



# **COLEGIO DE POSTGRADUADOS**

**INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS AGRÍCOLAS**

**CAMPUS MONTECILLO**

**POSTGRADO DE AGROECOLOGÍA Y SUSTENTABILIDAD**

## **ANÁLISIS SOCIOECOLÓGICO DE LOS AGROECOSISTEMAS DE NOPAL Y SU RELACIÓN CON LA DINÁMICA DE LA COCHINILLA SILVESTRE**

**ITZEL ÁNGELES HERNÁNDEZ GONZÁLEZ**

**T E S I S**  
**PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL**  
**PARA OBTENER EL GRADO DE:**

**MAESTRA EN CIENCIAS**

**MONTECILLO, TEXCOCO, ESTADO DE MÉXICO, MÉXICO**

2022



# COLEGIO DE POSTGRADUADOS

INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS AGRÍCOLAS

La presente tesis titulada: “Análisis socioecológico de los agroecosistemas de nopal y su relación con la dinámica de la cochinilla silvestre” realizada por la estudiante: “Itzel Ángeles Hernández González” bajo la dirección del Consejo Particular indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

MAESTRA EN CIENCIAS  
AGROECOLOGÍA Y SUSTENTABILIDAD

## CONSEJO PARTICULAR

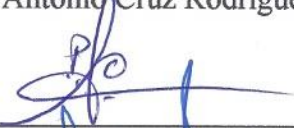
CONSEJERO

  
\_\_\_\_\_  
Dr. Julio Sánchez Escudero

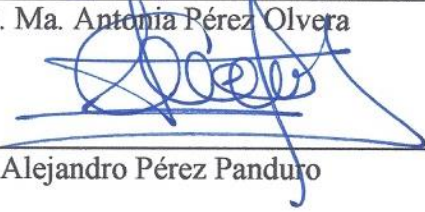
DIRECTOR

  
\_\_\_\_\_  
Dr. Juan Antonio Cruz Rodríguez

ASESORA

  
\_\_\_\_\_  
Dra. Ma. Antonia Pérez Olvera

ASESOR

  
\_\_\_\_\_  
Dr. Alejandro Pérez Panduro

Montecillo, Texcoco, Estado de México, México, octubre de 2022

# ANÁLISIS SOCIOECOLÓGICO DE LOS AGROECOSISTEMAS DE NOPAL Y SU RELACIÓN CON LA DINÁMICA DE LA COCHINILLA SILVESTRE

Itzel Ángeles Hernández González, M. C.  
Colegio de Postgraduados, 2022

## RESUMEN

El objetivo de esta investigación fue identificar los factores sociales y ecológicos que incrementan los niveles de resiliencia de los agroecosistemas de nopal (*Opuntia ficus-indica* (L.) Mill: Cactaceae) en la gestión de la cochinilla silvestre (*Dactylopius opuntiae* (Cockerell) Hemiptera: Dactylopiidae). A partir de métodos de investigación mixtos (cuantitativos y cualitativos), se identificaron las percepciones, los actores sociales y las acciones de gestión de la cochinilla que realizan los agricultores; y se evaluaron los cambios en los niveles de infestación en dos sistemas de manejo: orgánico (SMO) y convencional (SMC) a partir del grado de lignificación de los cladodios, la protección de la cochinilla, y la abundancia de enemigos naturales. El análisis estadístico se realizó a través de un modelo lineal generalizado (GLM) y de correlación de variables. El proceso de gestión de la cochinilla comprende cinco prácticas y cuatro controles, siendo el químico el predominante. El control físico se considera importante pero no se realizan prácticas para potenciar su efecto, y el control biológico no es reconocido por los agricultores. Se encontraron diferencias en los niveles de infestación en los sistemas de manejo: 1) el nivel de infestación es 15 veces mayor en el SMC que en el SMO, 2) los cladodios maduros no lignificados son la parte de la planta que más se infestan, y 3) que la densidad y diversidad de depredadores cambian según el manejo. Se discute la posibilidad de que la gestión agroecológica de la cochinilla promueve la resiliencia a partir del control biológico y físico, además de prácticas de manejo asociadas.

**Palabras clave:** *Opuntia ficus-indica*, enemigos naturales, resiliencia.

# **SOCIAL-ECOLOGICAL ANALYSIS OF CACTUS AGROECOSYSTEMS AND THEIR RELATIONSHIP WITH THE DYNAMICS OF WILD COCHINEAL**

**Itzel Ángeles Hernández González, M. C.  
Colegio de Postgraduados, 2022**

## **ABSTRACT**

The objective of this research was to identify the social and ecological factors that increase the resilience levels of prickly pear cactus (*Opuntia ficus-indica* (L.) Mill: Cactaceae) agroecosystems in the management of wild cochineal (*Dactylopius opuntiae* (Cockerell) Hemiptera: Dactylopiidae). Using mixed research methods (quantitative and qualitative), we identified the perceptions, social actors and management actions taken by farmers; and evaluated changes in infestation levels in two management systems: organic (OMS) and conventional (CMS) based on the degree of lignification of cladodes, cochineal protection, and abundance of natural enemies. Statistical analysis was performed through a generalized linear model (GLM) and correlation of variables. The cochineal management process comprises five practices and four controls, with chemical control being the predominant one. Physical control is considered important but its effect is not enhanced, and biological control is not recognized by farmers. Differences in infestation levels were found in the management systems: 1) the level of infestation is 15 times higher in CMS than in OMS, 2) mature non-lignified cladodes are the most infested part of the plant, and 3) that the density and diversity of predators change according to management. The possibility of agroecological management of cochineal is discussed if resilience is promoted through physical and biological control and associated management practices.

**Key words:** *Opuntia ficus-indica*, natural enemies, resilience

## AGRADECIMIENTOS

Al pueblo de México, que a través del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, me otorgó una beca para realizar los estudios de maestría.

Al Colegio de Postgraduados, en especial al campus Montecillos y al posgrado de Agroecología y Sustentabilidad por haberme dado las facilidades para continuar con mi formación académica.

Al Dr. Juan Antonio Cruz Rodríguez a quien admiro por ser un gran maestro e investigador con amplia calidez humana. Agradezco la dirección de la presente tesis y correcciones realizadas, por su apoyo en la fase de campo y, además, por sus enseñanzas y apoyo en mi formación profesional. Gracias por confiar en mi.

Al Dr. Julio Sánchez Escudero por ser un excelente consejero y por su dedicación para realizar esta investigación. Agradezco su apoyo en campo y su gestión para contar con las condiciones para realizar el trabajo de laboratorio, por sus enseñanzas y su atención siempre amable.

A la Dra. Ma. Antonia Pérez Olvera por haber formado parte de mi consejo particular y contribuir en la revisión y corrección de la tesis.

A la Dr. Alejandro Pérez Panduro por haber tenido la paciencia de revisar y corregir el manuscrito para el artículo y la tesis de investigación.

A las agricultoras y agricultores que contribuyeron en esta investigación por su apoyo con las entrevistas y con las visitas a sus parcelas. Gracias por su tiempo, experiencias y conocimientos compartidos. Mi reconocimiento por todo el esfuerzo que realizan para producir nopales.

A mis amigas y amigos, Alix, José, Joel, Arturo, Indira, Uriel, Aleks, Mariano, Rigo, Armando, Paty, César, Elisa, Mario, y en especial a mi querida Claudia, por su compañía, comprensión y apoyo durante este proceso de maestría en pandemia.

## **DEDICATORIA**

A mis padres María de los Ángeles y Juan

A mis hermanos Diana y Stalin

Por su apoyo incondicional y por motivarme siempre a seguir adelante.

## CONTENIDO

|   |            |
|---|------------|
| <b>RESUMEN.....</b>   | <b>iii</b> |
| <b>ABSTRACT.....</b>  | <b>iv</b>  |
| <b>AGRADECIMIENTOS.....</b>   | <b>v</b>   |
| <b>DEDICATORIA.....</b>   | <b>vi</b>  |
| <b>LISTA DE CUADROS .....</b>   | <b>ix</b>  |
| <b>LISTA DE FIGURAS.....</b>  | <b>x</b>   |
| <b>INTRODUCCIÓN GENERAL.....</b>  | <b>1</b>   |
| <b>LAS PLAGAS COMO UN FENÓMENO SOCIOECOLÓGICO .....</b>   | <b>4</b>   |
| <b>Introducción.....</b>  | <b>4</b>   |
| <b>El enfoque socioecológico .....</b>  | <b>6</b>   |
| <b>Perspectivas sobre las plagas y estrategias para su gestión.....</b>   | <b>8</b>   |
| <b>El origen de las decisiones para la gestión de plagas .....</b>  | <b>12</b>  |
| <b>La gestión de plagas desde un enfoque socioecológico.....</b>  | <b>15</b>  |
| <b>La cochinilla silvestre del nopal: relaciones socioecológicas que determinan su<br/>    condición como plaga.....</b>                                  | <b>17</b>  |
| <b>¿Resiliencia de qué?: Caracterización del agroecosistema de nopal verdura .....</b>  | <b>17</b>  |
| <b>¿Resiliencia a qué?: Identificación del desafío que representa la cochinilla<br/>        silvestre .....</b>   | <b>18</b>  |
| <b>¿Resiliencia con qué propósito?: Identificación de la resiliencia deseada ante el<br/>        fenómeno de la cochinilla silvestre como plaga .....</b> | <b>22</b>  |
| <b>¿Qué capacidades de resiliencia existen?: Identificar las capacidades de<br/>        resiliencia de los agroecosistemas de nopal .....</b>             | <b>24</b>  |
| <b>¿Qué mejora la resiliencia?: Propuesta de gestión agroecológica de la cochinilla<br/>        silvestre para mejorar la resiliencia.....</b>            | <b>28</b>  |
| <b>CAPÍTULO I. ANÁLISIS SOCIOECOLÓGICO DE LA GESTIÓN DE LA<br/>COCHINILLA SILVESTRE DEL NOPAL VERDURA.....</b>  | <b>32</b>  |
| <b>1.1 INTRODUCCIÓN.....</b>  | <b>32</b>  |
| <b>1.2 MATERIALES Y MÉTODOS.....</b>  | <b>36</b>  |
| <b>1.2.1 Área de estudio .....</b>  | <b>36</b>  |
| <b>1.2.2. Factores socioecológicos que influyen en la gestión de la cochinilla silvestre ....</b>   | <b>36</b>  |

|  |           |
|--|-----------|
| <b>1.3 RESULTADOS.....</b>   | <b>38</b> |
| <b>1.3.1 Perspectivas de los agricultores sobre los factores que influyen en la gestión de <i>D. opuntiae</i>.....</b> | <b>38</b> |
| <b>1.3.2 Dinámica de los niveles de infestación de la cochinilla silvestre .....</b>                                   | <b>42</b> |
| <b>1.3.3 Abundancia de enemigos naturales .....</b>  | <b>45</b> |
| <b>1.4 DISCUSIÓN.....</b>  | <b>46</b> |
| <b>CONCLUSIONES GENERALES.....</b>   | <b>53</b> |
| <b>LITERATURA CITADA .....</b>   | <b>55</b> |
| <b>ANEXOS.....</b>   | <b>66</b> |
| <b>Guía de entrevista a productores y productoras de nopal en Milpa Alta, Ciudad de México.....</b>                    | <b>66</b> |
| <b>Memoria fotográfica.....</b>  | <b>69</b> |



## LISTA DE CUADROS

|   |    |
|---|----|
| Cuadro 1.. Coeficientes de regresión ( $\beta_i$ ) de los factores que influyen en los niveles de infestación de <i>D. opuntiae</i> en dos sistemas de manejo contrastantes ..... | 43 |
|---|----|

## LISTA DE FIGURAS

|  |    |
|--|----|
| Figura 1. Red semántica de las percepciones de los agricultores sobre la cochinilla silvestre y su gestión.....  | 38 |
| Figura 2. Principales factores que influyen en la gestión de <i>D. opuntiae</i> según la percepción de los agricultores. El grosor de las flechas indica la mayor frecuencia. Las flechas punteadas indican la conexión entre los factores.....  | 39 |
| Figura 3. Porcentaje de cladodios según su nivel de infestación a través del tiempo en dos sistemas de manejo: orgánico y convencional .....   | 42 |
| Figura 4. Razón de cambio ( $e\beta_i$ ) de los factores que influyen en los niveles de infestación de <i>D. opuntiae</i> en dos sistemas de manejo: orgánico (SMO) y convencional (SMC), a partir de los coeficientes de regresión ( $\beta_i$ ) de Modelos lineales generalizados, transformados a la función $e\beta_i$ para comparar las variables de manejo, grado de lignificación y protección.....   | 44 |
| Figura 5. Distribución de la infestación de la cochinilla silvestre y de sus enemigos naturales bajo sistema de manejo convencional (SMC) y orgánico (SMO). A) Razón de cambio ( $e\beta_i$ ) de los niveles de infestación de la cochinilla silvestre del nopal. Datos a partir de los coeficientes de regresión ( $\beta_i$ ) de Modelos lineales generalizados, transformados a la función $e\beta_i$ para comparar la variable de tiempo como punto de referencia el mes de febrero. B) Densidad promedio de enemigos naturales de la cochinilla silvestre. .... | 45 |

## INTRODUCCIÓN GENERAL

La cochinilla silvestre (*Dactylopius opuntiae* (Cockerell) Hemiptera: Dactylopiidae) es un insecto que se considera una plaga por los daños que ocasiona a los cladodios y a los frutos del nopal (*Opuntia ficus-indica* (L.) Mill: Cactaceae), que pueden ser tan severos como para destruir una plantación en seis meses (Pérez y Becerra, 2001; Badii y Flores, 2001). La rápida expansión de la cochinilla silvestre se explica, parcialmente, por sus mecanismos de protección contra depredadores: producción de ácido carmínico en su hemolinfa y la excreción de cera a través de las estructuras cuticulares; la cual limita la efectividad de los plaguicidas (Eisner *et al.*, 1980; Viguera y Portillo, 2016).

En México, cuando la infestación de cochinilla es baja, el control se realiza mediante control mecánico (barrido con escoba) de las pencas (CESAVEDF, 2019a) y poda de cladodios altamente infestados con cochinilla (Mena-Covarrubias, 2018). Es posible que el barrido solo disminuya la población de hembras adultas de la cochinilla, ya que las ninfas (fase móvil) se dispersan y pueden volver a repoblar los cladodios. La lluvia es un factor ambiental que disminuye la abundancia de *D. opuntiae* (Moran y Hoffmann, 1987), no obstante, no se ha considerado para su gestión.

Cuando la infestación es alta, el control de la cochinilla se realiza con insecticidas altamente peligrosos (Badii y Flores, 2001; Ramírez, 2019). El órgano público que regula el uso de plaguicidas en México sólo tiene autorizados tres plaguicidas de baja toxicidad. La existencia de pocas opciones de insecticidas registrados para nopal se debe a la dificultad para cumplir con los intervalos de seguridad debido a la alta frecuencia de los cortes de los cladodios (Pérez *et al.*, 2013). En estudios realizados en Estado de México y Sonora se han detectado residuos de plaguicidas en nopales tuna y verdura, lo que constituye un riesgo a la salud y el ambiente, además de un obstáculo para su exportación (Aldana, 2008; Ángeles *et al.*, 2014).

Se ha planteado que el uso de insecticidas en el nopal exhibe una dependencia de estos insumos, ya que los insecticidas se pueden usar cada vez más y generar un gasto al productor (Ramírez, 2019). El uso de los insecticidas para el control de la cochinilla, puede según autores como Altieri y Nicholls, (2007) inducir resistencia y eliminar insectos benéficos, lo cual altera las redes de interacción biótica que podrían ayudar a regular al insecto plaga y evitar su resurgimiento.

A diferencia de la agricultura convencional, en las plantaciones de nopal tunero con manejo orgánico certificado, se ha encontrado evidencia de que ocurre regulación de las poblaciones de *D. opuntiae* por la acción de un complejo de enemigos naturales, que actúan conjuntamente para evitar que esta especie alcance el estatus de plaga (Cruz-Rodríguez *et al.* 2016). Los enemigos naturales superan las defensas de la cochinilla silvestre y actúan de manera diferencial en forma densodependiente (Cruz-Rodríguez *et al.*, 2016). Sin embargo, aunque esos enemigos naturales son capaces de ejercer regulación, el uso extendido de agroquímicos posiblemente limiten su acción y hace que los problemas con la cochinilla silvestre se extiendan (Ramírez, 2019). En México, a pesar de ser el centro de origen del nopal, no se aprovecha la acción de los enemigos naturales sobre la cochinilla silvestre, mientras que en países como Etiopía es necesario importarlos para controlar a la cochinilla ya que no existen de manera natural (Mendel *et al.*, 2020).

Una de las principales zonas productoras de nopal verdura del país está en la alcaldía de Milpa Alta en la Ciudad de México (SIAP, 2022). En la actualidad el cultivo de nopal es el eje de la economía de los agricultores de esta región (Ramírez Becerril, 2019). En esta zona, la cochinilla silvestre del nopal es una plaga primaria y los agricultores combaten mecánica y químicamente; predominando el control químico (Rodríguez *et al.*, 2021). No obstante, a pesar de la importancia del cultivo, de la zona productora y del desafío que representa la cochinilla, no se ha evaluado su gestión desde una perspectiva social y ecológica que permita reconocer y promover mecanismos de resiliencia de los agroecosistemas.

Por lo anterior, el objetivo de esta investigación fue analizar la gestión de *D. opuntiae* en relación con su dinámica y sus enemigos naturales. Los objetivos particulares fueron: 1) caracterizar los sistemas de manejo de nopal orgánico y convencional con énfasis en el manejo de la cochinilla; 2) determinar por cada sistema de manejo la dinámica de los niveles de infestación de la cochinilla; y 3) determinar la relación de los niveles de infestación de la cochinilla y la abundancia de enemigos naturales. La hipótesis de este trabajo fue considerar que en el agroecosistema de nopal el productor decide y aplica estrategias productivas para el manejo de su parcela, las cuales repercuten en la abundancia de *D. opuntiae* y de sus enemigos naturales. Además, que existen variaciones en los sistemas de gestión, tanto prácticas sostenibles que generan mecanismos de resiliencia, como aquellas que limitan la regulación poblacional de la cochinilla y promueven que alcance el estatus de plaga.

El presente trabajo está organizado en un ensayo y un capítulo. En ensayo se presentan a las plagas como un fenómeno socioecológico y se hace énfasis en la cochinilla silvestre que se presenta en las plantaciones de nopal verdura. Con la conclusión del ensayo con una propuesta de gestión agroecológica para mejorar la resiliencia, se presenta el capítulo de análisis socioecológico de la gestión de la cochinilla silvestre. En donde, a partir de métodos de investigación mixtos se identificaron los factores sociales y ecológicos que incrementan los niveles de resiliencia de los agroecosistemas de nopal en Milpa Alta.

# LAS PLAGAS COMO UN FENÓMENO SOCIOECOLÓGICO

## Introducción

Las plagas son uno de los principales desafíos de la agricultura moderna (Culliney, 2014). Este fenómeno es omnipresente e inherente a los agroecosistemas que se diseñan y operan con base en el enfoque de la agricultura convencional, lo cual determina que se controlen preponderantemente con el uso de plaguicidas (insecticidas, herbicidas, fungicidas, etc.) (Gliessman, 2015). Aunque dicho método es eficaz para disminuir las poblaciones de plagas, inevitablemente se generan efectos negativos en el ambiente y dañan la salud de productores, trabajadores agrícolas y consumidores (Culliney, 2014; Gliessman, 2015).

Es conocido que la abundancia de alimento, ausencia de competidores y depredadores y condiciones ambientales predecibles y estables favorecen el incremento exponencial de las poblaciones de insectos y que esas condiciones se satisfacen plenamente en los agroecosistemas convencionales (Begon, *et al.*, 2006; Phelan, 2009). No obstante, en estos sistemas rara vez se cuestionan las razones (o circunstancias) que inducen incrementos en la abundancia de los organismos plaga (Altieri y Nicholls, 2018). Además, que poco se reconoce que la condiciones que dan origen a las plagas también son resultado de las decisiones de gestión tomadas por los actores responsables de los agroecosistemas y de los procesos de gobernanza que se dan a nivel territorial (Phelan, 2009; Darnhofer *et al.* 2016).

Con base en lo anterior, se ha propuesto que el fenómeno de las plagas no solo se debe abordar desde una perspectiva agronómica, ya que se trata de un fenómeno socioecológico resultado de la interacción de factores ecológicos, sociales, económicos e institucionales (Magarey *et al.*, 2019; Meuwissen *et al.*, 2019). Al respecto, Altieri y Nicholls (2018) mencionan que la aspiración de la sociedad de disponer productos agrícolas sanos, diversos y suficientes, generados con procesos conservadores del ambiente y comercializados a precios justos para productores y consumidores, requiere que el fenómeno socioecológico de las plagas se gestione con mecanismos que refuercen la resiliencia de los agroecosistemas y que promuevan esquemas de producción sustentables.

En el presente ensayo, se presentan las relaciones socioecológicas que determinan el fenómeno de las plagas y, para ello en un primer apartado se presenta el enfoque socioecológico en los agroecosistemas al desafío de plagas. En segundo lugar, se hace una revisión de las perspectivas

sobre las plagas, los efectos de su gestión en la agricultura convencional y la propuesta agroecológica. Dado las influencias económicas, culturales y políticas en la gestión de plagas se desarrolla la intervención de los actores en las decisiones de gestión.

Para ampliar las perspectivas de las plagas como un fenómeno socioecológico se llevó a cabo una revisión de la gestión de las plagas desde el enfoque socioecológico. En este se discute que para sostener la capacidad productiva de los agroecosistemas y para mantener los servicios ecosistémicos que contribuyan al bienestar social, se requiere reforzar la resiliencia ante el desafío de las plagas. Para ejemplificar lo anterior, se presenta un análisis de la capacidad de resiliencia que poseen los agroecosistemas de producción de nopal verdura en Milpa Alta, Ciudad de México, ante la presencia de su plaga principal: la cochinilla silvestre del nopal. Dicho análisis se llevó a cabo a partir del reconocimiento de los procesos socioecológicos que determinan su condición de plaga, el cual implicó las siguientes acciones: 1) Caracterizar los agroecosistemas de nopal verdura; 2) Identificar el desafío que representa la cochinilla silvestre; 3) Identificar la resiliencia deseada ante el fenómeno de la cochinilla silvestre como plaga; 4) Identificar las capacidades de resiliencia actuales; y 5) Realizar una propuesta de gestión agroecológica de la cochinilla silvestre del nopal.

## **El enfoque socioecológico**

El enfoque socioecológico se desarrolló a partir de los planteamientos de Berkes y Folke (1998) para analizar la gestión de los recursos locales (Colding y Barthel, 2019). Existen diferentes marcos de abordaje, no obstante, los enfoques coinciden en la búsqueda de cruzar la frontera entre las ciencias sociales y naturales, y utilizar metodologías integrales y multidisciplinarias para establecer propuestas relacionadas con la sustentabilidad (Berkes y Folke, 1998; Balvanera *et al.*, 2017).

Desde esa perspectiva se plantea el concepto de sistemas socioecológico, que de acuerdo con Balvanera *et al.* (2017), se concibe como “un sistema de interacciones complejas e interdependientes entre los distintos componentes sociales y ecológicos” en donde se desarrolla la actividad humana a través de procesos de gestión y de gobernanza (Cabell y Oelofse, 2012). Folke *et al.* (2016) mencionan que esto incluye los conocimientos de las personas, los manejos y reglas que median la interacción de los seres humanos con el ambiente.

Dentro de los sistemas socioecológicos se han estudiado los llamados agroecosistemas para introducir nuevas dimensiones ecológicas y sociales para su diseño y manejo (Lescourret *et al.*, 2015). Como cualquier sistema ecológico los agroecosistemas se estructuran con base en distintos niveles de organización biológica (individuos, poblaciones y comunidades) a lo que hay agregar el componente social que se expresa a través de su sistema de gestión que a su vez está determinado por influencias de carácter tanto económico, cultural y político (Lescourret *et al.*, 2015; Darnhofer *et al.* 2016).

Los sistemas socioecológicos se presentan a diferentes escalas temporales y espaciales (Folke *et al.*, 2016). Se caracterizan por presentar dinámicas no lineales con potencial para ser caóticas, y aunque pueden poseer mecanismos de retroalimentación, su comportamiento no siempre es predecible (Biggs *et al.*, 2015). No obstante, a pesar de esta complejidad, se busca potenciar los sistemas socioecológicos hacia escenarios deseados y con respuestas de adaptación a desafíos nuevos e inesperados, a través de procesos de gestión y gobernanza (Biggs *et al.*, 2015).

El grado de estabilidad de los sistemas socioecológicos se determina a partir de su resiliencia o vulnerabilidad a tensiones y perturbaciones del medio (Meuwissen *et al.*, 2019). La resiliencia se define como la capacidad que poseen los sistemas socioecológicos para ser robustos, adaptarse o



transformarse, frente a cambios esperados e inesperados, de tal forma que sigan contribuyendo al bienestar humano (Folke *et al.*, 2016). No es una propiedad fija, sino que surge a partir de la dinámica entre las relaciones sociales y ecológicas a través del tiempo” (Darnhofer *et al.*, 2016).

La capacidad de resiliencia de un sistema socioecológico depende, en gran medida de las decisiones y acciones que emprendan sus actores sociales (Folke *et al.*, 2016; Balvanera *et al.*, 2017; Meuwissen *et al.*, 2019). En este sentido la robustez se ha definido como la capacidad que tendría un sistema socioecológico para soportar cambios sin afectar su estructura. La adaptabilidad, por su parte, se ha expresado como la capacidad de los actores sociales para afrontar los cambios por medio de decisiones y acciones que sostienen, innoven y mejoran las condiciones de los sistemas. Finalmente, la transformación, se considera como la capacidad que tienen los actores de hacer modificaciones significativas en la estructura del sistema y se expresa a través de procesos de gobernanza y autogestión que llevan a crear instituciones y políticas públicas que permiten la sustentabilidad del sistema (Meuwissen *et al.*, 2019).

En el caso específico de los agroecosistemas su resiliencia se expresa a través de su capacidad para mantener la producción alimentos y materias primas ante cambios y perturbaciones económicas, sociales, ambientales e institucionales (Cabell y Oelofse, 2012; Meuwissen *et al.*, 2019). Para ello, se requiere que sus procesos de gestión favorezcan su robustez, adaptabilidad y transformación (Meuwissen *et al.*, 2019).

Los agroecosistemas enfrentan distintos desafíos, entre los que destacan los relacionados con el crecimiento poblacional de especies silvestres que consumen los cultivos y los animales de cría. Cuando estas especies generan afectaciones económicas significativas reciben la denominación de plaga (Culliney, 2014). En todos los casos su aparición se ha considerado como un fenómeno socioecológico, ya que frecuentemente está asociada con la composición y estructura de los agroecosistemas y con decisiones de manejo que toman los agricultores (Pimentel y Perkins, 2019; Magarey *et al.*, 2019).

## **Perspectivas sobre las plagas y estrategias para su gestión**

Pimentel y Perkins (2019) señalan que, desde la perspectiva biológica, las plagas son organismos que aumentan su población en sistemas de cultivo que les proporcionan condiciones adecuadas para su reproducción, supervivencia y dispersión. Asimismo, Altieri y Nicholls (2007) plantean que las plagas agrícolas son especies fitófagas o herbívoros, principalmente insectos, que se alimentan en cultivos y en la vegetación asociada; son alimento para sus depredadores y tienen múltiples interacciones ecológicas con otros organismos. Sin embargo, también se ha señalado que plaga es un concepto antropocéntrico (Schowalter, 2016) que “se basa en juicios y preferencias humanas” (Pimentel y Perkins, 2019). En la agricultura convencional es común que se señale que “cada artrópodo herbívoro en un cultivo es una plaga o una potencial plaga y por lo tanto debe ser combatido” (Morales y Perfecto, 2000). En contraparte, se han documentado casos de agricultores tradicionales que están conscientes del daño que los insectos generan en los cultivos, pero que no les dan la denominación de plaga y no los consideran un problema a combatir, ya que sus formas de manejo les permiten convivir con tales organismos (Morales y Perfecto, 2000; Vandermeer y Perfecto, 2013).

Es indudable que los herbívoros limitan el crecimiento de las plantas, reducen sus capacidades competitivas y tienen un fuerte impacto en la productividad agrícola (Price *et al.*, 2011). Las estimaciones de las pérdidas en la producción son muy variables, ya que dependen de múltiples factores, pero se han documentado afectaciones de más del 50 % (Culliney, 2014). Por su importancia, el control de plagas representa, en promedio, más del 30 % del costo de producción (Culliney, 2014).

Sin embargo, la aplicación de insecticidas, que es el mecanismo habitual para el control de plagas en la agricultura convencional, ha generado cambios significativos en la estructura y funcionamiento de los agroecosistemas que, con frecuencia, reduce sus componentes bióticos, especialmente los enemigos naturales de los fitófagos, y favorece cadenas tróficas cortas y lineales (Phelan, 2009). Lo anterior puede provocar el resurgimiento de las poblaciones plaga e incluso la aparición de plagas secundarias (Begon *et al.*, 2006).

Además, los insectos fitófagos adquieren resistencia a los insecticidas, debido a la presencia de mecanismos metabólicos que también se utilizan para eliminar las sustancias de defensa de las

plantas (Després *et al.*, 2007). Bajo esta condición, las dosis de aplicación de los insecticidas se hacen subletales y genera un efecto contrario al esperado al estimular la función reproductiva del organismo plaga (Abivardi, 2004). Este fenómeno, que se conoce como hormoligosis, podría ocurrir por la aplicación de plaguicidas per se o por la reducción de enemigos naturales, la eliminación de especies competidoras, la alteración de la apetencia de la planta y la dispersión de los organismos plaga (Abivardi, 2004).

De igual forma, se ha documentado que el uso de monocultivos con variedades resistentes o variedades modificadas genéticamente (que suelen producir una toxina), seleccionan organismos tolerantes y tienen un impacto negativo en los enemigos naturales (Gassmann *et al.*, 2014). La concentración de recursos (plantas de una sola variedad con alta uniformidad genética, de la misma edad y con condiciones macro y microambientales idénticas), permiten que los fitófagos altamente seleccionados tengan más probabilidades de encontrar y permanecer en los cultivos (Romero, 2010; Price *et al.*, 2011). Esto hace evidente que, a pesar de los esfuerzos por simplificar los agroecosistemas, siguen existiendo vínculos biológicos que es necesario tomar en cuenta (Phelan, 2009).

Existen múltiples evidencias de que los sistemas de gestión de los agroecosistemas pueden, de forma no intencionada, favorecer el crecimiento de las poblaciones de insectos fitófagos. Tales evidencias no son nuevas, ya que desde 1960 se planteó que el estado nutricional de las plantas cultivadas influye en su susceptibilidad al ataque de plagas y enfermedades (Chaboussou, 2004). Esta teoría, que se denomina trofobiosis o desbalance nutricional (Phelan, 2009), establece que cuando los herbívoros se alimentan de una planta que ha sido dotada de una mayor cantidad de nitrógeno, incrementan su crecimiento poblacional debido a que se favorece su desarrollo y reproducción.

La respuesta de los herbívoros depende de la cantidad de nitrógeno disponible, de la forma química de nitrógeno que toma en la planta y de su proporción con respecto a otros nutrientes (Phelan, 2009). Cuando hay desequilibrios en la cantidad de nutrientes que absorbe la planta se generan concentraciones altas de aminoácidos libres que son metabólicamente más accesibles para los herbívoros (Phelan, *et al.*, 1996). Esto beneficia, principalmente, a los insectos que se alimentan de savia ya que se estimula su alimentación y oviposición (Price *et al.*, 2011).

Además, el desbalance nutrimental y otros factores ambientales como la precipitación, la temperatura, la salinidad de los suelos, la contaminación del aire y los niveles altos de CO<sub>2</sub> atmosférico, reducen la eficacia de algunos compuestos defensivos de la planta (Cockfield, 1988), ya que influyen en la fitoquímica de las plantas que regula su resistencia y susceptibilidad al ataque de los herbívoros (Price *et al.*, 2011)

¿Desde esta perspectiva, qué alternativas existen al manejo de plagas con base en insecticidas? Para ello se ha propuesto que antes de implementar mecanismos de control, se valore la función ecológica de herbívoros en los agroecosistemas (Vázquez-Moreno, 2011). Para ello es necesario reconocer que los herbívoros no siempre afectan a las plantas y que los niveles de daño que podrían generar dependen de las partes de la planta afectadas, del momento del ataque en relación con su desarrollo y de su capacidad de tolerancia y resistencia (Begon *et al.*, 2006). Además, se sabe que a nivel poblacional los herbívoros y las plantas regulan mutuamente su distribución y abundancia (Price *et al.*, 2011). Por tal razón, es necesario identificar qué características deben poseer los agroecosistemas para que conserven mecanismos de regulación poblacional de los herbívoros, que eviten daños excesivos a los cultivos (Vázquez-Moreno, 2011).

Desde esta perspectiva se ha postulado que entre más parecidos sean los agroecosistemas a los ecosistemas naturales de la región en que se encuentran, tendrán un mayor grado de estabilidad y serán más sostenibles (Gliessman, 2015). Lo anterior se basa en el reconocimiento de que, a mayor diversidad de especies, tanto taxonómica como funcional, se tendrán mayores niveles de estabilidad en los ecosistemas (Ives *et al.*, 2000) y se evitan los crecimientos exponenciales de los herbívoros (Schowalter, 2016).

Al trasladar estas ideas al contexto de los agroecosistema, se ha señalado que la diversidad de especies limitaría el crecimiento de los herbívoros de tres maneras: a) por reducir la concentración de alimento; b) por generar una resistencia asociativa a partir de la flora acompañante, que ofrece recursos alternativos y disminuye el ataque de herbívoros en los cultivos; y c) por proveer el servicio ecosistémico de la regulación de plagas a través de la acción de enemigos naturales (Price *et al.*, 2011; Swinton *et al.* 2016). En este sentido se ha enfatizado que el diseño de las plantaciones y el paisaje agrícola deben favorecer la presencia organismos que contribuyan a reducir las afectaciones de los fitófagos sobre los cultivos (Altieri y Nicholls, 2007; Bianchi *et al.*, 2006).

De acuerdo con Phelan (2009), para que los agroecosistemas sean estables ante el ataque de herbívoros, es necesario aumentar la complejidad y el nivel de integración de sus redes de interacción ecológicas. A este respecto, McCann (2005), señala que los modelos teóricos que representan la interacción simple entre un depredador y una presa prevén que la presencia de agentes de control especialistas causa, paradójicamente, crecimientos explosivos de la población presa. En este contexto, la sobreexplotación de los recursos conlleva a una muerte rápida de los depredadores. Bajo esta condición, señala McCann (2005), la presa resurge con altas densidades, mientras que el agente de control se recupera lentamente. Por el contrario, señala (Phelan, 2009) cuando las cadenas alimenticias se transforman en redes, por introducir competidores de los herbívoros o depredadores generalistas, se genera una disminución en la amplitud de las oscilaciones poblacionales, lo cual incrementa la estabilidad del sistema y evita el crecimiento explosivo de las presas. Lo anterior pone en evidencia que, la simplificación de los agroecosistemas cobra un precio alto sobre su estabilidad (Phelan, 2009).

Estudios realizados en sistemas con manejo agroecológico, sin la aplicación de insumos de origen industrial, muestran que existen sistemas de gestión de las poblaciones de herbívoros con base en prácticas preventivas (por ejemplo, diversificación de cultivos, incremento de la materia orgánica del suelo, equilibrio nutrimental las plantas y manejo de las fechas de siembra y cosecha), que reducen la necesidad de prácticas curativas (como los insecticidas) (Vázquez-Moreno, 2011). Vandermeer (2011) señala que este tipo de gestión permite que las interacciones ecológicas limiten el crecimiento de las poblaciones de herbívoros de forma indirecta y autónoma.

## **El origen de las decisiones para la gestión de plagas**

Noy y Jabbour (2020) consideran que a pesar de que los sistemas de gestión de los agroecosistemas están influenciados por múltiples factores y actores, son los productores quienes finalmente toman la decisión de qué tipo de prácticas implementar para la gestión de las plagas. Estas decisiones se basan en sus conocimientos, intereses, motivaciones, metas personales, costos, montos de inversión y expectativas de ganancias y, para ello, se asumen riesgos personales o familiares (Romero, 2010; Bardenhagen, 2020). Además, consideran las condiciones climáticas y ambientales a la par que toman decisiones para la gestión de otros insectos, arvenses y otros componentes del sistema (Noy y Jabbour, 2020).

La gestión de plagas conlleva acciones de manejo y gobernanza que buscan reducir sus impactos y garantizar la producción. No obstante, la capacidad de las comunidades agrícolas para enfrentar el fenómeno de las plagas es diversa y no siempre se implementan acciones que contribuyen a su resiliencia y sustentabilidad (Nicholls y Altieri, 2012).

En el caso de los agricultores tradicionales, Berkes (1999) señala que estos toman decisiones con base en la acumulación de conocimientos, prácticas y creencias, que evolucionan por procesos adaptativos y se transmiten a través de las generaciones de agricultores. De acuerdo Beltrán-Tolosa *et al.* (2020) los agricultores construyen esquemas de la naturaleza, generan interpretaciones de su entorno y reconocen elementos culturalmente útiles o dañinos. Este conocimiento, que podría considerarse sistémico, les permite, de acuerdo con estos autores, realizar acciones sostenibles para el manejo de su entorno. En este mismo sentido Vandermeer y Perfecto (2013) sostienen que en muchos casos los agricultores tradicionales llegan a ser conscientes de que el mundo natural ofrece servicios ecosistémicos que contribuyen a la estabilidad, productividad y sustentabilidad de sus agroecosistemas.

Morales y Perfecto (2000) señalan que agricultores tradicionales en algunos países de Latinoamérica, tienen sistemas de gestión de las poblaciones de herbívoros con base en prácticas preventivas y sustentables (tales como manejo del suelo, nutrición de las plantas y cambios de fechas de siembra y cosecha), las cuales reducen la necesidad de prácticas curativas (como los insecticidas). Vandermeer (2011), por su parte, señala que este tipo de gestión permite que ciertas

interacciones ecológicas limiten el crecimiento de las poblaciones de herbívoros y, por lo tanto, logran mantener un control de las plagas de forma indirecta y autónoma.

Wyckhuys *et al.* (2019) señalan que los agricultores tradicionales poseen un conocimiento mayor de los insectos en los agroecosistemas que los agricultores contemporáneos. Al respecto, se ha asociado que entre más se reconoce la función ecológica de los herbívoros y de los enemigos naturales, mayores serán las probabilidades de ejercer prácticas de manejo sustentables (Wyckhuys y O'Neil, 2007; Beltrán-Tolosa *et al.*, 2020). Wyckhuys *et al.* (2019), también destacan que lo opuesto a la comprensión de estas relaciones ecológicas se considera como “analfabetismo ecológico”, y se relaciona con una dependencia mayor a los plaguicidas.

En el caso de la agricultura convencional las decisiones para el control de plagas se determinan por la influencia de múltiples actores: redes de agricultores; asesores técnicos y extensionistas; fabricantes de plaguicidas, sus técnicos y vendedores; la industria alimentaria; las instituciones de crédito; y las políticas públicas (Romero, 2010; Magarey *et al.*, 2019; Noy y Jabbour, 2020). Las redes de agricultores y sus expertos manejan información y conocimientos que los agricultores asocian con confianza y credibilidad; además, los estudios que los técnicos y los extensionistas realizan son reconocidos por los agricultores como importantes para el diagnóstico y el control de plagas (Noy y Jabbour, 2020). No obstante, la información que proviene de las comercializadoras de plaguicidas influye cada vez más para promover el uso de sus productos (Magarey *et al.*, 2019; Noy y Jabbour, 2020). Además, la eliminación de políticas públicas que financian servicios de extensión propicia que los agricultores dependan de la asesoría de los vendedores y técnicos de las compañías de plaguicidas (Wang, 2014) y en la agricultura por contrato, que se promueve por la industria alimentaria, es frecuente que los paquetes tecnológicos favorezcan su uso (Magarey *et al.*, 2019). Estas influencias aumentan el uso de prácticas no sustentables o no contribuyen a la reducción del uso de plaguicidas (Magarey *et al.*, 2019).

Con el propósito de disminuir dichos efectos nocivos de los plaguicidas, a partir de los años 70, se desarrollaron sistemas de manejo integrado de plagas (MIP) (Pimentel y Peshin, 2014). En estos sistemas para efectuar decisiones en la gestión de plagas, se parte de identificar el tamaño poblacional del organismo plaga que genera un daño económico mayor al costo de las acciones de control (umbral de daño económico, UDE). El MIP combina distintos métodos (control cultural, biológico, autocida y químico) y determina la mejor secuencia para aplicarlos antes de que las

poblaciones de plagas alcancen el UDE (Pimentel y Peshin, 2014). No obstante, se ha criticado que para definir el umbral a partir de aspectos económicos como la relación costo-beneficio, no se debe de considerar también los procesos ecológicos como la dinámica poblacional de los organismos (Romero, 2010).

Asimismo, el MIP ha sido criticado porque en su implementación predomina la visión de erradicar brotes de plagas específicos, el manejo se basa en el uso de insumos, no se atienden las causas que dan origen a las plagas y no se considera el control natural biótico y abiótico (Romero, 2010; Altieri y Nicholls, 2018). Aunque el MIP propone utilizar insumos de menor toxicidad como los extractos vegetales y entomopatógenos, los insecticidas de origen industrial siguen siendo predominantes para el control de plagas de insectos herbívoros o fitófagos (Culliney, 2014). Si bien, uno de sus objetivos fue la reducción de plaguicidas, en muchos casos el MIP ha fallado ya que ha sido controlado por las empresas de agrotóxicos que dominan el sistema agroalimentario (Culliney, 2014; Altieri y Nicholls, 2018; Magarey *et al.*, 2019).

En este contexto, el uso de plaguicidas beneficia principalmente a un grupo reducido de corporaciones transnacionales y liberan residuos que afectan la salud humana y que contaminan el ambiente (RAPAM, 2017). Ante ello, existen esfuerzos para restringir y desalentar el uso de plaguicidas desde la Agroecología como ciencia, práctica y movimiento en conjunto con organismos como RAPAM (Red de Acción sobre Plaguicidas y Alternativas en México) y PAN (Pesticide Action Network), y plasmado en informes mundiales como el IAASTD (International Assessment of Agricultural Knowledge, Science and Technology for Development). No obstante, siguen imperando en las decisiones de manejo de las plagas, ya que su uso ha permeado los sistemas agroalimentarios como resultado de sus mecanismos de promoción y por el poder político de la industria de los agroquímicos (IPES, 2016).



## **La gestión de plagas desde un enfoque socioecológico**

La sustentabilidad de un agroecosistema depende, entre otros aspectos, de mantener servicios ecosistémicos, que reduzcan el uso de insumos de origen industrial como son los biocidas (insecticidas, herbicidas, fungicidas, entre otros) (Gliessman, 2015). La gestión de plagas desde la perspectiva de la sustentabilidad busca que el agroecosistema conserve mecanismos de regulación poblacional que eviten el crecimiento excesivo de especies que consumen o compiten con los cultivos (Lescourret *et al.*, 2015). No obstante, la gestión del agroecosistema determina la presencia de este servicio, dado que surge y se mantiene a partir de una relación bidireccional entre la sociedad y la naturaleza (Balvanera *et al.*, 2017). Implica grandes desafíos en virtud de que existen múltiples relaciones entre los distintos servicios ecosistémicos y una gran diversidad de actores involucrados (Lescourret *et al.*, 2015).

El estudio de los agroecosistemas como sistemas socioecológicos podría indicar los elementos y factores que intervienen en su robustez, adaptación y transformación ante el fenómeno de plagas y dará las pautas para aumentar su capacidad de resiliencia. En ese sentido, hay esfuerzos desde la agroecología para conocer las causas que inducen la aparición de plagas y con base en ello diseñar y operar agroecosistemas en los que sea más probable que se presente el servicio ecosistémico de regulación poblacional (Altieri y Nicholls, 2018).

Dado que el fenómeno de plagas es un desafío específico que afecta la resiliencia del agroecosistema, se requiere un marco particular para su análisis. En ese sentido Meuwissen *et al.* (2019) plantean un marco para analizar la resiliencia de los agroecosistemas. Sugieren que es una heurística que permite encontrar elementos y factores inesperados de resiliencia, por lo que es adecuada para realizar el diagnóstico de resiliencia de un agroecosistema. Para lo cual plantean que se requiere contestar las siguientes preguntas:

- 1) ¿Resiliencia de qué? Se necesita identificar el tipo de cultivo, el contexto regional, los agricultores y actores que influyen en el agroecosistema, así como las relaciones que se establecen dentro del sistema.
- 2) ¿Resiliencia a qué? Se indican desafíos económicos, ambientales, sociales e institucionales y se dividen en perturbaciones, que pueden ser reversibles e irreversibles, y en tensiones de largo plazo.

3) ¿Resiliencia con qué propósito? Se definen las funciones que realiza el agroecosistema y la provisión de bienes privados y públicos, alimentos y otros servicios, y privados, que pueden cambiar con el tiempo ya que algunas funciones no son sustentables.

4) ¿Qué capacidades de resiliencia existen? Se describe el grado de la robustez, adaptabilidad, y capacidad de transformación del agroecosistema.

5) ¿Qué mejora la resiliencia? Los atributos que pueden mejorar la resiliencia como las prácticas agrícolas, la demografía de las fincas, la gobernanza y la gestión de riesgos.

Este modelo es adecuado para el análisis de riesgos específicos como la aparición de plagas ya que utiliza el enfoque de sistemas socioecológicos, es multidisciplinario y utiliza métodos de investigación mixtos (cuantitativos y cualitativos).

## **La cochinilla silvestre del nopal: relaciones socioecológicas que determinan su condición como plaga**

A partir del marco para evaluar la resiliencia de los sistemas agrícolas propuesto por Meuwissen *et al.* (2019), se presenta un análisis de las relaciones socioecológicas que determinan la resiliencia al aumento de la población de la cochinilla silvestre en los agroecosistemas de nopal que se localizan en Milpa Alta, Ciudad de México.

### **¿Resiliencia de qué?: Caracterización del agroecosistema de nopal verdura**

Dada la relevancia del cultivo de nopal verdura (*O. ficus-indica* var. Milpa Alta), en la región de Milpa Alta, Ciudad de México, se requiere garantizar su resiliencia a la presencia de la cochinilla silvestre (*D. opuntiae*). El nopal verdura tiene gran importancia culinaria y nutricional (Hernández, 2011; Mondragón y Méndez, 2018). El consumo per cápita nacional es de 6.4 kg y su mayor demanda se ubica en las regiones del centro y norte del país (Mondragón y Méndez, 2018). En México se producen 868,956.28 toneladas al año, en plantaciones distribuidas en el centro, occidente y noreste, con un valor de la producción de \$2,962,063.12 pesos. El 90 % del nopal se comercializa en México y el resto se exporta, principalmente, a EUA, lo que representa una fuente de ingresos para las familias y un sostén de la economía en distintas áreas del país (Mondragón y Méndez, 2018; SIAP, 2022).

El nopal verdura, variedad Milpa Alta, es nativo de la región árida del estado de Hidalgo (Reyes-Agüero, 2004) y fue introducido a la Ciudad de México en 1938. Se estableció, principalmente, en la Milpa Alta de ahí su nombre, que se considera la zona más antigua de producción de nopal verdura en el país (Bonilla, 2009; Mondragón y Méndez 2018). El establecimiento de plantaciones de nopal y su comercialización, dio lugar a procesos de experimentación e innovación campesina, pero también provocó el desplazamiento paulatino de la producción de cultivos tradicionales como la milpa y el maguey (Bonilla, 2009; Sánchez, 2018). No obstante, la tenencia colectiva de la tierra, ejidal y comunal, ha sido factor importante para mantener la agricultura y la identidad campesina en Milpa Alta ante la presión urbana de la ciudad (Bonilla, 2009). La zona agrícola ha sido designada como suelo de conservación por los servicios ecosistémicos que aporta a la Ciudad de México, ya que es un reservorio de flora y fauna, se favorece la fijación de carbono, la infiltración

de agua y la regulación de la temperatura (SEDEMA, 2006; Gobierno de la Ciudad de México, 2022).

Actualmente, Milpa Alta es la segunda zona más importante del país en superficie y producción de nopal, solo tras el área vecina de Tlalnepantla, Morelos (SIAP, 2022). La producción se realiza, principalmente, a cielo abierto y en terrazas, en superficies que en promedio son menores a una hectárea y bajo un régimen de tenencia de la tierra comunal, ejidal y privada (INEGI, 2007; Sánchez, 2018; Rodríguez-Medina *et al.*, 2021).

Se reporta la existencia de 5560 productores que, en una superficie de 2204 hectáreas, alcanzan una producción anual de 194,648 toneladas (SIAP, 2022; Gobierno de la Ciudad de México, 2022). Más de la mitad de la producción se lleva a cabo por productores que emplean mano de obra familiar y el resto contrata mano de obra de jornaleros locales o provenientes de otros estados (Rodríguez-Medina *et al.*, 2021). El proceso de producción es fuertemente influenciado por los servicios de extensión, por los proveedores de insumos, las procesadoras y las exigencias del mercado nacional e internacional, así como por las políticas públicas que se establecen desde el gobierno local y el gobierno de la CDMX (Saravia-Tasayco, 2001; Rodríguez-Medina *et al.*, 2021).

### **¿Resiliencia a qué?: Identificación del desafío que representa la cochinilla silvestre**

El agroecosistema de nopal verdura se enfrenta a desafíos económicos, sociales, ambientales e institucionales, que influyen en su capacidad para garantizar la producción, procesamiento y demanda de los consumidores. Uno de estos desafíos se genera por la presencia de herbívoros y patógenos que llegan a convertirse en plagas o enfermedades. De las especies que interactúan con los nopales, la cochinilla silvestre destaca por ser el insecto que mayores daños provoca en las plantaciones de nopal en México y en otras partes del mundo (Delgadillo *et al.*, 2008; García-Morales *et al.*, 2016; Mena-Covarrubias, 2018).

Las hembras y las ninfas de *D. opuntiae* succionan savia del cladodio con su aparato bucal de tipo chupador, lo que ocasiona debilitamiento de las plantas y aumenta la susceptibilidad al ataque de agentes infecciosos (Badii y Flores, 2001). Cuando las infestaciones son severas las plantas se debilitan y en seis meses pueden causar su muerte (Pérez y Becerra, 2001).

*D. opuntiae* es la especie más agresiva del género *Dactylopius*, por lo que es utilizada como agente de control biológico de nopales en sitios donde han sido introducidos (Zimmermann y Moran, 1991; Rule y Hoffmann, 2018; Mazzeo *et al.*, 2018).

Los géneros *Opuntia* y *Dactylopius* tienen su centro de origen en América y ambos han estado sujetos a procesos de selección y domesticación desde tiempos precolombinos, principalmente en México (Chávez-Moreno *et al.*, 2009). *Opuntia* y *Dactylopius* han incrementado su área de distribución a nivel mundial gracias los intercambios culturales y económicos, y dada la estrecha relación que tienen, donde se ha introducido *Opuntia* también se ha introducido a *Dactylopius* (Chávez-Moreno *et al.*, 2011). *D. opuntiae* tiene una relación de dependencia total con su hospedero. Aunque las especies de *Dactylopius* se alimentan de la savia de distintas especies de cactus, se asocia principalmente, con especies del género *Opuntia* (Chávez-Moreno *et al.*, 2009). Dado que la savia es pobre en nutrientes, las especies de *Dactylopius* tienen la capacidad de compensar las deficiencias a través de simbiosis con bacterias y hongos que les aportan aminoácidos esenciales o vitaminas (Vera-Ponce de León *et al.*, 2016; Vera-Ponce de León *et al.*, 2017).

El ciclo de vida de *D. opuntiae* tiene una duración de 77 días en el caso de las hembras y de 43 días en los machos (Flores *et al.*, 2006). Presenta dimorfismo sexual y los machos, que son alados, transitan por dos instares de ninfa, etapa de prepupa, pupa y adulto (Mazzeo *et al.*, 2019). En cambio, las hembras, que son sésiles, pasan por dos instares de ninfas y llegan a la etapa adulta después de fijarse, con su estilete, en la superficie de los cladodios (Mazzeo *et al.*, 2019). Además, como estrategia de reproducción, esta puede ser resultado de la fecundación o por partenogénesis (Flores *et al.*, 2006).

Al ser un organismo sésil *D. opuntiae*, al igual que las otras especies del género, ha desarrollado mecanismos de protección contra depredadores y factores ambientales. En primer lugar, producen y acumulan en sus músculos y hemolinfa, una antraquinona que recibe el nombre de ácido carmínico, que se ha demostrado es tóxica para otras especies de insectos (Eisner *et al.*, 1980). Las hembras adultas, estadio que más daño genera a las plantas de nopal (Mazzeo *et al.*, 2019), presentan una cubierta de cera que la protege de la desecación y la lluvia (Chávez-Moreno *et al.*, 2011) y, en el caso de *D. opuntiae*, resulta en un mecanismo eficaz de protección contra depredadores. Al respecto, se ha evaluado que algunos depredadores al invertir demasiado tiempo

y energía en la manipulación y retiro de la cera de las hembras adultas, optan por consumir ninfas (Flores *et al.*, 2013; Hernández-González y Cruz-Rodríguez, 2018).

Los estadios de ninfa son la etapa móvil del ciclo de vida de *D. opuntiae*, por lo tanto, son las responsables de su dispersión entre cladodios y plantas. Sus filamentos de cera largos le permiten dispersarse por el viento o adherirse al pelo y plumas de animales (Moran *et al.*, 1982). En los cladodios las ninfas se establecen cerca de las hembras adultas, por lo que se forman colonias que se cubren con la misma capa de cera (Mann, 1969; Moran *et al.*, 1987). Los sitios de establecimiento inicial son en la base de las espinas del cladodio o las uniones de cladodio-fruto y tronco-cladodio; sin embargo, las colonias son capaces de cubrir toda la superficie del cladodio, situación que se presenta, preferentemente, en zonas menos expuestas a la radiación solar directa o a la lluvia (Mann, 1969; Chávez-Moreno *et al.*, 2011).

Se ha encontrado que en zonas cálidas la cochinilla silvestre tiene más generaciones al año (Mann, 1969). En la región de Milpa Alta la abundancia de la cochinilla silvestre se incrementa en los meses cálidos, sin embargo, desde el año 2016 se reportan zonas con infestaciones altas casi todo el año (CESAVEDF, 2019). Esto se contrapone con la consignación de que existen evidencias de que las altas temperatura disminuyen el desarrollo de las ninfas (Flores *et al.*, 2006). En virtud de que la lluvia tiene impacto en la sobrevivencia de ninfas y hembras adultas (Moran *et al.*, 1987), es probable que las densidades poblacionales de *D. opuntiae* y por lo tanto su nivel de daño, se incrementen significativamente en las plantaciones que se establecen bajo cubierta plástica.

Por otro lado, en Milpa Alta se ha promovido desde la política pública el uso de abonos, a tal grado que solo un tercio de los productores utilizan fertilizantes de origen industrial (Rodríguez *et al.*, 2016). Desafortunadamente, con frecuencia se recurre al uso de grandes cantidades de estiércoles frescos (mayores a 100 ton/ha) (Mondragón y Méndez, 2018), lo que conlleva problemas de contaminación y un aporte excesivo de nutrimentos como el nitrógeno (Tavera-Cortés *et al.*, 2018; Vergel-Rangel *et al.*, 2021). Esta práctica no contribuye a la resiliencia del sistema, ya que genera un desbalance nutrimental y una acumulación de aminoácidos libres en la savia de la planta (Phelan, 2009), condición que podría favorecer el desarrollo y la reproducción de *D. opuntiae*.

Además, la edad de la planta y la disposición espacial de los cladodios favorecen los niveles de infestación de la cochinilla (Flores *et al.*, 2006). Sin embargo, y dado la dificultad de la inserción

del estilete de la cochinilla, también influye el grosor y la presencia de oxalato de calcio en la epidermis de los cladodios (Da Silva *et al.*, 2010; Coronado-Flores *et al.*, 2015).

Las estrategias convencionales, que se han utilizado para el control de la cochinilla, han generado otros desafíos para los agroecosistemas de nopal. El uso de insecticidas del grupo de los organofosforados como malatión, dimetoato, paratión metílico y triclorfon (Badii y Flores, 2001; INEGI, 2007), que no están autorizados para su uso en nopal (COFEPRIS, 2022), afectan tanto los servicios ecosistémicos como la salud de productores y consumidores (RAPAM, 2017). Al ser productos de amplio espectro de acción, afectan a los enemigos naturales de la cochinilla silvestre y limitan su función como agentes de regulación poblacional (Cruz-Rodríguez *et al.*, 2016).

Rodríguez *et al.* (2021), consignan que el 66.2 % de los productores de Milpa Alta utilizan insecticidas. Este nivel de aceptación puede ser resultado de que los productores de la región confían en su eficacia y con ello se reducen los daños en las plantaciones, lo que se logra con menos mano de obra (Hernández, 2017; Ramírez, 2019). No obstante, el uso de insecticidas representa un aumento en los costos producción debido al costo de los insumos y de la mano de obra para su aplicación (Tavera-Cortés *et al.*, 2018).

La política fitosanitaria en México, establecida en el Plan de Acción Preventivo Nopal (SAGARPA, 2014), pretendió garantizar la inocuidad del nopal que se comercializa tanto en el mercado nacional como en el internacional. El Plan de acción surgió como respuesta a la denuncia de la presencia de residuos del plaguicida monocrotofos (prohibido en EUA desde el año 1989) en nopales que se exportaron a EUA. Este plan incluyó la implementación del programa de Buen Uso y Manejo de Agroquímicos (BUMA), así como la política de promover el registro de plaguicidas por empresas de agrotóxicos, ya que se consideró que uno de los problemas principales era la falta de plaguicidas para el manejo fitosanitario del nopal. A pesar de esto, de nuevo en 2018, EUA emitió una advertencia de residuos de plaguicidas (tales como monocrotofos, dimetoato, ometoato, y metidatión) en nopal proveniente de México a niveles que representan un riesgo para la salud (Departamento de Salud Pública de California, 2018).

Para el caso de la Ciudad de México se estableció una campaña fitosanitaria para el control específico de la cochinilla silvestre en Milpa Alta (CESAVEDF, 2019). La campaña estableció

que se deben iniciar acciones de control cuando en una muestra de plantas se detecta un 15 % de infestación. Se privilegian los mecanismos de prevención a través de la selección de cladodios libres de plagas para establecer plantaciones y en caso de presentarse infestación se recomienda el cepillado de los cladodios, la aplicación de entomopatógenos y, en casos severos, el uso de insecticidas.

Por su parte, el monocultivo en las plantaciones de nopal es una condición determinante para que la cochinilla silvestre alcance la condición de plaga. La elevada disponibilidad de alimento y la cercanía entre plantas favorece su crecimiento poblacional y su dispersión (Moran *et al.*, 1982; Foxcroft y Hoffmann, 2000; Lopes *et al.*, 2009). En Milpa Alta se consigna que el 70 % de los productores tienen monocultivos de nopal (SAGARPA, 2009), que utilizan una sola variedad (*O. ficus-indica* var. Milpa Alta). Se argumenta que el nopal es único cultivo en la región que permite sobrevivencia financiera, aún bajo la condición de precios bajos impuesta por los intermediarios y por la competencia que tienen con los productores del estado de Morelos (Hernández, 2017). El monocultivo es propiciado por las políticas públicas, debido a que el cultivo de nopal mantiene, de cierta manera, la agricultura en la región. Para algunos productores transitar a otras alternativas no es viable debido a las superficies que manejan (menores a una hectárea), la falta de mano de obra, las dificultades para comercializar otros productos y por la incertidumbre de manejo de las plagas que se presenten (Hernández, 2017).

El predominio de monocultivos favorece el uso de insumos de origen industrial y el manejo de la cochinilla silvestre con base en la aplicación de insecticidas. A pesar de ello, ni en México, ni en otras partes del mundo, se ha logrado que la cochinilla silvestre deje de ser la principal plaga en las plantaciones de nopal y es probable que, involuntariamente, se favorezca su presencia sobre todo por la eliminación de sus enemigos naturales.

### **¿Resiliencia con qué propósito?: Identificación de la resiliencia deseada ante el fenómeno de la cochinilla silvestre como plaga**

Dada la importancia de la producción del nopal en Milpa Alta e independientemente de que la cochinilla silvestre este presente, se debe garantizar niveles de producción competitivos, que beneficien financieramente a los productores. Para ello, es necesario que la producción cumpla con normas de inocuidad alimentaria (DOF, 2000) para priorizar la salud de los agricultores y



consumidores, y dado que se realiza en una zona que está catalogada como suelo de conservación, es deseable que se realice de conformidad con los lineamientos para la producción agroecológica en la Ciudad de México de la norma NACDMX-002-RNAT-2019 (Gaceta Oficial de la CDMX, 2021).

El uso de insecticidas causa los principales problemas de inocuidad y afecta a los servicios ecosistémicos como la regulación de plagas, por ello es necesario restablecer o reforzar las capacidades de resiliencia del agroecosistema para afrontar los incrementos de la cochinilla silvestre. En primer lugar, se requiere una gestión agroecológica que promueva un control biológico autónomo que regule, de forma densodependiente, el tamaño poblacional de la cochinilla a través de la acción de las distintas especies de depredadores.

Dado que el control biológico, con base en el uso exclusivo de agentes de control “fuertes”, no reduce los riesgos de un resurgimiento de la población plaga (Phelan, 2009), se debe promover la acción de distintos agentes de control, “fuertes” y “débiles”, de competidores de los herbívoros e incluso de mutualistas (Vandermeer *et al.*, 2019). Cuando en las plantaciones de nopal se favorece el proceso de regulación poblacional de la cochinilla silvestre, se reduce la posibilidad de alcance la condición de plaga (Cruz-Rodríguez *et al.*, 2016).

En segundo lugar, se debe permitir la acción de factores físicos, que actúan de forma densoindependiente, como la lluvia y la insolación. Para ello se requiere que la disposición espacial de los cladodios no genere refugios o zonas de protección para la cochinilla. Por lo tanto, las decisiones de los agricultores en relación con las densidades de la plantación, la topología, la altura de las plantas, el número de cladodios por planta, y la frecuencia de las podas, son determinantes que eliminen los refugios de la cochinilla. Asimismo, cuando hay cubiertas plásticas sobre el cultivo, es necesario que éstas se puedan remover en la época de lluvias para favorecer su acción.

Además de lo anterior, es necesario modificar los esquemas de fertilización ya que estos influyen en la abundancia de cochinillas, tal como ha sido demostrado en *D. coccus* (Coronado-Flores *et al.*, 2015). El exceso de nitrógeno que se genera con la fertilización química provoca un desbalance nutrimental que favorece la acumulación de aminoácidos libres en la savia de las plantas (Phelan *et al.*, 1996). La fertilización nitrogenada podría favorecer el desarrollo y la reproducción de la cochinilla, tal como sucede con otras especies que también se alimentan de savia (Price *et al.*,

2011). En contraste, bajo fertilización orgánica, con menor concentración de nitrógeno, se reduce la abundancia de cochinillas; se incrementa el grosor de la cutícula y la concentración de oxalatos, condición que dificulta el anclaje de la cochinilla en la superficie del cladodio (Coronado-Flores *et al.*, 2015).

Finalmente se debe incorporar franjas de vegetación o cortinas rompevientos entre las parcelas para limitar la dispersión de la cochinilla por el viento.

El aumento de la complejidad estructural y funcional de los agroecosistemas de nopal contribuiría, directa e indirectamente, a la regulación y el control de la cochinilla silvestre, sin tener que recurrir al uso de agrotóxicos y de más insumos de origen industrial.

### **¿Qué capacidades de resiliencia existen?: Identificar las capacidades de resiliencia de los agroecosistemas de nopal**

Los agroecosistemas de nopal en Milpa Alta poseen capacidades de robustez que los hace resilientes ante el incremento poblacional de la cochinilla. Esta capacidad se debe a dos condiciones: la presencia de depredadores y las condiciones ambientales de la zona.

A pesar del predominio del monocultivo y a la aplicación de insecticidas, los depredadores de la cochinilla se mantienen en los agroecosistemas (Ramírez, 2019) y pueden regular a las poblaciones (Cruz-Rodríguez *et al.*, 2016). Existen once especies de depredadores de la cochinilla silvestre del nopal verdura en México (Vanegas-Rico *et al.*, 2010a, Vanegas-Rico *et al.*, 2010b; Ascencio, 2021), y en Milpa Alta se han encontrado siete. Estas especies coexisten sobre los mismos cladodios y, la mayoría de ellas utilizan la cubierta de cera de las hembras sésiles como su hábitat (Vanegas- Rico *et al.*, 2010b; Cruz-Rodríguez *et al.*, 2016). Al vivir bajo la cubierta de cera son menos susceptibles a los insecticidas y no dependen de otras especies vegetales para completar su ciclo biológico y están adaptados al ácido carmínico que adquieren al consumir a las cochinillas, el cual luego les sirve como defensa contra sus propios depredadores (Eisner *et al.*, 1980; Eisner *et al.*, 1994).

La coexistencia de los distintos depredadores, con funciones complementarias e incluso redundantes, favorece el proceso de regulación poblacional lo que permite al agroecosistema mantener su capacidad productiva (Cruz-Rodríguez *et al.*, 2016). Las diferencias en sus

comportamientos de depredación, habilidad competitiva y tasas de consumo, les permite tener respuestas diferentes a los incrementos de la población de cochinilla (Cruz-Rodríguez *et al.*, 2016). Las especies de *Laetilia coccidivora* e *Hyperaspis trifurcata* son más abundantes cuando la infestación de cochinilla es muy alta; en cambio, en cladodios con niveles bajos e intermedios de infestación predominan *Leucopis bellula*, *Symphorobius Barbieri* y *H. trifurcata* (Cruz-Rodríguez *et al.*, 2016). La mayoría de los depredadores consumen principalmente ninfas, que son el estadio de dispersión de la cochinilla, mientras que especies como *Eosalpingogaster cochenillivora*, *Chilocorus cacti* y *L. coccidivora* tienen la capacidad de consumir hembras adultas (Vanegas-Rico *et al.*, 2010b; Cruz-Rodríguez *et al.*, 2016; Hernández-González y Cruz-Rodríguez *et al.*, 2018).

Es importante destacar, que se ha consignado que la capacidad de regulación poblacional del agroecosistema nopal, se incrementa bajo condiciones de manejo orgánico o agroecológico, lo cual da lugar a un proceso robusto que se mantiene en el tiempo a pesar de los cambios en el sistema (Cruz-Rodríguez *et al.*, 2016).

Las condiciones ambientales de la región de Milpa Alta, también contribuyen a que las poblaciones de cochinilla disminuyan. Las precipitaciones de 880 mm, en promedio, concentradas en el periodo de verano (Rodríguez y López-Blanco, 2006), eliminan gran parte de las cochinillas que se establecieron durante la primavera y dificultan la fijación y desarrollo de nuevas hembras (Moran *et al.*, 1987; CESAVEDF, 2019). Los niveles de precipitación en Milpa Alta, que podrían no favorecer el desarrollo de plantas de nopal, son compensados por la presencia de un buen drenaje, producto de un sustrato rocoso que se formó por derrames lávicos recientes, que generan una condición de aridez edáfica y evita la pudrición de sus raíces (Rodríguez y López-Blanco, 2006). Esta condición también favorece el establecimiento de cactáceas y otras suculentas, en la vegetación de malpaís que se observa en las áreas aledañas a la zona productora de nopal (Gobierno del Distrito Federal, 2014).

Las condiciones de temperatura y humedad relativa en Milpa Alta, inferiores a las presentes en la zona productora vecina de Tlalnepantla, Morelos, limitan los niveles de infestación de la cochinilla (Vanegas-Rico *et al.*, 2017) y, por lo tanto, se requieren menos insecticidas (Rodríguez-*et al.*, 2021). En la medida que se utilicen menos insecticidas los agroecosistemas de Milpa Alta podrán presentar robustez ante la presencia de la cochinilla silvestre.

Los agroecosistemas de nopal en Milpa Alta se han modificado como respuesta a la exigencia de mayores niveles de inocuidad alimentaria y por la necesidad de ampliar su mercado. Los cambios que se han realizado para afrontar los riesgos de la cochinilla silvestre no reducen su capacidad productiva, es decir se han adaptado. Incluso existen productores que lo han implementado y les ha permitido acceder, por ejemplo, al mercado orgánico (SIAP, 2022).

Los cambios realizados a la gestión de la cochinilla se relacionan con: alternativas al uso de insecticidas, limitaciones a su dispersión y el uso de abonos orgánicos. En el primer caso, los insecticidas se han remplazado por insumos como el uso de entomopatógenos y sales potásicas o jabones. Estas sustancias sobresalen porque tienen una eficacia de al menos 54 % en la reducción de la población de hembras (Hernández-Pérez *et al.*, 2019; López-Rodríguez *et al.*, 2021). Además, se ha reconocido la importancia de prácticas como el cepillado, las podas de saneamiento y la selección de cladodios libres de cochinilla para el establecimiento de nuevas plantaciones (Ramírez, 2019).

La alta capacidad de las plantas de nopal para producir brotes permite a los productores de Milpa Alta, eliminar plantaciones completas cuando los niveles de infestación de cochinilla son muy severos. En cuyo caso se siguen una de dos rutas: se mantienen el cladodio madre o se remplaza por completo la planta. Bajo ambos esquemas, en un lapso de tres meses pueden cosechar cladodios nuevos para la venta (Mondragón y Méndez, 2018).

Como respuesta a las exigencias del mercado nacional e internacional, los productores cosechan preferentemente los cladodios denominados cambray (cuya longitud va de los 7 a los 11 cm de acuerdo con norma nacional NMX-FF-068-SCF1-2006 y el CODEX STAN 185-1-993 para exportación) que son los de mayor precio. Para alcanzar este tamaño los brotes requieren de 8 a 15 días durante la temporada cálida y, dado que las ninfas de la cochinilla silvestre requieren de 17 días para desarrollarse (Palafox-Luna *et al.*, 2018), estos cladodios no desarrollan infestaciones perceptibles, lo que implica que, aunque las plantas presenten cladodios infestados, el producto se mantiene libre de cochinilla.

El uso de enmiendas orgánicas es una práctica que se ha extendido en Milpa Alta, no obstante, la mayoría de los productores emplean estiércol sin procesar, situación que puede provocar un desbalance nutrimental por exceso de nitrógeno. Aunque aún es una fracción pequeña, los

productores que buscan certificar su producción como orgánica o agroecológica, aceptan utilizar compostas, lo que reduce los riesgos de contaminación, desbalances nutrimentales e incluso una disminución de sus costos de producción (Tavera-Cortés, *et al.*, 2018). Asociado a esto, el uso de abonos orgánicos tiene como beneficios el incremento de la materia orgánica que permite proveer de alimento para los depredadores generalistas como las arañas (Phelan, 2009).

En Milpa Alta existen buenas perspectivas para transformar los agroecosistemas y los esquemas de gestión de la cochinilla silvestre. Se ha estimado que el 33.8% de los productores no utilizan agrotóxicos, debido a que reconocen la importancia de preservar el ambiente y mejorar la calidad de su producción (Rodríguez *et al.*, 2021). Además, se reportan cuatro hectáreas con certificación orgánica (SIAP, 2022). Estas transformaciones indican que los agroecosistemas tienen la capacidad de afrontar a la cochinilla silvestre, con un esquema de gestión que no utiliza insecticidas, y que, por el contrario, les permite responder a las demandas del comercio agroecológico, orgánico y al mercado de exportación.

A pesar del predominio del monocultivo, desde 2008 se consignó que el 25.8 % de los productores intercalaban ocasionalmente otros cultivos, y que al menos el 5% combinan de forma permanente el nopal con maíz, frijol, hortalizas y árboles frutales (SAGARPA, 2009). El objetivo de esta producción fue satisfacer necesidades de autoconsumo y lograr una dieta diversa. Aunque de forma no consiente, estas prácticas podrían contribuir a limitar la dispersión de cochinilla entre parcelas.

Las políticas públicas también se han transformado para impulsar una producción de nopal sin el uso de agrotóxicos. Debido a que la superficie agrícola de Milpa Alta tiene la categoría de suelo de conservación se ha privilegiado el enfoque ambiental y ahora, un enfoque agroecológico (Gaceta Oficial de la CDMX, 2021). En este sentido, los programas de apoyo han pasado de promover el uso de abono orgánico, a establecer un programa de subsidios para toda la cadena de producción, que incluye subsidios para la compra de insumos fitosanitarios regulados (Gobierno de la Ciudad de México, 2022), y a implementar una norma que promueva el esquema de certificación agroecológico o “sello verde”, que implica prácticas sustentables para satisfacer a nuevos mercados (Gaceta Oficial de la CDMX, 2021).

## **¿Qué mejora la resiliencia?: Propuesta de gestión agroecológica de la cochinilla silvestre para mejorar la resiliencia**

La sustentabilidad de los agroecosistemas de nopal en Milpa Alta y la conservación de los servicios ecosistémicos en la región, requiere de un plan de gestión agroecológica de la cochinilla silvestre. Para ello se necesita aprovechar las capacidades de resiliencia que poseen los agroecosistemas para que, de manera autónoma, y por medios directos o indirectos, se regulen o controlen las poblaciones de cochinilla y no alcancen la condición de plaga. La transición hacia propuestas agroecológicas debe partir del reconocimiento de la estrecha relación que existe entre *D. opuntiae* y las plantas de nopal. Además, se debe comprender los factores que influyen en el incremento de sus niveles de infestación, como son sus mecanismos de dispersión de la cochinilla y la condición nutricional de las plantas y reconocer los procesos de control y regulación natural de las poblaciones.

Para implementar una gestión agroecológica se deben realizar, en acuerdo con los productores, cambios en el sistema de manejo que refuercen las capacidades de resiliencia del sistema. A continuación, se describen algunos de ellos:

*Promover que los nopales se desarrollen con un adecuado balance nutricional:* Prácticas como el establecimiento de terrazas y de los cladodios en hileras con una orientación transversal a la pendiente, retendrá suelo, reduciría la pérdida de nutrientes y favorecería la retención de humedad, lo cual ayudaría a mantener la salud y la calidad ecológica del suelo.

Se deben utilizar abonos orgánicos que hayan pasado por un adecuado proceso de compostaje y en cantidad conveniente según los requerimientos de nutrientes de la planta y un análisis de suelo para evitar una sobrefertilización que genere desequilibrios nutricionales en las plantas. El abonado se puede complementar con prácticas como el intercalado con frijol, que fija nitrógeno, que ya se realiza en algunas parcelas en la temporada de menor producción y que, además, impide el uso de herbicidas.

*Establecer medidas para evitar la dispersión de la cochinilla silvestre:* Los cladodios que se utilicen para establecer plantaciones, deben provenir de “plantas madre” libres de cochinillas adultas o de ninfas. Los residuos de las podas de saneamiento se deben picar e incorporar al suelo

para evitar la diseminación de cochinilla y, a su vez, aportar materia orgánica al suelo, que a su vez repercute en mayor retención de humedad.

Para evitar la dispersión de la cochinilla entre plantaciones se deben establecer franjas de vegetación o cortinas rompevientos. Para ello, se deben seleccionar especies que no generen sombra densa o que actúen como refugio de las cochinillas. Además, debe procurarse que sean fuente de alimento, forraje, medicina, combustible o cumplir funciones ecológicas como la fijación de nitrógeno, la captura de carbono, la retención de suelo o servir de hábitat para la fauna silvestre, entre otros.

*Favorecer la regulación poblacional de la cochinilla silvestre:* Es necesario que todos involucrados en la gestión de la cochinilla identifiquen a los enemigos naturales de la cochinilla silvestre y reconozcan la importancia de su función como agentes de regulación poblacional. Para promover su conservación se debe reducir o eliminar el uso de agrotóxicos de origen industrial, en especial los insecticidas. A su vez, se debe evitar el uso de herbicidas para favorecer la diversidad vegetal y la red interacciones bióticas asociada a los nopales, la cochinilla y sus depredadores. Las arvenses son fuente de alimento y forraje y podrían sostener, entre otras especies, a aves domésticas como los guajolotes, que se sabe también consumen cochinillas.

Las arvenses, por lo tanto, se deben controlar de forma mecánica o mediante el uso de acolchados orgánicos en los pasillos. Esta última práctica incrementa la materia orgánica y mejora la retención de humedad.

Para determinar el nivel de riesgo que representa la presencia de cochinilla en la plantación es necesario evaluar tanto su abundancia como su patrón de distribución espacial, además de la presencia de sus diferentes enemigos naturales. Para ello se debe identificar la frecuencia con la que se presentan cladodios con los distintos niveles de infestación. Cuando la mayoría de los cladodios presentan niveles muy bajos de infestación y una fracción pequeña presenta altos niveles, se infiere que existe un proceso de regulación poblacional en el agroecosistema por parte de los enemigos naturales de la cochinilla. Para ello se requiere obtener una muestra aleatoria de plantas y en cada una de ellas identificar el nivel de infestación que presentan sus cladodios. Esto daría la posibilidad de captar la variación espacial de los niveles de infestación entre y dentro de las plantas de nopal.

No obstante, en caso que exista un aumento significativo en la frecuencia de cladodios con altos niveles de infestación, se puede recurrir al uso de insumos de bajo nivel de toxicidad como son algunos extractos vegetales, jabones y sales potásicas que se presume eficaces para reducir la población de cochinilla, o en casos severos la poda severa de la planta.

*Permitir el control físico que ejerce la lluvia y la radiación solar:* Para aprovechar el efecto de los factores físicos es necesario evitar la presencia de refugios o zonas de protección para la cochinilla. Desde el establecimiento y durante todo el manejo de la plantación se debe permitir que los cladodios reciban la mayor cantidad de radiación solar posible y que se encuentren ventilados. Para ello, las caras de los cladodios productivos deben estar orientadas este-oeste. La exposición a mayores cantidades de luz depende de la topología de la plantación, la densidad de siembra, la altura de la planta y el número de cladodios por planta. Asociado a esto las podas de aclareo y de formación son prácticas clave para promover el control físico. Estas deben ser prácticas habituales para remover los cladodios entrecruzados que forman refugios donde la cochinilla alcanza densidades altas.

En el caso de cubiertas plástica se recomienda que sean desmontables y que se utilicen solo en temporada de invierno.

La gestión agroecológica de la cochinilla ayudaría también en otros desafíos fitosanitarios. Por ejemplo, al eliminar los espacios de refugio de la cochinilla también se reducen los espacios de refugios de los caracoles y, las podas de saneamiento, también contribuyen a reducir la enfermedad llamada “mancha negra”. El incremento de la materia orgánica del suelo favorece el desarrollo de poblaciones de arañas que, al ser depredadores generalistas, reducen las poblaciones de otros herbívoros del nopal como es el caso de la chinche roja.

Para implementar una propuesta de gestión agroecológica de la cochinilla silvestre en Milpa Alta se requieren cambios en la cadena de producción de nopal. En primer lugar, se deben reconocer los esfuerzos que realizan los productores para alcanzar una producción sustentable y para mantener los servicios ecosistémicos que el área de conservación provee a la Ciudad de México. Asimismo, se deben reconocer los empleos que genera el cultivo de nopal. Los comercializadores y los consumidores deben valorar la calidad y la inocuidad de los alimentos así obtenidos y reconocer la importancia de un comercio justo. La promoción de las cualidades de los alimentos



que se producen bajo esquemas agroecológicos deben ser responsabilidad de los órganos promotores de la salud y de defensa de los derechos de los consumidores. Por su parte los organismos públicos encargados de regular la producción agroecológica deben apoyar a los productores que transiten hacia un manejo agroecológico y para que accedan a mercados a nivel local, nacional e internacional.

Milpa Alta tiene la posibilidad de lograr una producción agroecológica de alimentos, dada sus capacidades de resiliencia y a que su agricultura se realiza dentro del área considerada suelo de conservación en la Ciudad de México. Para ello se requiere ir más allá del otorgamiento de certificados de producción agroecológica y se debe reconocer como un área agrícola, cultural y ambiental de importancia nacional e internacional.

Dado que las políticas públicas tienen efectos directos e indirectos en la gestión de los agroecosistemas, estas deben facilitar procesos colectivos para favorecer su resiliencia socioecológica. Para ello se requiere reconocer que la toma de decisiones y las acciones humanas tiene impacto en los servicios ecosistémicos que brindan los agroecosistemas y promover mecanismos de gestión agroecológica se integren a todos los interesados (Galan *et al.*, 2014). En el caso particular de la gestión de la cochinilla silvestre del nopal se necesita reconocer que la función de los enemigos naturales es la base de la resiliencia de estos agroecosistemas. Por lo tanto, reducir o eliminar el uso de insecticidas disminuiría los impactos ambientales y los efectos negativos en la salud de productores y consumidores, y apoyaría a la autonomía de la gestión de la agricultura en Milpa Alta.

# CAPÍTULO I. ANÁLISIS SOCIOECOLÓGICO DE LA GESTIÓN DE LA COCHINILLA SILVESTRE DEL NOPAL VERDURA

## 1.1 INTRODUCCIÓN

Las plagas agrícolas son un fenómeno que tiene causas tanto ecológicas como sociales (Magarey *et al.*, 2019). Un organismo recibe la denominación de plaga según juicios y preferencias humanas (Pimentel y Perkins, 2019). No obstante, habitualmente se denomina plaga a un organismo que al aumentar su tamaño poblacional provoca afectaciones económicas en los sistemas agrícolas (Culliney, 2014). Desde una perspectiva ecológica se ha reconocido que, al incrementar la disponibilidad de alimento, reducir las interacciones ecológicas y generar condiciones homogéneas en el espacio y tiempo, en los agroecosistemas se favorece la reproducción, sobrevivencia y dispersión de distintos organismos, y son susceptibles a la invasión de herbívoros, patógenos y arvenses (Phelan, 2009). Estas condiciones que son resultado de decisiones de diferentes actores que actúan sobre los agroecosistemas, tienen el propósito de maximizar la producción y satisfacer las demandas del mercado (Noy y Jabbour, 2020). Con base en ello, se ha establecido que la aparición de plagas es resultado de la interacción compleja e interdependiente entre procesos ecológicos y sociales (Balvanera *et al.*, 2017), que incluyen el conocimiento de las personas, la gestión y las reglas que median la interacción de los seres humanos con los agroecosistemas (Folke *et al.*, 2016). Por esta razón, el estudio de las plagas y la búsqueda de soluciones, se deben abordar desde un enfoque socioecológico (Magarey *et al.*, 2019).

El estudio socioecológico de los agroecosistemas pretende identificar los factores que intervienen en su capacidad de resiliencia ante distintos desafíos (Darnhofer *et al.*, 2016; Meuwissen *et al.*, 2019) y se promueven esquemas de producción sustentables, que contribuyan al aumento de la producción y al bienestar social (Lescourret *et al.*, 2015). Se considera que la operación de los agroecosistemas depende y desencadena procesos en distintos niveles de la realidad, incluso a nivel global, en virtud de que existen múltiples relaciones entre los servicios ecosistémicos que ofrecen y la gran diversidad de actores involucrados (Lescourret *et al.*, 2015; Darnhofer *et al.*, 2016).

La resiliencia de los agroecosistemas al fenómeno de las plagas está en función de su robustez para contener los incrementos poblacionales de estos organismos; de su adaptación a cambios

poblacionales y; de sus posibilidades de transformación para afrontar situaciones extremas de crecimiento poblacional (Meuwissen *et al.*, 2019). Desde la perspectiva de la sustentabilidad, la gestión de las plagas busca que los agroecosistemas conserven mecanismos de regulación poblacional que eviten el crecimiento explosivo de especies que afectan a los cultivos (Lescourret *et al.*, 2015). No obstante, las acciones de manejo para enfrentar a las plagas son diversas y no siempre contribuyan a la resiliencia de los agroecosistemas (Nicholls y Altieri, 2012).

En México se consumen, desde tiempos prehispánicos (McClung *et al.*, 2019), tallos o cladodios jóvenes de nopal conocidos como nopalitos o nopal verdura. Las zonas de mayor producción de este producto se localizan en los estados de Morelos, Puebla y en la Ciudad de México. En todos los casos el nopal verdura se maneja como monocultivo con altas densidades (SAGARPA, 2009) y con plantas reproducidas clonalmente, por lo que su variación genética se asume baja (Mondragón y Méndez, 2018).

El contexto social de la producción de nopal verdura de la Ciudad de México se concentra en Milpa Alta, Ciudad de México. Su cultivo inició en 1938 y actualmente es la segunda región de mayor producción de nopal verdura, solo superada por la región vecina de Tlalnepantla, Morelos (Bonilla, 2009; SIAP, 2022). El cultivo de nopal dio lugar a procesos de experimentación e innovación campesina, pero también ha desplazado a cultivos tradicionales (Bonilla, 2009; Sánchez, 2018). Por su parte, la tenencia colectiva de la tierra, ejidal y comunal, ha sido un factor importante para mantener la agricultura y la identidad campesina en Milpa Alta a pesar de la presión urbana de la Ciudad de México sobre las tierras dedicadas al cultivo (Bonilla, 2009). La producción de nopal se realiza, principalmente, a cielo abierto, en superficies menores a una hectárea (INEGI, 2007; Sánchez, 2018; Rodríguez *et al.*, 2021). La producción de nopal la realizan más de 5500 productores, en una superficie de 2204 hectáreas, que alcanzan una producción de casi 195,000 toneladas anuales (Gobierno de la Ciudad de México, 2022; SIAP, 2022). De todo este universo solo cuatro hectáreas se han certificado como producción orgánica (SIAP, 2022).

Los agroecosistemas de nopal que se localizan en Milpa Alta se enfrentan, entre otros desafíos, a la cochinilla silvestre que se considera la plaga principal de este cultivo (Mena-Covarrubias, 2018; CESAVEDF, 2019b). Estos insectos son sumamente exitosos, debido a que su cubierta de cera las protege de factores ambientales; su propiedad de producir y acumular ácido carmínico las resguarda de sus depredadores (Eisner *et al.*, 1980); en su primer estadio ninfal pueden movilizarse

y dispersarse por viento (Moran *et al.*, 1982); y además, tienen simbiosis con bacterias y hongos que elaboran elementos nutritivos para compensar la deficiencias nutritivas de la savia que succionan de las planta de nopal (Vera-Ponce de León *et al.*, 2016; Vera-Ponce de León *et al.*, 2017). Asimismo, la cochinilla silvestre, al igual que otras especies del género *Dactylopius*, mantiene una estrecha relación ecológica y evolutiva con las especies cultivadas y silvestres del género *Opuntia*. Ambos taxa comparten su centro de origen en América y algunas de sus especies se han sometido a procesos de selección y domesticación desde tiempos precolombinos, principalmente en México (Chávez-Moreno *et al.*, 2009).

*D. opuntiae* es un parásito que completa su ciclo biológico sobre una planta de nopal (Palafox-Luna *et al.*, 2018), y se considera como la especie más agresiva del género (Mazzeo *et al.*, 2018) y, cuando las infestaciones son severas pueden causar la muerte de la planta en un periodo menor a seis meses (Pérez y Becerra, 2001). Sus daños ocasionan debilitamiento de las plantas y aumenta su susceptibilidad al ataque de agentes infecciosos (Badii y Flores, 2001).

Dentro de los actores que actúan sobre los agroecosistemas de nopal, las autoridades públicas han manifestado interés en mantener el uso agrícola de las tierras cultivadas en Milpa Alta por los servicios ecosistémicos que provee a la Ciudad de México. Por ello, se han creado normas y programas de apoyo económico para mejorar la producción de nopal y para enfrentar el desafío fitosanitario de la cochinilla silvestre (CESAVEDF, 2019a; Gobierno de la Ciudad de México, 2021; Gobierno de la Ciudad de México, 2022). Por su parte, los productores implementan acciones para el control de la cochinilla silvestre sobre todo en la época seca y cálida (marzo-mayo) que el periodo de máxima abundancia (CESAVEDF, 2019a). Se estima que el 70 % de los productores de la región utilizan insecticidas de origen industrial para controlar distintas plagas entre las que se incluye la cochinilla silvestre (Rodríguez *et al.*, 2021). Se reporta que en Milpa Alta se utilizan plaguicidas altamente tóxicos (Ramírez, 2019), que no están autorizados para su uso en nopal (COFEPRIS, 2022).

En México, como en otras partes del mundo, los insecticidas de origen industrial, con diferente grado de toxicidad, son el principal mecanismo de control poblacional de la cochinilla silvestre (Badii y Flores, 2001). A pesar de su uso intensivo, dicho insecto se mantiene como el principal desafío en las plantaciones de nopal (Mazzeo *et al.*, 2018). La preocupación por las afectaciones al ambiente y a la salud de productores y consumidores, han motivado la búsqueda de alternativas

como el control biológico o mecánico y el uso de productos químicos de menor toxicidad (Ramírez, 2019).

Afortunadamente, en el caso de México se han documentado que, en las plantaciones de nopal existen hasta 12 insectos depredadores de *D. opuntiae* (Vanegas-Rico *et al.*, 2010a, Vanegas-Rico *et al.*, 2010b; Cruz-Rodríguez *et al.*, 2015, Vanegas-Rico *et al.*, 2017; Ascencio, 2021). Estas especies habitan colonias de cochinillas y se refugian alrededor y bajo la cubierta de cera producida por las hembras adultas (Vanegas-Rico *et al.*, 2010b; Cruz-Rodríguez *et al.*, 2015), y existen evidencias que estos insectos conforman una red de interacciones muy eficaz para la regulación poblacional de la cochinilla (Cruz-Rodríguez *et al.*, 2015). No obstante, en los planes de gestión de los cultivos de nopal, rara vez se promueve la presencia y persistencia de esta red de depredadores.

Para identificar los factores que podrían incrementar la resiliencia de los agroecosistemas de nopal de Milpa Alta al desafío de la cochinilla silvestre, es necesario comprender el contexto social y los factores ecológicos en los que este organismo alcanza el estatus de plaga. Por esta razón en este trabajo se estudiaron las condiciones que, de acuerdo con los productores, favorecen el aumento de dicho insecto y las acciones que realizan para su control. También, se indagó el origen de las prácticas y decisiones que toman para su control y su percepción sobre el grado de efectividad de las estrategias hasta ahora seguidas.

Se determinó, además, los niveles de infestación de la cochinilla silvestre, y sus cambios en el tiempo, en dos parcelas con sistemas de manejo contrastantes: a) Sistema de manejo convencional (SMC) con uso de insumos fitosanitarios industriales y b) Sistema de manejo orgánico (SMO) que utiliza insumos autorizados por las normas de producción orgánica de Estados Unidos y México. En ambos sistemas, se identificó, la presencia y abundancia de enemigos naturales de la cochinilla.

## 1.2 MATERIALES Y MÉTODOS

### 1.2.1 Área de estudio

La investigación se realizó en una zona de producción de nopal verdura que se localiza en la ladera sureste del volcán Teutli (19° 13' L.N., 99° 01' L.O.; 2550 msnm; pendientes de 15 a 30 %), en Villa Milpa Alta, Ciudad de México. El clima es templado subhúmedo con una precipitación promedio anual de 707 mm y una temperatura media anual de 15.5 ° C (INEGI, 2001). El nopal verdura es un cultivo perenne y las parcelas se asocian con asentamientos humanos y remanentes de matorral xerófilo y de bosque de pino (Rodríguez y López, 2006).

### 1.2.2. Factores socioecológicos que influyen en la gestión de la cochinilla silvestre

A partir de un enfoque cualitativo exploratorio, se realizaron en septiembre de 2021 trece entrevistas semiestructuradas a agricultores con el propósito de conocer sus percepciones sobre la cochinilla silvestre del nopal, sus decisiones de manejo, los actores que influyen en estas decisiones y las acciones que realizan para su control. En las entrevistas también se consultó sobre la posibilidad de implementar esquemas de gestión agroecológica.

Las respuestas se codificaron de forma abierta, para identificar y definir los temas relevantes, y de forma axial, para establecer relaciones entre temas (Sabariego-Puig *et al.*, 2014) mediante el programa informático Atlas.ti (versión 22). Para visualizar y analizar la estructura global de la codificación, se creó una red semántica, a partir de las conexiones entre códigos y citas textuales de las personas entrevistadas (Sabariego-Puig *et al.*, 2014). Con base en lo anterior se obtuvieron coincidencias, diferencias y explicaciones de los factores sociales y ambientales que influyen en la gestión de la cochinilla silvestre.

La evaluación de los cambios en los niveles de infestación de la cochinilla se realizó en dos parcelas con manejo contraste: una con Sistema de Manejo Orgánico (SMO) y la otra con Sistema de Manejo Convencional (SMC), a lo largo de ocho meses, entre febrero y agosto de 2021. En cada parcela se definió un área de muestreo de 700 m<sup>2</sup> con aproximadamente 1000 plantas de nopal. Cada 20 días se revisó una muestra aleatoria de 50 plantas. Los cladodios de cada planta se clasificaron en función de su nivel de infestación con cochinilla con base en la escala ordinal

propuesta de Vanegas-Rico *et al.* (2010b). Dicha escala consta de siete niveles; el nivel cero indica la ausencia de cochinilla y el nivel seis se presenta cuando más del 75 % de la superficie del cladodio está cubierta por colonias de cochinilla.

Los cladodios de cada planta fueron clasificados según grado de lignificación: cladodio maduro lignificado con superficies escamosas y de color pardo, cladodio maduro no lignificado con superficie lisa y de color verde y cladodio joven que también son de superficie lisa y de color verde, pero de reciente formación. También, se determinó si alguna de sus caras se encontraba protegida de la radiación solar y de la incidencia de la lluvia. Estas variables tienen relación con el tipo y nivel de poda que los productores realizan.

En virtud de que la variable de respuesta “nivel de infestación” es una variable ordinal y las variables explicativas son de tipo nominal (sistema de manejo, nivel de lignificación y grado de protección), la relación entre ellas se determinó mediante un modelo lineal generalizado (GLM por sus siglas en inglés) (Cayuela, 2010). Cabe señalar que la variable tiempo también se consideró como una variable categórica, ya que se utilizó el mes de evaluación y no el número de días entre muestreos.

Los GLM permitieron trabajar con variables de respuesta que no tienen una distribución normal y generaron coeficientes de regresión que relacionaron el nivel de infestación con las variables explicativas (Cayuela, 2010). Se estimó un GLM para comparar los niveles de infestación entre el SMC y el SMO, y un GLM para cada sistema de manejo que permitió comparar las demás variables explicativas. En todos los casos se utilizó una de las categorías de cada variable explicativa como categoría de referencia. Los coeficientes de regresión ( $\beta_i$ ) de cada variable se transformaron con la función  $e^{\beta_i}$ , que indica el cambio en los niveles de infestación de cada categoría con la categoría de referencia (Cayuela, 2010).

Para evaluar el impacto del sistema de manejo en la presencia y abundancia de los enemigos naturales, cada 20 días durante ocho meses, se realizaron colectas de cladodios de nopal con diferente nivel de infestación de la cochinilla. La abundancia de los depredadores se correlacionó con los niveles infestación de la cochinilla, con base en el coeficiente de correlación de Spearman. Los análisis estadísticos se realizaron con el programa SPSS (versión 22) (IBM SPSS, 2012).

## 1.3 RESULTADOS

### 1.3.1 Perspectivas de los agricultores sobre los factores que influyen en la gestión de *D. opuntiae*

A partir de la red semántica (Figura 1) de la codificación realizada a las percepciones de los agricultores, se identificaron los principales factores que influyen en la gestión de la cochinilla (Figura 2). Los agricultores indican que la cochinilla silvestre es la principal plaga en las plantaciones de nopal en Milpa Alta y por ello existen acciones para su gestión, y actores involucrados (Figura 2).

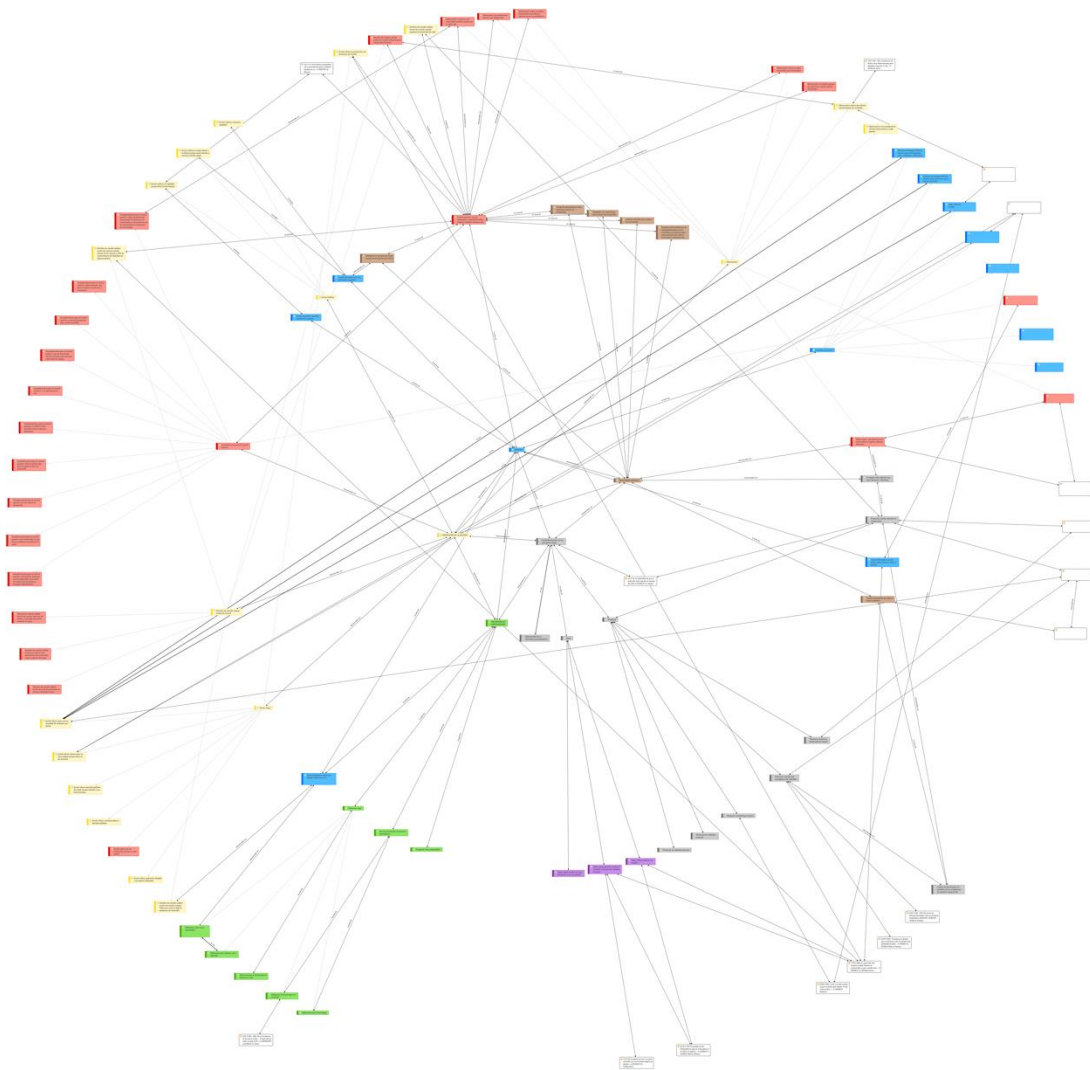


Figura 1. Red semántica de las percepciones de los agricultores sobre la cochinilla silvestre y su gestión.



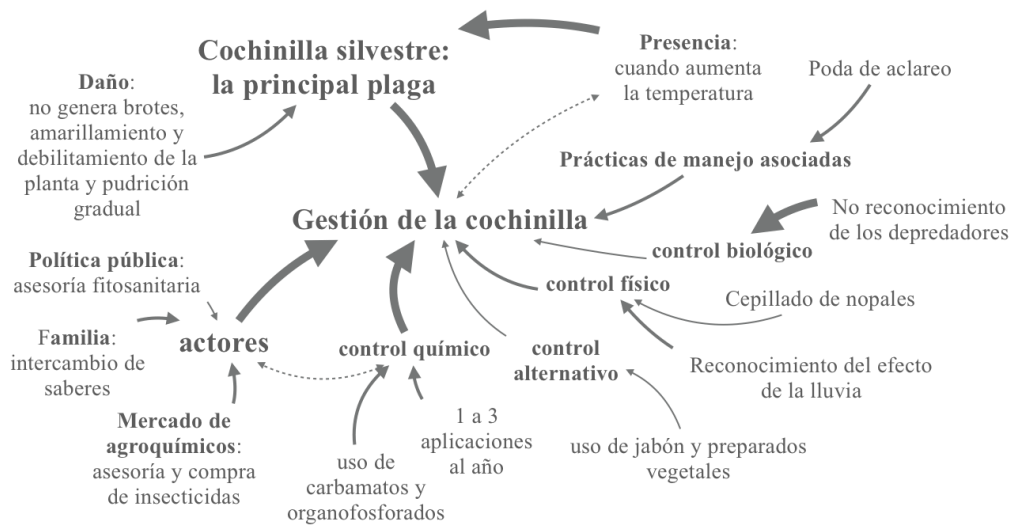


Figura 2. Principales factores que influyen en la gestión de *D. opuntiae* según la percepción de los agricultores. El grosor de las flechas indica la mayor frecuencia. Las flechas punteadas indican la conexión entre los factores.

La cochinilla silvestre recibe el nombre de “chahuistle” y es considerada como un problema o peligro para las plantaciones; sin embargo, por lo general, no se identifica como una especie animal o insecto. Solo una persona hizo referencia a su modo de acción al indicar que “succiona la savia de la planta”. Se señala que la planta con cochinilla “no genera brotes, se pone amarilla, se debilita y se pudre gradualmente. “Cuando la infestación aumenta puede acabar con nopaleras enteras”. Los productores indicaron que los cladodios externos de la planta son lo que más daño sufren; no obstante, coincidieron en que no afecta a los brotes jóvenes cuya longitud no rebasa los 11 cm, que son, en cierta temporada, los de mayor demanda y mejor precio.

Los productores identificaron dos factores que determinan la presencia de cochinilla: el aumento de la temperatura en la temporada seca y algunos refirieron también, la falta de exposición de los cladodios a la lluvia. El aumento de la temperatura, una vez que termina el invierno, fue el factor más señalado, lo cual se refleja en la expresión: “el calor es el hábitat de la cochinilla”. Esta condición explica, según uno de ellos, que, en lugares con clima cálido como Morelos, la infestación de cochinilla es mayor y las aplicaciones de insecticidas son demandadas más frecuentemente. Menciona que: “en Milpa Alta se puede dejar sin fumigar hasta un mes, en cambio en Morelos se fumiga cada semana porque entre ocho a quince días las nopaleras se infestan”.

Los agricultores reconocieron que las superficies traslapadas de cladodios contiguos protegen a las cochinillas del efecto de derribo de la lluvia y de las aplicaciones de plaguicidas.

Adicionalmente, perciben que dichos espacios también protegen el caracol. Para explicar las condiciones del aumento de la temperatura y la protección de la cochinilla que influyen en la presencia de cochinilla silvestre, un productor las comparó como condiciones que se generan en los invernaderos de producción de la grana cochinilla (*Dactylopius coccus*).

Del conjunto de opiniones se encontró cuatro tipos de control de la cochinilla silvestre, según su orden de preferencia son: químico, alternativo, físico y por último el biológico. De cada tipo de control se logró identificar procedimientos, productos utilizados, razones para su empleo, actores que lo promueven y criterios de decisión de cuándo y con qué intensidad se emplean.

El control químico es utilizado por más de la mitad de los entrevistados. Los insecticidas que se utilizan pertenecen al grupo de los carbamatos (carbofuran y metomilo) y al grupo de los organofosforados (diazinon, clorpirifos etil y monocrotofos). Existe preferencia de los insecticidas según el color de la etiqueta que indica el nivel de toxicidad. No obstante, los criterios de selección difieren. Dos productores indicaron que prefieren los insecticidas con etiqueta roja ya que tienen un espectro de acción amplio y permite el control de otras plagas como la araña roja y el caracol, pero hay quien prefiere etiqueta amarilla por su menor nivel de toxicidad. También se señaló, que llegan a mezclar insecticidas y que no aplican siempre el mismo producto, ya que se pierde efectividad.

Los productores externaron que utilizan el control químico porque es el único manejo que conocen y es más rápido. Los entrevistados indicaron que los insecticidas son promovidos, principalmente, por los responsables de las tiendas de agroquímicos y en segundo lugar por los programas fitosanitarios de carácter público. También obtienen información de páginas de internet especializadas o se asesoran con agricultores experimentados de otras unidades de producción.

Los criterios para tomar la decisión de realizar un control químico fueron diversos, pero destacan cuatro: a) cuando se incrementa la temperatura ambiental; b) al observar niveles altos de infestación; c) aumento en el precio del nopal y, e) como método de prevención al terminar la temporada de lluvias. Se mencionó que el número de aplicaciones de insecticidas en un año depende del precio del nopal y por lo tanto de la disponibilidad de recursos.

El control alternativo, con productos químicos de menor toxicidad, es el segundo mecanismo más frecuente. Se utilizan jabones y preparados vegetales, que según sus observaciones: “secan la

cochinilla”. En este caso las razones para su uso están relacionadas con las oportunidades de mercado y con las posibilidades de invertir en su aplicación. Los criterios para decidir su utilización son iguales a las del control químico, no obstante, tres productores indicaron que lo utilizan de forma inicial, pero si no logran un buen control usan el control químico o el mecánico. Un productor mencionó que utiliza estos productos si el control biológico no es efectivo. La intensidad con que se aplica este tipo de control presentó tres particularidades: se aplica solo a plantas infestadas, el número de aplicaciones está en función de la disponibilidad de recursos económicos y, en el caso del jabón se utiliza en pequeñas dosis porque consideran que puede dañar la superficie del cladodio y promover la aparición de mancha negra.

El control físico que se realiza a través del cepillado de los cladodios, solo fue referido por una productora que trabaja sistema de manejo orgánico. Señala que: “es efectivo, pero tardado y que requiere el uso de varias jornadas de trabajo y se combina con la aplicación de jabón”. Otro productor señaló que es un control que requiere mucho tiempo y que por eso utiliza insecticidas. Con relación al efecto de la lluvia, siete productores señalaron que: “es un control natural que lava o barre las cochinillas”. No obstante, no se evidenciaron acciones para potenciar su efecto.

La mayoría de los entrevistados no reconoce a los depredadores de la cochinilla silvestre ni la posibilidad de implementar un control biológico. Sólo uno señaló que *Chilocorus cacti* L. es un depredador que ayuda al control inicial de la cochinilla, pero otros tres lo consideran como ineficaz. Tres productores mencionaron que *C. cacti* es una plaga o piensan que protege a la cochinilla. Un productor refirió, que ha observado la depredación de la cochinilla por aves domésticas, especialmente con guajolotes, y que existe la posibilidad de implementarlo como control biológico.

Adicionalmente, los productores indicaron que realizan cinco prácticas de manejo para disminuir la cantidad de cochinilla silvestre. La práctica más frecuente es la poda de aclareo para “evitar guardar el calor”, “dar ventilación e iluminación”. Le siguen en importancia: la selección de cladodios sin cochinilla para propagar; la incorporación de los residuos de la poda al suelo para evitar el resguardo de la cochinilla y la poda de sanidad para eliminar cladodios infestados.

### 1.3.2 Dinámica de los niveles de infestación de la cochinilla silvestre

En los dos sistemas de manejo evaluados, la mayoría de los cladodios estuvieron libres de infestación por cochinillas, condición que se mantuvo en las ocho fechas de evaluación (Fig. 3). En el SMO, el nivel de infestación más alto fue el nivel tres, mientras que en el SMC se encontraron cladodios con nivel de infestación seis.

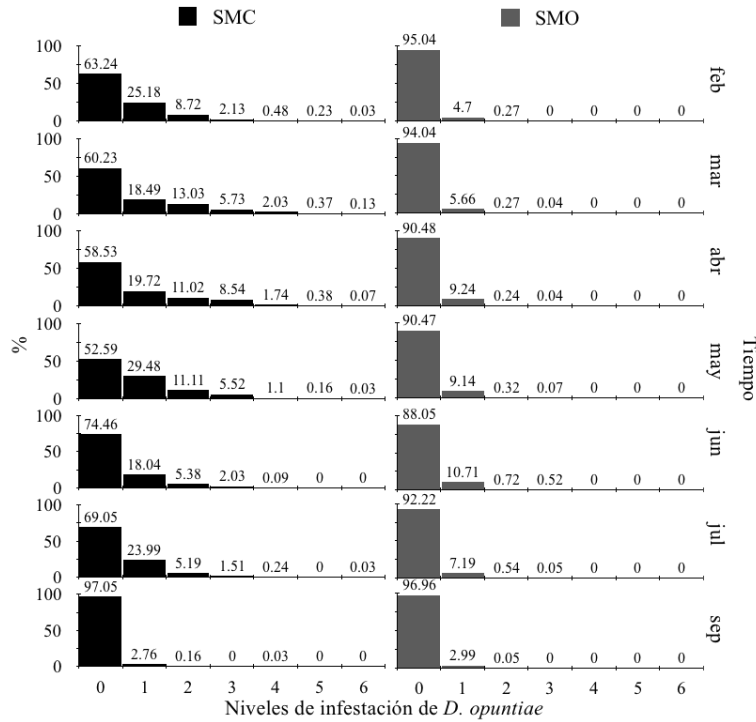


Figura 3. Porcentaje de cladodios según su nivel de infestación a través del tiempo en dos sistemas de manejo: orgánico y convencional

El GLM mostró que al tomar como referencia al SMO, los niveles de infestación en el SMC fueron significativamente mayores ( $\beta_i = 2.72$ ;  $\chi^2 = 5488.63$ ; g. l. = 1;  $p < 0.0001$ ). La transformación  $e^{\beta_i}$ , considerada como tasa de cambio, indica que el nivel de infestación es 15.13 veces mayor en el SMC que en el SMO (Cuadro 1) (Figura 4).

En el SMC el GLM indicó que, al considerar como punto de referencia los cladodios lignificados, que se encuentran en la base de las plantas, los niveles de infestación de los cladodios maduros no lignificados fueron significativamente mayores ( $\beta_i = 0.87$ ;  $\chi^2 = 625.64$ ; g. l. = 1;  $p < 0.0001$ ). Con base en la transformación  $e^{\beta_i}$  se infiere que el nivel de infestación fue 2.38 veces mayor en los cladodios maduros no lignificados que en los cladodios lignificados (Cuadro 1) (Figura 4). En

contraste, los niveles de infestación de los cladodios jóvenes fueron significativamente menores ( $\beta_i = -6.08$ ;  $\chi^2 = 1387.25$ ; g. l. = 1;  $p < 0.0001$ ). En este caso el valor de ( $e^{\beta_i}$  fue de 0.01 lo que indica que los niveles de infestación de los cladodios jóvenes fueron casi de casi 100 veces menores.

Cuadro 1.. Coeficientes de regresión ( $\beta_i$ ) de los factores que influyen en los niveles de infestación de *D. opuntiae* en dos sistemas de manejo contrastantes

| Parámetros                         |                 | $\beta_i \pm$ error estándar | $X^2$   | gl | P      | $e^{\beta_i}$ |
|------------------------------------|-----------------|------------------------------|---------|----|--------|---------------|
| <b>Sistema de manejo</b>           | SMC             | 2.72 $\pm$ 0.037             | 5488.63 | 1  | <.0001 | 15.13         |
|                                    | SMO             | 0                            | .       | .  | .      | 1.00          |
| <b>SMO: Grado de lignificación</b> | Brotos          | -2.74 $\pm$ 0.15             | 325.09  | 1  | <.0001 | 0.06          |
|                                    | No lignificados | 0.38 $\pm$ 0.07              | 34.56   | 1  | <.0001 | 1.46          |
|                                    | Lignificado     | 0                            | .       | .  | .      | 1.00          |
| <b>SMC: Grado de lignificación</b> | Brotos          | -6.08 $\pm$ 0.16             | 1387.25 | 1  | <.0001 | 0.00          |
|                                    | No lignificados | 0.87 $\pm$ 0.03              | 625.64  | 1  | <.0001 | 2.38          |
|                                    | Lignificado     | 0                            | .       | .  | .      | 1.00          |
| <b>SMO: Tiempo</b>                 | Septiembre      | -0.78 $\pm$ 0.17             | 20.25   | 1  | <.0001 | 0.46          |
|                                    | Agosto          | -0.08 $\pm$ 0.15             | 0.30    | 1  | 0.59   | 0.92          |
|                                    | Julio           | 0.47 $\pm$ 0.14              | 13.24   | 1  | <.0001 | 1.61          |
|                                    | Junio           | 0.82 $\pm$ 0.13              | 42.36   | 1  | <.0001 | 2.27          |
|                                    | Mayo            | 0.73 $\pm$ 0.13              | 33.08   | 1  | <.0001 | 2.08          |
|                                    | Abril           | 0.65 $\pm$ 0.13              | 25.42   | 1  | <.0001 | 1.91          |
|                                    | Marzo           | 0.28 $\pm$ 0.14              | 4.26    | 1  | 0.039  | 1.33          |
|                                    | Febrero         | 0                            | .       | .  | .      | 1.00          |
| <b>SMC: Tiempo</b>                 | Septiembre      | -3.20 $\pm$ 0.11             | 927.70  | 1  | <.0001 | 0.04          |
|                                    | Julio           | 0.00 $\pm$ 0.06              | 0.00    | 1  | 0.99   | 1.00          |
|                                    | Junio           | 0.08 $\pm$ 0.06              | 1.96    | 1  | 0.16   | 1.08          |
|                                    | Mayo            | 0.79 $\pm$ 0.06              | 199.62  | 1  | <.0001 | 2.21          |
|                                    | Abril           | 1.06 $\pm$ 0.05              | 378.94  | 1  | <.0001 | 2.89          |
|                                    | Marzo           | 0.96 $\pm$ 0.05              | 314.84  | .  | <.0001 | 2.61          |
|                                    | Febrero         | 0                            | .       | .  | .      | 1.00          |
| <b>SMO: Protección</b>             | Con protección  | 2.82 $\pm$ 0.15              | 362.11  | 1  | <.0001 | 16.68         |
|                                    | Sin protección  | 0                            | .       | .  | .      | 1.00          |
| <b>SMC: Protección</b>             | Con protección  | 2.67 $\pm$ 0.11              | 623.81  | 1  | <.0001 | 14.43         |
|                                    | Sin protección  | 0                            | .       | .  | .      | 1.00          |

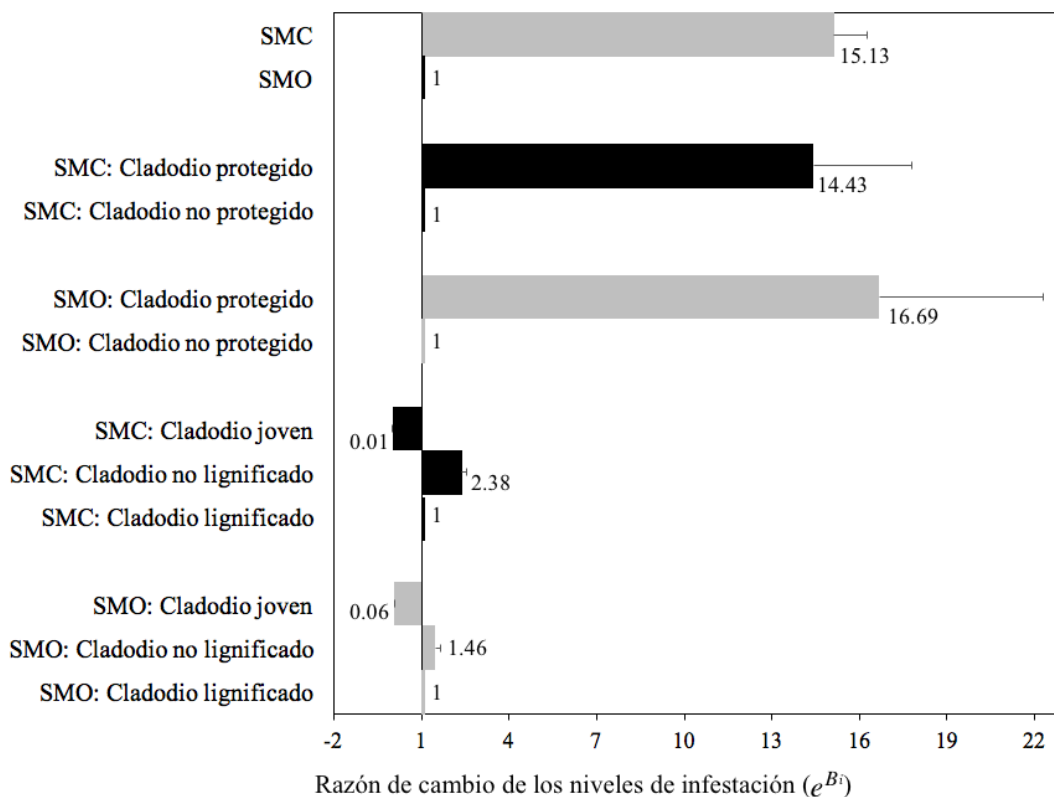


Figura 4. Razón de cambio ( $e^{\beta_i}$ ) de los factores que influyen en los niveles de infestación de *D. opuntiae* en dos sistemas de manejo: orgánico (SMO) y convencional (SMC), a partir de los coeficientes de regresión ( $\beta_i$ ) de Modelos lineales generalizados, transformados a la función  $e^{\beta_i}$  para comparar las variables de manejo, grado de lignificación y protección.

En el SMO se presentó un patrón similar pero los cladodios maduros no lignificados tuvieron un coeficiente mucho menor al que se presentó en el SMC ( $\beta_i = 0.38$ ;  $\chi^2 = 34.56$ ; g. l. = 1;  $p < 0.0001$ ), por lo tanto, la tasa de cambio fue mucho menor ( $e^{\beta_i} = 1.46$ ) (Cuadro 1) (Figura 4). En el caso de los cladodios jóvenes el coeficiente también fue negativo ( $\beta_i = -2.74$ ;  $\chi^2 = 325.09$ ; g. l. = 1;  $p < 0.0001$ ) pero con una tasa de cambio de 0.06 (Cuadro 1) (Figura 4).

Los cladodios que presentaron algún grado de protección a la insolación y a la lluvia tuvieron un nivel de infestación 16.69 veces mayor que los no protegidos para el caso del SMO, y de 14.43 veces para el SMC (Cuadro 1) (Figura 4).

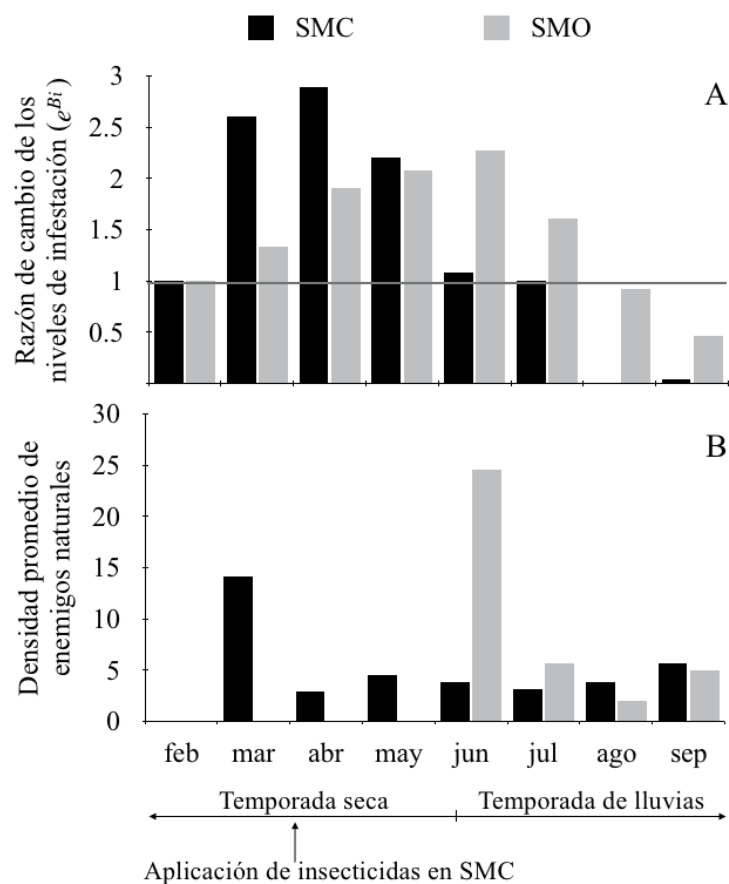


Figura 5. Distribución de la infestación de la cochinilla silvestre y de sus enemigos naturales bajo sistema de manejo convencional (SMC) y orgánico (SMO). A) Razón de cambio ( $e^{\beta_i}$ ) de los niveles de infestación de la cochinilla silvestre del nopal. Datos a partir de los coeficientes de regresión ( $\beta_1$ ) de Modelos lineales generalizados, transformados a la función  $e^{\beta_i}$  para comparar la variable de tiempo como punto de referencia el mes de febrero. B) Densidad promedio de enemigos naturales de la cochinilla silvestre.

La infestación de cochinillas fluctuó en ambos sistemas de manejo respecto al mes de febrero que fue el inicio de las evaluaciones. En la figura 5A se muestra que, en el SMC, abril fue el mes con la mayor tasa de cambio en los niveles de infestación ( $e^{\beta_i} = 2.89$ ) para esta comparación. Mientras que, en el SMO, esta condición se presentó hasta el mes de junio ( $e^{\beta_i} = 2.27$ ). En general se alcanzaron mayores niveles de infestación en el SMC que en el SMO.

### 1.3.3 Abundancia de enemigos naturales

El SMO presentó en el mes de junio, la mayor densidad promedio de depredadores (24.5 individuos/cladodio), que coincidió con los mayores niveles de infestación de cochinilla (Figura 5B). En el SMC la mayor densidad de depredadores (14.17 individuos/cladodio) se registró en marzo, pero a principios de abril el productor aplicó una mezcla de insecticidas (monocrotófos y

metomilo) como medida de control de la cochinilla, y a partir de esa fecha la densidad de depredadores en el SMC disminuyó significativamente y ya no rebaso el promedio de 5.63 individuos/cladodio.

Cabe destacar que, a pesar de que en el SMC se aplicaron insecticidas, el número de especies de depredadores registrados fue mayor que en el SMO. En el primer caso se registraron siete especies: *Hyperaspis trifurcata* Schaeffer, *C. cacti* y *Scymnus louisianae* Chapin (Coleoptera: Coccinellidae); *Leucopis bellula* Williston (Diptera: Chamaemyiidae); *Eosalpingogaster cochenillivorus* Guérin-Ménéville (Diptera: Syrphidae); *Laetilia coccidivora* Comstock (Lepidoptera: Pyralidae); y *Symphorobius barberi* (Neuroptera: Hemerobiidae); mientras que en el SMO sólo se registraron cinco especies, ya que no se encontró a *E. cochenillivorus* ni a *C. cacti*.

La densidad de depredadores se correlacionó positiva y significativamente con los niveles de infestación de cochinilla, tanto en el SMO ( $r$  de Spearman = 0.943;  $p < 0.005$ ) como en el SMC ( $r$  de Spearman = 0.98;  $p < 0.001$ ). En el SMO *H. trifurcata* presentó la mayor densidad en los cladodios con niveles altos de infestación y tuvo una densidad promedio de 27 individuos/cladodio, mientras que en el SMC esta posición la ocupó *L. coccidivora* con una densidad promedio de 20.58 individuos/cladodio.

Otro aspecto sobresaliente, es la presencia de parasitoides de los depredadores de la cochinilla en ambos sistemas. La inspección de los cladodios del SMO reveló la presencia de 30 depredadores parasitados de los estadios de: larva y pupa de *L. coccidivora*, pupa de *L. bellula*, larva y pupa de *H. trifurcata*, y pupa de *E. cochenillovorus*. Mientras que en el SMC se encontraron solo siete depredadores parasitados y no se encontró la presencia de pupas parasitadas de *L. coccidivora*.

## 1.4 DISCUSIÓN

Para fortalecer la resiliencia de los agroecosistemas de nopal en Milpa Alta, Ciudad de México, al desafío que representa el crecimiento poblacional de la cochinilla silvestre, se requieren cambios en los sistemas de gestión actuales. A pesar de los esfuerzos de los agricultores, la cochinilla silvestre sigue siendo la plaga principal en este cultivo y por las afectaciones que produce los agricultores le dan la denominación negativa de “chahuistle”, que es una expresión popular para referirse a un mal o a una plaga muy dañina (RAE, 2014).



Las decisiones que toman los agricultores de nopal para enfrentar el desafío de la cochinilla silvestre han sido influenciadas por tres actores sociales: sus familias, con base en la experiencia de hasta tres generaciones de productores, ya que el cultivo se introdujo hace 84 años (Bonilla, 2009); el mercado de agroquímicos que, desafortunadamente, oferta insecticidas que no están autorizados en México para su uso en nopal (Ramírez, 2019); y los técnicos de organismos públicos que, con base en el modelo de manejo integrado de plagas, recomiendan distintas alternativas, entre ellas el control químico.

En Milpa Alta, los insecticidas son, desde hace más de 22 años, el principal mecanismo usado por los agricultores para controlar a la cochinilla (Aguilar, 2000). Aunque los agricultores manifiestan su preocupación por su uso, reconocen que emplean insecticidas de alta toxicidad (carbofuran y monocrotofos), y prohibidos a nivel mundial por el Convenio de Rotterdam (FAO, 2015), así como el clorpirifos etil que está prohibido en la Unión Europea (UE, 2020a, b). Cabe señalar, que este último está autorizado en México para su uso en nopal al igual que los siguientes tres productos: flupyradifurone, lambda cialotrina, y carbarilo (COFEPRIS, 2022), aunque ninguno de ellos se utiliza en Milpa Alta. Sin embargo, y de acuerdo con Pesticide Action Network International (2021) estos tres insecticidas también se catalogan como altamente peligrosos.

La evaluación realizada en las parcelas de nopal muestra que el SMO tuvo menores tasas de cambio que el SMC lo que podría ser una señal de un mayor grado de robustez. Esto es posible dado que se contienen los incrementos en los niveles de infestación de la cochinilla silvestre a lo largo del tiempo, tal como sucede con las plagas de otros cultivos bajo manejo orgánico (Muneret *et al.*, 2018). En contraste, la parcela con SMC, en la que se aplicaron los insecticidas metomilo y monocrotofos, los niveles de infestación fueron 15 veces mayores a los de la parcela con SMO. En ese sentido, se ha señalado que es posible que la cubierta de cera que cubre a las hembras adultas de la cochinilla silvestre limite la acción de los insecticidas (Vigueras y Portillo, 2016). Entre los agricultores que implementan SMC predomina la visión de erradicar brotes específicos de las plagas y manejar el problema con base en el uso de insumos, por lo que no se atienden las causas que dan origen a las plagas (Romero, 2010; Altieri y Nicholls, 2018).

En los SMC se aplican insecticidas de forma preventiva al menos dos veces al año (en abril y septiembre) sin que se realice una evaluación del riesgo que representan los niveles de infestación observados. Las campañas fitosanitarias para el control de la cochinilla silvestre sugieren iniciar

acciones de control cuando se detecta un 12 % de infestación en un muestreo a plantas (CESAVEDF, 2019a). Sin embargo, no se precisa el nivel de daño de las plantas, situación que limita el uso de este criterio por los productores. La toma de decisiones para el control de la cochinilla silvestre no tiene bases ecológicas ni técnicas y no existen umbrales para definir a qué nivel de abundancia la cochinilla silvestre se generarían daños económicos significativos. Esto hace evidente la necesidad de evaluar los riesgos que representan los diferentes niveles de infestación de la cochinilla y con base en ello definir criterios para la toma de decisiones de gestión (Romero, 2010).

Para evaluar estos riesgos sería recomendable utilizar la escala de Vanegas-Rico *et al.* (2010b) que muestra con mayor claridad los niveles de afectación del cultivo. Esta escala considera a los cladodios como unidad muestral y define el nivel de infestación (siete categorías) con base en el número de colonias de cochinilla presentes y la superficie que cubren. De acuerdo con varios autores, (Pascual *et al.*, 2011; Cruz-Rodríguez *et al.*, 2015; Vandermeer *et al.*, 2019) reconocer la distribución de frecuencias de los distintos tamaños de los conglomerados poblacionales, que en este caso se refieren a los niveles de infestación de la cochinilla en los cladodios, permite inferir mecanismos de regulación poblacional que resultan de la acción de enemigos naturales. Al respecto, Pascual *et al.*, (2011) indica que las señales de regulación poblacional se presentan cuando los conglomerados pequeños presentan una alta frecuencia y los conglomerados grandes una frecuencia muy baja. Esta condición fue la que se encontró principalmente en el SMO.

Distintos autores coinciden que una de las principales consecuencias de la aplicación de insecticidas es la eliminación de los enemigos naturales (Theiling y Croft, 1988), condición que se presentó en el SMC. Sin embargo, el número de especies registrados a lo largo del tiempo fue mayor en el SMC que en el SMO. Esta condición podría ser resultado de que la mayoría de estas especies habitan bajo la cubierta cerosa de la cochinilla (Vanegas-Rico *et al.*, 2010b) y, por lo tanto, es posible que exista un cierto grado de protección contra los insecticidas. Con base en lo anterior y dado que existen evidencias de que los enemigos naturales pueden regular poblaciones de la cochinilla silvestre (Cruz-Rodríguez *et al.*, 2016), es necesario promover este servicio ecosistémico en los agroecosistemas de nopal en Milpa Alta.

Aunque en México existen propuestas para el control biológico de la cochinilla silvestre con depredadores nativos (Mena-Covarrubias, 2010, Cruz-Rodríguez *et al.*, 2016; Vanegas-Rico *et al.*,

2017), los lineamientos técnicos para su implementación no se han desarrollado. En contraste, *H. trifurcata* y *L. bellula* se han introducido en plantaciones de nopal en Israel con el argumento que son depredadores especialistas (Mendel *et al.*, 2020). *C. cacti* también ha sido señalada como una especie relevante para los procesos de control biológico de la cochinilla silvestre (Flores *et al.*, 2013) dado que se ha demostrado su importancia en el consumo de ninfas de la cochinilla, que es la etapa del ciclo de vida en la que la cochinilla se dispersa entre cladodios y entre plantas (Hernández-González y Cruz-Rodríguez, 2018). *L. coccidivora*, por su parte se considera un agente de control efectivo (Barreto-García *et al.*, 2020) ya que consume hembras adultas y su abundancia se incrementa cuando los niveles de infestación de cochinilla son muy altos, lo que se interpreta como una respuesta densodependiente (Cruz-Rodríguez *et al.*, 2015). Esta correlación se observó claramente en la parcela con SMC que es donde se alcanzaron los mayores niveles de infestación de cochinilla.

Un dilema surge de estos planteamientos: favorecer la presencia de los enemigos naturales más efectivos o fuertes, tal como se propone para el control de la cochinilla silvestre en sitios fuera de su área de distribución natural (Mendel *et al.*, 2020) o conservar todos los enemigos naturales presentes en los agroecosistemas de nopal, e incluso a las especies que interactúan con ellos (Cruz-Rodríguez *et al.*, 2015). En este sentido, Phelan (2009) y Vandermeer *et al.* (2019), coinciden en que el uso exclusivo de agentes de control fuertes incrementa el riesgo de crecimientos secundarios de la población plaga. Para ellos, la mejor alternativa consiste en conservar el conjunto de agentes de control, sin importar si son fuertes o débiles, a sus depredadores o parasitoides e incluso sus mutualistas.

En apoyo a lo anterior, McCann (2005) señala que las redes de interacción biótica, a diferencia de las cadenas tróficas cortas, limita la amplitud de las oscilaciones de poblacionales de depredadores y presas, y favorecen procesos de regulación poblacional. En este sentido, se ha propuesto que la conservación de la red de interacciones bióticas que se establecen alrededor de la cochinilla silvestre son la base para una estrategia de manejo que puede prevenir que la cochinilla alcance un estatus de plaga (Mazzeo *et al.*, 2019). En Milpa Alta se observó la presencia de parasitoides que atacan a *L. bellula*, *H. trifurcata*, *L. coccidivora* y *E. cochenillovorus*, y dado que Mendel *et al.* (2020) señalan que su presencia limita el control biológico de la cochinilla, se requiere analizar las consecuencias de este tipo de interacciones.

Es necesario reconocer que la mayoría de los agricultores de nopal entrevistados no reconocen que la cochinilla silvestre tiene un conjunto de depredadores que participan en su control tal como ha sido evidenciado en distintos trabajos (Vanegas-Rico *et al.*, 2010b; Hernández-González y Cruz-Rodríguez *et al.*, 2018). Sólo uno de los productores, que por cierto lleva a cabo un manejo orgánico, identifica la presencia de enemigos naturales y valora sus funciones como agentes de control. Los organismos públicos a pesar de que reconocen la posibilidad de un control biológico para el manejo fitosanitario del nopal (CESAVEDF, 2019b), no han desarrollado recomendaciones técnicas para su implementación. Por lo tanto, para que los agricultores y los distintos actores que influyen en la gestión de la cochinilla silvestre favorezcan la acción de sus enemigos naturales, es necesario fortalecer sus capacidades para identificarlos y para evaluar, bajo diferentes condiciones, su papel como agentes de regulación poblacional, tal como lo sugieren Beltrán-Tolosa *et al.* (2020).

A pesar del predominio de los insecticidas, en Milpa Alta existen productores que han cambiado sus sistemas de gestión de la cochinilla, debido a su interés de acceder al mercado de productos orgánicos. Aunque la superficie destinada a este tipo de producción es muy pequeña, estos productores demuestran que es posible enfrentar los desafíos de la cochinilla silvestre sin el uso de insecticidas. Los esfuerzos por producir sin el uso de agroquímicos tóxicos han sido reconocidos por el gobierno de la CDMX a partir de la norma NACDMX-002-RNAT-2019 para la producción agroecológica y un sello “verde” para distinguirla de la producción convencional (Gaceta Oficial de la CDMX, 2021). Sin embargo, esto podría no ser suficiente ya que se requiere que el mercado y los consumidores reconozcan las ventajas que tiene este tipo de producción para continuar su promoción y sea de beneficio económico para los productores.

A pesar de que los agricultores también reconocen que los factores físicos como la lluvia e insolación reducen la abundancia de la cochinilla silvestre (Marín y Cisneros, 1983; Moran *et al.*, 1987), muy pocos implementan acciones para potenciar y favorecer este tipo de control. Sin embargo, saben que las podas de formación, aclareo y saneamiento, junto con ciertos arreglos de la plantación, favorecen su acción. En este sentido también se reconoce la arquitectura de las plantas influye en los niveles de infestación. Con base en la evidencia generada de que los cladodios maduros no lignificados son los que presentan los mayores niveles de infestación, se infiere que las plantas con menor número de estratos tendrían menores niveles de infestación. Al

respecto, Vanegas-Rico *et al.* (2017) también encontraron que los mayores niveles de infestación de cochinilla en una planta se presentan en los cladodios maduros no lignificados, sin embargo, plantean que, si las plantas no reciben la atención adecuada, la infestación puede subir a los estratos superiores.

Una condición favorable que se observó en estos sistemas de producción, es la nula infestación de cochinilla en los cladodios jóvenes que se cortan para comercializar. Aunque se llegan a cortar cladodios de diferente tamaño, el mercado prefiere cladodios jóvenes cuya longitud va de los 7 a los 11 cm y que se denominan nopal cambray. Para alcanzar este tamaño los cladodios requieren de 8 a 15 días y dado que las ninfas del instar II de la cochinilla silvestre se fijan en los cladodios a partir del día 9 de su ciclo de vida (Palafox-Luna *et al.*, 2018), por lo tanto, no siempre alcanzará el tiempo para que la cochinilla se fije en este tamaño de cladodio. No obstante, los productores vislumbran riesgos a su producción de cladodios jóvenes sino se reduce la abundancia de cochinilla en los estratos inferiores.

Dada la importancia de la producción del nopal verdura en Milpa Alta y el hecho de que la producción se realiza en una zona que está catalogada como suelo de conservación (SEDEMA, 2016), se requiere que los sistemas de gestión de la cochinilla silvestre garanticen tanto, niveles de producción competitivos que beneficien económicamente a los agricultores, y que además se realicen de conformidad con los lineamientos para la producción agroecológica en la Ciudad de México (Gaceta Oficial de la CDMX, 2021). De ser así se alcanzaría una producción sustentable y se conservarían los servicios ecosistémicos que esta región ofrece a la ciudad.

Para lograr una producción agroecológica de nopal verdura, se requiere reforzar las capacidades de resiliencia de estos agroecosistemas. Dichos cambios se deben realizar de común acuerdo entre los productores y los distintos actores que intervienen en la cadena productiva. Para incrementar su resiliencia se deben favorecer procesos de control biológico en los que intervenga toda la red de enemigos naturales de la cochinilla. Con base en ello, se generarán mecanismos de regulación poblacional que limitarían la posibilidad de crecimientos exponenciales de dicho organismo. Además, se debe favorecer la acción de factores físicos como la lluvia y la insolación, para lo cual es necesario definir el número de estratos que deben de tener las plantas y las densidades de siembra. Todo ello permitirá que el agroecosistema, de manera autónoma, regule o controle las poblaciones de cochinilla.

La transición hacia propuestas agroecológicas debe partir del reconocimiento de la estrecha relación que existe entre *D. opuntiae* y las plantas de nopal y aceptar, por lo tanto, que la cochinilla silvestre siempre estará presente. Se requieren evaluaciones del riesgo potencial y real de los distintos niveles de infestación de la cochinilla, ya que no existen umbrales que permitan identificar los momentos más adecuados para una intervención. Además, es necesario evaluar el efecto que tendrían las barreras vivas entre plantaciones para limitar la dispersión de la cochinilla silvestre, y determinar la influencia de la condición nutrimental de las plantas de nopal en su desarrollo y crecimiento poblacional.

## CONCLUSIONES GENERALES

- Los insectos herbívoros que alcanzan la condición de plaga son uno de los principales desafíos de los agroecosistemas. Por esta razón, se debe promover, constantemente, un incremento en su capacidad de resiliencia ante las plagas; así como prácticas de manejo que las reduzcan, mientras conserven a los enemigos naturales.
- El fenómeno de las plagas en los agroecosistemas es resultado de la interacción compleja e interdependiente de las condiciones ambientales, ecológicas y sociales en las que se circunscriben los agroecosistemas. Por esta razón, ellas son un fenómeno socioecológico, y no solo como un problema económico, agronómico o ecológico.
- Para encontrar soluciones al desafío de las plagas se requiere utilizar los principios de la teoría de los sistemas socioecológicos. Esto permitirá que el proceso de gestión de las plagas mantenga la capacidad productiva de los agroecosistemas y, a la vez, que se promueva el bienestar de productores y consumidores. Para lograrlo se debe aumentar la robustez y las capacidades de adaptación y transformación de los agroecosistemas, que son la base de su resiliencia.
- La cochinilla silvestre siempre estará presente en los agroecosistemas de nopal debido a la estrecha relación ecológica y evolutiva que tiene con las plantas de *Opuntia*. Con frecuencia alcanza la condición de plaga debido a la interacción de factores sociales y ecológicos que favorecen su dispersión, eliminan a sus enemigos naturales, limitan su control por factores físicos como la lluvia, y generan condiciones de desbalance nutricional en las plantas que favorecen su desarrollo y crecimiento poblacional.
- La gestión de la cochinilla silvestre, desde la perspectiva de los sistemas socioecológicos, requiere que se potencien las capacidades de resiliencia de los agroecosistemas. Para ello los sistemas de gestión deben reconocer que existen mecanismos naturales que controlan o regulan las poblaciones de cochinilla silvestre y que con frecuencia los sistemas de gestión de los agroecosistemas impiden su acción.
- La cadena agroalimentaria del nopal debe considerar principios de gobernanza que reconozcan el valor de la producción agroecológica y que es posible lograr una producción competitiva que cumpla con los principios de inocuidad alimentaria, comercio justo y conservación de servicios ecosistémicos. Para ello es necesario eliminar el uso de insecticidas de origen

industrial y promover la presencia de mecanismos ecológicos que ayuden al control y la regulación de las poblaciones de cochinilla.

- Para la agroecología como ciencia, esta perspectiva reconoce e integra diferentes factores que pueden involucrar la revalorización del conocimiento local y de desafíos en la agricultura. Para la agroecología como práctica, permite identificar las estrategias de gestión de los agroecosistemas que permita su resiliencia. Y para la agroecología como movimiento esta perspectiva permite identificar los factores sociales que pueden detonar en objetivos alcanzar o cambiar.
- Finalmente, para abundar en la propuesta de manejo del agroecosistema de nopal en general, se debe incluir el análisis de otras plagas, enfermedades y enemigos naturales, aspectos del estudio de suelo, así como integrar otros análisis como el de redes para abordar la perspectiva de más agricultores y otros actores que inciden en los agroecosistemas.



## LITERATURA CITADA

- Abivardi, C. 2004. Pesticide Hormoligosis. En: Encyclopedia of Entomology. Springer, Dordrecht. [https://doi.org/10.1007/0-306-48380-7\\_3178](https://doi.org/10.1007/0-306-48380-7_3178)
- Aguilar, A. A. 2000. Control de la grana cochinilla en el nopal verdura en el Distrito Federal. INIFAP, Grupo Produce A. C. Distrito Federal. México. 6 p.
- Aldana M. M. L., M. del C. García M., G. Rodríguez O., M.I. Silveira G., y A. I. Valenzuela Q. 2008. Determinación de insecticidas organofosforados en nopal verdura fresco y deshidratado. Rev. Fitotec. Mex. 31: 133-139.
- Altieri, M. A. y Nicholls, C. I. 2007. Biodiversidad y manejo de plagas en agroecosistemas (Vol. 2). Icaria editorial. 248 p.
- Altieri, M. A. y Nicholls, C. I. 2018. Agroecología: ciencia fundamental para el diseño de fincas resilientes a plagas. LEISA. Revista de Agroecología, 34(1), 5-8.
- Ángeles N. J. G., Anaya L. J. L., Arévalo G. M., Leyva R. G., Anaya R. S., y Martínez M. T. O. 2014. Análisis de la calidad sanitaria de nopal verdura en Otumba, Estado de México. Revista mexicana de ciencias agrícolas, 5(1), 129-141.
- Ascencio, C. D. O. 2021. Coccinélidos como enemigos naturales de *Dactylopius opuntiae* (Cockerell). Tesis Doctoral. Universidad Autónoma de Nuevo León. 129 p.
- Badii M. H. y Flores A. E. 2001. Prickly pear cacti pests and their control in Mexico. Florida Entomologist 84: 503–505.
- Balvanera, P., Astier, M., Gurri, F. D. y Zermeño-Hernández, I. 2017. Resiliencia, vulnerabilidad y sustentabilidad de sistemas socioecológicos en México. Revista Mexicana de Biodiversidad, 88, 141–149. <https://doi.org/10.1016/j.rmb.2017.10.005>
- Bardenhagen, C. J., Howard, P. H. y Gray, S. A. 2020. Farmer mental models of biological pest control: associations with adoption of conservation practices in blueberry and cherry orchards. Frontiers in Sustainable Food Systems, 54 p.
- Barreto-García, O. A., Rodríguez-Leyva, E., Lomeli-Flores, J. R., Vanegas-Rico, J. M.; Viguera, A. L. y Portillo, L. 2020. *Laetilia coccidivora* feeding on two cochineal insect species, Does the prey affect the fitness of the predator? BioControl, 65(6), 727-736.
- Begon, M., Townsend, C. R. y Harper, J. L. 2006. Ecology: from individuals to ecosystems. 4th ed. Blackwell Publishing Ltd.
- Beltrán-Tolosa, L. M., Cruz-García, G. S., Solís, R. y Quintero, M. 2020. Mestizo Farmers' Knowledge of Entomofauna Is Reflected in Their Management Practices: A Case Study in the Andean-Amazon Foothills of Peru. Frontiers in Sustainable Food Systems, 4, 147 p.

- Berkes, F. 1999. Sacred Ecology: Traditional Ecological Knowledge and Resource Management. Philadelphia, PA: Taylor & Francis.
- Berkes, F. y Folke, C. (Eds.). 1998. Linking social and ecological systems: management practices and social mechanisms for building resilience. Cambridge University Press.
- Bianchi, F. J. J. A., Booij, C. J. H. y Tscharntke, T. 2006. Sustainable pest regulation in agricultural landscapes: A review on landscape composition, biodiversity and natural pest control. In Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences. Vol. 273, Número 1595. 1715–1727. <https://doi.org/10.1098/rspb.2006.3530>
- Biggs, R., Schlüter M, y Schoon M. L. (Eds.). 2015. Principles for building resilience: sustaining ecosystem services in socialecological systems. Cambridge University Press, Cambridge, UK. <https://doi.org/10.1017/CBO9781316014240>
- Bonilla, R. R. 2009. Agricultura y tenencia de la tierra en Milpa Alta: Un lugar de identidad. Argumentos. 22(61): 249-282.
- Cabell, J. F. y Oelofse, M. 2012. An indicator framework for assessing agroecosystem resilience. Ecology and Society, 17(1).
- Cayuela, L. 2010. Modelos Lineales Generalizados (GLM). Junta de Andalucía, Granada: EcoLab, Centro Andaluz de Medio Ambiente. Granada: Universidad de Granada. 58-87.
- Chaboussou, F. 2004. Healthy crops: A new agricultural revolution. Charlbury, UK: Jon Carpenter Publishing. 244 p.
- Chávez-Moreno C. K., Tecante, A. y Casas A. 2009. The *Opuntia* (Cactaceae) and *Dactylopius* (Hemiptera: Dactylopiidae) in Mexico: a historical perspective of use, interaction and distribution. Biodiversity and Conservation 18: 3337–3355.
- Chávez-Moreno, C. K., Tecante, A., Casas, A., y Claps, L. E. 2011. Distribution and habitat in Mexico of *Dactylopius costa* (Hemiptera: Dactylopiidae) and their cacti hosts (Cactaceae: Opuntioideae). Neotropical entomology, 40, 62-71. <https://doi.org/10.1590/S1519-566X2011000100009>.
- Cockfield, S. D. 1988. Relative availability of nitrogen in host plants of invertebrate herbivores: Three possible nutritional and physiological definitions. Oecologia, 77, 91–94.
- Comité Estatal de Sanidad Vegetal del Distrito Federal (CESAVEDF). 2019. Programa de trabajo específico de manejo fitosanitario del nopal a operar con recursos del programa de sanidad e inocuidad agroalimentaria 2019, componente de campañas fitozoosanitarias, en el Ciudad de México. 8 p.
- Coronado-Flores, V., Tornero-Campante, M. A., Núñez-Tovar, R., Jaramillo-Villanueva, J. L. y Méndez-Gallegos, S. de J. 2015. Productivity of cochineal insects *Dactylopius coccus* (Hemiptera: Dactylopiidae) reared on cactus pear cladodes *Opuntia ficus-*

*indica* (cactacea) produced under different fertilization conditions. *Acta Zoológica Mexicana* (n. s.), 31(2): 183-189.

- Cruz-Rodríguez., J. A.; González M. E.; Villegas G. A. A.; Rodríguez R. M. L. y Mejía L. F. 2016. Autonomous biological control of *Dactylopius opuntiae* (Hemiptera: Dactylopiidae) in a prickly pear plantation with ecological management. *Environmental Entomology* 45:642-648.
- Colding, J. y Barthel, S. 2019. Exploring the social-ecological systems discourse 20 years later. *Ecology and Society*, 24(1).
- Comisión Federal para la Protección contra Riesgos Sanitarios (COFEPRIS). 2022. Registro Sanitario de Plaguicidas y Nutrientes Vegetales. Recuperado el 08 de enero de 2022, de Consulta de Registros Sanitarios de Plaguicidas, Nutrientes Vegetales y LMR: <http://siipris03.cofepris.gob.mx/Resoluciones/Consultas/ConWebRegPlaguicida.asp>
- Comité Estatal de Sanidad Vegetal del Distrito Federal (CESAVEDF). 2019a. Programa de trabajo específico de manejo fitosanitario del nopal a operar con recursos del programa de sanidad e inocuidad agroalimentaria 2019, componente de campañas fitozoosanitarias, en la Ciudad de México. 8 p. Recuperado el 15 de enero de 2022 de: <https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/561792/NOPAL.pdf>
- Comité Estatal de Sanidad Vegetal del Distrito Federal (CESAVEDF). 2019b. Manejo fitosanitario del nopal verdura en Milpa Alta, Distrito Federal. CESAVEDF. 63 p. Recuperado el 15 de enero de 2022 de: [https://osiap.org.mx/senasica/sites/default/files/Manejo%20Fitosanitario%20del%20Nopal\\_0.pdf](https://osiap.org.mx/senasica/sites/default/files/Manejo%20Fitosanitario%20del%20Nopal_0.pdf)
- Culliney, T. 2014. Crop Losses to Arthropods. En: Pimentel, D., Peshin, R. (eds) *Integrated Pest Management*. Springer, Dordrecht. [https://doi.org/10.1007/978-94-007-7796-5\\_8](https://doi.org/10.1007/978-94-007-7796-5_8)
- Da Silva, M. G. S., Dubeux Jr, J. C. B., Cortes, L. C. D. S. L., Mota, D. L., Da Silva, L. L. S., Dos Santos, M. V. F., y Dos Santos, D. C. 2010. Anatomy of different forage cacti with contrasting insect resistance. *Journal of Arid Environments*, 74(6), 718-722.
- Darnhofer, I., Lamine, C., Strauss, A., y Navarrete, M. 2016. The resilience of family farms: Towards a relational approach. *Journal of Rural Studies*, 44, 111-122.
- Delgadillo, V. I.; González M. A. y Rivera R. 2008. Manejo fitosanitario del nopal verdura en Milpa Alta, Distrito Federal. Comité Estatal de Sanidad Vegetal del Distrito Federal (CESAVEDF). 63 p.
- Departamento de Salud Pública de California. 2018. Debido a riesgos para la salud, California emite advertencia sobre el consumo de ciertos nopales importados de México. Recuperado el 01 de abril de 2022, de Comunicados de prensa: [https://www.cdpr.ca.gov/docs/pressrls/2018/spanish/021418\\_sp.htm](https://www.cdpr.ca.gov/docs/pressrls/2018/spanish/021418_sp.htm)

- Després, L.; David, J.P., y Gallet, C. 2007. The evolutionary ecology of insect resistance to plant chemicals. *Trends in Ecology and Evolution*, 22, 298–307.
- Diario Oficial de la Federación (DOF). 2000. NOM-EM-034-FITO-2000, Requisitos y especificaciones para la aplicación y certificación de buenas prácticas agrícolas en los procesos de producción de frutas y hortalizas frescas.
- Eisner, T., Nowicki S., Goetz M., y Meinwald J. 1980. Red cochineal dye (carminic Acid): its role in nature. *Science*. 208: 1039–1042.
- Eisner, T., Ziegler, R., McCormick, J. L., Eisner, M., Hoebcke, E. R., y Meinwald, J. 1994. Defensive use of an acquired substance (carminic acid) by predaceous insect larvae. *Experientia*, 50(6), 610-615.
- Flores H. A., Murillo A. B., Rueda P. E. O., Salazar T. J. C., García. H. J. L., y Troyo D. E. 2006. Reproducción de cochinilla silvestre *Dactylopius opuntiae* (Homóptera: Dactylopiidae). *Revista mexicana de biodiversidad*, 77(1), 97-102.
- Flores, A., Olvera H., Rodríguez S. y Barranco J. 2013. Predation potential of *Chilocorus cacti* (Coleoptera: Coccinellidae) to the prickly pear cacti pest *Dactylopius opuntiae* (Hemiptera: Dactylopiidae). *Neotrop. Entomol.* 42: 407–411.
- Folke, C., Biggs, R., Norström, A. V., Reyers, B., y Rockström, J. 2016. Social-ecological resilience and biosphere-based sustainability science. *Ecology and Society*, 21(3).
- Food Agriculture Organization (FAO). 2015. Convenio de Rotterdam sobre el procedimiento de consentimiento fundamentado previo aplicable a ciertos plaguicidas y productos químicos peligrosos objeto de comercio internacional. Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente y Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. Texto y anexos. Ginebra, Suiza y Roma, Italia, 55 p.
- Foxcroft L. C. y Hoffmann J. H. 2000. Dispersal of *Dactylopius opuntiae* Cockerell (Homoptera: Dactylopiidae), a biological control agent of *Opuntia stricta* (Haworth.) Haworth. (Cactaceae) in the Kruger National Park. *Koedoe*. 43(2), 1-5.
- Galán, C.; Balvanera, P. y Castellarini, F. 2014. Políticas públicas hacia la sustentabilidad: integrando la visión ecosistémica. México D.F.: Conabio.
- García Morales M, Denno BD, Miller DR, Miller GL, Ben-Dov Y y Hardy NB. 2016. ScaleNet: a literature-based model of scale insect biology and systematics. Database. <https://doi.org/10.1093/database/bav118>. <http://scalenet.info> (accessed 1 junio 2022)
- Gliessman, S. R. 2015. Agroecology. The ecology of sustainable food systems. 3rd ed. Boca Raton, FL, USA: CRC Press/Taylor and Francis. 364 p.
- Gobierno del Distrito Federal. 2014. Atlas de peligros y riesgos de la Ciudad de México. Actualización de los mapas de riesgo: Milpa Alta. (Actualización). Ciudad de Mexico: Gobierno del Distrito Federal. Recuperado el 1 de abril de 2022. [http://www.sadsma.cdmx.gob.mx:9000/datos/storage/app/media/docpub/atlasriesgo/MR\\_Milpa\\_Alta.pdf](http://www.sadsma.cdmx.gob.mx:9000/datos/storage/app/media/docpub/atlasriesgo/MR_Milpa_Alta.pdf)

- Gobierno de la Ciudad de México. 2021. Norma Ambiental para la Ciudad de México NACDMX-002-RNAT-2019, que establece los Requisitos, Lineamientos y Especificaciones Técnicas, para la producción agroecológica en el suelo de conservación de la Ciudad de México. Publicado el 20 de julio de 2021 en la Gaceta Oficial de la Ciudad de México, 127 p.
- Gobierno de la Ciudad de México. 2022. Programa Integral de Apoyo a los Productores de Nopal, PIAPRON. Aprobado por la Asamblea Legislativa y publicado el 11 de febrero de 2022 en la Gaceta Oficial de la Ciudad de México, 196 p.
- Hernández, T. 2017. Reconnecting the City and the Countryside with Food and Agriculture in the Era of Globalization and Neoliberalism: Nopal, Mexico City, and Milpa Alta. Tesis de doctorado. Universidad de York. 316 p. <https://yorkspace.library.yorku.ca/xmlui/handle/10315/33557>
- Hernández U. M. I, Pérez, T. E. y Rodríguez G. M. E. 2011. Chemical analysis of nutritional content of prickly pads (*Opuntia ficus-indica*) at varied ages in an organic harvest. Int J Environ Res Public Health. 8(5):1287-95. <https://doi.org/10.3390/ijerph8051287>.
- Hernández-González I. A y Cruz-Rodríguez J. A. 2018. Chilocorus cacti (Coleoptera: Coccinellidae) as a Biological Control Agent of the Wild Cochineal (Hemiptera: Dactylopiidae) of Prickly Pear Cactus. Environ Entomol;47(2):334-339.
- Hernández-Pérez R.; G. Bravo-Silva, J.; Martínez-Martínez, A.; González, H. y T. J. Ramírez, P. 2019. Evaluación de la efectividad biológica de bioinsecticida para el control de cochinilla silvestre (*Dactylopius opuntiae* Cockerell), en nopal (*Opuntia ficus-indica* (L.) Mill.), en Totolapan, Morelos, México. Revista Chilena de Entomología.45:55-64.
- IBM SPSS. 2012. Advanced Statistics 21. SPSS Inc., Chicago, IL.
- Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática (INEGI). 2001. Cuaderno estadístico delegacional Milpa Alta, Distrito Federal, INEGI, México.156 p.
- Instituto Nacional de Estadísticas y Geografía (INEGI). 2007. Características Principales del Cultivo de Nopal en el Distrito Federal: Caso Milpa Alta, 1st ed.; Instituto Nacional de Estadísticas y Geografía: D.F., México, 68 p.
- International Panel of Experts on Sustainable Food Systems (IPES). 2016. From uniformity to diversity: A paradigm shift from industrial agriculture to diversified agroecological systems. Louvain-la-Neuve, Belgium: IPES.
- Ives, A. R. ; Klug, J. L. y Gross, K. 2000. Stability and species richness in complex communities. Ecology Letters, 3(5), 399-411.
- Lescourret, F., Magda, D., Richard, G., Adam-Blondon, A. F., Bardy, M., Baudry, J., ... y Soussana, J. F. 2015. A social–ecological approach to managing multiple agro-ecosystem services. Current Opinion in Environmental Sustainability, 14, 68-75.

- Liebman, M. y Gallandt, E. R. 1997. Many little hammers: Ecological management of crop–weed interactions. In *Ecology in Agriculture*, Jackson, L. E., Ed. Academic Press, San Diego, 291–243.
- Lopes, E. B., Albuquerque, I. C., Brito, C. H., y Luna Batista, J. 2009. Velocidade de infestação e dispersão de *Dactylopius opuntiae* Cockerell, 1896 em palma gigante na Paraíba. *Engenharia Ambiental-Espírito Santo do Pinhal*, 6, 196-205.
- López-Rodríguez, P. E.; Aquino-Pérez, G.; Morales-Flores, F. J.; Mena-Covarrubias, J.; Rodríguez-Leyva, E. y de Méndez-Gallegos, S. J. 2021. Productos no convencionales como alternativa de control de *Dactylopius opuntiae* Cockerell (Hemiptera: Dactylopiidae). *Revista Fitotecnia Mexicana*, 44(3), 417-417.
- Magarey, R. D.; Chappell, T. M.; Trexler, C. M.; Pallipparambil, G. R. y Hain, E. F. 2019. Social ecological system tools for improving crop pest management. *Journal of Integrated Pest Management*, 10(1), 2. <https://doi.org/10.1093/jipm/pmz004>.
- Mann, J. 1969. Cactus-feeding insects and mites. United States National Museum Bulletin 256. Smithsonian Institution Press, Washington, DC, pp. 9–30.
- Marín, R. y Cisneros, F. 1983. Factores que deben considerarse en la producción de la “cochinilla del carmín” *Dactylopius coccus* (Costa) en ambientes mejorados. *Revista Peruana de Entomología*, 26: 81–83.
- Mazzeo, G.; Nucifora, S.; Russo, A. y Suma, P. 2019. *Dactylopius opuntiae*, a new prickly pear cactus pest in the Mediterranean: an overview. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 167(1), 59-72.
- McCann, K. S. 2005. Perspectives on diversity, structure, and stability. In *Ecological Paradigms Lost: Routes of Theory Change*, Cuddington, K. and Beisner, B., Eds. Elsevier Academic Press, Burlington, MA. 183–209 pp.
- McClung de Tapia, E., Martínez, Y. D., Ibarra, M. E. y Adriano, M. C. 2014. Los orígenes prehispánicos de una tradición alimentaria en la cuenca de México. *Anales de antropología*. 48, 97–121.
- Mena Covarrubias J. 2010. Alternativas de control biológico de plagas del nopal. VIII Simposium-Taller Nacional y 1er Internacional Producción y Aprovechamiento del Nopal. *RESPYN Revista Salud Pública* 5: 93-108.
- Mena Covarrubias, J. 2018. Insect pest of Cactus Pear, pp.125–134. En P. Inglese, C. Mondragon, A. Nefzaoui and Saénz (eds.), *Crop ecology, cultivation and uses of cactus pear*. FAO and ICARDA, Rome.
- Mendel, Z., Protasov, A., Vanegas-Rico, J. M., Lomeli-Flores, J. R., Suma, P., y Rodríguez-Leyva, E. 2020. Classical and fortuitous biological control of the prickly pear cochineal, *Dactylopius opuntiae*, in Israel. *Biological Control*, 142, 104157.

- Meuwissen, M. P., Feindt, P. H., Spiegel, A., Termeer, C. J., Mathijs, E., De Mey, Y., ... y Reidsma, P. 2019. A framework to assess the resilience of farming systems. *Agricultural Systems*, 176, 102656.
- Mondragón, J. C. y Méndez, G. S. J. 2018. Nopalitos or vegetable cactus production and utilization. En Inglese, P.; Mondragon C.; Nefzaoui, A y Saénz C. (eds.). *Crop ecology, cultivation and uses of cactus pear*. FAO and ICARDA, Rome. 125–134 pp
- Morales, H. y Perfecto, I. 2000. Traditional knowledge and pest management in the Guatemalan highlands. *Agriculture and Human Values*, 17(1), 49-63.
- Moran, V. C., Gunn B. H. y Walter G.H. 1982. Wind dispersal and setting of first-instar crawlers of the cochineal insect *Dactylopius austrinus* (Homoptera: Coccoidea): Dactylopiidae. *Ecol. Entomol.* 7: 409–419.
- Moran, V. C., J. H. Hoffmann, and C. J. Basson. 1987. The effects of simulated rainfall on cochineal insects (Homoptera: Dactylopiidae): colony composition and survival on cactus cladodes. *Ecol. Entomol.* 12: 51–60.
- Muneret, L., Mitchell, M., Seufert, V., Aviron, S., Djoudi, E. A., Pétilon, J., ... y Rusch, A. 2018. Evidence that organic farming promotes pest control. *Nature sustainability*, 1(7), 361-368.
- Nicholls, C. I. y Altieri, M. A. 2012. Estrategias agroecológicas para incrementar la resiliencia. *LEISA. Revista de Agroecología*, 28(2), 14-17.
- Noy, S. y Jabbour, R. 2020. Decision-Making in Local Context: Expertise, Experience, and the Importance of Neighbours in Farmers' Insect Pest Management. *Sociologia Ruralis*, 60(1), 3-19.
- Palafox-Luna, J. A., Rodríguez-Leyva, E., Lomeli-Flores, J. R., Viguera-Guzmán, A. L., y Vanegas-Rico, J. M. 2018. Ciclo de vida y fecundidad de *Dactylopius opuntiae* (Hemiptera: Dactylopiidae) en *Opuntia ficus-indica* (Caryophyllales: Cactaceae). *Agrociencia*, 52(1), 103-114.
- Pascual, M., M. Roy, F. Guichard, and G. Flierl. 2011. Cluster size distributions: Signatures of self-organization in spatial ecologies. *Phil. Trans. R. Soc. Lond. B.* 357: 657–666.
- Pérez, M. A., Navarro, H., y Miranda, E. 2013. Residuos de plaguicidas en hortalizas: problemática y riesgo en México. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 29, 45-64.
- Pérez S. M. y Becerra R. 2001. Nocheztli: el insecto del rojo carmín. *CONABIO. Biodiversitas*. 36: 1-8.
- Pesticides Action Network International. 2021. PAN International List of Highly Hazardous Pesticides (PAN List of HHPs). Hamburg, Germany: PAN, 36 p.

- Phelan, P. L. 2009. Chapter 9. Ecology-Based Agriculture and the Next Green Revolution: Is Modern Agriculture Exempt from the Laws of Ecology?. En Sustainable agroecosystem management CRC press. 117-156.
- Phelan, P. L.; Norris, K., y Mason, J. R. 1996. Soil-management history and host preference by *Ostrinia nubilalis* (Hübner): Evidence for plant mineral balance as a mechanism mediating insect/plant interactions. *Environmental Entomology*, 25, 1329–1336.
- Pimentel, D. y Perkins, J.H. 2019. *Pest Control: cultural and environmental aspects* (1st ed.). CRC Press. <https://doi.org/10.1201/9780429301537>
- Pimentel, D. y Peshin, R. (Eds.). 2014. *Integrated Pest Management: Pesticide Problems*, Vol. 3 (Vol. 3). Springer Science & Business Media. 474 p.
- Price, P. W.; Denno, R. F.; Eubanks, M. D.; Finke, D. L. y Kaplan, I. 2011. *Insect ecology: behavior, populations and communities*. Cambridge University Press. 829 p.
- Ramírez, V. 2019. *Ecotoxicología en plantaciones de nopal tunero y nopal verdura*. Tesis de licenciatura. Universidad Autónoma Chapingo. 64 p.
- Real Academia Española (RAE). 2014. *Diccionario de la Lengua Española*. 23ª ed. Madrid: España.
- Red de Acción sobre Plaguicidas y Alternativas en México. (RAPAM). 2017. *Los Plaguicidas Altamente Peligrosos en México*. Bejarano F. (Ed.). <https://doi.org/10.1097/NNA.0b013e31828958cd>
- Reyes-Agüero, A., Aguirre-Rivera., R. y Carlín, F. 2004. Análisis preliminar de la variación morfológica de 38 variantes mexicanas de *Opuntia ficus-indica* (L.) Miller. En Esparza G., Valdez R. y Méndez, J.G. (Eds). *El nopal, tópicos de actualidad*. 21–47. México, Universidad Autónoma Chapingo, Colegio de Postgraduados.
- Rodríguez G. M. D. L. y López B., J. 2006. Caracterización de unidades biofísicas a partir de indicadores ambientales en Milpa Alta, Centro de México. *Investigaciones geográficas*, (60), 46-61.
- Rodríguez, M. O.; Delgadillo, M. J. y Sánchez S. M. 2021. Perfil del productor de nopal de Milpa Alta en el diseño de políticas sectoriales. *Argumentos. Estudios Críticos De La Sociedad*, 1(96), 229-253. <https://doi.org/10.24275/uamxoc-dcsh/argumentos/2021961-10>.
- Romero, F. 2010. *Manejo ecológico de patosistemas: las bases, los conceptos y los fraudes (o manejo integrado de plagas, MIP)*. Primera edición. Universidad Autónoma Chapingo. 174 p.
- Rule N. F. y Hoffmann J. 2018. The performance of *Dactylopius opuntiae* as a biological control agent on two invasive *Opuntia* cactus species in South Africa. *Biological Control* 119: 7–11.



- Sabariago-Puig, M., Vilà-Baños y Sandín-Esteban, M. P. 2014. El análisis cualitativo de datos con ATLAS.ti. *Revista d’Innovació i Recerca En Educació*, 7(8(2)), 119–133. <https://doi.org/10.1344/reire2014.7.2728>
- Sánchez N. 2018. Agricultura campesina de Milpa Alta: imposición y corrupción gubernamental vs autogestión: una alternativa para la Ciudad de México (CDMX). Tesis de maestría. Universidad Autónoma Metropolitana. 92 p.
- Saravia-Tasayco, P.L., 2001. Agrupamientos Productivos (Cluster) Del Nopal. [http://www.contactopyme.gob.mx/estudios/docs/nopal\\_mexico.PDF](http://www.contactopyme.gob.mx/estudios/docs/nopal_mexico.PDF).
- Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA). 2014. Plan de acción preventivo del nopal. Acciones para reducir los riesgos de contaminación por plaguicidas durante el proceso productivo, empaçado, transporte y distribución de nopal dentro y fuera del país. México: SAGARPA; SENASICA; SALUD; COFEPRIS. Recuperado en junio de 2022 <https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/257726/PlandeAccionNopal2014.pdf>
- Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA). 2009. Geoestadística del nopal-verdura en el Distrito Federal. México: SAGARPA, Oficina Estatal de Información para el Desarrollo Rural Sustentable del Distrito Federal.
- Schowalter, T. D. 2016. *Insect Ecology: An Ecosystem Approach*. Academic Press, ed. 4. 405-443.
- Secretaría de Medio Ambiente de la Ciudad de México (SEDEMA). 2016. El Suelo de Conservación. México, 82 p. [https://www.sedema.cdmx.gob.mx/storage/app/media/Libro\\_Suelo\\_de\\_Conservacion.pdf](https://www.sedema.cdmx.gob.mx/storage/app/media/Libro_Suelo_de_Conservacion.pdf).
- Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). 2022. Anuario Estadístico de la Producción Agrícola. Recuperado el 08 de febrero de 2022, de <http://www.siap.gob.mx>.
- Swinton, S. M.; Lupi, F.; Robertson, G. P. y Landis, D. A. 2006. Ecosystem services from agriculture: looking beyond the usual suspects. *American journal of agricultural economics*, 88(5), 1160-1166.
- Tavera-Cortés, M. E, Escamilla-García, P. E., y Pérez-Soto, F. 2018. Impacts on Productivity through Sustainable Fertilization of Nopal (*Opuntia ficus-indica*) Crops Using Organic Compost. *Journal of Agricultural Science*, 10(4), 297 p. <https://doi.org/10.5539/jas.v10n4p297>
- Theiling, K. M., y Croft, B. A. 1988. Pesticide side-effects on arthropod natural enemies: a database summary. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 21(3-4), 191-218.
- Unión Europea (UE). 2020a. Commission implementing regulation (EU) 2020/17. *Off J Eur Union L* 7:11–13.

- Unión Europea (UE). 2020b. Commission implementing regulation (EU) 2020/18. Off J Eur Union L 7:14–16.
- Vanegas-Rico J. M.; Lomelí-Flores J. R. y Rodríguez-Leyva E. 2010a. Hormigas asociadas a la cochinilla silvestre de nopal, *Dactylopius opuntiae* (Hemiptera: Dactylopiidae). Memoria Congreso Nacional de Control Biológico. 33: 189–192.
- Vanegas-Rico J. M.; Lomelí-Flores J. R.; Rodríguez-Leyva E.; Mora-Aguilera G. y Valdez J. M. 2010b. Enemigos naturales de *Dactylopius opuntiae* (Cockerell) en *Opuntia ficus-indica* (L.) Miller en el centro de México. Acta Zoológica Mexicana. 26: 415–433.
- Vanegas-Rico, J. M.; Pérez-Panduro, A.; Lomelí-Flores, J. R.; Rodríguez-Leyva, E.; Valdez-Carrasco, J. M. y Mora-Aguilera, G. 2017. *Dactylopius opuntiae* (Cockerell) (Hemiptera: Dactylopiidae) population fluctuations and predators in Tlalnepantla, Morelos, México. Folia Entomológica Mexicana (nueva serie), 3(2), 23-31.
- Vandermeer, J. 2011. The ecology of agroecosystems. Jones & Bartlett Publishers. 387 p.
- Vandermeer, J. y Perfecto, I. 2013. Complex traditions: Intersecting theoretical frameworks in agroecological research. Agroecology and Sustainable Food Systems, 37(1), 76-89.
- Vandermeer, J., Armbrecht, I., De la Mora, A., Ennis, K. K., Fitch, G., Gonthier, D. J., ... y Perfecto, I. 2019. The community ecology of herbivore regulation in an agroecosystem: lessons from complex systems. BioScience, 69(12), 974-996. <https://doi.org/10.1093/biosci/biz127>
- Vázquez-Moreno, L. L. 2011. Supresión de poblaciones de plagas en la finca mediante prácticas agroecológicas: preguntas y respuestas para facilitar el manejo sostenible de tierras (No. 632.96 V393s). Instituto de Investigaciones de Sanidad Vegetal, La Habana (Cuba).
- Vera-Ponce de León, A., Sánchez-Flores, A., Rosenblueth, M. y Martínez-Romero, E. 2016. Fungal community associated with *Dactylopius* (Hemiptera: Coccoidea: Dactylopiidae) and its role in uric acid metabolism. Frontiers in Microbiology, 7, 1–15. <https://doi:10.3389/fmicb.2016.00954>
- Vera-Ponce de León, A., Ormeno-Orrillo, E., Ramírez-Puebla, S. T., Rosenblueth, M., Degli Esposti, M., Martínez-Romero, J., y Martínez-Romero, E. 2017. Candidatus *Dactylopiibacterium carminicum*, a nitrogen-fixing symbiont of *Dactylopius* cochineal insects (Hemiptera: Coccoidea: Dactylopiidae). Genome Biology and Evolution. 9, 2237–2250, <https://doi.org/10.1093/gbe/evx156>
- Vergel-Rangel, G. A., Escamilla-García, P. E., Camarillo-López, R. H., Esquivel-Guzmán, J. A., y Pérez-Soto, F. 2021. The environmental impact of nopal (*Opuntia ficus-indica*) production in Mexico City, Mexico through a life cycle assessment (LCA). Environment, Development and Sustainability, 23(12), 18068-18095.
- Vigueras, A. L. y Portillo, L. 2016. Good agricultural practices for fine cochineal production. En: Good Agricultural Practices in Cactus Pear Crop (ed. Ochoa, M. J.) 24–29.

- Wang S. L. 2014. Cooperative Extension System: Trends and Economic Impacts on U.S. Agriculture. *Choices*, 29(1), 1–8.
- Wyckhuys, K. A. y O’Neil, R. J. 2007. Local agro-ecological knowledge and its relationship to farmers’ pest management decision making in rural Honduras. *Agriculture and Human Values*, 24(3), 307-321.
- Wyckhuys, K. A. G., Heong, K. L., Sanchez-Bayo, F., Bianchi, F. J. J. A., Lundgren, J. G., y Bentley, J. W. 2019. Ecological illiteracy can deepen farmers’ pesticide dependency. *Environmental Research Letters*, 14(9), 093004.
- Zimmermann, H. G. and V. C. Moran. 1991. Biological control of prickly pear, *Opuntia ficus-indica* (Cactaceae), in South Africa. *Agric. Ecosyst. Environ.* 37: 29–35.

## ANEXOS

### Guía de entrevista a productores y productoras de nopal en Milpa Alta, Ciudad de México

Saludos, mi nombre es Itzel Ángeles Hernández González, soy estudiante de la Maestría en Agroecología y Sustentabilidad del Colegio de Postgraduados. Estoy solicitando su apoyo para que me permita, un poco de su tiempo, y así realizarle varias preguntas sobre el cultivo de nopal, ya que mi tesis de investigación trata sobre la “cochinilla silvestre o chahuistle” (*Dactylopius opuntiae*), la cual es una de las plagas principales del nopal.

Queremos conocer cómo es que ustedes realizan el control de esta y otras plagas y enfermedades que atacan al nopal y también saber cómo y cuándo realizan actividades o labores al cultivo.

Es importante indicarle, que su nombre no se publicará y la información que usted me proporcione será de utilidad solo para la investigación. De manera anticipada, agradezco su amable atención.

#### *Sección 1. Datos generales del productor(a) y perspectivas*

1. Nombre
2. Edad
3. ¿Cuántos miembros integran su familia?
4. ¿Cuál es la actividad principal a la que se dedica?
5. ¿Cuántos años lleva siendo productor de nopal?
6. ¿Su padre y abuelo han estado trabajando en otros cultivos o solo en el nopal?
7. ¿Cuáles son los problemas principales que usted tiene en la producción de nopal?
8. ¿El año pasado incorporó nuevas prácticas de manejo del nopal?
9. ¿Por qué las aplicó?
10. ¿Dónde les informaron sobre esas técnicas?
11. ¿Conoce alguna persona que tenga un modo de producción diferente a usted? ¿En qué consiste?
12. Recibe algún tipo de apoyo público
13. ¿Para qué utilizó el apoyo?
14. ¿Desde cuando lo ha recibido?
15. ¿Ha recibido algún otro apoyo especial para la producción de nopal?
16. ¿Pertenece a una organización de productores?
17. ¿Cuál es la superficie total que posee para la producción agrícola, actualmente?

18. ¿Dónde vende su cultivo?
19. ¿Qué tipo de nopal vende?
20. ¿Por qué ese tipo de nopal y no otro?

### *Sección 2. Prácticas de manejo*

1. ¿Qué prácticas realiza para el manejo del suelo?
2. ¿Cómo decide si necesita más aplicación de fertilizantes o abonos o el manejo de nutrientes de la planta?
3. ¿Cuenta con alguna certificación?
4. ¿Qué características prefieren de sus productos los consumidores?
5. ¿Qué características prefieren de sus productos los compradores?
6. Con respecto a los productores orgánicos/convencionales
7. ¿Qué hacen diferente a usted?

### *Sección 3. Control de plagas y enfermedades*

1. ¿Cuál es la plaga o enfermedad más problemática?
2. ¿Quién le recomendó los productos que utiliza para el control de plagas?
3. ¿En dónde los compra?
4. ¿Le han funcionado los productos que utiliza?
5. ¿Cuáles efectos positivos considera que tiene aplicar estos productos?
6. ¿Cuáles consecuencias negativas considera que tiene aplicar estos productos?
7. Cuando vende su nopal ¿le han solicitado comprobar que su producto no tenga residuos de plaguicidas?
8. ¿Ha tenido usted, su familia o los trabajadores problemas de salud por el uso de agroquímicos?
9. ¿Con cuáles insumos?
10. ¿Qué problemas de salud ha tenido?
11. ¿Estaría interesado en aplicar otras alternativas más amigables con el ambiente y su salud?
12. (Para manejo orgánico) ¿Los vecinos con los que colinda su parcela tienen el mismo manejo que usted?
13. ¿Qué medidas toma con las parcelas colindantes, para evitar la contaminación por uso de plaguicidas?

14. ¿Qué fuentes de información utiliza para tomar decisiones sobre el control de plagas?
15. ¿Quién inspecciona/revisa/ monitorea sus cultivos para detectar alguna plaga?
16. ¿Cada cuando realiza el monitoreo?

*Sección 4. Cochinilla silvestre o chahuistle*

1. ¿Qué experiencias pasadas (daños, prácticas) ha tenido con la cochinilla silvestre?
2. ¿Cómo sabe cuándo debe aplicar un producto o realizar alguna actividad para controlar la cochinilla?
3. ¿Qué acciones preventivas hace para proteger el cultivo de la cochinilla silvestre?
4. ¿Que productos o actividades le han funcionado para el control de la cochinilla?
5. ¿Que productos o actividades no le han funcionado para el control de la cochinilla?
6. Si usted no hiciera ningún control, ¿qué cree que pasaría?
7. ¿Conoce insectos que ayuden a controlar la cochinilla silvestre?
8. ¿Cómo son o cómo los distingue?
9. ¿Qué otro insecto ha visto en la misma penca donde crece la cochinilla?

## Memoria fotográfica



Plantaciones de nopal verdura en Milpa Alta



Presentación del trabajo de investigación a los agricultores



Entrevista a productor de nopal



Incorporación de residuos de cosecha entre las hileras de nopal



Telarañas en la parcela con manejo orgánico



Aplicación de insecticidas en las plantaciones de nopal

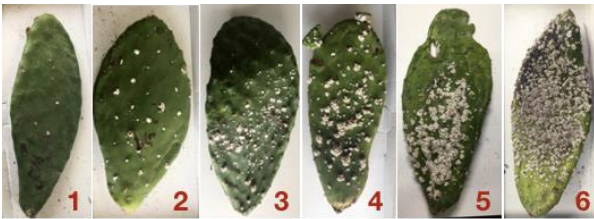




Envases de agroquímicos tirados en parcelas de nopal con manejo convencional



Tamaños de nopal para cosecha: grande, mediano y cambray



Escala de infestación de *Dactylopius opuntiae* con base en lo propuesto por Vanegas-Rico *et al.* (2010b)



Muestreo de nopal



Identificación de cladodios protegidos



Colecta de nopal con diferente nivel de infestación





Inspección de los cladodios colectados para identificar enemigos naturales



Enemigos naturales de la cochinilla silvestre en estado de larva



Enemigos naturales de la cochinilla silvestre en estado adulto



Parasitoides de enemigos naturales de la cochinilla silvestre