



COLEGIO DE POSTGRADUADOS

INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS AGRÍCOLAS
CAMPECHE-CÓRDOBA-MONTECILLO-PUEBLA-SAN LUIS POTOSÍ-TABASCO-VERACRUZ

CAMPUS SAN LUIS POTOSÍ

POSGRADO EN
INNOVACIÓN EN MANEJO DE RECURSOS NATURALES

**BIOLOGÍA DE *Hyperaspis trifurcata* ALIMENTÁNDOSE DE DOS ESPECIES
DE *Dactylopius* (HEMIPTERA: DACTYLOPIIDAE)**

CESAR ABRAHAM TREJO REYES

T E S I S

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL
PARA OBTENER EL GRADO DE:

MAESTRO EN CIENCIAS

Salinas de Hidalgo, San Luis Potosí, México

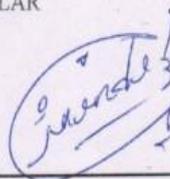
Diciembre, 2019

La presente tesis, titulada: **BIOLOGÍA DE *Hyperaspis trifurcata* ALIMENTÁNDOSE DE DOS ESPECIES DE *Dactylopius* (HEMIPTERA: DACTYLOPIIDAE)** realizada por el alumno César Abraham Trejo Reyes, bajo la dirección del Consejo Particular indicado, ha sido aprobada y aceptada por el mismo como requisito parcial para obtener el grado de:

**MAESTRO EN CIENCIAS
INNOVACIÓN EN MANEJO DE RECURSOS NATURALES**

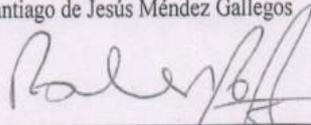
CONSEJO PARTICULAR

CONSEJERO:



Dr. Santiago de Jesús Méndez Gallegos

CODIRECTOR:



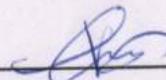
Dr. Esteban Rodríguez Leyva

ASESOR:



Dr. Francisco Javier Morales Flores

ASESORA:



Dra. Fabiola Villegas Rodríguez

Salinas de Hidalgo, San Luis Potosí
Diciembre, 2019

BIOLOGÍA DE *Hyperaspis trifurcata* ALIMENTÁNDOSE DE DOS ESPECIES DE *Dactylopius* (HEMIPTERA: DACTYLOPIIDAE)

Cesar Abraham Trejo Reyes, M.C.
Colegio de Postgraduados, 2019

RESUMEN GENERAL

Opuntia ficus-indica es la cactácea de mayor valor económico en el mundo, y las plagas son una de las principales causas de disminución en su rendimiento. *Dactylopius opuntiae* es un insecto escama que se considera su plaga clave en México, y otros países donde se aprovecha esta cactácea. Por otra parte, la especie *D. coccus*, la cual se cultiva para la obtención de ácido carmínico se reportó, recientemente, como plaga en Etiopía. Debido a que las tácticas de manejo que se han implementado para controlar estas especies no han sido satisfactorias, se considera que el control biológico puede ser una alternativa sostenible para poder atacar el problema. No obstante, se desconoce si sus enemigos naturales se pueden desarrollar adecuadamente sobre las dos especies, ya que cada una de ellas contiene diferente concentración de ácido carmínico, metabolito que se considera tiene efectos de antidepredación. El objetivo de este trabajo fue conocer la biología de *Hyperaspis trifurcata* (Coleoptera: Coccinellidae) al consumir ambas especies de *Dactylopius*. En la primera parte del trabajo se determinaron los parámetros demográficos sobre las dos especies de *Dactylopius*, y en la segunda se probó la preferencia de *H. trifurcata* sobre ninfas y adultas de las dos especies. La supervivencia de *H. trifurcata* fue de 65.4% versus 42.3%, y el tiempo de desarrollo de 36.1 versus 40.0 d, cuando se alimentó de *D. opuntiae* y *D. coccus*, respectivamente. El tiempo de generación, tasa neta de reproducción, tasa intrínseca de crecimiento natural y el tiempo para duplicar la población fueron mayores cuando el depredador se alimentó con *D. opuntiae* comparado con *D. coccus*, que contiene una concentración de ácido carmínico mayor. *H. trifurcata* consumió ninfas de primer ínstar de una u otra especie de *Dactylopius* sin mostrar preferencia. No obstante, prefirió consumir hembras adultas de *D. opuntiae* en comparación con *D. coccus*, esta preferencia presumiblemente se atribuyó a la diferencia en la concentración de ácido carmínico. En el presente trabajo se discuten las posibles consecuencias de estos hallazgos en este enemigo natural de *D. opuntiae*.

Palabras clave: Cochinillas del nopal, control biológico, ácido carmínico.

**BIOLOGY OF *Hyperaspis trifurcata* FEEDING ON TWO SPECIES OF
Dactylopius (HEMIPTERA: DACTYLOPIIDAE)**

**Cesar Abraham Trejo Reyes, M.C.
Colegio de Postgraduados, 2019**

GENERAL ABSTRACT

Opuntia ficus-indica is the cacti with the highest economic value in the world, with pests being the main causes of decline in yield. *Dactylopius opuntiae* is a scale insect that is considered its key pest in Mexico and other countries in the world. On the other hand, just recently *D. coccus* which is grown for the production of carminic acid has been reported as a pest in Ethiopia. Because the control tactics against both species have not been satisfactory, the biological control can be a sustainable way to regulate the problem. Nevertheless, it is unknown if its natural enemies can develop properly on the two species that contain different concentration of carminic acid, which can be used against their predators. The objective of this work was to establish particularities of the biology of *Hyperaspis trifurcata* (Coleopteran: Coccinellidae) as it consumed both species of *Dactylopius*. In the first part of the work the demographic parameters on the two prey species were determined, in the second one the preference of *H. trifurcata* for feeding either on first instar nymphs or gravid females was tested. The survival of *H. trifurcata* was 65.4% versus 42.3%, the development time of 36.1 versus 40.0 d when fed on *D. opuntiae* and *D. coccus*, respectively. The generation time, net reproduction rate, intrinsic rate of natural growth and the time to double the population were greater when the predator was fed with *D. opuntiae* compared with *D. coccus* which has higher concentration of carminic acid. In the second part of the work, *H. trifurcata* consumed first instar nymphs of any species of *Dactylopius* without showing preference. Nevertheless, the predator preferred to consume adult females of *D. opuntiae* compared to *D. coccus*, presumably because of the difference in carminic acid concentration. In the present work we will discuss the possible consequences of findings in this natural enemy of *D. opuntiae*.

Keywords: Cochineal insects, biological control, carminic acid.

Dedicatoria

A mis padres por su apoyo incondicional, consejos y motivación tanto para la maestría y para el día a día, gracias por todo.

A mis hermanos Paola y Alejandro que me han apoyado hoy y siempre.

A los amores de mi vida Sandra que me ha acompañado en tantos ratos tanto buenos y malos, por irse a vivir conmigo a Texcoco como motivación para el último periodo de mi estadía, y por el mejor regalo de mi vida.

A mi hij@ que te encuentras en el vientre del amor de mi vida, no sabes lo feliz que me siento de saber que llegarás, gracias por ser el motivo más fuerte para concluir este trabajo.

A mis tíos Marlen y Héctor por su atención y apoyo en mi estancia en el Estado de México.

Al Dr. Ovidio Díaz Gómez por aquellas sus palabras: “Pase lo que pase nunca dejes la maestría” que resonaron en mi cabeza desde principios de este proceso.

Agradecimientos

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por brindarme la beca completa para realizar mis estudios de maestría en ciencias.

Al Colegio de Postgraduados por darme la oportunidad de seguirme formando profesionalmente.

Al Dr. Santiago de Jesús Méndez Gallegos por aceptarme para trabajar con él, compartirme su conocimiento, por su paciencia y apoyo en mis estudios.

Al Dr. Esteban Rodríguez Leyva por el conocimiento compartido, apoyo, paciencia y enseñanzas para trabajar en equipo.

Al Dr. Francisco Morales Flores por su confianza y apoyo en la estadística del presente trabajo.

A la Dra. Fabiola Villegas Rodríguez por formar parte de mi Consejo Particular y aguantarme una vez más en un proceso de tesis.

Al Dr. Ramón Marcos Soto Hernández por su ayuda para la determinación el ácido carmínico.

Al Dr. Juan Manuel Vanegas Rico por su conocimiento compartido, y apoyo para realizar de la mejor manera mis experimentos.

A la Dra. Celina Llanderal Cázares por su disponibilidad de proporcionar material para concluir mis experimentos en una situación crítica sin acceso a laboratorios ni invernaderos (huelga sindical).

A mis amigos Oscar A. Barreto García, Víctor M. Almaraz Valle y Nancy Olivia quienes me apoyaron tanto anímica y laboralmente, y por todos los excelentes momentos que pasamos durante mi estancia en Texcoco. “Uno va por la vida buscando cobre, pero encuentra oro y diamantes”.

A mis amigos Tomas, Gabo, Alfonso y Agustín por estar al pendiente de mí y mi familia.

A mis amigos y compañeros de generación por todo su apoyo

CONTENIDO

| | Página |
|---|-----------|
| INTRODUCCIÓN GENERAL | 1 |
| OBJETIVOS | 5 |
| Objetivo general | 5 |
| HIPÓTESIS..... | 5 |
| LITERATURA CITADA..... | 6 |
| CAPÍTULO I. BIOLOGÍA DEL COCCINÉLIDO <i>Hyperaspis trifurcata</i> ALIMENTADO CON DOS ESPECIES DE <i>Dactylopius</i> (HEMIPTERA: DACTYLOPIIDAE) | 11 |
| 1.1 Resumen | 11 |
| Abstract | 12 |
| 1.2 Introducción | 13 |
| 1.3 Materiales y métodos | 15 |
| 1.3.1 Material biológico..... | 15 |
| 1.3.2 Tiempo de desarrollo de <i>H. trifurcata</i> | 16 |
| 1.3.3 Fecundidad y fertilidad de <i>H. trifurcata</i> | 17 |
| 1.3.4 Determinación de ácido carmínico | 17 |
| 1.3.5 Análisis estadístico | 18 |
| 1.4 Resultados | 18 |
| 1.4.1 Tiempo de desarrollo de <i>H. trifurcata</i> | 18 |
| 1.4.2 Fecundidad y fertilidad de <i>H. trifurcata</i> | 20 |
| 1.4.3 Estadísticas de crecimiento poblacional..... | 22 |
| 1.4.5 Concentración de ácido carmínico por especie de <i>Dactylopius</i> | 22 |
| 1.5 Discusión | 23 |
| 1.6 Literatura citada | 26 |
| CAPÍTULO II. PREFERENCIA ALIMENTICIA DE <i>Hyperaspis trifurcata</i> POR DOS ESPECIES DE <i>Dactylopius</i> (HEMIPTERA: DACTYLOPIIDAE) | 33 |
| 2.1 Resumen | 33 |
| Abstract | 34 |
| 2.2 Introducción | 35 |

| | |
|--|----|
| 2.3 Materiales y métodos | 36 |
| 2.3.1 Características del sitio experimental | 36 |
| 2.3.2 Concentración de ácido carmínico por especie de <i>Dactylopius</i> | 36 |
| 2.3.3 Material biológico..... | 36 |
| 2.3.4 Prueba de opción por especies y etapas de desarrollo de <i>Dactylopius</i> | 37 |
| 2.3.4.1 Ninfas de primer ínstar..... | 37 |
| 2.3.4.2 Adultas grávidas. | 38 |
| 2.3.5. Análisis estadístico..... | 38 |
| 2.5 Resultados | 39 |
| 2.5.1 Concentración de ácido carmínico en dos especies de <i>Dactylopius</i> en diferentes estados de desarrollo..... | 39 |
| 2.5.2 Prueba de opción por especies y etapas de desarrollo de <i>Dactylopius</i> | 40 |
| 2.5.2.1 Ninfas de primer ínstar..... | 40 |
| 2.5.2.2 Adultas grávidas | 40 |
| 2.6 Discusión | 41 |
| 2.7 Literatura citada | 44 |
| CONCLUSIONES GENERALES | 47 |

ÍNDICE DE CUADROS

| | | |
|------------------|--|----|
| Cuadro 1. | Número de individuos ofrecidos por estado de desarrollo de <i>Hyperaspis trifurcata</i> | 17 |
| Cuadro 2. | Tiempo de desarrollo de <i>Hyperaspis trifurcata</i> en días ($\bar{X} \pm EE$) al alimentarse de diferentes especies de <i>Dactylopius</i> (25 ± 2 °C, $60 \pm 10\%$ HR, 12:12 h [L:O])..... | 19 |
| Cuadro 3. | Características biológicas ($\bar{X} \pm EE$) de <i>Hyperaspis trifurcata</i> alimentada con dos especies de <i>Dactylopius</i> (25 ± 2 °C, $60 \pm 10\%$ HR, 12:12 h [L:O])..... | 21 |
| Cuadro 4. | Parámetros demográficos (media y niveles de confianza 95%) de <i>Hyperaspis trifurcata</i> alimentado con diferentes especies de <i>Dactylopius</i> | 22 |
| Cuadro 5. | Concentración de ácido carmínico (%) por especie y por estado de desarrollo en dos especies de <i>Dactylopius</i> | 23 |
| Cuadro 6. | Concentración de ácido carmínico (%) por estado de desarrollo en <i>D. opuntiae</i> y <i>D. coccus</i> | 39 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | | |
|------------------|--|----|
| Figura 1. | Fecundidad específica de <i>Hyperaspis trifurcata</i> por edad (m_x) y supervivencia específica por edad (l_x), en relación al tipo de presa ofrecida..... | 20 |
| Figura 2. | Registro semanal de fecundidad de <i>Hyperaspis trifurcata</i> alimentada con dos especies de <i>Dactylopius</i> | 21 |
| Figura 3. | Prueba de opción de <i>Hyperaspis trifurcata</i> sobre ninfas de primer ínstar de <i>Dactylopius opuntiae</i> (Do) o <i>D. coccus</i> (Dc)..... | 40 |
| Figura 4. | Prueba de opción de <i>Hyperaspis trifurcata</i> sobre adultas de <i>Dactylopius opuntiae</i> (Do) o <i>D. coccus</i> (Dc)..... | 41 |

INTRODUCCIÓN GENERAL

La agricultura convencional incluye prácticas que provocan un impacto negativo en la vida silvestre, el agua y el suelo; este impacto se asocia, principalmente, a la destrucción del hábitat y al incremento de la contaminación proveniente del uso de agroquímicos para la producción de alimentos (Viñas, 1993; McLaughlin y Mineau, 1995; Ortega, 2009). Una de las prácticas más frecuentes es la siembra de monocultivos, la cual destruye la integración de los componentes del ecosistema; esto ocasiona que se pierda el equilibrio entre el suelo, plantas, animales, los ciclos naturales del carbono, nitrógeno y el reciclamiento de nutrientes, entre otros (Cannell, 1999; Granda, 2006; Altieri, 2009; Vallejo *et al.*, 2010). Cuando se rompen esos equilibrios los agroecosistemas son más susceptibles a la presencia de plagas, debido a la concentración del alimento disponible, y a la disminución de enemigos naturales; pero, también a los factores de microambientes que se generan en un agroecosistema al existir una sola especie vegetal (Altieri y Nicholls, 2000).

Ante la necesidad de controlar las plagas en los cultivos que se manejan con poca diversidad de especies (generalmente monocultivos), y con limitada variedad genética (un solo genotipo en grandes extensiones), el hombre ha venido aplicando medidas para su control, inicialmente mediante productos naturales y luego mediante el empleo de sustancias sintéticas (Baptista, 2003), que al ser aplicadas de forma errónea tienen un efecto negativo sobre el medio ambiente y la salud humana (Décarie *et al.*, 1993; Relyea, 2005; Ansari *et al.*, 2014; Nkya *et al.*, 2013). Otra consecuencia de aplicar este tipo de control es la eliminación de enemigos naturales, lo que favorece la proliferación de plagas (Araya *et al.*, 2005; Rimoldi *et al.*, 2015). Para contrarrestar estos problemas existen tácticas de manejo tales como el control biológico, con el cual se busca minimizar el

|

problema de plagas de forma natural al causar la reducción de su población, de manera tal, que no causen daño a los cultivos (Nicolls, 2008).

Un ejemplo de una plaga clave en cultivos intensivos es *Dactylopius opuntiae* (Hemiptera: Dactylopiidae), la cual es considerada la principal plaga del cultivo de nopal, *Opuntia ficus-indica* (Caryophyllales: Cactaceae) en al menos 20 de los 22 países donde se aprovecha esta cactácea (Mazzeo *et al.*, 2019; Ülgentürk and Hocaali, 2019). *D. opuntiae* introduce sus estiletes a los cladodios o frutos y se alimenta directamente de la savia, esto provoca clorosis en los cladodios, reduce rendimiento (Vanegas-Rico *et al.*, 2010) y afecta la calidad de los frutos (Cortés, 2009). Cuando las poblaciones de *D. opuntiae* son altas pueden ocasionar la muerte de los cladodios o de plantas completas (Mann, 1969; Vanegas-Rico *et al.*, 2010; Mendel *et al.*, 2019). Derivado de lo anterior, en México y en países donde ha sido introducida involuntariamente *D. opuntiae* ha causado daños graves. Por ejemplo, afectó 20,000 ha en Marruecos y 100,000 ha de nopal forrajero en Brasil (Lopes *et al.*, 2009; Bouharroud *et al.*, 2019; El Aalaoui *et al.*, 2019); también en Líbano, Israel, Chipre, Jordania y otros países su presencia ha puesto en riesgo las plantaciones de nopal (Spodek, 2014; Moussa *et al.*, 2017; Mazzeo *et al.*, 2019; Ülgentürk y Hocaali, 2019; Mendel *et al.*, 2018; 2019).

Existen tácticas de control cultural (eliminación de pencas o frutos muy infestados), mecánico (cepillado de cladodios en infestaciones iniciales de la plaga) y químico con jabones a base de sales potásicas (Vigueras *et al.*, 2009); pero su control en México se realiza, principalmente, mediante la aplicación de insecticidas convencionales, particularmente, con organofosforados como malatión, paratión y triclorfón (Badii y

Flores, 2001; Vanegas-Rico *et al.*, 2010; 2016), los cuales no han tenido resultados satisfactorios.

Por otro lado, su especie congénere *D. coccus* Costa, que es empleada para la obtención del ácido carmínico, un colorante natural inocuo y de alto valor en la industria de alimentos y cosméticos (Zhang *et al.*, 2002; Borges *et al.*, 2012), se convirtió en una plaga invasiva en Etiopía debido a su explosión poblacional, derivado del reducido aprovechamiento comercial en ese país (Tesfay, 2015). Esta situación y daño por *D. coccus*, como una plaga en campo abierto, sólo se ha reportado en Etiopía; por lo cual se han implementado estrategias para su erradicación (Fitiwy *et al.*, 2016; Gebreziher *et al.*, 2018) con poco éxito, hasta el momento.

Ante los resultados fallidos para controlar a *D. opuntiae* en la cuenca del Mediterráneo, y a *D. coccus* en Etiopía de una manera sostenible, para reducir su impacto se ha sugerido incluir al control biológico en el marco de una estrategia de Manejo Integrado de Plagas. Hasta el momento se han identificado 13 especies de depredadores de *D. opuntiae*, y no existe registro de algún parasitoide (Vanegas-Rico *et al.*, 2010; 2017). Los depredadores corresponden a ocho coccinélidos (*Chilocorus cacti*, *Cycloneda sanguinea*, *C. emarginata*, *Harmonia axyridis*, *Hyperaspis trifurcata*, *Nephus schwarzi*, *Nephus* sp., *Scymnus lousianae*), dos dípteros (*Leucopis bellula*, *Eosalpingogaster cochenillivora*), dos hemeróbidos (*Symphorobius angustus* y *S. barberi*) y un lepidóptero (*Laetilia coccidivora*) (Vanegas-Rico *et al.*, 2010; 2016; 2017).

Dentro de los grupos de depredadores de *D. opuntiae* destaca el género *Hyperaspis*, el cual se caracteriza por depredar varios grupos de plagas, pero con una marcada

|

preferencia por depredar a escamas y áfidos (Dobzhansky, 1941;); por ello, se le considera una especie de importancia en el control de plagas. Por ejemplo, *H. pantherina* logró controlar a *Orthezia insignis* Browne (Homoptera: Ortheziidae) en Santa Elena (Fowler, 2004); de la misma manera las especies *H. jocosa* y *H. notata* se introdujeron de manera exitosa para el control de *O. insignis* y *Mononychellus tanajoa*, respectivamente, en África (Herren y Neuenschwander, 1991).

Hyperaspis trifurcata se ha encontrado asociado a colonias de al menos tres especies de dactilópodos, dos de ellas plagas de importancia como *D. opuntiae* y *D. confusus* (Gilreath y Smith, 1998; Vanegas-Rico *et al.*, 2016), pero también se ha reportado alimentándose de *D. coccus* en las crianzas comerciales de esta especie en México (Aldama-Aguilera *et al.*, 2005). *H. trifurcata* es uno de los depredadores más abundantes y frecuentes de *D. opuntiae* en México y se ha estimado que hay cierta densodependencia de este depredador y la plaga en cultivos comerciales de nopal verdura en Morelos (Vanegas-Rico *et al.*, 2017). Además de esa relación de densodependencia, la información disponible hasta el momento, indica que éste sólo se asocia a *Dactylopius* (Vanegas-Rico *et al.*, 2016).

La información hasta ahora, sugiere que *H. trifurcata* pudiera ser considerado un agente potencial de control biológico de dactilópodos. Sin embargo, se requiere generar información que permita conocer su biología al alimentarse sobre diversas especies del género, tales como *D. opuntiae* y *D. coccus*. Estas especies de dactilópodos presentan una diferencia particular: *D. opuntiae* tiene una concentración de ácido carmínico de 3-5%, mientras que *D. coccus* alcanza concentraciones de entre 19-25%; además, *D. coccus* muestra variación en ácido carmínico, dependiendo de su estado de desarrollo (Aldama-Aguilera y Llanderal-Cázares, 2003; Flores-Alatorre *et al.*, 2014).

Estas diferencias pueden representar alguna desventaja en el desarrollo del depredador, particularmente si se conoce que el ácido carmínico es un mecanismo de defensa contra la depredación por hormigas o parasitoides (Eisner *et al.*, 1994; Stanley, 2006). Esta misma hipótesis aplica para el resto de enemigos naturales del género *Dactylopius* (Ramírez *et al.*, 2013; Vanegas *et al.*, 2016), pero hasta ahora no se ha presentado evidencia experimental. Considerando lo anterior, en este trabajo se plantearon los objetivos siguientes.

OBJETIVOS

Objetivo general

Determinar la biología del depredador *Hyperaspis trifurcata* al alimentarse sobre dos especies de *Dactylopius*, con diferente concentración de ácido carmínico.

Objetivos específicos

1. Establecer el tiempo de desarrollo, fecundidad y fertilidad de *Hyperaspis trifurcata* al alimentarse de *D. coccus* y *D. opuntiae*.
2. Evaluar la preferencia de *Hyperaspis trifurcata* por depredar alguna especie de presa (*D. coccus* y *D. opuntiae*) o estados específicos de las mismas.

HIPÓTESIS

1. *Hyperaspis trifurcata* se desarrollará en menor tiempo, y presentará una fertilidad y fecundidad superior alimentándose de *D. opuntiae*.
2. *H. trifurcata* tiene preferencia por depredar especies de *Dactylopius* con menor concentración de ácido carmínico.

LITERATURA CITADA

- Aldama-Aguilera C., y Llanderal-Cázares, C. 2003. Cochineal: comparison of production methods in cut cladodes. *Agrociencia* 37: 11-19.
- Aldama-Aguilera C., Llanderal-Cázares C., Soto-Hernández M., y Castillo-Márquez, L. E. 2005. Producción de grana-cochinilla (*Dactylopius coccus* Costa) en plantas de nopal a la intemperie y en microtúneles. *Agrociencia* 39: 161-171.
- Altieri, M., y Nicholls, C. I. 2000. Agroecología teoría y práctica para una agricultura sustentable. Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente, Red de Formación Ambiental para América Latina y el Caribe. 1ª ed. 250 p. ISBN 968-7913-04-X
- Altieri, M. 2009. Desiertos verdes: monocultivos y sus impactos sobre la biodiversidad. *In: Emanuelli, M. S., Jonsén, J. & S. Monsalve S. (Comp y eds). Azúcar roja desiertos verdes. Ed. FIAN Internacional, FIAN Suecia, HIC-AL, SAL. pp: 55-62. 1: ISBN 978-607-95101-2-1*
- Ansari M., Moraiet M., and S. Ahmad S. (2014) Insecticides: Impact on the Environment and Human Health. *In: Malik A., Grohmann E., Akhtar R. (eds). Environmental Deterioration and Human Health. Springer, Dordrecht. pp: 99-123. Online ISBN 978-94-007-7890-0*
- Araya, J. E., Sanhueza, A., y Guerrero, M. A. 2005. Efecto de varios insecticidas sobre adultos de *Apanteles glomeratus* (L.), parasitoide de larvas de la mariposa blanca de la col, *Pieris brassicae* L. *Boletín de Sanidad Vegetal Plagas* 31:617-623.
- Badii, M. H., and Flores, A. E. 2001. Prickly pear cacti pest and their control in Mexico. *Florida Entomologist* 84: 503-505.
- Baptista, G. C. 2003. Breve historia de los insecticidas. *In: Silva, G. y Hepp, R. (eds) Bases para el manejo racional del insecticida. Chillán: Universidad de Concepción/Fundación para la Innovación Agraria. pp: 17-68. ISBN: 9568020020 9789568020026.*
- Borges, M. E., Tejera, R. L., Díaz, L., Esparza, P., and Ibáñez, E. 2012. Natural dyes extraction from cochineal (*Dactylopius coccus*). New extraction methods. *Food Chemistry* 132: 1855-1860.
- Bouharroud, R., El Aalaoui M., Boujghagh M., Hilali L., El Bouhssini M., and Sbaghi M. 2019. New record and predatory activity of *Hyperaspis campestris* (Herbst

- 1783) (Coleoptera: Coccinellidae) on *Dactylopius opuntiae* (Hemiptera: Dactylopiidae) in Morocco. *Entomological News* 128:156-160.
- Cannell, M. G. 1999. Environmental impacts of forest monocultures: water use, acidification, wildlife conservation, and carbon storage. *In*: Boyle, J. R., Winjum, J. K., Kavanagh, K., and Jensen, E.C. (eds). *Planted Forests: Contributions to the Quest for Sustainable Societies*. pp: 239-262. ISBN 978-90-481-5135-6
- Cortés, L. 2009. Alternativas de exportación de nopal verdura con un valor agregado: caso Estado de Zacatecas. Tesis de Maestría en Comercio Internacional. Centro de Ciencias Económicas y Administrativas Departamento de Economía, Universidad Autónoma de Aguascalientes. Aguascalientes, México, 94 p.
- Décarie, R., DesGranges, J. L., Lépine, C., and Morneau, F. 1993. Impact of insecticides on the American robin (*Turdus migratorius*) in a suburban environment. *Environmental Pollution* 80: 231-238.
- Dobzhansky, T. H. 1941. Beetles of genus *Hyperaspis* inhabiting the United States. *Smithsonian Miscellaneous Collections* 101: 1-94.
- Eisner, T., Ziegler R., McCormick J. L., Eisner M., Hoebeke, E.R., and Meinwald, J. 1994. Defensive use of an acquired substance (carminic acid) by predaceous insect larvae. *Cellular and Molecular Life Sciences* 50: 610-615.
- El Aalaoui, M., Bouharroud, R., Sbaghi, M., El Bouhssini, M., and Hilali, L. 2019. Predatory potential of eleven native Moroccan adult ladybird species on different stages of *Dactylopius opuntiae* (Cockerell) (Hemiptera: Dactylopiidae). *European and Mediterranean Plant Protection Organization Bulletin* 49: 374-379.
- Fitiwy, I., Gebretsadkan, A., and Araya, A. 2016. Management of cochineal (*Dactylopius coccus* Costa) insect pest through botanical extraction in Tigray, north Ethiopia. *Journal of Drylands* 6: 499-505.
- Flores-Alatorre, H. L., Abrego-Reyes, V., Reyes-Esparza, J. A., Angeles, E., and Alba-Hurtado, F. 2014. Variation in the concentration of carminic acid produced by *Dactylopius coccus* (Hemiptera: Dactylopiidae) at various maturation stages. *Journal of Economic Entomology* 107: 1700-1705.
- Fowler, S. V. 2004. Biological control of an exotic scale, *Othezia insignis* Browne (Homoptera: Ortheziidae), saves the endemic gumwood tree, *Commidendrun robustum* (Roxb.) DC. (Asteraceae) on the island of St. Helena. *Biological Control* 29: 367-374.

- Gebrezihier, H. G., Hailu Z., and Abrha, E. 2018. Effect of botanical extracts from indigenous plant, *Kotsili Mariam*, on mortality of carmine cochineal insect (*Dactylopius coccus* Costa). *Journal of Entomology and Zoology Studies* 6: 1107-1116.
- Gilreath, M. E., and Smith, Jr, J. W. 1988. Natural enemies of *Dactylopius confusus* (Homoptera: Dactylopiidae): exclusion and subsequent impact on *Opuntia* (Cactaceae). *Environmental Entomology* 17: 730-738.
- Granda, P. 2006. Monocultivos de árboles en Ecuador. *Movimiento Mundial por los Bosques Tropicales. Boletín Acción Ecológica* 106:1-108.
- Herren, H. R., and Neuenschwander, P. 1991. Biological control of cassava pests in Africa. *Annual Review of Entomology* 36: 257-283.
- Lopes, E. B., Brito, C. H., Albuquerque, I. C., and Luna, J. 2009. Desempenho do óleo de laranja no controle da cochonilha-docarmim em palma gigante. *Engenharia Ambiental - Espírito Santo do Pinhal* 6: 252- 258.
- Mann, J. 1969. Cactus-feeding insects and mites. Smithsonian Institution Government Printing Office Washington. *United States Natural Museum Bulletin* 256: 1-158.
- Mazzeo, G., Nucifora, S., Russo, A., and Suma, P. 2019. *Dactylopius opuntiae*, a new prickly pear cactus pest in the Mediterranean: an overview. *Entomologia Experimentalis et Applicata* 167: 59-72.
- McLaughlin, A., and Mineau, P. 1995. The impact of agricultural practices on biodiversity. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 55: 201-2012.
- Mendel, Z., Protasov, A., Carvalho, C. J., Vanegas, J. M., Lomelí-Flores, J. R., and Rodríguez-Leyva E. 2018. Biological control possibilities of an invasive scale insect in Israel: *Opuntia* cochineal scale *Dactylopius opuntiae*. XI European Congress of Entomology, Book of Abstracts 40. 2–6 July 2018, Napoli, Italy.
- Mendel, Z., Protasov, A., Vanegas-Rico, J. M., Lomelí-Flores, J. R., Pompeo, S., and Rodríguez-Leyva, E. 2019. Classical and fortuitous biological control of the prickly pear cochineal *Dactylopius opuntiae* in Israel. *Biological Control, BICO-2019-389, in review 22-11-2019*.
- Moussa, Z., Yammouni, D., and Azar, D. 2017. *Dactylopius opuntiae* (Cockerell), a new invasive pest of the cactus plants *Opuntia ficus-indica* in the South of Lebanon (Hemiptera, Coccoidea, Dactylopiidae). *Bulletin de la Société Entomologique de France* 122: 173-178.

- Nicholls, C. I. 2008. Control biológico de insectos: un enfoque agroecológico. Universidad de Antioquia. 1ª. ed. 278 p. ISBN: 978-958-714-186-3
- Nkya, T. E., Akhouayri, I., Kisinza, W., and David, J. P. 2013. Impact of environment on mosquito response to pyrethroid insecticides: facts, evidences and prospects. *Insect Biochemistry and Molecular Biology* 43: 407-416.
- Ortega, G. 2009. Agroecología vs. Agricultura convencional. Documento de Trabajo N° 128 b. Base Investigaciones Sociales. Asunción, Paraguay. 24 p. ISSN 1810-584X.
- Ramírez, S., Santana, N., y Solís, J. F. 2013. *Hyperaspis trifurcata* Schaeffer (Coleoptera: Coccinellidae) en condiciones de laboratorio. *Dugesiana* 20: 99-103.
- Relyea, R. A. 2005. The impact of insecticides and herbicides on the biodiversity and productivity of aquatic communities. *Ecological Applications* 15: 618-627.
- Rimoldi, F., Fogel, M. N., Schneider, M. I., and Ronco, A. E. 2015. Efectos indirectos de insecticidas convencionales y biorracionales sobre la alimentación de *Rachiplusia nu* (Lepidoptera: Noctuidae). *Revista Colombiana de Entomología* 41: 41-47.
- Spodek, M., Ben-Dov, Y., Protasov, A., Carvalho, C. J., and Mendel, Z. 2014. First record of *Dactylopius opuntiae* (Cockerell) (Hemiptera: Coccoidea: Dactylopiidae) from Israel. *Phytoparasitica* 42: 377-379.
- Stanley, D. 2006. Prostaglandins and other eicosanoids in insects: biological significance. *Annual Review of Entomology* 51: 25-44.
- Tesfay, B. 2015. Carmine cochineal: fortune wasted in northern Ethiopia. *Journal of the Professional Association for Cactus Development* 17: 61-80.
- Ülgentürk, S., and Hocaali, S. S. 2019. Pest status of *Dactylopius opuntiae* (Cockerell) (Hemiptera: Dactylopiidae) and new records of scale insects from northern Turkish Republic of Cyprus. *Munis Entomology & Zoology* 14: 294-300.
- Vallejo, V. E., Roldan, F., and Dick, R. P. 2010. Soil enzymatic activities and microbial biomass in an integrated agroforestry chronosequence compared to monoculture and a native forest of Colombia. *Biology and Fertility of Soils* 46: 577-587.
- Vanegas-Rico, J. M., Lomelí-Flores, J. R., Rodríguez-Leyva, E., Mora-Aguilera, G., and Valdez, J. M. 2010. Enemigos naturales de *Dactylopius opuntiae* (Cockerell) en *Opuntia ficus-indica* (L.) Miller en el centro de México. *Acta Zoológica Mexicana* (n.s.) 26: 415-433.

- |
- Vanegas-Rico, J. M., Rodríguez-Leyva, E., Lomelí-Flores, J. R., González-Hernández, H., Pérez-Panduro, A., and Mora-Aguilera, G. 2016. Biology and life history of *Hyperaspis trifurcata* feeding on *Dactylopius opuntiae*. *BioControl* 61: 691-701.
- 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* (Hemiptera: Dactylopiidae) population fluctuations and predators in Tlalnepantla, Morelos. *Folia Entomológica Mexicana* (n.s.) 3: 23-31.
- Vigueras, A. L., Cibrián-Tovar, J. C., and Pelayo-Ortiz, C. 2009. Use of botanicals extracts to control wild cochineal (*Dactylopius opuntiae* Cockerell) on cactus pear. *Acta Horticulture* 811: 299-234.
- Viñas, J. M. S. 1993. Agricultura y medio ambiente. *Revista Española de Financiación y Contabilidad* 23(75):367-395.
- Zhang, Z., Shi, L., Xu, L., and Wang, Z. 2002. The present research and utilization situation of cochineal insects in the world. *Forest Research* 15: 719-726.

**CAPÍTULO I. BIOLOGÍA DEL COCCINÉLIDO *Hyperaspis trifurcata*
ALIMENTADO CON DOS ESPECIES DE *Dactylopius* (HEMIPTERA:
DACTYLOPIIDAE)**

1.1 Resumen

Dactylopius opuntiae es el insecto más destructivo en las plantaciones comerciales de *Opuntia ficus-indica* a nivel mundial y *D. coccus* se convirtió en plaga, por primera vez en el mundo, en la misma especie en Etiopía. El control biológico puede representar una alternativa de combate de ambas especies, pero se desconoce si la concentración de ácido carmínico en las dos especies, influye en el desarrollo de sus enemigos naturales. El objetivo de este trabajo fue determinar los parámetros demográficos de *Hyperaspis trifurcata*, un coccinélido depredador de ambas especies, al alimentarse de *D. opuntiae* y *D. coccus*. Los ensayos se desarrollaron a 25 ± 2 °C, $60 \pm 10\%$ HR, 12:12 h L:O. La supervivencia de *H. trifurcata* fue de 65.4% versus 42.3%, y el tiempo de desarrollo de 36.1 versus 40.0 d cuando se alimentó de *D. opuntiae* y *D. coccus*, respectivamente. La fecundidad (123 vs 28/huevos/hembra), tasa neta de reproducción ($R_0 = 39.8$ vs 6.0) y la tasa intrínseca de crecimiento ($r_m = 0.071$ vs 0.035) también resultaron menores cuando *H. trifurcata* se alimentó de *D. coccus*, comparada con *D. opuntiae*, presa que tuvo menor concentración de ácido carmínico; se discuten posibles implicaciones de la biología del depredador en cada presa.

Palabras clave: *Opuntia ficus-indica*, plagas, cochinillas del nopal, ácido carmínico, control biológico.

Abstract

Dactylopius opuntiae is the most destructive insect pest in commercial plantations of *Opuntia ficus-indica* worldwide and recently *D. coccus* became a pest, for the first time in the world, in the same cacti species in Ethiopia. Biological control can be a sustainable control alternative of both species, but it is unknown if carminic acid concentration in these dactylopid species influences the development of their natural enemies. The aim of this work was to determine demographic parameters of *Hyperaspis trifurcata*, a predatory coccinellid that can feed on *D. opuntiae* and *D. coccus*. The assays were carried out at 25 ± 2 °C, $60 \pm 10\%$ RH, 12:12 h L: O. Survival of *H. trifurcata* was 65.4% versus 42.31%, and developmental time was 36.2 versus 39.9 d when the predator fed on *D. opuntiae* and *D. coccus*, respectively. Fecundity (123 vs 28/eggs/female), net reproductive rate ($R_0 = 39.8$ vs 6.0) and intrinsic rate of increase ($r_m = 0.071$ vs 0.035) were also diminished when *H. trifurcata* fed on *D. coccus*, compared to *D. opuntiae* which had a lower carminic acid concentration; possible implications of the predator's biology in each prey are discussed.

Key words: *Opuntia ficus-indica*, pest, cochineal insects, carminic acid, biological control.

1.2 Introducción

El género *Dactylopius* (Costa) está integrado por 11 especies, todas originarias del continente americano (Torres y Giorgi, 2018), al igual que sus hospedantes los géneros *Opuntiae* y *Nopalea* (Caryophyllales: Cactaceae) (Chávez-Moreno *et al.*, 2009). Una de las particularidades del género *Dactylopius* es la producción de ácido carmínico (Flores-Alatorre *et al.*, 2014; Coronado-Flores *et al.*, 2015), esta sustancia se relaciona con mecanismos de protección en el sistema inmune o contra los depredadores, especialmente, contra hormigas (Eisner *et al.*, 1994; Hernández-Hernández *et al.*, 2003; Stanley, 2006). La importancia biológica del género *Dactylopius* se puede resumir en tres aspectos principales: 1) Al menos 10 especies del género son plagas primarias de *Opuntia* spp. en diferentes partes del mundo (Mann 1969; Vanegas-Rico *et al.*, 2010; García *et al.*, 2016); 2) La especie *D. coccus* Costa está presente en 15 países donde su cría comercial y aprovechamiento representa una fuente de ingresos por la producción de ácido carmínico (Chávez-Moreno *et al.*, 2009); 3) Recientemente, *D. opuntiae* en Sudáfrica (Rule and Hoffman, 2018) y *D. tomentosus* en Zimbabue (Dongi *et al.*, 2018) se introdujeron exitosamente como agentes de control biológico de algunas especies de *Opuntia* con numerosas espinas y consideradas invasoras e indeseables.

Opuntia ficus-indica es la especie de cactus más distribuida en el mundo; actualmente, es cultivada o aprovechada en más de 35 países en los cinco continentes. Aunque es de origen americano, ahora forma parte del "ambiente natural" y de sistemas agrícolas en muchos países con escasa precipitación pluvial (Ochoa y Barbera, 2018). Esta ventaja de adaptación, el aprovechamiento de los frutos para consumo humano, y el empleo de los cladodios como forraje, lo convirtieron en uno de los cactus cultivados con mayor significancia económica, ambiental y social en el mundo (Kiesling, 1999; Griffith,

2004). Por su parte, *D. opuntiae* Cockerell (Hemiptera: Dactylopiidae) es uno de los fitófagos específicos de *Opuntia* spp. y *Nopalea* spp. en su centro de origen (Chávez-Moreno *et al.*, 2009). En la actualidad, se encuentra distribuido en más de 22 países en los cinco continentes, en al menos 20 de éstos es considerado una plaga primaria de *Opuntia* spp., debido a los daños directos derivados de su alimentación, ocasionando pérdidas económicas y la muerte de las plantas, cuando hay densidades poblacionales elevadas (Vanegas-Rico *et al.*, 2010; Mazzeo *et al.*, 2019; Ülgentürk and Hocaali, 2019).

En países donde *D. opuntiae* es una plaga introducida se han registrado pérdidas importantes en la producción, especialmente en Brasil, donde afectó alrededor de 100,000 ha de nopal forrajero (Lopes *et al.*, 2009), y en Marruecos donde destruyó más de 20,000 ha (Bouharroud *et al.*, 2019; El Aalaoui *et al.*, 2019); sucesivamente, los daños se han extendido a Líbano, Israel, Chipre, Jordania y otros países (Spodek, 2014; Moussa *et al.*, 2017; Mazzeo *et al.*, 2019; Ülgentürk and Hocaali, 2019; Mendel *et al.*, 2018; 2019). Adicionalmente, en 2007 se introdujo a *D. coccus* en Etiopía con fines comerciales; sin embargo, se convirtió en una plaga debido a su explosión poblacional y al desinterés de usarla como colorante (Tsfay, 2015). El estatus de *D. coccus* como plaga sólo se ha reportado en Etiopía; ante esta situación, se han implementado estrategias para su erradicación sin éxito (Fitiwy *et al.*, 2016; Gebreziher *et al.*, 2018).

En México se ha priorizado el control químico para el combate de *D. opuntiae* en las explotaciones agrícolas de nopal verdura y tunero (Vanegas-Rico *et al.*, 2010; Ramírez-Sánchez *et al.*, 2019); pero cada vez más se demuestra que el control natural y biológico con enemigos naturales, dentro de la estrategia de manejo integrado, podrían representar las mejores tácticas en la regulación de *Dactylopius* (Vanegas-Rico *et al.*, 2010, 2016, 2017; Cruz-Rodríguez *et al.*, 2016). El coccinélido *Hyperaspis trifurcata* es uno de los enemigos naturales más frecuentes y abundantes asociado a *D. opuntiae*

(Vanegas-Rico *et al.*, 2010; 2016; 2017); ocasionalmente también se ha detectado depredando inmaduros de *D. coccus* (Aldama-Aguilera *et al.*, 2005; Rodríguez-Leyva *et al.*, 2010; Ramírez *et al.*, 2013) y es depredador específico de dactilópodos (Dobzhansky, 1941; Vanegas-Rico *et al.*, 2010)

Desde hace tiempo se ha reconocido el posible papel del ácido carmínico de *Dactylopius* en la defensa contra los depredadores (Eisner *et al.*, 1994), y también se conoce que su concentración varía en función de la especie de *Dactylopius* y de su estado de desarrollo, *D. opuntiae* contiene de 3-5%, mientras que *D. coccus* entre 19-25% (Aldama-Aguilera y Llanderal-Cázares 2003; Flores-Alatorre *et al.*, 2014). Sin embargo, se desconoce si la concentración del ácido carmínico en las diferentes especies de *Dactylopius* influyen en el desarrollo de *H. trifurcata*, el cual es considerado un enemigo natural con potencial como agente de control biológico (Vanegas-Rico *et al.*, 2016, 2017). Con base a lo anterior, el objetivo de este trabajo fue determinar el tiempo de desarrollo y los parámetros demográficos de *H. trifurcata* al alimentarse de *D. coccus* y *D. opuntiae*.

1.3 Materiales y métodos

1.3.1 Material biológico

La cría de *D. opuntiae* se estableció a partir de insectos recolectados en Otumba, Estado de México (19°41'55.77"N y 98°45'27.92"O) y en Tlalnepantla, Morelos (19°0'26.96"N y 98°59'52.41"O). La colonia se mantuvo y propagó mediante la técnica propuesta por Adama-Aguilera y Llanderal-Cázares (2003). Los ejemplares de *D. coccus* se obtuvieron de una explotación comercial que emplea cladodios de *Opuntia ficus-indica* para su cría; cada cuatro semanas se adquirieron cladodios infestados (40-60%) de la empresa Granja Carmín®, de Tequisquiapan, Querétaro, México.

La cría de *H. trifurcata* se inició a partir de la recolecta de adultos en una plantación de nopal ubicada en el Colegio de Posgraduados en Texcoco, Estado de México (19°27' 31.59"N y 98°54'10.9764"O). Los especímenes recolectados se mantuvieron en recipientes de plástico (3.8 L) con perforaciones (10 x 5 cm) cubiertas con tela organza para favorecer la ventilación; como substrato alimenticio se emplearon colonias de *D. opuntiae* y una solución de agua y miel (90:10). Todos los ensayos se realizaron en el laboratorio de control biológico del Colegio de Postgraduados. Las tres especies de insectos (presas y depredador) y los ensayos experimentales se mantuvieron a 25 ± 2 °C, $50 \pm 20\%$ HR, y un fotoperiodo de 12:12 h L:O.

1.3.2 Tiempo de desarrollo de *H. trifurcata*

Este ensayo se inició con una cohorte de 78 huevos de *H. trifurcata* de 0-6 h de edad, para cada una de las especies de *Dactylopius* (=dietas o tratamientos). Los huevos se aislaron individualmente en cápsulas de gelatina No.1 (0.48 mL). La duración de cada estado de desarrollo se registró al identificar la exuvia entre ínstaes; las observaciones se realizaron dos veces por día, a las 10:00 y 19:00 h.

Una vez que emergieron, cada grupo de larvas de *H. trifurcata* se alimentó con la presa respectiva. Las larvas dispusieron de una dieta mixta de la presa *ad libitum*. La cantidad de alimento varió en función de la etapa de desarrollo, de acuerdo a lo registrado por Venegas-Rico *et al.* (2016) y la capacidad reproductiva de las presas obtenida por Palafox-Luna *et al.* (2018) y Ramírez-Cruz y Llanderal-Cázares (2013). La dieta se sustituyó cada 24 h (Cuadro 1).

La supervivencia de *H. trifurcata* se obtuvo de aquellos individuos que completaron el ciclo de desarrollo y llegaron a adultos en cada una de las dietas. También, se registró la mortalidad en cada estado de desarrollo. Adicionalmente, cuando los individuos alcanzaron el estado adulto se determinó su proporción sexual; para ello, se

consideró la presencia de una mancha amarilla en la cabeza para machos, y la ausencia de ésta en hembras (Gordon, 1985).

Cuadro 1. Número de individuos ofrecidos por estado de desarrollo de *Hyperaspis trifurcata*.

| Estado de desarrollo (ínstar) | Dieta (=tratamiento) | |
|-------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|
| | <i>Dactylopius opuntiae</i> | <i>Dactylopius coccus</i> |
| Primero | 2 hembras adultas y 10 inmaduros | 2 hembras adultas y 10 inmaduros |
| Segundo | 2 hembras adultas y 10 inmaduros | 4 hembras y 20 inmaduros |
| Tercero | 3 hembras y 30 inmaduros | 5 hembras y 40 inmaduros |
| Cuarto | 4 hembras adultas y 40 inmaduros | 7 hembras y 50 inmaduros |

1.3.3 Fecundidad y fertilidad de *H. trifurcata*

Para evaluar la fecundidad de *H. trifurcata* se colocaron 30 parejas de adultos (\leq 20 h de edad) en recipientes de plástico (3.8 L) en cada tratamiento, donde se mantuvieron por un periodo de cinco días, para favorecer la cópula; asimismo, se les ofreció constantemente una dieta mixta (=individuos de todos los estados de desarrollo) de la especie de *Dactylopius* que correspondiera.

Después del quinto día cada pareja se colocó de manera individual en cajas Petri ($\varnothing = 3$ cm) y se le proporcionó una dieta mixta *ad libitum* del tratamiento correspondiente. Cada tratamiento tuvo 20 repeticiones; el alimento, que a la vez sirvió como sustrato para la oviposición, se colocó en el fondo de la caja Petri y éste se reemplazó cada 24 h. La fertilidad se obtuvo de una muestra de cinco huevos por hembra por semana, durante un periodo de siete semanas en cada tratamiento.

1.3.4 Determinación de ácido carmínico

Se cuantificó la concentración de ácido carmínico en los estados de desarrollo de ninfa I, ninfa II, hembra juvenil (sin la presencia de huevos) y hembra grávida, mediante

|
el método propuesto por Méndez *et al.* (2004); se incluyeron cinco repeticiones por estado de desarrollo.

1.3.5 Análisis estadístico

La duración de cada uno de los estados de desarrollo de *H. trifurcata* en días ($\bar{X} \pm$ E.E.) por tratamiento se comparó mediante la prueba *t* de Student. El tiempo de preoviposición, así como la fecundidad y fertilidad, se sometieron a la prueba de Shapiro-Wilks para comprobar la normalidad. Después, estos datos se analizaron con Proc GLM por tratamiento y por semana (SAS Institute, 2017). Los datos de fecundidad y fertilidad se registraron diariamente durante las primeras siete semanas de vida de las hembras. No obstante, los datos se agruparon por semana para evitar sesgos por la diferencia en supervivencia y fertilidad de algunas hembras supervivientes. Con los datos de tiempo de desarrollo, fecundidad y fertilidad se construyeron tablas de vida y fertilidad a partir de la supervivencia específica por la edad (l_x) y la edad específica de fecundidad (m_x), con el método propuesto por Birch (1948). A partir de esta información se estimaron los parámetros de crecimiento poblacional tomando en consideración la metodología propuesta por Maia *et al.* (2000) utilizando el programa Lifetable SAS (SAS Institute 2017®). Este mismo programa generó intervalos de confianza ($p \leq 0.05$) de todos los parámetros mediante el método Jackknife.

1.4 Resultados

1.4.1 Tiempo de desarrollo de *H. trifurcata*

El tiempo de desarrollo de *H. trifurcata* resultó significativamente diferente entre tratamientos ($t = 1.66$ $df=77$, $P = 0.012$). Cuando *H. trifurcata* se alimentó de *D. coccus* se alargó la duración del 4to ínstar larval significativamente ($t = 1.99$; $df= 77$, $P = 0.0042$),

al igual que la duración del estado pupal ($t = 1.77$; $df=77$, $P = 0.039$), en comparación al alimentarse de *D. opuntiae*. Como consecuencia de estas diferencias *H. trifurcata* completó su desarrollo en 36.2 ± 0.26 d al alimentarse de *D. opuntiae*, mientras que le tomó 40.0 ± 0.14 d al consumir *D. coccus* (Cuadro 2).

Cuadro 2. Tiempo de desarrollo de *Hyperaspis trifurcata* en días ($\bar{X} \pm EE$) al alimentarse de diferentes especies de *Dactylopius* (25 ± 2 °C, $60 \pm 10\%$ HR, 12:12 h [L:O]).

| Estado de desarrollo | Presa | |
|----------------------|--------------------|-------------------|
| | <i>D. opuntiae</i> | <i>D. coccus</i> |
| Huevo | 8.5 ± 0.10 | 8.5 ± 0.09 |
| Larva I | 3.1 ± 0.03 | 3.7 ± 0.06 |
| Larva II | 3.3 ± 0.06 | 3.9 ± 0.06 |
| Larva III | 3.0 ± 0.04 | 3.6 ± 0.05 |
| Larva IV | 8.9 ± 0.16 | 9.3 ± 0.19 * |
| Pupa | 9.3 ± 0.20 | 11.1 ± 0.22 * |
| Huevo a adulto | 36.2 ± 0.26 | 40.0 ± 0.14 * |

*Valores en líneas son estadísticamente diferentes, de acuerdo a la prueba t de Student ($p \leq 0.05$).

La supervivencia de *H. trifurcata* fue de 65.4 y 42.3% cuando se alimentó con *D. opuntiae* y *D. coccus*, respectivamente (Figura 1). El estado larval del depredador fue el que mostró mayor efecto como resultado de la dieta, ya que sobrevivieron 70.5 y 46.2 % de larvas alimentadas con *D. opuntiae* y *D. coccus*, respectivamente. En pupa prácticamente no hubo diferencias entre tratamientos (entre 94.8 y 96.1%). La proporción sexual fue 1:1 en ambos tratamientos.

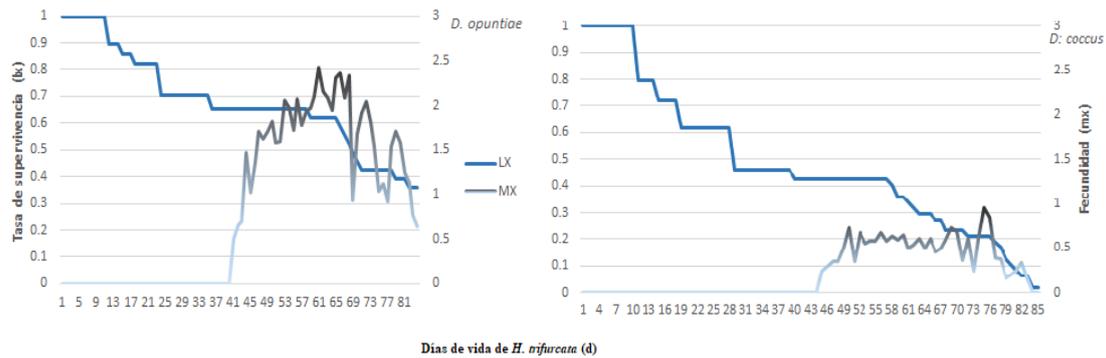


Figura 1. Fecundidad específica de *Hyperaspis trifurcata* por edad (m_x) y supervivencia específica por edad (l_x), en relación al tipo de presa ofrecida.

1.4.2 Fecundidad y fertilidad de *H. trifurcata*

El periodo de pre-ovoposición de *H. trifurcata* fue de 5.8 d cuando se alimentó de *D. opuntiae* y de 6.5 d con *D. coccus*, aunque no se detectaron diferencias estadísticas entre tratamientos ($t = 1.40$, $df = 38$, $P = 0.14$). Respecto a la fecundidad, se registraron diferencias significativas entre los dos tratamientos ($t = 1.72$, $df = 19$, $P < 0.001$). *H. trifurcata* alimentada con *D. opuntiae* registró una fecundidad mayor de casi 4.5 veces, con respecto a la alimentada con *D. coccus*; así mismo, se observó una tendencia similar, respecto a la fertilidad (Cuadro 3). Los huevos provenientes de hembras alimentadas con *D. opuntiae* obtuvieron 90.7 % de fertilidad, en comparación con 74.4% de fertilidad de los huevos provenientes de aquellas hembras alimentadas con *D. coccus*, esta diferencia resultó significativa ($t = 2.30$, $df = 6$, $P < 0.001$).

Cuadro 3. Características biológicas ($\bar{X} \pm EE$) de *Hyperaspis trifurcata* alimentada con dos especies de *Dactylopius* (25 ± 2 °C, $60 \pm 10\%$ HR, 12:12 h [L:O]).

| Dieta mixta | Periodo de pre-ovoposición (d) | Fecundidad (huevos por hembra) | Fertilidad (%) |
|--------------------|--------------------------------|--------------------------------|------------------|
| <i>D. opuntiae</i> | $5.80 \pm 0.22^*$ | $123.30 \pm 7.65^*$ | 90.68 ± 0.81 |
| <i>D. coccus</i> | 6.45 ± 0.32 | 28.15 ± 2.57 | 74.41 ± 1.27 |

* Valores en columnas son estadísticamente diferentes, de acuerdo a la prueba *t* de Student ($p \leq 0.05$)

La fecundidad de *H. trifurcata* y su distribución en el tiempo fue diferente dependiendo de la presa consumida ($F = 2.02$, $df = 19$, $P < 0.001$). Las hembras alimentadas con *D. coccus* colocaron 50% del total de huevos en 18 d, mientras que aquellas alimentadas con *D. opuntiae* les tomó 25 d. La fecundidad mayor se presentó en las semanas tres y cinco para las hembras alimentadas con *D. opuntiae*, en tanto que aquellas alimentadas con *D. coccus* se registraron durante las semanas dos y tres (Figura 2). A los 19 días se registró la cantidad más alta de huevos por semana en ambas especies con 31 y 17 para *D. opuntiae* y *D. coccus*, respectivamente.

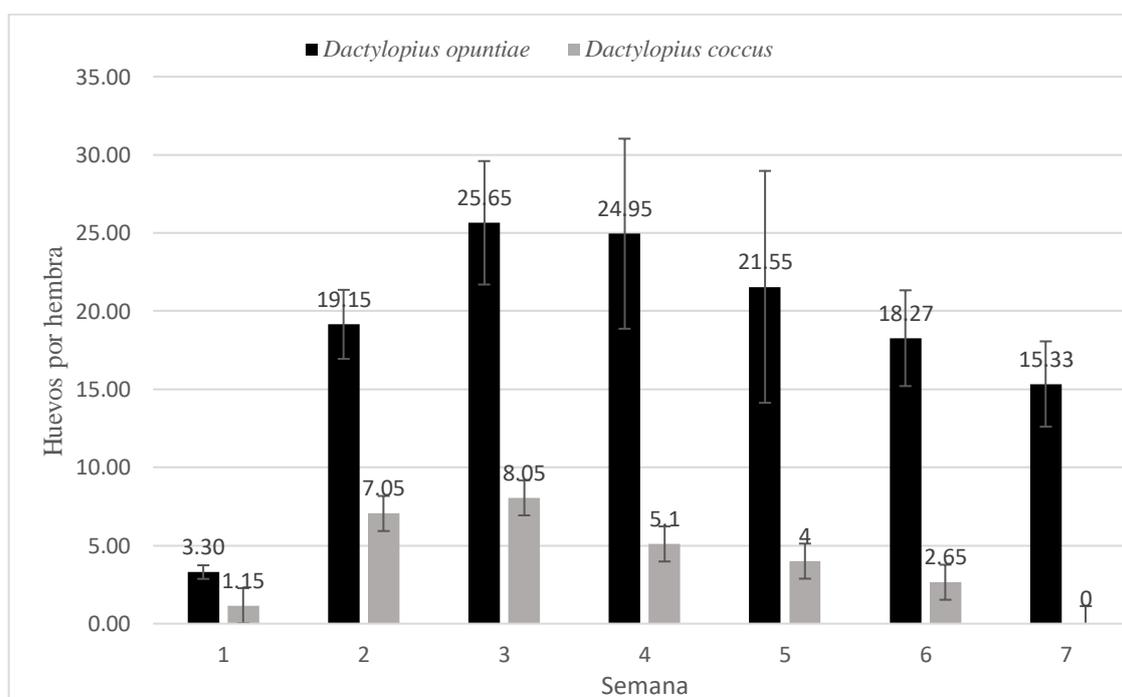


Figura 1. Registro semanal de fecundidad de *Hyperaspis trifurcata* alimentada con dos especies de *Dactylopius*.

1.4.3 Estadísticas de crecimiento poblacional

H. trifurcata obtuvo valores similares en el tiempo de generación (T) para ambos tratamientos, con alrededor de 51 días. No obstante, la tasa neta de reproducción (R_0), la tasa intrínseca de incremento natural (r_m), la tasa finita de incremento (λ), y el tiempo de duplicación de la población (DT) resultaron más favorables para aquellas hembras que se alimentaron con *D. opuntiae* (Cuadro 4).

Cuadro 4. Parámetros demográficos (media y niveles de confianza 95%) de *Hyperaspis trifurcata* alimentado con diferentes especies de *Dactylopius*.

| Dieta mixta | Tiempo de generación (T) (días) | Tasa neta de reproducción (R_0) | Tasa intrínseca de crecimiento natural (r_m) | Tasa finita de crecimiento (λ) | Tiempo de duplicación (DT) |
|--------------------|---------------------------------|-------------------------------------|--|--|----------------------------|
| <i>D. opuntiae</i> | 51.8 (53.1-50.6) | 40.0 * (44.9-34.9) | 0.071 * (0.072-0.069) | 1.073 * (1.075-1.072) | 09.7 * (09.91-09.55) |
| <i>D. coccus</i> | 51.3 (53.0-49.6) | 06.0 (07.1-04.9) | 0.035 (0.037-0.032) | 1.035 (1.038-1.032) | 19.7 (21.37-18-13) |

*Valores en una misma columna son estadísticamente diferentes, de acuerdo a la prueba *t* de Student, para la comparación grupal por pares ($p \leq 0.05$). La no independencia de la comparación por pares se ajustó mediante la prueba de desigualdad de Sida'k realizada por el mismo programa (Maia *et al.*, 2000).

1.4.5 Concentración de ácido carmínico por especie de *Dactylopius*

El contenido de ácido carmínico (%) fue significativamente diferente entre especies y entre estados de desarrollo. Las ninfas I presentaron la concentración de ácido carmínico más baja en ambas especies; mientras que los estados que registraron las concentraciones de ácido carmínico mayores en ambas especies fueron las adultas juveniles y las hembras grávidas (Cuadro 5).

Cuadro 5. Concentración de ácido carmínico (%) por especie y por estado de desarrollo en dos especies de *Dactylopius*.

| Estado de desarrollo | <i>D. opuntiae</i> | <i>D. coccus</i> |
|--------------------------------|--------------------|------------------|
| Adultas grávidas | 3.1 | 23.6 * |
| Adultas juveniles (sin huevos) | 5.3 | 25.2 * |
| Ninfas II | 2.0 | 8.9 * |
| Ninfas I | 1.8 | 1.9 |

* Valores en líneas son estadísticamente diferentes, de acuerdo a la prueba de Student ($p \leq 0.05$).

1.5 Discusión

Hyperaspis trifurcata es un insecto con alta adaptabilidad ambiental que se alimenta de varias especies de *Dactylopius*; en el continente americano se distribuye en ambientes templados, cálidos y desérticos desde el sur de EE.UU hasta el sur de México (Gordon, 1985; Portillo y Viguera, 1998; Vanegas-Rico *et al.*, 2010; 2016). Sin embargo, se desconoce la biología de este coccinélido al alimentarse de las diferentes especies de dactilópodos que puede forrajear en esos ambientes. En este trabajo se demostró que *H. trifurcata* completó su desarrollo y se reprodujo sobre ambas especies de presas, *D. opuntiae* y *D. coccus*. No obstante, cuando el depredador se alimentó con *D. coccus* se observó una reducción significativa en todos los parámetros biológicos, en comparación a cuando consumió *D. opuntiae*.

El tiempo de desarrollo y el periodo de preoviposición de *H. trifurcata* fueron los parámetros que, aparentemente, resultaron menos afectados, dado que se registró una diferencia de solo 2 a 3 d. De esta manera, *H. trifurcata* alimentado con *D. opuntiae* tuvo un tiempo de desarrollo de 36.2 ± 0.26 d, en tanto que el alimentado con *D. coccus* fue de 40.0 ± 0.14 d. El tiempo de desarrollo obtenido en esta investigación al alimentarse sobre *D. opuntiae* es similar al reportado por Vanegas-Rico *et al.* (2016) cuando se alimentó de la misma presa y está dentro de los límites de tiempo de desarrollo para

especies del mismo género alimentados con presas diferentes. Por ejemplo, *Hyperaspis pantherina* Fürsh al ser alimentada con *Orthezia insignis* Mulsan, de *Hyperaspis raynevali* Mulsant alimentada con el pseudocóccido *Phenacoccus manihoti* Matile-Ferrero y de *Chilocorus cacti* Linnaeus al alimentarse de *D. opuntiae* de 39 d (Villanueva *et al.*, 2018). También fue el caso del tiempo de desarrollo de *Cryptalemus montrouzieri* Mulsant (36.5 d) sobre *D. tomentosus* Lemarck (Baskaran *et al.*, 2002), pero difirió ampliamente de los 103.3 ± 2.4 d del mismo *C. montrouzieri* cuando se alimentó de *D. opuntiae* (El Aalaoui *et al.*, 2019).

Algunos de los parámetros biológicos más importantes de *H. trifurcata*, tales como la supervivencia (65.3 vs 42.3%), fecundidad (123.3 vs 28.1) y fertilidad (90.6 vs 74.4) resultaron diferentes, en función del tipo de presa consumida; pero consistentemente, siempre se obtuvieron los valores más bajos cuando se alimentó de *D. coccus*. Lo anterior podría sugerir que la calidad de alimento (presa en este caso) influye en las tasas de desarrollo, supervivencia y fecundidad de los insectos (Evans *et al.*, 1999; Kalushkov y Hodek, 2004). No obstante, en el diseño de este trabajo se utilizó el mismo género de presas, por tanto se puede asegurar que el contenido de ácido carmínico superior en *D. coccus* (1.9-25.2%), o bien la presencia de otros metabolitos intermedios en su síntesis, comprado con *D. opuntiae* (1.7-5.3%) fue el responsable de la reducción de los parámetros biológico de *H. trifurcata*. El ácido carmínico es una sustancia que se sintetiza *de novo* en insectos del género *Dactylopius*, el cual participa como mecanismo de defensa en el sistema inmune (Hernández-Hernández *et al.*, 2003; Stanley 2006;), y como protección contra hormigas depredadoras (Eisner *et al.*, 1994). Sin embargo, no se había demostrado que afectara a sus enemigos naturales de manera directa, lo que se logró confirmar en este trabajo. Aparentemente el ácido carmínico que se produce *de novo* y en mayor concentración en *D. coccus* tiene un efecto similar a los aleloquímicos de

|

solanáceas que son secuestrados por lepidópteros fitófagos, como *Manduca sexta*, los cuales afectan a su depredador *Podisus maculiventris* (Say) y que pueden usarse para afectar a otros depredadores como lo demostraron varios trabajos (Duffey 1980; Traugott y Stamp, 1996). Este efecto desfavorable de *D. coccus* sobre sus enemigos naturales producto de la elevada concentración de ácido carmínico se había expresado en varias ocasiones, y se había documentado brevemente dado que *H. trifurcata* mostraba una mayor preferencia por *D. opuntiae*, que por *D. coccus*, en las crías comerciales (Aguilera-Aldama *et al.*, 2005). No obstante, no se había presentado evidencia experimental.

Como consecuencia de un efecto adverso en la supervivencia, fecundidad y fertilidad de *H. trifurcata* por la concentración de ácido carmínico en *D. coccus*, o sustancias intermedias durante su síntesis como las quinonas, los parámetros poblacionales fueron marcadamente diferentes dependiendo de la presa; dado que algunos de ellos llegaron a ser de más del 100%. Por ejemplo, la tasa neta de reproducción (Ro) fue de 6.0 hembras por hembra por generación contra las 40.0 de las hembras alimentadas con *D. opuntiae*. La tasa intrínseca de crecimiento natural (r_m) de *H. trifurcata* fue el doble (0.071) cuando se alimentó de *D. opuntiae* comparada con *D. coccus* (0.035). Estas diferencias sólo pueden explicarse por los efectos de la dieta y el ácido carmínico, como ya se explicó anteriormente.

De acuerdo con los resultados de este trabajo se puede inferir que *H. trifurcata* es un enemigo natural que forrajea ocasionalmente *D. coccus*, pero ésta no es la mejor presa para manifestar su potencial reproductivo, al compararse con su potencial reproductivo cuando se alimenta con *D. opuntiae*. Esta información puede ser útil para caracterizar a *H. trifurcata*, y para demostrar el efecto adverso del ácido carmínico, o sustancias intermedias en su síntesis, en uno de los enemigos naturales más frecuentes y abundantes de *D. opuntiae* y ocasionales de *D. coccus*; también para proponer evaluaciones que

contribuyan a la toma de decisiones sobre cuáles enemigos naturales tienen mayor potencial para incluirse en algún programa de control biológico de especies del género *Dactylopius*.

Agradecimientos

Al Dr. Marcos Soto Hernández y personal de su laboratorio por su asesoría en la extracción del ácido carmínico. Al productor Eduardo Baldomero, de Otumba, Estado de México, por las facilidades para obtener cladodios de nopal, y por tantos momentos de aprendizaje en sus parcelas. Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT, México) por la beca completa para desarrollar los estudios de maestría del primer autor.

1.6 Literatura citada

- Aldama-Aguilera C., y Llanderal-Cázares C. 2003. Cochineal: comparison of production methods in cut cladodes. *Agrociencia* 37: 11-19.
- Aldama-Aguilera C., Llanderal-Cázares C., Soto-Hernández M., y Castillo-Márquez L. E. 2005. Producción de grana-cochinilla (*Dactylopius coccus* Costa) en plantas de nopal a la intemperie y en microtúneles. *Agrociencia* 39: 161-171.
- Baskaran R. K., Srinivasan T. R., Muthumeena K., Muthulakshmi S., and Mahadevan N. R. 2002. Life-table of Australian ladybird beetle (*Cryptolaemus montrouzieri*) feeding on mealybugs (*Maconellicoccus hirsutus* and *Dactylopius tomentosus*). *Indian Journal of Agricultural Sciences* 72: 54–56.
- Birch, L. 1948. The Intrinsic Rate of Natural Increase of an Insect Population. *The Journal of Animal Ecology* 1:15-26.
- Bouharroud R., El Aalaoui M., Boujghagh M., Hilali L., El Bouhssini M., and Sbaghi M. 2019. New record and predatory activity of *Hyperaspis campestris* (Herbst 1783)

- (Coleoptera: Coccinellidae) on *Dactylopius opuntiae* (Hemiptera: Dactylopiidae) in Morocco. *Entomological News* 128: 156-160.
- Chávez-Moreno C. K., Tecante A., and 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.
- Coronado-Flores V., Tornero-Campante M. A., Núñez-Tovar R., Jaramillo-Villanueva J. L., y Méndez-Gallegos S. de J. 2015. Productividad de cochinilla *Dactylopius coccus* (Hemiptera: Dactylopiidae) en cladodios de *Opuntia ficus-indica* (Cactacea) con diferentes tratamientos de fertilización. *Acta Zoológica Mexicana* 31: 183-189.
- Cruz-Rodríguez J. A., González-Machorro E. A. Villegas González A., Rodríguez-Ramírez M. L. and Mejía-Lara F. 2016. Autonomous biological control of *Dactylopius opuntiae* (Hemiptera: Dactylopiidae) in a prickly pear plantation with ecological management. *Environmental Entomology* 45: 642–648.
- Dobzhansky T. H. 1941. Beetles of genus *Hyperaspis* inhabiting the United States. *Smithsonian Miscellaneous Collections* 101: 1-94.
- Dongi E., Mabhegedhe, M., and Chikodzi. 2018. Effects of *Dactylopius tomentosus* infestation on the morphology of *Opuntia ficus-indica* plant species growing in Masvingo Province, Zimbabwe. *International Journal of Biodiversity and Conservation* 10: 471-478.
- Duffey S. S. 1980. Sequestration of plant natural products by insects. *Annual Review of Entomology* 25: 447-477.
- Eisner T., Ziegler R., McCormick J. L., Eisner M., Hoebeke E.R., and Meinwald J. 1994. Defensive use of an acquired substance (carminic acid) by predaceous insect larvae. *Cellular and Molecular Life Sciences* 50: 610-615.

- |
- El Aalaoui M., Bouharroud R., Sbaghi M., El Bouhssini M., and Hilali L. 2019. Predatory potential of eleven native Moroccan adult ladybird species on different stages of *Dactylopius opuntiae* (Cockerell) (Hemiptera: Dactylopiidae). European and Mediterranean Plant Protection Organization Bulletin 49: 374-379.
- Evans E. W., Stevenson A. T., and Richards D. R. 1999. Essential versus alternative foods of insect predators: benefits of a mixed diet. *Oecologia* 121: 107-112.
- Flores-Alatorre H. L., Abrego-Reyes V., Reyes-Esparza J. A., Angeles E., and Alba-Hurtado F. 2014. Variation in the concentration of carminic acid produced by *Dactylopius coccus* (Hemiptera: Dactylopidae) at various maturation stages. *Journal of Economic Entomology* 107: 1700-1705.
- Fitiwy I., Gebretsadkan A., and Araya A. 2016. Management of cochineal (*Dactylopius coccus* Costa) insect pest through botanical extraction in Tigray, north Ethiopia. *Journal of Drylands* 6: 499-505.
- García M., Denno B. D., Miller D. R., Miller G. L., Ben-Dov Y., Hardy N. B. 2016. *ScaleNet: A literature-based model of scale insect biology and systematics*. Database: <http://scalenet.info/catalogue/>
- Gebreziher H. G., Hailu Z., and Abrha E. 2018. Effect of botanical extracts from indigenous plant, *Kotsili Mariam*, on mortality of carmine cochineal insect (*Dactylopius coccus* Costa). *Journal of Entomology and Zoology Studies* 6: 1107-1116.
- Gordon R. D. 1985. The Coccinellidae (Coleoptera) of America North of Mexico. *J. NY Entomology Society* 93: 1-912.
- Griffith M. P. 2004. The origins of an important cactus crop, *Opuntia ficus-indica* (Cactaceae): new molecular evidence. *American Journal of Botany* 91: 1915-1921.

- Hernández-Hernández F., de Muñoz, F. G.G., Rojas-Martínez, A., Hernández-Martínez, S., & Lanz-Mendoza, H. 2003. Carminic acid dye from the homopteran *Dactylopius coccus* hemolymph is consumed during treatment with different microbial elicitors. *Archives of Insect Biochemistry and Physiology* 54: 37–45.
- Kalushkov P., and Hodek I. 2004. The effects of thirteen species of aphids on some life history parameters of the ladybird *Coccinella septempunctata*. *BioControl* 49: 21-32.
- Kiesling R. 1999. Origen, domesticación y distribución de *Opuntia ficus-indica*. *Journal of the Professional Association for Cactus Development* 3: 50–59.
- Lopes E. B., Brito C. H., Albuquerque I. C., and Luna J. 2009. Desempenho do óleo de laranja no controle da cochonilha-docarmim em palma gigante. *Engenharia Ambiental - Espírito Santo do Pinhal* 6: 252- 258.
- Maia A. H. N., Luiz A. J. B., and Campanhola C. 2000. Statistical inference on associate fertility and life table parameters using Jackknife technique: computational aspects. *Journal of Economy Entomology* 93: 511-518.
- Mann J. 1969. Cactus-feeding insects and mites. Smithsonian Institution Government Printing Office Washington. United States Natural Museum Bulletin 256: 1-158.
- Mazzeo G., Nucifora S., Russo A., and Suma P. 2019. *Dactylopius opuntiae*, a new prickly pear cactus pest in the Mediterranean: an overview. *Entomologia Experimentalis et Applicata* 167: 59-72.
- Mendel Z., Protasov A., Carvalho C. J., Vanegas J. M., Lomelí-Flores J. R., and Rodríguez-Leyva E. 2018. Biological control possibilities of an invasive scale insect in Israel: *Opuntia* cochineal scale *Dactylopius opuntiae*. XI European Congress of Entomology, Book of Abstracts 40. 2–6 July 2018, Napoli, Italy.
- Mendel Z., Protasov A., Vanegas-Rico J. M., Lomelí-Flores J. R., Pompeo S., and Rodríguez-Leyva E. 2019. Classical and fortuitous biological control of the prickly

- pear cochineal *Dactylopius opuntiae* in Israel. Biological Control, *BICO-2019-389*, in review 17-10-2019.
- Méndez J., González M., Lobo M. G., and Carnero A. 2004. Color quality of pigments in cochineals (*Dactylopius coccus* Costa). Geographical origin characterization using multivariate statistical analysis. Journal of Agricultural and Food Chemistry 52: 1331-1337.
- Moussa Z., Yammouni D., and Azar D. 2017. *Dactylopius opuntiae* (Cockerell), a new invasive pest of the cactus plants *Opuntia ficus-indica* in the South of Lebanon (Hemiptera, Coccoidea, Dactylopiidae). Bulletin de la Société Entomologique de France 122: 173-178.
- Ochoa M. J. y Barbera G. 2018. Historia e importancia agroecológica y económica. pp:1-11. In: Inglese, P., Mondragón-Jacobo, C., Nefzaoui, A. & Sáenz, C. (eds.). Ecología del cultivo, manejo y usos del nopal. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), Centro Internacional de Investigaciones Agrícolas en Zonas Áridas (ICARDA). ISBN 978-92-5-130494-5
- Palafox-Luna J. A., Rodríguez-Leyva E., Lomelí-Flores J. R., Viguera-Guzmán A. L., Vanegas-Rico J. M. 2018. Life cycle and fecundity of *Dactylopius opuntiae* (Hemiptera: Dactylopiidae) in *Opuntia ficus-indica* (Caryophyllales: Cactaceae) Agrociencia 52: 103-114.
- Portillo L., y Viguera A. L. 1998. Natural enemies of cochineal (*Dactylopius coccus* Costa): importance in Mexico. Journal of the professional Association for Cactus Development 3: 43-49.
- Ramírez-Cruz A., y Llanderal-Cázares C. 2013. Fecundidad potencial de *Dactylopius coccus* (Hemiptera: Dactylopiidae) bajo condiciones de invernadero. Revista Colombiana de Entomología 39: 170-173.

- Ramírez S., Santana N., y Solís J. F. 2013 *Hyperaspis trifurcata* Schaeffer (Coleoptera: Coccinellidae) en condiciones de laboratorio. *Dugesiana* 20: 99-103.
- Ramírez-Sánchez C., Morales-Flores F. J., Alatorre-Rosas R., Mena-Covarrubias J., and Méndez-Gallegos S. J. 2019. Efectividad de hongos entomopatógenos sobre la mortalidad de *Dactylopius opuntiae* (Hemiptera: Dactylopiidae) en condiciones de laboratorio. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 22:1-14.
- Rodríguez-Leyva E., Lomelí-Flores J. R, y Vanegas-Rico J. M. 2010. Enemigos naturales de la grana cochinilla del nopal *Dactylopius coccus* Costa (Hemiptera: Dactylopiidae). pp: 101-112. *In*: Portillo L., Viguera A. L. (Eds). Conocimiento y aprovechamiento de la grana cochinilla. Colegio de Postgraduados. Estado de México, México.
- Rule N. F., and Hoffmann J. 2018. The performance of *Dactylopius opuntiae* as biological control agent on two invasive *Opuntia* cactus species in South Africa. *Biological Control* 119: 7-11.
- SAS Institute. 2017. SAS/OR 9.4 User's Guide: Mathematical Programming Examples. SAS institute.
- Spodek M., Ben-Dov Y., Protasov A., Carvalho C. J., and Mendel Z. 2014. First record of *Dactylopius opuntiae* (Cockerell) (Hemiptera: Coccoidea: Dactylopiidae) from Israel. *Phytoparasitica* 42: 377-379.
- Stanley D. 2006. Prostaglandins and other eicosanoids in insects: biological significance. *Annual Review of Entomology* 51: 25-44.
- Tesfay B. 2015. Carmine cochineal: fortune wasted in northern Ethiopia. *Journal of the Professional Association for Cactus Development* 17:61-80.

- Torres J. B., and Giorgi J. A. 2018. Management of the false carmine cochineal *Dactylopius opuntiae* (Cockerell): perspective from Pernambuco state, Brazil. *Phytoparasitica* 46: 331–340.
- Traugott M. S., and Stamp N. E. 1996. Effects of chlorogenic acid-and tomatine-fed caterpillars on the behavior of an insect predator. *Journal of Insect behavior* 9: 461.
- Ülgentürk S., and Hocaali S. S. 2019. Pest status of *Dactylopius opuntiae* (Cockerell) (Hemiptera: Dactylopiidae) and new records of scale insects from northern Turkish Republic of Cyprus. *Munis Entomology & Zoology* 14: 294-300.
- Vanegas-Rico J. M., Lomelí-Flores J. R., Rodríguez-Leyva E., Mora-Aguilera G., and Valdez J. M. 2010. Enemigos naturales de *Dactylopius opuntiae* (Cockerell) en *Opuntia ficus-indica* (L.) Miller en el centro de México. *Acta Zoológica Mexicana* (n.s.) 26: 415-433.
- Vanegas-Rico J. M., Rodríguez-Leyva E., Lomelí-Flores J. R., González-Hernández H., Pérez-Panduro A., and Mora-Aguilera G. 2016. Biology and life history of *Hyperaspis trifurcata* feeding on *Dactylopius opuntiae*. *BioControl* 61: 691-701.
- 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* (Hemiptera: Dactylopiidae) population fluctuations and predators in Tlalnepantla, Morelos. *Folia Entomológica Mexicana* 3: 23-31.
- Villanueva S. E., Ramírez A. S., Villanueva V. C., Sánchez C. I., Luna C. A., y Canseco G. J. D. 2018. Respuesta numérica de *Chilocorus cacti* sobre *Dactylopius opuntiae*. *Southwestern Entomologist* 43: 705-713.

|

**CAPÍTULO II. PREFERENCIA ALIMENTICIA DE *Hyperaspis trifurcata*
ENTRE DOS ESPECIES DE *Dactylopius* (HEMIPTERA: DACTYLOPIIDAE)**

2.1 Resumen

Debido a la concentración diferente de ácido carmínico entre *Dactylopius coccus* y *D. opuntiae*, sustancia que probablemente funciona como protección contra la depredación, se hipotetizó que uno de sus depredadores, el coccinélido *Hyperaspis trifurcata*, tendría preferencia por la especie con menor contenido de ácido carmínico. Para probar esa hipótesis se realizaron ensayos de opción sobre esas dos presas en laboratorio. En el primer ensayo se ofrecieron ninfas de primer ínstar de ambas especies a hembras de *H. trifurcata*; en el segundo se ofrecieron adultas grávidas de ambas especies a hembras del mismo depredador. *H. trifurcata* consumió ambas ninfas, y no mostró preferencia por ninfas de primer ínstar de ninguna especie; en ese estado de desarrollo el ácido carmínico tampoco tuvo diferencia entre especies. No obstante, *H. trifurcata* prefirió alimentarse de hembras grávidas de *D. opuntiae* en comparación de *D. coccus*; en este estado de desarrollo la concentración de ácido carmínico fue de 3% versus 25%, respectivamente. Con esto se puede apoyar la hipótesis que *H. trifurcata* prefiere alimentarse de *D. opuntiae* en vez de *D. coccus* debido a la concentración de ácido carmínico, o a algunos de sus precursores metabólicos.

Palabras clave: Cochinillas del nopal, depredadores, ácido carmínico, preferencia de presa.

Abstract

Because of the different carminic acid concentration between *Dactylopius coccus* and *D. opuntiae*, a substance that probably works as a protection against predation, we hypothesized that one predator, the coccinellid *Hyperaspis trifurcata*, would prefer the species with lowest carminic acid concentration. To test this hypothesis, choice tests were conducted using both preys in laboratory. In the first assay, first instar nymphs of both species were offered to females of *H. trifurcata*; in the second, gravid females of both species were offered to females of the same predator. *H. trifurcata* consumed both nymphs, and showed no preference for the first instar nymphs of any species; in that state of development the carminic acid did not have a difference between species either. However, *H. trifurcata* preferred to feed on gravid females of *D. opuntiae* compared to *D. coccus*, in this state of development the concentration of carminic acid was 3.1% versus 23.5%, respectively. With this results, we can support the hypothesis that *H. trifurcata* prefers to feed on *D. opuntiae* instead of *D. coccus* due to the concentration of carminic acid, or some of its metabolic precursors.

Keywords: Cochineal insects, predators, carminic acid, prey preference.

2.2 Introducción

Hyperaspis trifurcata (Coleoptera: Coccinellidae) es un depredador específico de dactilópodos (Dobzhansky, 1941; Vanegas-Rico *et al.*, 2010), y también es uno de los enemigos naturales más frecuentes, abundantes y asociados, aparentemente, de manera denso dependiente a la cochinilla silvestre del nopal, *Dactylopius opuntiae* (Hemiptera: Dactylopiidae) en México (Mann, 1969; Portillo y Viguera, 2006; Vanegas-Rico *et al.*, 2010; 2016; 2017). *D. opuntiae* es considerada la plaga clave y más destructiva de *Opuntia ficus-indica* (Caryophyllales: Cactaceae) en México, Brasil y en la cuenca del Mediterráneo (Mann, 1969; Vanegas-Rico *et al.*, 2010; 2017; Mazzeo *et al.*, 2019)

Hyperaspis trifurcata se ha registrado depredando varias especies de *Dactylopius*, y entre sus presas también está registrada la cochinilla fina o grana cochinilla, *D. coccus*; ésta es la especie de donde se extrae el ácido carmínico para su comercialización y uso en la industria textil, alimenticia y cosmética a nivel mundial (Aldama-Aguilera *et al.* 2005; Rodríguez-Leyva *et al.*, 2010; Ramírez *et al.*, 2013). Aunque *H. trifurcata* se ha detectado alimentándose de *D. coccus* en los invernaderos comerciales para la producción de esta especie, Aldama-Aguilera *et al.* (2005) señalaron que realmente este depredador prefiere alimentarse de *D. opuntiae*, especie que puede ser un contaminante y competidor en las áreas de producción de la cochinilla fina.

Hace más de cuatro décadas se reconoció el posible papel del ácido carmínico de *Dactylopius* en la defensa contra los depredadores (Eisner *et al.*, 1980, 1994), y también se conoce que la concentración de éste varía en función de la especie de *Dactylopius* y sus estados de desarrollo. *D. opuntiae* contiene de 3-5%, mientras que *D. coccus* entre 19-25% (Aldama-Aguilera y Llanderal-Cázares 2003; Flores-Alatorre *et al.*, 2014). Con la información que se generó previamente, y con la información de la concentración diferencial de ácido carmínico entre especies de *Dactylopius* obtenida en este trabajo y

en otras investigaciones anteriores, se puede hipotetizar que la preferencia de *H. trifurcata* por las dos especies de cochinilla en estudio (*D. opuntiae* vs *D. coccus*) podría estar directamente relacionada con la concentración de ácido carmínico, y con el efecto que puede ocasionar en su éxito reproductivo, situación que podría afectar el establecimiento de este depredador en alguna de las especies de *Dactylopius* en estudio. Con base a lo anterior, el objetivo de este trabajo fue determinar si existe preferencia de *H. trifurcata* por alimentarse de ninfas y adultas grávidas de *D. opuntiae* o *D. coccus*.

2.3 Materiales y métodos

2.3.1 Características del sitio experimental

La investigación se llevó a cabo en el laboratorio de control biológico del Posgrado en Fitosanidad del Colegio de Postgraduados. La cría de ambas colonias de *Dactylopius* y de *H. trifurcata*, así como los ensayos, se mantuvieron a 25 ± 2 °C, 50 ± 20 % HR y un fotoperiodo de 12:12 h L:O.

2.3.2 Concentración de ácido carmínico por especie de *Dactylopius*

Se determinó la concentración de ácido carmínico en las dos especies de *Dactylopius* en diferente estado de desarrollo; en este caso se consideró solo a ninfas I y adultas grávidas porque la diferencia de ácido carmínico se manifiesta de manera marcadamente diferente entre esos estados de desarrollo.

2.3.3 Material biológico

D. opuntiae y la colonia del depredador *H. trifurcata* provinieron de crías individuales establecidas con seis meses de anticipación. La colonia de *D. coccus* fue proporcionada por la Dra. Celina Llanderal Cázares, del área de fisiología de insectos, del Posgrado en Fitosanidad del Colegio de Postgraduados. En la cría de esta especie se utilizaron cladodios de *O. ficus-indica*.

|

En este apartado se hicieron ensayos de opción de las dos presas; para ello, se realizaron dos ensayos donde se emplearon únicamente ninfas de primer ínstar y adultas grávidas de ambas especies de presa (*Dactylopius*). Por otro lado, en todos los ensayos se usaron hembras adultas del depredador (*H. trifurcata*) con menos de 24 h de edad; estas hembras se sometieron a un periodo de ayuno de 24 h, antes de usarse en los experimentos.

2.3.4 Prueba de opción por especies y etapas de desarrollo de *Dactylopius*

Para el desarrollo de estos ensayos se empleó como arena experimental una caja Petri ($\emptyset = 8$ cm) con cuatro orificios ($\emptyset = 1$ cm) en la pared de la circunferencia; los orificios se cubrieron con tela de organza para favorecer la ventilación.

En cada ensayo, inicialmente se colocaron los grupos de presas de *D. opuntiae* y *D. coccus* en la arena experimental, y después se introdujo al depredador. Las presas se colocaron agrupadas por especie y de manera equidistante separadas por 2 cm de la pared de la caja Petri, y 3 cm entre los grupos de presas. Una vez que se colocaron las dos especies de presas se introdujo al depredador (*H. trifurcata*) en el lado opuesto de la caja Petri, aproximadamente, a 6 cm de cualquiera de las presas. Debido a la laboriosidad en el manejo de material, al tiempo y al cuidado necesario para registrar correctamente las evidencias de depredación en las presas, este trabajo se realizó primero con ninfas de primer ínstar, y después con adultas grávidas.

2.3.4.1 Ninfas de primer ínstar

Para establecer este ensayo se realizaron varias observaciones preliminares; las ninfas de primer ínstar caminan para buscar donde fijarse cuando están en la superficie de los cladodios; esto ocasionaba un sesgo marcado en los resultados, por lo que se decidió someterlas a congelación (-15.5 °C durante 30 min) antes de los ensayos. Además, el depredador es muy voraz y puede consumir más de cien ninfas por día, lo que dificulta

ofrecer todas las presas cada 24 h, o complica el monitoreo y seguimiento; por ello, fue necesario reducir la cantidad de alimento y el tiempo de observación.

En cada arena experimental se colocaron 30 ninfas de primer ínstar de cada especie de *Dactylopius*, como se describió en el párrafo anterior, y posteriormente se introdujo a la hembra de *H. trifurcata* y se dejó alimentarse por 30 min. En este caso se incluyó un testigo absoluto (otra caja Petri) con la presencia de ninfas, pero sin depredador. Después de retirar a la hembra se observó cuidadosamente, con un microscopio estereoscópico, el número de ninfas consumidas o no consumidas de cada especie de *Dactylopius*, o el número de individuos con algún daño evidente de depredación. Cada hembra del depredador se utilizó una sola vez, y se establecieron seis bloques con cinco repeticiones cada uno, en total se tuvieron 30 repeticiones.

2.3.4.2 Adultas grávidas

En este caso se introdujeron ocho hembras vivas de cada especie de *Dactylopius*, y se distribuyeron como se indicó en el párrafo anterior. Después se introdujo a la hembra del depredador; ésta permaneció forrajeando por un periodo de 24 h. Al mismo tiempo se estableció un testigo absoluto, el cual consistió en la misma arena experimental con las presas pero sin el depredador. Para evitar que la luz influyera en la elección, las cajas Petri se establecieron al azar dentro de la cámara de cría. Después de 24 h se retiró el depredador y se contabilizó el número de individuos con daños evidentes por depredación (mordidas). Cada hembra del depredador se utilizó una sola vez; este ensayo se realizó en tres bloques con 10 repeticiones por bloque.

2.3.5. Análisis estadístico

El arreglo de los tratamientos fue en bloques completamente al azar; para su análisis se utilizó un modelo lineal con la mortalidad registrada en cada etapa de desarrollo de *Dactylopius* como efecto principal fijo, y se replicó (ocasión) como un efecto de bloque

aleatorio; asimismo, se corroboró que todos los bloques, para ambos casos, presentaron efecto similar. Los datos de los testigos se excluyeron del análisis debido a que no registraron mortalidad. Para determinar la diferencia entre medias se utilizó la prueba t de Student ($p \leq 0.05$). Para el análisis de los datos se utilizó el Software SAS (SAS Institute, 2017).

2.5 Resultados

2.5.1 Concentración de ácido carmínico en dos especies de *Dactylopius* en diferentes estados de desarrollo

La concentración de ácido carmínico entre especies resultó diferente estadísticamente ($t=0.019$, $df = 3$, $P = 0.039$); las ninfas de primer ínstar de ambas especies de *Dactylopius* tuvieron la menor concentración de ácido carmínico (1.7-1.9%), y no presentaron diferencias entre ellas. No obstante, la concentración de ácido carmínico fue marcadamente diferente entre adultas grávidas, proporcionalmente *D. coccus* tuvo alrededor de siete veces más ácido carmínico que *D. opuntiae* (Cuadro 6).

Cuadro 6. Concentración de ácido carmínico (%) por estado de desarrollo en *Dactylopius opuntiae* y *D. coccus*.

| Estado de desarrollo | <i>D. opuntiae</i> | <i>D. coccus</i> |
|----------------------|--------------------|------------------|
| Adulta (grávida) | 3.11 | 23.58* |
| Ninfa I | 1.77 | 1.96 |

* Valores en líneas son estadísticamente diferentes, de acuerdo a la prueba t de Student ($p \leq 0.05$).

2.5.2 Prueba de opción por especies y etapas de desarrollo de *Dactylopius*

2.5.2.1 Ninfas de primer ínstar

H. trifurcata consumió ninfas de ambas especies de *Dactylopius* y no se observó diferencia significativa por el consumo de una u otra especie ($t=0.48$, $df = 29$, $P = 0.962$) (Figura 3). *H. trifurcata* consumió en promedio 11 ninfas independientemente de la especie. El número máximo de ninfas que consumieron en el tiempo de exposición (30 min) fueron 25 y 21 de *D. opuntiae* y *D. coccus*, respectivamente.

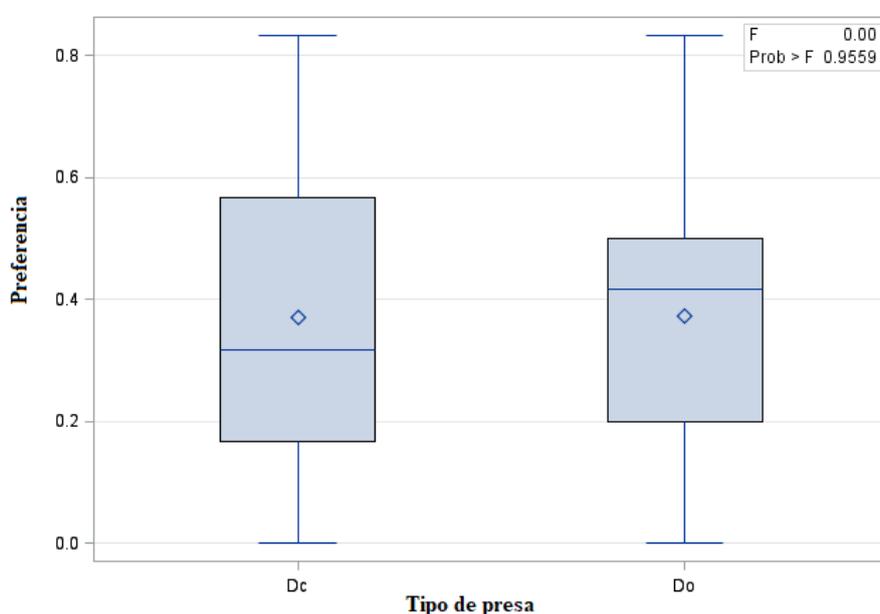


Figura 3. Prueba de opción de *Hyperaspis trifurcata* sobre ninfas de primer ínstar de *Dactylopius opuntiae* (Do) o *D. coccus* (Dc).

2.5.2.2 Adultas grávidas

Las hembras de *H. trifurcata* consumieron las dos especies de *Dactylopius*. De las 30 repeticiones sólo dos hembras no consumieron presas. El depredador *H. trifurcata* mostró una preferencia marcada por alimentarse de *D. opuntiae* ($t=2.45$, $df = 29$, $P=0.96$) en comparación con *D. coccus* (Figura 4). De las 30 repeticiones sólo ocho hembras llegaron a morder al menos una hembra de *D. coccus* y cinco de éstas llegaron a atacar por igual

a las dos presas. Respecto a la cantidad de hembras de *D. opuntiae* que destruyó el depredador en el periodo de exposición, se registró como mínimo una y como máximo 4 adultas con daños.

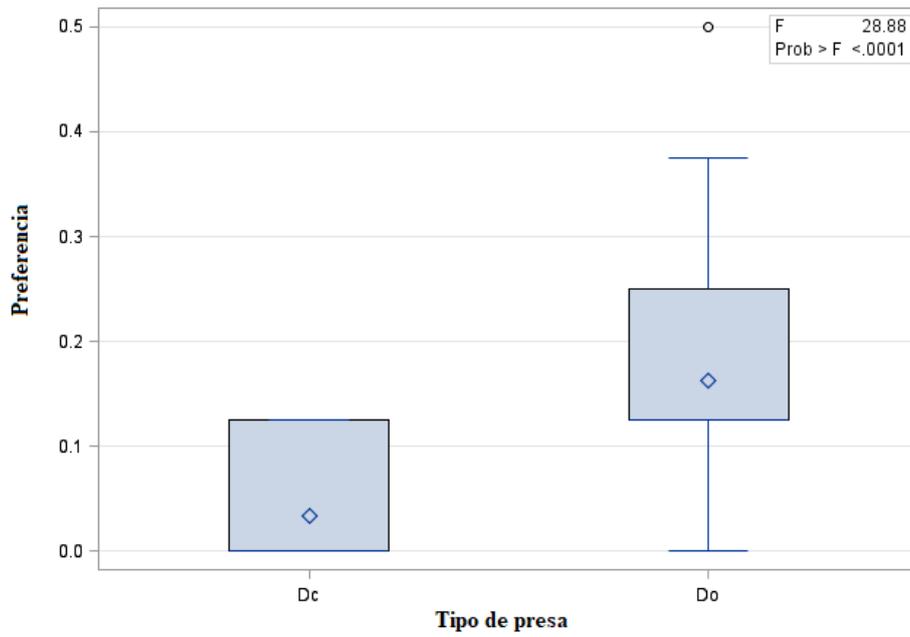


Figura 4. Prueba de opción de *Hyperspis trifurcata* sobre adultas de *Dactylopius opuntiae* (Do) o *D. coccus* (Dc).

2.6 Discusión

Aunque es de conocimiento general y aceptado que existe variación en el contenido de ácido carmínico entre especies de *Dactylopius*, así como diferencias entre los estados de desarrollo en una misma especie, existen pocos trabajos de investigación que realicen una descripción en cada especie de *Dactylopius*. Flores-Alatorre *et al.* (2014) realizaron el seguimiento del ácido carmínico en *D. coccus*; estos autores registraron una tendencia lineal positiva, que conforme se desarrolla el insecto se incrementa el ácido carmínico, pero que disminuye ligeramente en la fase reproductiva.

|

El comportamiento en la concentración del ácido carmínico en *D. coccus* descrito por Flores-Alatorre *et al.* (2014) coincidió con lo encontrado en este trabajo; ninfas de primer ínstar con menos de 2% y alrededor de 23% en hembras grávidas. Asimismo, esa tendencia se corroboró en *D. opuntiae*, aunque la concentración fue menor (1.70 y 3.11% de ácido carmínico para ninfas de primer ínstar y hembras grávidas, respectivamente). De esta manera, la hipótesis respecto a que la concentración diferencial de ácido carmínico en especies de *Dactylopius* podría ser la razón por la que *H. trifurcata* prefiera *D. opuntiae* por *D. coccus* (Aldama-Aguilera *et al.*, 2005) se confirma parcialmente en este trabajo con datos experimentales.

La evidencia muestra la importancia de la concentración del ácido carmínico (o alguna sustancia precursora en su ruta metabólica) para influenciar la preferencia por alguna especie de *Dactylopius*, o por algún estado de desarrollo de las presas; no obstante, se debe considerar que la concentración menor de ácido carmínico, o alguno de sus componentes en el proceso de síntesis, puede no ser el único factor que se considere para confirmar la preferencia de *H. trifurcata* por alguna especie de *Dactylopius*. Existen otros factores como forma del cuerpo, tamaño, grosor de la cutícula y producción de ceras que no se consideraron en la evaluación experimental en este trabajo, y que sería recomendable incluir para mejorar el entendimiento de la preferencia de este depredador por alguna especie de *Dactylopius* en particular.

Las observaciones de comportamiento de alimentación de *H. trifurcata* sobre estados de desarrollo de *D. opuntiae* contribuyen a asociar la baja concentración de ácido carmínico para preferir cierto estado de desarrollo de esta presa; no obstante, no separaron la influencia de los otros factores como tamaño y energía para someter a un estado de desarrollo en particular. Por ejemplo, El Aalaoui *et al.* (2019b) indicaron que 15 especies depredadoras presentes en Marruecos se alimentaban ocasionalmente de hembras adultas

|

de *D. opuntiae*, pero preferían ínstares ninfales. También, El Aalaoui *et al.* (2019a) comprobaron tasas altas de consumo de tres coccinélidos por huevos y primeros ínstares ninfales. Este comportamiento ya se había descrito con más detalle por Vanegas-Rico *et al.* (2010; 2016), estos autores indicaron que *H. trifurcata* depredaba con mayor frecuencia ninfas y huevos de *D. opuntiae*, y cuando éstos disminuyeron se alimentó de hembras adultas. Al mismo tiempo, estos autores consideraron que no sólo es el tamaño y la baja concentración de ácido carmínico, lo que favorece alimentarse de un estado de desarrollo u otro de *D. opuntiae*. Para demostrarlo, ellos comprobaron que *H. trifurcata* tuvo ventajas reproductivas cuando se alimentó de una dieta mixta de *D. opuntiae*, dieta que incluía todos los estados de desarrollo de la presa, comparada con hembras alimentadas sólo con ninfas de primer ínstar. Es decir, es probable que el acceso a nutrientes diferentes en cada estado de desarrollo, obligue a *H. trifurcata* a alimentarse de diferentes estados de desarrollo para mejorar su alimentación y ventajas reproductivas. Estudios previos han demostrado que el depredador *H. trifurcata* es uno de los enemigos naturales específicos, más frecuentes y abundantes sobre *D. opuntiae* y *D. confusus* en México y el sur de Estados Unidos (Gilreath y Smith 1986; Vanegas-Rico *et al.*, 2010, 2016, 2017; Cruz-Rodríguez *et al.*, 2016), esta información proporcionó sustento para considerar que *H. trifurcata* es un buen enemigo natural para seguir evaluando su potencial como agente de control biológico de *D. opuntiae* en México y en la cuenca del Mediterráneo (Vanegas-Rico *et al.*, 2016, 2017; Mendel *et al.*, 2019). No obstante, con la información de preferencia sobre *D. opuntiae* versus *D. coccus*, y con los resultados que se incluyó en el primer capítulo de este documento, se recomienda seguir evaluando su potencial biológico, dado que, probablemente, no se considere un enemigo natural eficiente como agente de control biológico para otras especies de *Dactylopius*,

particularmente para las que contengan una concentración de ácido carmínico mayor que *D. opuntiae*.

2.7 Literatura citada

- Aldama-Aguilera C., & Llanderal-Cázares C. 2003. Cochineal: comparison of production methods in cut cladodes. *Agrociencia* 37: 11-19.
- Aldama-Aguilera C., Llanderal-Cázares C., Soto-Hernández M., y Castillo-Márquez L. E. 2005. Producción de grana-cochinilla (*Dactylopius coccus* Costa) en plantas de nopal a la intemperie y en microtúneles. *Agrociencia* 39: 161-171.
- Cruz-Rodríguez J. A., González-Machorro E. A. Villegas González A., Rodríguez-Ramírez M. L. & Mejía-Lara F. 2016. Autonomous biological control of *Dactylopius opuntiae* (Hemiptera: Dactylopiidae) in a prickly pear plantation with ecological management. *Environmental Entomology* 45: 642–648.
- Dobzhansky T. H. 1941. Beetles of genus *Hyperaspis* inhabiting the United States. *Smithsonian Miscellaneous Collections* 101: 1-94.
- Eisner, T., Nowicki, S., Goetz, M., & 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., Hoebeke E.R., & Meinwald J. 1994. Defensive use of an acquired substance (carminic acid) by predaceous insect larvae. *Cellular and Molecular Life Sciences* 50: 610-615.
- El Aalaoui M., Bouharroud, R., Sbaghi, M., El Bouhssini, M., & Hilali, L. 2019a. Predatory potential of eleven native Moroccan adult ladybird species on different stages of *Dactylopius opuntiae* (Cockerell) (Hemiptera: Dactylopiidae). *Bulletin Organisation Européene et Méditerranéene pour la Protection des Plantes /European and Mediterranean Plant Protection Organization Bulletin* 49: 374-379.

- |
- El Aalaoui M., Bouharroud, R., Sbaghi, M., El Bouhssini, M., & Hilali, L., & Dari, K. 2019b. Natural enemies associated with *Dactylopius opuntiae* (Cockerell) (Hemiptera: Dactylopiidae) in Morocco and their population fluctuations. *Revue Marocaine des Sciences Agronomiques et Vétérinaires* 7: 391-396.
- Flores-Alatorre H. L., Abrego-Reyes, V., Reyes-Esparza, J. A., Angeles, E., & Alba-Hurtado, F. 2014. Variation in the concentration of carminic acid produced by *Dactylopius coccus* (Hemiptera: Dactylopidae) at various maturation stages. *Journal of Economic Entomology* 107: 1700-1705.
- Gilreath E. M. & Smith J.W. 1987. Bionomics of *Dactylopius confusus* (Homoptera: Dactylopiidae): exclusion and subsequent impact on *Opuntia* (Cactaceae). *Environmental Entomology* 17:730-738.
- Mann J. 1969. Cactus-feeding insects and mites. Smithsonian Institution Government Printing Office Washington. United States Natural Museum Bulletin 256: 1-158.
- Mazzeo G., Nucifora, S., Russo, A., & Suma, P. 2019. *Dactylopius opuntiae*, a new prickly pear cactus pest in the Mediterranean: an overview. *Entomologia Experimentalis et Applicata* 167: 59–72.
- Mendel Z., Protasov A., Vanegas-Rico J. M., Lomeli-Flores J. R., Pompeo S., & Rodríguez-Leyva E. 2019. Classical and fortuitous biological control of the prickly pear cochineal *Dactylopius opuntiae* in Israel. *Biological Control*, BICO-2019-389, *in review* 22-11-2019.
- Portillo L., & Viguera, A. L. 2006. A review on the cochineal species in México, Host and natural enemies. Proceedings of the V International Congress on cactus pear and cochineal. *Acta Horticulturae* 728: 249–255.

- Ramírez A. S., Santana, O. N., y Solís, A. F. F. 2013. Biología de *Hyperaspis trifurcata* Schaeffer (Coleoptera: Coccinellidae) en condiciones de laboratorio. *Dugesiana* 20: 99-103.
- Rodríguez-Leyva E., Lomelí-Flores J. R., y Vanegas-Rico J. M. 2010. Enemigos naturales de la grana cochinilla del nopal *Dactylopius coccus* Costa (Hemiptera: Dactylopiidae), pp. 101-112. *In*: Portillo L., Viguera A. L. (eds). Conocimiento y aprovechamiento de la grana cochinilla. Colegio de Postgraduados. Estado de México, México.
- SAS Institute. 2017. SAS/OR 9.4 User's Guide: Mathematical Programming Examples. SAS institute.
- Vanegas-Rico J. M., Lomelí-Flores, J. R., Rodríguez-Leyva, E., Mora-Aguilera, G. & Valdez, J. M. 2010. Natural enemies of *Dactylopius opuntiae* (Cockerell) on *Opuntia ficus-indica* (L.) Miller in Central Mexico. *Acta Zoológica Mexicana* (n.s.) 26: 415-433.
- Vanegas-Rico J. M., Rodríguez-Leyva E., Lomelí-Flores J. R., González-Hernández H., Pérez-Panduro A., & Mora-Aguilera G. 2016. Biology and life history of *Hyperaspis trifurcata* feeding on *Dactylopius opuntiae*. *BioControl* 61: 691-701.
- Vanegas-Rico J. M., Pérez-Panduro A., Lomelí-Flores J. R., Rodríguez-Leyva E., Valdez-Carrasco J. M., & Mora-Aguilera G. 2017. *Dactylopius opuntiae* (Hemiptera: Dactylopiidae) Population fluctuations and predators in Tlalnepantla, Morelos. *Folia Entomológica Mexicana* (n.s.) 3: 23-31.

CONCLUSIONES GENERALES

El tiempo de desarrollo del coccinélido *Hyperaspis trifurcata* se completó en 36.2 ± 0.26 días con la presa con una concentración de ácido carmínico menor (*D. opuntiae*); éste se incrementó en tres días al alimentarse con *D. coccus*, que presentó mayor concentración de ácido carmínico. La supervivencia (65.4% versus 42.3%), fecundidad (123.3 ± 7.65 versus 28.2 ± 2.57) y fertilidad ($90.7 \pm 0.81\%$ versus $74.4 \pm 1.27\%$) de este coccinélido también fueron influenciadas por el tipo de presa, y resultaron más favorables al alimentarse de *D. opuntiae*.

Los parámetros poblacionales obtenidos en ambas dietas presentaron diferencia, la tasa neta de reproducción (40.0 vs 6.0), tasa intrínseca de crecimiento natural (0.071 vs 0.035) y el tiempo para duplicar la población (9.7 vs 19.8) fueron mayores cuando el depredador se alimentó con *D. opuntiae*.

La concentración de ácido carmínico tuvo un patrón de incremento positivo conforme se desarrollaron las dos especies de cochinillas. La menor concentración de ácido carmínico, sin diferencia entre tratamientos, se presentó en ninfas de primer ínstar. A partir del segundo ínstar las diferencias fueron evidentes (2.0% versus 8.9%), y extremas en el estado adulto (3.1 versus 23.5%).

H. trifurcata no mostró preferencia por el consumo de ninfas de primer ínstar de cualquiera de las dos especies de presas. No obstante, tuvo una preferencia marcada por consumir hembras grávidas de *D. opuntiae* en vez de *D. coccus*; éste fue el estado de desarrollo donde las diferencias en la concentración de ácido carmínico entre presas, resultaron más marcadas.

Las concentraciones altas de ácido carmínico en una especie de presa (*D. coccus*), o precursores de esta sustancia, tuvieron un efecto adverso en el desarrollo y parámetros demográficos de *H. trifurcata*. Con el diseño de los experimentos se hicieron observaciones cualitativas que sugieren la necesidad de seguir estudiando el efecto de la cera o el tamaño de las presas como otros factores que pueden afectar el desarrollo, y el potencial de regulación de esas presas por este depredador.

|

La disminución aparente de las aptitudes biológicas de *H. trifurcata* al consumir *D. coccus* deben continuarse estudiando y entendiendo. Esta información será indispensable para poder tomar decisiones que contribuyan a utilizar de mejor manera a este enemigo natural en México y en los países de la cuenca del Mediterráneo que deseen introducirlo, o incluso si pudiera tener algún valor para contribuir a la regulación de *D. coccus* en Etiopía.

.