Science. 13(2): 2290-2300.
20. Castellanos González, L.; Lorenzo Nicao, M. E.; Muiño, B. L.; Hernández Pérez, R.; Guillen Sánchez, D. 2015. Efecto *in vitro* de plaguicidas comerciales sobre *Trichoderma harzianum* cepa A- 34. Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Cuyo. Mendoza. Argentina. 47(2): 185-196.
21. Castillo, J. 2004. Determinación de metabolitos secundarios en plantas silvestres del parque nacional Terepaima, municipio Palavecino, estado Lara. Tesis. Universidad Centrooccidental Lisandro Alvarado, Venezuela. p. 103.
22. Cázar, M. E.; Villena, P.; Parra, J.; Espinoza, V.; Larriva, G.; Caldas, A. 2015. Eficacia de extracto etanólico de eucalipto (*Eucalyptus globulus*) en el control de *Alternaria* sp. en cultivos de col y patata. Maskana. 5(1): 33-41.
23. Cervantes, M. 2005. Plantas de importancia económica en zonas áridas y semiáridas de México. Anais do X Encontro de Geógrafos da América Latina: 3388-3407.
24. Cheng, S.; Liu, J.; Huang, C.; Hsui, Y.; Chen, W.; Chang S. 2009. Bioresource Technology. 100: 457-464.
25. Cisterna Cahuer, V.; Sepúlveda Chavera, G. 2015. Efficiency of an enzymatic detergent in the control of *Praeelongorthezia olivicola* (Beingolea) (Hemiptera: Ortheziidae) in the Northern Chile. Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Cuyo. Mendoza. Argentina. 47(2): 213-218.
26. Corella-Bernal, R. A.; Ortega-Nieblas, M. M. 2013. Importancia del aceite esencial y la producción de orégano *Lippia palmeri* Watson en el estado de Sonora. Biotecnia. 15(1): 57-64.
27. Cotoras, M.; Silva, E. 2005. Differences in the initial events of infection of *Botrytis cinerea* strains isolated from tomato and grape. Mycologia. 97:485-92.
28. Cowan, M. M. 1999. Plant products as antimicrobial agents. Clin. Microbiol. Rev. 10: 564.
29. Davicino, R.; Mattar, M. A.; Casali, Y. A.; Correa, S. G.; Pettenati, E. M.; Micalizzi, B. 2007. Actividad antifúngica de extractos de plantas usadas en medicina popular en Argentina. Revista peruana de biología. 14(2): 247-252.
30. Degenhardt, T. R.; Farias, V. I.; Grassi, T. L.; Franchi, C. G.; Nowill, E. A.; Bittencourt, M. D. S. C.; Wagner, M. T.; De Souza, M. M.; Malheiros, A. 2016. Characterization and evaluation of the cytotoxic potential of the essential oil of *Chenopodium ambrosioides*. Revista Brasileira de Farmacognosia. 26(1): 56-61.
31. Domingo, D.; López, B. M. 2003. Plantas con actividad antimicrobiana. Rev. Esp Qimoterap. España. 16(4): 385-393.
32. De Santa Olalla, M. F.; López, F. P.; Calera, B. 2005. Agua y Agronomía. Editorial Mundi-Prensa. España. 330 p.
33. Ducrot, P. H. 2005. Organic chemistry's contribution to the understanding of biopesticida activity of natural products from higher plants. p. 47-58. En: Regnault, R. C.; B. J. J. Philogene; C. Vincent (eds.). Biopesticides of plant origin. Lavoiser and Intercept, Ltd., Paris and Andover. 313 p.
34. Filippone, M. P.; Días, M. P.; Diaz, J. C.; Castagnaro, R. A.; Ricardo, P.; Farías R. N. 2001. Effect of Fragarin on the Cytoplasmic Membrane of the Phytopathogen *Clavibacter michiganensis*. Molecular Plant-Microbe Interactions. 14(7): 925-928.
35. Flores, G. J. A.; Macías, C. G. V. 2008. Importancia de las cactáceas como recurso natural en el noreste de México. CIENCIA-UANL. 11(1): 5-11.
36. Gamboa-Alvarado, R.; Hernández-Castillo, F. D.; Guerrero-Rodríguez, E.; Sánchez-Arizpe, A.; Lira-Saldívar, R. H. 2003. Inhibición del crecimiento micelial de *Rhizoctonia solani* Kühn y *Phytophthora infestans* Mont.(de Bary) con extractos vegetales metanólicos de Hojasén (*Flourensia cernua* DC), Mejorana (*Origanum majorana* L.) y Trompetilla (*Bouvardia ternifolia* Ca. Schlecht). Revista Mexicana de Fitopatología. 21(1): 13-18.
37. García, C.; Martínez, A.; Ortega, J.; Castro F. 2010. Componentes químicos y su relación con las actividades biológicas de algunos extractos vegetales. Revista Química Viva. 2: 86-96.
38. García-García R. M.; Palou-García, E. 2008. Mecanismos de acción antimicrobiana de timol y carvacrol sobre microorganismos de interés en alimentos. Temas selectivos de Ingeniería de Alimentos. 2(2): 41-51.

39. González-Maldonado, M. B.; García-Gutiérrez, C. 2012. Uso de biorracionales para el control de plagas de hortalizas en el norte de Sinaloa. *Ra Ximhai*. 8(3): 31-45.
40. Granados-Sánchez, D.; López-Ríos, G. F.; Gama-Flores, J. L. 1998. Adaptaciones y estrategias de las plantas de zonas áridas. *Ciencias Forestales y del Ambiente*. 4(1): 169-178.
41. Guisado, F. H.; Bernabé, J. R. 2004. Descripción y control del mildiu y oídio en tomate de industria. *Vida rural*. 191: 38-41.
42. Hernández, A. N.; Bautista, S.; Velásquez, M. G. 2007. Prospectiva de extractos vegetales para controlar enfermedades postcosecha hortofrutícolas. *Revista Fitotecnia Mexicana*. 30 (2):119-123.
43. Kagale, S.; Marimuthu, T.; Thayumanavan, B.; Nandakuman, R.; Samiyappan, R. 2004. Antimicrobial activity and induction of systemic resistance in rice by leaf extract of *Datura metel* against *Rhizoctonia solani* and *Xanthomona oryzae* pv. *oryzae*. *Physiological and Molecular Plant Pathology*. 65: 91-100.
44. Kordali, S.; Fakir, A.; Mavi, A.; Yildirim, A. 2005. Screening of Chemical Composition and Antifungal and Antioxidant Activities of the Essential Oils from three Turkish *Artemisa* Species. *J. Agric. Food. Chem*. 53: 1408-1416.
45. Lambert, R. J.; Hanlon, G. W.; Denyer, S. P. 2004. The synergistic effect of EDTA/antimicrobial combinations on *Pseudomonas aeruginosa*. *J Appl Microbiol*: 96 (2):244-253.
46. Lastra, V. H.; Rodríguez, L. E.; Ponce de León, R. H.; González, S. M. L. 2000. Método analítico para la cuantificación de taninos en el extracto acuoso de romerillo. *Revista cubana de plantas medicinales*. 5(1): 17-22.
47. Lauzardo, A. N. H.; Baños, S. B.; del Valle, M. G. V. 2007. Prospectiva de extractos vegetales para controlar enfermedades postcosecha hortofrutícolas. *Revista Fitotecnia Mexicana*. 30(2): 119-123.
48. Lira-Saldívar, R. H. 2003. Estado actual del conocimiento sobre las propiedades biocidas de la gobernadora [*Larrea tridentata* (DC) Coville]. *Revista Mexicana de Fitopatología*. 21(2): 214-222.
49. López, G. P.; Rodríguez, A. G.; Oyama, K.; Reyes, P. C. 2014. Importancia de la diversidad genética sobre la defensa química de plantas y las comunidades de herbívoros. *Biológicas Revista de la DES Ciencias Biológico Agropecuarias Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo*. 15(2): 1-8.
50. López, J. I. 2008. Optimización de patrones de cultivo de distritos de riego del noroeste de México. *Revista Chapingo serie zonas áridas*. 7: 157-163.
51. Martínez, S.; Terrazas, E.; Alvarez, T.; Mamani, O.; Vila, J.; Mollinedo, P. 2010. Actividad antifúngica *in vitro* de extractos polares de plantas del género *Baccharis* sobre fitopatógenos. *Revista Boliviana de Química*. 27(1):13-18.
52. Mazuela, Á. P. C. 2013. Agricultura en zonas áridas y semiáridas. *Idesia (Arica)*. 31(2): 3-4.
53. Medrano, F. G. 2012. Las zonas áridas y semiáridas de México y su vegetación: Plantas útiles e impacto humano en las zonas áridas y semiáridas de México. Instituto Nacional de Ecología. México. 145-156 p.
54. Montoya-Ballesteros, L. C.; Gardea-Béjar, A.; Ayala-Chávez, G. M.; Martínez-Núñez, Y. Y.; Robles-Ozuna L. E. 2010. Capsaicinoides y color en chiltepín (*Capsicum annum* var. *aviculare*): Efecto del proceso sobre salsas y encurtidos. *Revista mexicana de ingeniería química*. 9(2): 197-207.
55. Moreno-Limón, S.; González-Solís, L. N.; Salcedo-Martínez, S. M.; Cárdenas-Ávila, M. L.; Perales-Ramírez, A. 2011. Efecto antifúngico de extractos de gobernadora (*Larrea tridentata* L.) sobre la inhibición *in vitro* de *Aspergillus flavus* y *Penicillium* sp. *Polibotánica*. 32: 193-205.
56. Nava-Pérez, E.; García-Gutiérrez, C.; Camacho-Báez, J. R.; Vázquez-Montoya, E. L. 2012. Bioplaguicidas: una opción para el control biológico de plagas. *Ra Ximhai*. 8(3): 17-29.
57. Necha, L. L. B.; Barrera, L. J. G. 2009. Actividad antifúngica de aceites esenciales y sus compuestos sobre el crecimiento de *Fusarium* sp. aislado de papaya (*Carica papaya*). *Revista UDO Agrícola*. 9(1): 175-181.

58. Ochoa , M. J.; Rivera-López, L.; Gómez-Leyva, J. F. 2016. Método de selección en explantes in vitro de *Opuntia* sps. con resistencia a la mancha negra causada por *Pseudocercospora opuntiae*. Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Cuyo. Mendoza. Argentina. 48(1): 21-31.
59. Ortega-Nieblas, M.; Robles-Burgueño, M.; Acedo-Félix, E.; González-León, A.; Morales-Trejo, A.; Vázquez-Moreno, L. 2011. Composición química y actividad antimicrobiana del aceite esencial de orégano (*Lippia palmeri* S. Wats). Revista fitotecnia mexicana. 34(1): 11-17.
60. Ortega-Rubio, A. 1992. Uso y manejo de los recursos naturales en la Sierra de La Laguna, Baja California Sur. México: Centro de Investigaciones Biológicas de Baja California Sur. 5: 368 p.
61. Osuna-Carreón, A.; Ail-Catzim, C.; García-López, A. M.; Cruz-Villegas, M.; Troncoso, R. R. 2014. Efecto insecticida de *Pluchea sericea* sobre adultos de *Bemisia tabaci*. Entomología Mexicana. 1: 1018-1021.
62. Oussalah, M.; Callet, S.; Lacroix, M. 2006. Mechanism of action of Spanish oregano, Chinese cinnamon, and savory essential oils against cell membranes and walls of *Escherichia coli* O157:H7 and *Listeria monocytogenes*. J Food Prot. 69: 1046-1055.
63. Pelczar, M. J.; Reid, R. D. 1992. Microbiología. Ed. Pueblo y Educación. La Habana Cuba. 664 p.
64. Peñuelas-Castañeda, O.; Arellano-Gil, M.; Vargas-Arispuro, I. C.; Lares-Villa, F.; Cantú-Soto, E. U.; Hernández-Rodríguez, S. E.; Gutiérrez-Coronado, M. A.; Mungarro-Ibarra, C. 2015. Bioactividad in vitro de extractos de gobernadora (*Larrea tridentata*) sobre la inhibición de hongos poscosecha: *Alternaria tenuissima*, *Aspergillus niger*, *Penicillium polonicum* y *Rhizopus oryzae*. Polibotánica. 40: 183-198.
65. Pérez Osorio, P. G. 2003. Efecto de la aplicación de un bactericida natural sobre la incidencia de *Erwinia carotovora* en post cosecha de radicchio variedad coralo R3 . Tesis de licenciatura. Facultad de Agronomía. Pontificia Universidad Católica de Valparaíso. Quillota-Chile. 61 p.
66. Pulido-Herrera, A.; Zavaleta-Mejía, E.; Cervantes-Díaz, L.; Grimaldo-Juárez, O. 2012. Alternativas de control en la pudrición radical de cebolla para el Valle de la Trinidad, Baja California. Revista mexicana de ciencias agrícolas. 3(1): 97-112.
67. Rivera-Castañeda, G.; Martínez-Téllez, M. A.; Vallejo-Cohen, S.; Alvarez-Manilla, G.; Vargas-Arispuro, I. D. C.; Moya-Sanz, P.; Primo-Yufera, E. 2001. *In vitro* inhibition of mycelial growth of *Tilletia indica* by extracts of native plants from Sonora, Mexico. Revista Mexicana de Fitopatología. 19(2): 214-217.
68. Rodríguez, H. C. 2002. Plantas contra plagas. Potencial práctico de ajo, anona, nim, chile y tabaco. Ed. RAAPAN. México. 133 p.
69. Rodriguez-Garcia, I.; Cruz-Valenzuela, M. R.; Silva-Espinoza, B. A.; Gonzalez-Aguilar, G. A.; Moctezuma, E.; Gutierrez-Pacheco, M. M.; Tapia-Rodriguez, M. R.; Ortega-Ramirez, L. A.; Ayala-Zavala, J. F. 2016. Oregano (*Lippia graveolens*) essential oil added within pectin edible coatings prevents fungal decay and increases the antioxidant capacity of treated tomatoes. Journal of the Science of Food and Agriculture. 96: 3772-3778.
70. Rodriguez-Maturino, A.; Troncoso-Rojas, R.; Sánchez-Estrada, A.; González-Mendoza, D.; Ruiz-Sanchez, E.; Zamora-Bustillos, R.; Aviles-Marin, M. 2015. Efecto antifúngico de extractos fenólicos y de carotenoides de chiltepín (*Capsicum annum* var. *glabriusculum*) en *Alternaria alternata* y *Fusarium oxysporum*. Revista argentina de microbiología. 47(1): 72-77.
71. Rosas-Burgos, E. C.; Cortez-Rocha, M. O.; Cinco-Moroyoqui, F. J.; Robles-Zepeda, R. E.; López-Cervantes, J.; Sánchez-Machado, D. I.; Lares-Villa, F. 2009. Antifungal activity in vitro of *Baccharis glutinosa* and *Ambrosia confertiflora* extracts on *Aspergillus flavus*, *Aspergillus parasiticus* and *Fusarium verticillioides*. World Journal of Microbiology and Biotechnology. 25(12): 2257-2261.
72. Rueda-Puente, E. O.; Hernández-Montiel, L. G.; Holguín-Peña, R. J.; Franciso, H.; López Elías, J.; Huez-López, M. A.; Ortega-García, J. 2014. *Ralstonia solanacearum*: Una enfermedad bacteriana de importancia cuarentenaria en el cultivo de *Solanum tuberosum* L. Rev. INVURNUS. 9(1): 24-36.

73. Sartori, M.; Nesci, A.; Etcheverry, M. 2015. Infección de *Fusarium verticillioides* y contenido de fumonisinas en granos de maíz de plantas con inflorescencias femeninas cubiertas y no cubiertas. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Cuyo. Mendoza. Argentina.* 47(1): 251-261.
74. SEMARNAT (Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales). 2004. Catálogo de recursos forestales maderables y no maderables. Obtenido de [http://www.conafor.gob.mx/biblioteca/Catalogo\\_de\\_recursos\\_forestales\\_M\\_y\\_N.pdf](http://www.conafor.gob.mx/biblioteca/Catalogo_de_recursos_forestales_M_y_N.pdf). consultado 15 de octubre 2015.
75. Sepúlveda-Jiménez, G.; Porta-Ducoing, H.; Rocha-Sosa, M. 2003. La participación de metabolitos secundarios en la defensa de plantas. *Revista mexicana de Fitopatología.* 21(3): 354-363.
76. Shiva, R. C. 2007. Estudio de la actividad antimicrobiana de extractos naturales y ácidos orgánicos. Posible alternativa a los antibióticos promotores de crecimiento. Tesis Doctoral. Departamento de Sanidad y Anatomía de Animales. Facultad de Veterinaria. Universidad Autónoma de Barcelona. 173 p.
77. SIAP (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera). 2016. Obtenido de: <http://www.siap.gob.mx/cierre-de-la-produccion-agricola-por-estado/>. Consultado 15 febrero 2016.
78. Soto, M. C. 2003. La agricultura comercial de los distritos de riego en México y su impacto en el desarrollo agrícola. *Investigaciones geográficas.* 50: 173-195.
79. Soyly, S.; Soyly, E. M.; Bozkurt, İ. A.; Kaya, A. D. 2003. Antibacterial activities of essential oils from oregano, thyme, rosemary and lavender plants against *Pseudomonas savastanoi* pv. phaseolicola, the causal agent of halo blight of bean. *Ovidius Univ. Ann. Med. Sci. Pharm.* 1: 40-44.
80. Suárez-Jiménez, G. M.; Cortez-Rocha, M. O.; Rosas-Burgos, E. C.; Burgos-Hernández, A.; Plascencia-Jatomea, M.; Cinco-Moroyoqui, F. J. 2007. Antifungal activity of plant methanolic extracts against *Fusarium verticillioides* (Sacc.) Nirenb, and fumonisin B1 production. *Revista Mexicana de Fitopatología.* 25(2): 134-142.
81. Tequida-Meneses, M.; Cortez-Rocha, M.; Rosas-Burgos, E. C.; López-Sandoval, S.; Corrales-Maldonado, C. 2002. Efecto de extractos alcohólicos de plantas silvestres sobre la inhibición de crecimiento de *Aspergillus flavus*, *Aspergillus niger*, *Penicillium chrysogenum*, *Penicillium expansum*, *Fusarium moniliforme* y *Fusarium poae*. *Revista iberoamericana de micología.* 19: 84-88.
82. Torres, C. M. 2004. Investigación en la transformación secundaria de fruto, tubérculos, flores y hoja o tallo de especies pertenecientes al ecosistema andino. Informe técnico Jardín botánico. Subdirección de ciencias botánicas. Bogotá D. C. 2-14 p.
83. Valenzuela-Cota, D. F.; Buitimea-Cantúa, G. V.; Rosas-Burgos, E. C.; Cinco-Moroyoqui, F. J.; Yépiz-Gómez, M. S.; Cortez-Rocha, M. O.; Plascencia-Jatomea, M.; Burgos-Hernández, A. 2014. The antifungal effect of *Jacquinia macrocarpa* plant extracts on the growth of *Aspergillus flavus*, *A. parasiticus* and *Fusarium verticillioides*. *Revista Mexicana de Micología.* 39: 2-11.
84. Vargas-Arispuro, I.; Martínez-Téllez, M. A. 1998. Compuestos de plaguicidas obtenidos de plantas de zonas áridas. Trabajo presentado en symposium internacional sobre la utilización y aprovechamiento de la flora silvestre en zonas áridas. Universidad de Sonora. 179-188.
85. Villa, R. A. O.; Bracamonte, S. Á. 2013. Procesos de aprendizaje y modernización productiva en el agro del noroeste de México: Los casos de la agricultura comercial de la Costa de Hermosillo, Sonora y la agricultura orgánica de la zona sur de Baja California Sur. *Estudios fronterizos.* 14(27): 217-254.
86. Villa-Martínez, A.; Pérez-Leal, R.; Morales-Morales, H. A.; Basurto-Sotelo, M.; Soto-Parra, J. M.; Martínez-Escudero E. 2015. Situación actual en el control de *Fusarium* spp. y evaluación de la actividad antifúngica de extractos vegetales. *Acta Agronómica.* 64(2): 194-205.
87. Walton, N. J.; Brown D. E. 1999. Chemical from plants. perspectives on plants secondary products. Imperial College Press. 160: 1249-1250.
88. Wilson, C. L.; El Ghaouth, A. Y.; Wisniewski, M. E. 1999. Prospecting in nature's storehouse for biopesticides. *Revista Mexicana de Fitopatología.* 17: 49-53.
89. Wogiatzi, N. E. 2009. Chemical composition and antimicrobial effects of greek *Origanum* species essential oil. *Biotechnol y biotechnol.* 1322 p.