

Demographic statistics of *Dactylopius opuntiae* Cockerell (Hemiptera: Dactylopiidae) under greenhouse conditions

Estadísticos demográficos de *Dactylopius opuntiae* Cockerell (Hemiptera: Dactylopiidae) en condiciones de invernadero

Patricia E. López-Rodríguez¹; Santiago de Jesús Méndez-Gallegos^{1*}; Gildardo Aquino-Pérez¹; Jaime Mena-Covarrubias²; Juan M. Vanegas-Rico³

¹Colegio de Postgraduados, Campus San Luis Potosí, Posgrado de Innovación en Manejo de Recursos Naturales, Iturbide núm. 73, Salinas de Hidalgo, San Luis Potosí, México. C. P. 78622.

²Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Programa de Entomología, Campo Experimental Zacatecas, Apartado Postal núm. 18, Calera de Víctor Rosales, Zacatecas, México. C. P. 98500.

³Colegio de Postgraduados, Programa de Entomología y Acarología, Campus Montecillo, Texcoco, Estado de México, México. C. P. 56230.

*Corresponding author: jmendez@colpos.mx

Abstract

In Mexico and other countries, the wild cochineal (*Dactylopius opuntiae*) is considered the main insect pest of cactus pear (*Opuntia* spp.) plantations due to severe damage and economic losses. Studies about the biology, behavior and population growth of this species have been carried out in many countries; however, in Mexico, research work on these topics are scarce although it is socioeconomically important. The aim of this study was to estimate the survival and reproduction parameters of *D. opuntiae* under semicontrolled conditions. This information can be used to design management tactics for reducing its harmful effects. In order to know the life cycle and population parameter estimates of *D. opuntiae*, cohorts were set up on individual cladodes of *Opuntia ficus-indica* (L.) Miller variety Villanueva. Cohorts were carefully monitored from August to December 2017, in order to estimate the life cycle duration. Survival (l_x), sex ratio (φ/σ) and fertility of adult females (m_x) were also recorded. The net reproduction rate (R_0) based on the number of female newborns per female was 26.09, the life span was calculated in 63.61 days, and the intrinsic rate of population growth (r_m) was 0.05 females per day. Based on these results, it was concluded that the reproductive potential of *D. opuntiae* allows it to colonize the plant rapidly; therefore, the wild cochineal may be an insect pest of economic importance in areas where the genus *Opuntia* is wild or cultivated.

Keywords: Cactus pear, insect pests, fertility and life tables.

Resumen

A nivel nacional e internacional, la cochinilla silvestre *Dactylopius opuntiae* es considerada el enemigo principal del nopal (*Opuntia* spp.) debido a los daños severos y a las pérdidas económicas que ocasiona. En otros países se han realizado estudios para conocer su biología, comportamiento y crecimiento poblacional; pero a pesar de su importancia socioeconómica, en México se han realizado pocas investigaciones sobre esta especie. El objetivo de este estudio fue estimar la supervivencia y reproducción de *D. opuntiae* en condiciones semicontroladas, a fin de generar información básica que permita implementar una estrategia de manejo y reducir su impacto nocivo. Para conocer el ciclo de vida y determinar los parámetros poblacionales de *D. opuntiae* se establecieron cohortes en cladodios individuales de *Opuntia ficus-indica* cv. Villanueva; éstas se monitorearon de agosto a diciembre del 2017. Durante su ciclo de desarrollo se registraron supervivencia (l_x), proporción sexual φ/σ y fertilidad de hembras adultas (m_x). Los resultados mostraron que la tasa neta de reproducción (R_0) fue de 26.09, expresada en el número de hembras recién nacidas por hembra; el tiempo de generación (T) fue de 63.61 d y la tasa intrínseca de crecimiento poblacional (r_m) fue de 0.05 hembras·d⁻¹. Esta estrategia reproductiva y otras características permiten a *D. opuntiae* colonizar rápidamente la planta; debido a ello, la especie puede ser un fitófago de importancia económica en zonas donde el género *Opuntia* es silvestre o cultivo.

Palabras clave: Nopal, plagas, tablas de vida y fertilidad.

Please cite this article as follows (APA 6): López-Rodríguez, P. E., Méndez-Gallegos, S. J., Aquino-Pérez, G., Mena-Covarrubias, J., & Vanegas-Rico J. M. (2018). Demographic statistics of *Dactylopius opuntiae* Cockerell (Hemiptera: Dactylopiidae) under greenhouse conditions. *Revista Chapingo Serie Zonas Áridas*, 17(2), 31-42. doi: 10.5154/r.rchsa.2018.05.012



Revista Chapingo
Serie Zonas Áridas

Introduction

The cactus pear (*Opuntia* spp.) is a plant resource widely distributed in the Americas (Anderson, 2001; Griffith, 2004). This species has socioeconomic, forage, food, environmental, pharmacological and industrial importance (Torres-Ponce, Morales-Corral, Ballinas-Casarrubias & Nevárez, 2015). Cactus pear production, particularly of the species *Opuntia ficus-indica* (L.) Mill., has spread to the five continents and is currently present in more than 30 countries, where it is cultivated for different purposes (Ochoa & Barbera, 2017). In Mexico, the center of origin and domestication of *O. ficus-indica* (Kiesling, 1999), an area of 47,632 ha is dedicated to the commercial production of fruits ("cactus fruits") and 12,620 ha to obtain young cladodes ("nopalitos") that are consumed as vegetables (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera [SIAP], 2016).

Insect pests are an important biotic limiting factor on commercial cactus pear production; among these, the insect known as the "wild cochineal" (*Dactylopius opuntiae* [Cockerell]) stands out for its wide distribution, voracity and recorded biotypes. This species originated in Mexico (Carneiro-Leão, Vieira Tiago, Vieira Medeiros, Costa, & Tinti de Oliveira, 2017); and it is distributed in more than 20 states infesting 15 species of cacti (Chávez-Moreno, Tecante, Casas & Claps, 2011). This species has been recorded in at least 19 countries (Chávez-Moreno, Tecante & Casas, 2009); in several of them it is reported as a primary pest of cactus pear crops (Vanegas-Rico, Lomeli-Flores, Rodríguez-Leyva, Mora-Aguilera & Valdez, 2010), for fruit (Mena-Covarrubias, 2013) and forage production (Lopes, Brito, Albuquerque & Batista, 2009).

The feeding of *D. opuntiae* causes chlorosis, necrosis and malformations; in addition, it facilitates the entry of infectious agents (rots), and even the death of plants with severe infestations (Badii & Flores, 2001; Rodrigo, Catalá-Oltra & Granero, 2010; González, García, Olguín, Rivera & Martínez, 2016; Vanegas-Rico et al., 2010); this causes direct losses due to the reduction of productivity and the cost of inputs used for its control. Wild cochineal infestations on cactus pear plots in the northwest of Brazil on more than 100,000 ha, economic losses greater than 25 million dollars had been reported (Lopes et al., 2009), and they were attributed to destructive capacity, speed of dispersion and high biotic potential of *D. opuntiae*, in addition to the absence of integral management programs.

Understanding the biotic potential of an insect pest is vital for the development and implementation of integrated management strategies. Therefore, the development of life tables is a cornerstone to gather information about the behavior of a pest population under different conditions. Such as, the campaign

Introducción

El nopal (*Opuntia* spp.) es un recurso vegetal ampliamente distribuido en el continente americano (Anderson, 2001; Griffith, 2004). Esta especie tiene importancia socioeconómica, forrajera, alimenticia, ambiental, farmacológica e industrial (Torres-Ponce, Morales-Corral, Ballinas-Casarrubias & Nevárez, 2015). La producción del nopal, particularmente de la especie *Opuntia ficus-indica* (L.) Mill., se ha extendido a los cinco continentes y actualmente está presente en más de 30 países, donde se cultiva con diferentes fines (Ochoa & Barbera, 2017). En México, centro de origen y domesticación de *O. ficus-indica* (Kiesling, 1999) se destina una superficie de 47,632 ha para la producción comercial de frutos ("tunas") y 12,620 ha para obtención de cladodios jóvenes ("nopalitos") que se consumen como hortaliza (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera [SIAP], 2016).

Las plagas representan una limitante biótica importante en la producción comercial de nopal; entre éstas, el insecto conocido como "cochinilla silvestre del nopal" (*Dactylopius opuntiae* [Cockerell]) destaca por su amplia distribución, voracidad y biotipos registrados. Esta es una especie originaria de México (Carneiro-Leão, Vieira Tiago, Vieira Medeiros, Costa, & Tinti de Oliveira, 2017); donde se encuentra distribuida en más de 20 estados infestando 15 especies de cactáceas (Chávez-Moreno, Tecante, Casas & Claps, 2011). Esta especie ha sido registrada en al menos 19 países (Chávez-Moreno, Tecante & Casas, 2009); en varios de ellos se le reconoce como plaga primaria de cultivos de nopalito (Vanegas-Rico, Lomeli-Flores, Rodríguez-Leyva, Mora-Aguilera & Valdez, 2010), fruto (Mena-Covarrubias, 2013) y forraje (Lopes, Brito, Albuquerque & Batista, 2009).

La alimentación de *D. opuntiae* provoca clorosis, necrosis y malformaciones; además, facilita la entrada de agentes infecciosos (pudriciones), e incluso, la muerte de las plantas con infestaciones severas (Badii & Flores, 2001; Rodrigo, Catalá-Oltra & Granero, 2010; González, García, Olguín, Rivera & Martínez, 2016; Vanegas-Rico et al., 2010); esto causa pérdidas directas por la reducción de la productividad y el costo de los insumos usados en su control. Estimaciones hechas en parcelas de nopal en el noroeste de Brasil sugieren daños en más de 100,000 ha que representan pérdidas económicas mayores a 25 millones de dólares (Lopes et al., 2009), atribuidas a la capacidad destructiva, velocidad de dispersión y alto potencial biótico, además de ausencia de programas integrales de manejo de *D. opuntiae*.

El conocimiento del potencial biótico de un insecto plaga es vital en la implementación de estrategias de manejo integrado. Para ello, el desarrollo de tablas de vida es un aspecto necesario, como parte de una estrategia para conocer el comportamiento de una población del

of the hibiscus pink cochineal *Maconellicoccus Hirsutus* (Green) is an example of success in the implementation of this strategy (Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria [SENASICA], 2013).

There are a few studies on biology and life tables of dactylopid, like those carried out with South American species (Moran & Cobby, 1979; Hosking 1984; Sullivan, 1990), Nearctic species (Gilreath & Smith, 1987) and species of commercial importance such as the case of *D. coccus* (Méndez-Gallegos, Vera-Graziano, Bravo-Mojica & López-Collado, 1993; Rodrigo, Catalá-Oltra, & Granero, 2010; Zhang, 2017). Also, there are few detailed studies on *D. opuntiae* under greenhouse conditions (e.g. Flores-Hernández et al., 2006; Romero-López et al., 2006); and a study under controlled conditions (i.e. Palafox-Luna, Rodríguez-Leyva, Lomelí-Flores, Vigueras-Guzmán & Vanegas-Rico, 2018). Due to the lack of detailed studies on the basic biology of *D. opuntiae* as a primary pest of cactus pear in northern central Mexico, the objective of this study was to estimate the survival and reproduction of *D. opuntiae* under semi-controlled conditions, in order to generate information that would allow the implementation of a management strategy, and reduce its harmful impact.

Materials and methods

Study area

The study took place at the facilities of the Colegio de Postgraduados *Campus* San Luis Potosí, Salinas de Hidalgo, San Luis Potosí, Mexico (22° 37' 55.66" N, 101° 42' 42.96" W, at an altitude of 2,078 m), from August to December 2017. The study was carried out under semi-controlled greenhouse conditions (22.1° C \pm 3.4 with limits between 13.8 and 30° C, and relative humidity = 53.7%). Daily temperature and relative humidity were recorded using a sensor (HOBO Pro v2 temp/RH onset, USA).

D. opuntiae breeding

The breeding of this insect was developed on six months old cladodes of *O. ficus-indica* cv. Villanueva (40 x 20 cm, approximately); these were obtained from an experimental orchard belonging to the same Campus. All cladodes were carefully cleaned to remove dust and spines and to avoid the presence of any natural enemy of *D. opuntiae*. The plant material was placed inside a greenhouse to allow the healing of the cladodes. Then, cladodes were placed in pots with wet soil to keep them fresh, as suggested by Vanegas-Rico et al. (2016). Once the reproductive stage of *D. opuntiae* colonies was reached, infestation was carried out using the "infesting plant" technique that consisted of placing individual cladodes on top of infested rooted plants, so migrant nymphs colonize them (Figure 1). After 24

organismo plaga en diferentes condiciones, mediante la generación de estadísticos y a través de un tiempo determinado; actualmente, la campaña de la cochinilla rosada del hibisco *Maconellicoccus Hirsutus* (Green) es un ejemplo de éxito en la implementación de dicha estrategia (Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria [SENASICA], 2013).

Entre los pocos trabajos sobre biología y tablas de vida de dactilópodos se pueden mencionar algunos realizados con especies sudamericanas (Moran & Cobby, 1979; Hosking 1984; Sullivan, 1990), especies neárticas (Gilreath & Smith 1987) y especies de importancia comercial como el caso de *D. coccus* (Méndez-Gallegos, Vera-Graziano, Bravo-Mojica & López-Collado, 1993; Rodrigo, Catalá-Oltra, & Granero, 2010; Zhang, 2017). Sobre *D. opuntiae* existen estudios poco detallados en condiciones de invernadero (e.g. Flores-Hernández, et al., 2006; Romero-López, et al., 2006); también se cuenta con un trabajo en condiciones controladas (i.e. Palafox-Luna, Rodríguez-Leyva, Lomelí-Flores, Vigueras-Guzmán & Vanegas-Rico, 2018). Debido a que, hasta el momento no se han desarrollado estudios detallados sobre la biología básica de *D. opuntiae*, plaga primaria del nopal en el centro de México, el objetivo de este estudio fue estimar la supervivencia y reproducción de *D. opuntiae* en condiciones semicontroladas, a fin de generar información que permita implementar una estrategia de manejo y reducir su impacto nocivo.

Materiales y métodos

Área de estudio

La investigación se realizó en las instalaciones del Colegio de Postgraduados *Campus* San Luis Potosí, Salinas de Hidalgo, San Luis Potosí, México (22° 37' 55.66" N, 101° 42' 42.96" O, a una altitud de 2,078 m), durante el periodo de agosto a diciembre de 2017. El estudio se desarrolló en condiciones semicontroladas de invernadero (22.1° C \pm 3.4 con límites entre 13.8 a 30° C y humedad relativa = 53.7 %). Temperatura y humedad relativa diarias, se registraron al usar un sensor (HOBO Pro v2 temp/RH onset, USA).

Cría de *D. opuntiae*

La cría de este insecto se desarrolló sobre cladodios de *O. ficus-indica* cv. Villanueva de seis meses de edad (40 x 20 cm, aproximadamente); éstos se obtuvieron de una huerta experimental perteneciente al mismo *Campus*. Todos los cladodios se limpiaron cuidadosamente para eliminar polvo y espinas y evitar la presencia de cualquier enemigo natural de *D. opuntiae*. El material vegetal se colocó dentro de un invernadero para permitir la cicatrización de los cladodios. Posteriormente, éstos se colocaron en macetas para mantener una cría, de acuerdo con lo sugerido por Vanegas-Rico, et al. (2016).



Figure 1. Infestation process of cladodes of *Opuntia ficus-indica* cv. Villanueva with *Dactylopius opuntiae* by means of “infesting plant”. Salinas de Hgo., San Luis Potosí, Mexico.

Figura 1. Proceso de infestación de cladodios de *Opuntia ficus-indica* cv. Villanueva con *Dactylopius opuntiae* mediante “planta infestadora”. Salinas de Hgo., San Luis Potosí, México.



Figure 2. Cladode placing and isolation of *Opuntia ficus-indica* cv. Villanueva infested with *Dactylopius opuntiae*, for monitoring. Salinas de Hgo, San Luis Potosí, Mexico.

Figura 2. Acomodo y confinamiento de cladodios de *Opuntia ficus-indica* cv. Villanueva infestadas con *Dactylopius opuntiae*, para su monitoreo. Salinas de Hgo., San Luis Potosí, México.

hours of exposure, the infested cladodes were removed and placed in a wooden box, covered with a fine mesh to prevent the entry of natural enemies (Figure 2).

Life table and reproduction of *D. opuntiae*

The study was conducted with a cohort of 404 first instar nymphs of 24 h of age, and newly established in the cut cladodes. To facilitate monitoring, an area of 10 x 10 cm was delimited for each cladode. Survival was estimated using the initial population of individuals established within this area; the living organisms were counted with an aid of a 40X magnifying glass every third day in order to record the duration of each development stage (d) based on the insect molted skins.

At the beginning of the oviposition period, a 100 cm² area of each cladode was cut and placed in Petri dishes. Each (mated female full of eggs) adult female of *D. opuntiae* was regarded as an experimental unit (n=85). The number of eggs or nymphs produced during two times of the day (10:00 am and 18:00 pm) were counted using the microscope (Leica KL200 LED). Nymphs were removed with a fine bristle brush after counting.

Population growth parameters

The specific fecundity (m_x) of *D. opuntiae* was obtained with the number of daily nymphs produced by females

Una vez que inició la etapa reproductiva de las colonias de *D. opuntiae* colectadas, se realizó la infestación mediante la técnica de “planta infestadora”. Esta consiste en colocar cladodios individuales encima de plantas enraizadas, con la finalidad de que las ninfas migrantes las colonicen (Figura 1). Después de 24 h de exposición, los cladodios infestados se retiraron y se colocaron en una caja de madera, cubriéndose con una malla fina para evitar el ingreso de enemigos naturales (Figura 2).

Tabla de vida y reproducción de *D. opuntiae*

El estudio se realizó con una cohorte de 404 ninfas I de 24 h de edad y recién establecidas en los cladodios cortados. Para facilitar su monitoreo, se delimitó para cada cladodio una superficie de 100 cm² (10 x 10 cm). La supervivencia se estimó con la población de individuos establecidos dentro de esta área; los organismos vivos se contaron con el apoyo de una lupa 40X, cada tercer día, registrando la duración de cada uno de los estados de desarrollo (d) mediante la observación de las mudas.

Al iniciar el periodo de oviposición, un área de cada cladodio (100 cm²) se diseccionó. Las secciones se colocaron en cajas Petri. Cada hembra adulta oviplena de *D. opuntiae* se consideró como unidad experimental (n=85). Con el uso del microscopio (Leica KL200 LED) se cuantificó el número de huevos o ninfas producidos

(Duarte, et al., 2011). These data were combined with survival and number of live insects per age interval (x) to generate survival and fecundity tables, according to the following population parameters estimated:

Net reproduction rate (R_o), defined as the number of newborn females per female (Krebs, 1978).

$$R_o = \sum (l_x \times m_x);$$

Generational time of the cohort (T), according to Pool (1974) as the period from the time an individual is born until it gives birth to the offspring.

$$T = \sum (l_x m_x X) / R_o$$

Intrinsic rate of natural population growth (r_m), referred to as the number of females per female, per unit of time (Pool, 1974).

$$r_m = \ln (R_o) / T$$

Finite rate of growth (λ), defined by Krebs (1978), as the number of times the population multiplies.

$$\lambda = \exp (r_m)$$

Population doubling time (TD), considered as the number of days required by a population to double in size.

$$TD = \ln 2 / (r_m)$$

Data analysis

The information obtained was analyzed through the non-parametric model of demographic techniques with the Excel program, according to the method described by Cuellar (2001) and Vera, Pinto, López, & Reyna (2002).

Results and discussion

Biology and development of *D. opuntiae*

The development time in days (d) of *D. opuntiae* on cut cladodes, and under greenhouse conditions, was 72 ± 4.6 d for females and 40 ± 2.3 d for males. *D. opuntiae* has two nymphal instars, whose total duration was 37 ± 3.3 d. The length of first nymphal instar was 14 d, a period that included a migrant (5 d) and a settled phase (9 d). The only stage of dactylopid dispersion occurs with the migrant nymph stage (Moran, Gunn & Walter, 1982; Foxcroft & Hoffmann, 2000). Their ability to move allows them to expand their distribution, and also, to select a suitable site to settle on the cladodes; once their host plant is located, they insert their

durante dos periodos del día (10:00 am y 18:00 pm). Las crías eclosionadas se retiraron con un pincel de cerdas finas después del conteo.

Parámetros de crecimiento poblacional

La fecundidad específica (m_x) de *D. opuntiae* se obtuvo con el número de ninfas diarias producidas por hembra (Duarte, et al., 2011). Dichos datos se conjuntaron con la tabla de vida: supervivencia y número de insectos vivos por intervalo de edad (x) para generar tablas de supervivencia y fecundidad de acuerdo a los siguientes parámetros poblacionales calculados:

Tasa neta de reproducción (R_o), definida como el número de hembras recién nacidas por hembra (Krebs, 1978).

$$R_o = \sum (l_x \times m_x);$$

Tiempo generacional de la cohorte (T), considerado de acuerdo con Pool, (1974) como el tiempo que transcurre desde que nace un individuo hasta que da origen a la descendencia.

$$T = \sum (l_x m_x X) / R_o$$

Tasa intrínseca de crecimiento natural de la población (r_m), referida como el número de hembras, por hembra, por unidad de tiempo (Pool, 1974).

$$r_m = \ln (R_o) / T$$

Tasa finita de crecimiento (λ), definida por Krebs (1978), como el número de veces que la población se multiplica sobre sí misma.

$$\lambda = \exp (r_m)$$

Tiempo de duplicación de la población original (TD), considerado como el número de unidades de tiempo requerido por una población para duplicarse en número.

$$TD = \ln 2 / (r_m)$$

Análisis de datos

La información obtenida se analizó a través del modelo no paramétrico de técnicas demográficas con el programa Excel, de acuerdo con el método descrito por Cuéllar (2001) y Vera, Pinto, López, y Reyna (2002).

Resultados y discusión

Biología y desarrollo de *D. opuntiae*

El tiempo de desarrollo (d) de *D. opuntiae* en cladodios cortados y en condiciones de invernadero fue de

stiletos and remain in the same site during all their development.

In general, the development periods showed in this study were similar to those recorded by other authors (Flores-Hernández et al., 2006; Romero-López et al., 2006). The development of dactylopiids may be influenced by abiotic factors such as temperature (Méndez-Gallegos et al., 1993) and relative humidity (Zhang, 2017) or biotic factors such as host type (Méndez-Gallegos, Tarango-Arámbula, Carnero, Tiberi & Díaz-Gómez, 2010) and nutritional condition (Coronado-Flores, Tornero-Campante, Núñez-Tovar, Jaramillo-Villanueva & Méndez-Gallegos, 2015).

The development time of *D. opuntiae* in this study was twice as long as the one recorded by Palafox-Luna et al. (2018); which may be related to their rearing conditions under constant temperature and humidity inside a bioclimatic chamber, as well as the cultivar of cactus pear used. The quality of nutrients may vary among different species and cultivars of cactus pear, which have physical-chemical, physiological and anatomical characteristics, which may result in potential susceptibility, resistance or tolerance to insects (Méndez-Gallegos et al., 2010; Soares da Silva et al., 2010). In this sense, studies on biotic aspects of *D. opuntiae* have involved different species such as *Opuntia megacantha* (Flores-Hernández et al., 2006; Romero-López et al., 2006), *O. ficus-indica* (L.) Mill. cv Atlixco (Palafox-Luna et al., 2018; (Vanegas-Rico, 2018 personal communication), while in this study cladodes of *O. ficus-indica* cv Villanueva were used. The variability of hosts used in these studies occurs as a function of the type of crop of regional economic interest; therefore it is possible that this could influence the results. Finally, *D. opuntiae* may have specificity for a host depending on the reproductive female (Volchansky, Hoffmann & Zimmermann, 1999) because such behavior has been reported in the species *D. tomentosus* (Matthenge et al., 2009).

The climatic conditions of central northern Mexico present a period of eight months favorable for the development of these insects, and based on this study up to 5 generations of *D. opuntiae* could be obtained per year; this gives an idea of the wild cochineal potential reproductive capacity and the difficulty for controlling it when overlapping generations are growing simultaneously.

Survival and fecundity of *D. opuntiae*

The survival curve of *D. opuntiae* corresponds to Type IV, according to the Rabinovich classification (1980); this is characterized by the presence of high natural mortality in early stages of development (Figure 3). Figure 3

72 \pm 4.6 para hembras y 40 \pm 2.3 para machos; la proporción sexual fue 1:3 (hembra:macho). *D. opuntiae* presenta dos instares ninfales, cuya duración conjunta fue 37 \pm 3.3 d. La duración del instar ninfal I fue de 14 d, periodo que incluye una fase móvil (5 d) y una fase fija (9 d). La única etapa de dispersión de los dactilópodos ocurre solo en este instar (Moran, Gunn & Walter, 1982; Foxcroft & Hoffmann, 2000). Su capacidad para desplazarse les permite ampliar su distribución y también seleccionar un sitio adecuado para establecerse en los cladodios; una vez localizada su planta huésped, éstos insertan sus estiletes y a partir de ahí permanecerán durante todo su desarrollo en el mismo sitio.

En general, los tiempos de desarrollo evidenciados en este trabajo resultaron similares a los registrados por otros autores (Flores-Hernández et al., 2006; Romero-López et al., 2006). El desarrollo de los dactilópodos puede estar influenciado por factores abióticos tales como temperatura (Méndez-Gallegos et al., 1993) y humedad relativa (Zhang, 2017) o bióticos como tipo de hospedante (Méndez-Gallegos, Tarango-Arámbula, Carnero, Tiberi & Díaz-Gómez, 2010) y su estado nutricional (Coronado-Flores, Tornero-Campante, Núñez-Tovar, Jaramillo-Villanueva & Méndez-Gallegos, 2015).

En este estudio se obtuvo una duración mayor (100 %) a la registrada por Palafox-Luna et al. (2018) sobre *D. opuntiae*; lo que puede estar relacionado a las condiciones constantes de temperatura y humedad dentro de una cámara bioclimática, así como al tipo de nopal usado. La calidad de nutrientes puede variar entre las distintas especies y cultivares de nopal, las cuales tienen características físico-químicas, fisiológicas y anatómicas que pueden resultar en una potencial susceptibilidad, resistencia o tolerancia a los insectos (Méndez-Gallegos et al., 2010; Soares da Silva, et al., 2010). En este sentido, los estudios sobre aspectos bióticos de *D. opuntiae* han involucrado diferentes especies tales como *Opuntia megacantha* (Flores-Hernández et al., 2006; Romero-López et al., 2006), *O. ficus-indica* (L.) Mill. cv Atlixco (Palafox-Luna et al., 2018; (Vanegas-Rico, 2018 comunicación personal), mientras que en este estudio se usaron cladodios de *O. ficus-indica* cv Villanueva. La variabilidad de hospedantes usados en estos trabajos ocurre en función del tipo de cultivo de interés económico regional; por lo que es posible que esto pudiera influir en los resultados. Sin embargo, hasta el momento no existe un trabajo donde se combinen distintas especies o cultivares de nopal y con diferentes colonias de origen de *D. opuntiae*; sobre todo, al considerar que *D. opuntiae* puede tener especificidad por un hospedante en función del origen del pie de cría (Volchansky, Hoffmann & Zimmermann, 1999). Dicho comportamiento también se registró en la especie *D. tomentosus* (Matthenge, et al., 2009).

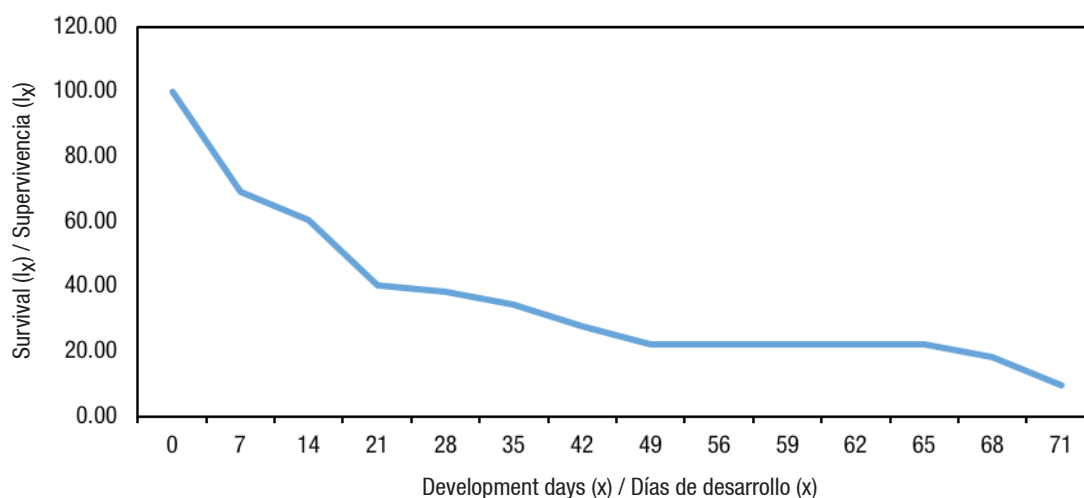


Figure 3. Weekly records of survival of *Dactylopius opuntiae* in cut cladodes of *Opuntia ficus-indica* under semi-controlled conditions. Salinas de Hgo., San Luis Potosí, Mexico, 2017.

Figura 3. Registros semanales de fecundidad y supervivencia de *Dactylopius opuntiae* en cladodios cortados de *Opuntia ficus-indica* en condiciones semicontroladas. Salinas de Hgo., San Luis Potosí, México, 2017.

shows a more pronounced drop in the curve during the first 20 days of the cycle, where the mortality of *D. opuntiae* is almost 40 %. Zhang (2017) recorded that in *D. coccus* this value can be 70 %. Mortality is reduced as the development cycle progresses up to 13 % in nymph II and 5 % in the adult stage, until it stabilizes at reproductive maturity. This trend is associated with the fragility of migrant nymphs that are easily detached and the absence of waxy protection, which is generated as the insect develops (Rodrigo et al., 2010).

The life table for *D. opuntiae* females developed in cladodes of *O. ficus-indica* cv. Villanueva shows that the probability of survival (l_x), from infestation to the adult stage was 32 %; that is, 32 individuals out of every 100 of the initial population reach the adult stage. For the same species, female survival values of 46.5 % have been recorded at a constant temperature of 22.5° C (Hosking, 1984), to 66 % (Romero-López et al., 2006) and 53 % (Palafox et al., 2018). Moreover, a value lower than the probability of survival estimated in this study (19 %) in *O. ficus-indica* was reported by De Souza & Hoffman (2015). For *D. austrinus*, survival values of 80% were obtained at the beginning of reproduction at constant temperatures of 22.5° C (Sullivan, 1990); also, Méndez-Gallegos et al. (1993) recorded a survival probability of 58 % for *D. coccus* at constant temperatures of 20° C.

The sexual ratio of *D. opuntiae* was 1:3 (female:male). The preoviposition period in *D. opuntiae* had a duration of 17 d; moreover, the beginning of the reproductive stage occurred from day 56 after its establishment and lasted 17 days, on average (Figure 4). Palafox et al. (2018) indicate that this can be extended up to 4 weeks. Rodrigo et al. (2010) recorded the beginning of reproduction of

Las condiciones climáticas del centro norte de México presentan un periodo de ocho meses favorables para el desarrollo de estos insectos, por lo que se estima que se podrían presentar hasta 5 generaciones de *D. opuntiae* al año; esto brinda una idea de su capacidad potencial de reproducción y la dificultad que conlleva su control cuando se desarrollan generaciones traslapadas.

Supervivencia y fecundidad de *D. opuntiae*

La curva de supervivencia de *D. opuntiae* corresponde al Tipo IV, de acuerdo con la clasificación de Rabinovich (1980); ésta se caracteriza por la presencia de una mortalidad natural alta en etapas tempranas de desarrollo (Figura 3). En la figura ocurre una caída más acentuada de la curva durante los primeros 20 días del ciclo, donde la mortalidad de *D. opuntiae* es de casi 40 %. Zhang (2017) registró que en *D. coccus* este valor puede ser de 70 %. La mortalidad se reduce conforme avanza el ciclo de desarrollo hasta 13 % en ninfa II y 5 % en el estado adulto hasta estabilizarse al llegar a la madurez reproductiva. Esta tendencia está asociada a la fragilidad de las ninfas migrantes que son fácilmente desprendidas y a la ausencia de la protección cerosa, la cual se genera conforme el insecto se desarrolla (Rodrigo et al., 2010).

La tabla de vida para hembras de *D. opuntiae* desarrolladas en cladodios de *O. ficus-indica* cv. Villanueva muestra que la probabilidad de supervivencia (l_x), desde la infestación al estado adulto fue de 32 %; es decir, 32 individuos de cada 100 de la población inicial llegan al estado adulto. Para la misma especie se han registrado valores de supervivencia de hembras de 46.5 % a una temperatura constante de 22.5° C (Hosking, 1984), de

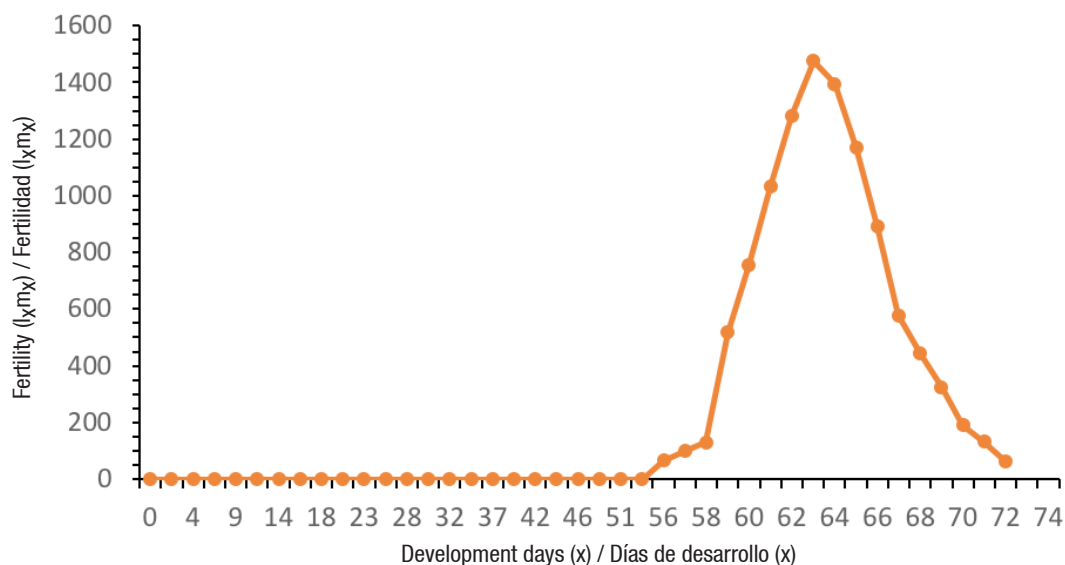


Figura 4. Average fertility curve for females of *Dactylopius opuntiae* (n=85) developed in cladodes of *Opuntia ficus-indica* L (Mill.) under semi-controlled conditions. Salinas de Hgo., San Luis Potosí, Mexico, 2017.

Figura 4. Curva de fecundidad promedio de hembras de *Dactylopius opuntiae* (n=85) desarrolladas en cladodios de *Opuntia ficus-indica* L (Mill.) en condiciones semicontroladas. Salinas de Hgo., San Luis Potosí, México, 2017.

D. opuntiae 51 days after its establishment, but major reproduction was observed 8 days later. During the first week, 5,357 individuals were obtained, reaching the highest values (1,475) on day 63. The highest prolificacy (66 % of nymphs) appeared during the late evening. This can be a strategy to avoid desiccation of the progeny, given the dry conditions where they develop naturally or the presence of negative phototaxy.

The observations showed that *D. opuntiae* has an ovoviviparous reproduction predominantly, since many of the eggs hatch when they are still contained in the oviduct. A similar behavior was recorded by Palafox et al. (2018).

Population parameters of *D. opuntiae*

Population indicators of *D. opuntiae* developed on cladodes of *O. ficus-indica* (L.) Mill. cv. Villanueva are detailed in Table 1. The net reproduction rate (R_0) has a value of 27.07 and a mean generational time (T) of 63.5 d, which indicates that a female of *D. opuntiae* will have 27.07 nymphs during a lifespan of 63.5 d. For the same species, Palafox-Luna et al. (2018) recorded a higher R_0 (290) and lower T (40.9) than those estimated in the present study. At a constant temperature of 22° C, *D. ceylonicus* had $R_0=256$ and $T=109$ d (Sullivan, 1990). The population of *D. opuntiae* developed on cladodes of *O. ficus-indica* cv. Villanueva can double its population size in a period of 14 days.

It is important to emphasize that the r_m value under semi-controlled conditions is limited only to the birth rate and mortality of individuals of *D. opuntiae*. Under

66 % (Romero-López et al., 2006) y de 53 % (Palafox et al., 2018). Asimismo, un valor menor a la probabilidad de supervivencia estimada en este estudio (19 %) en *O. ficus-indica* fue consignado por De Souza & Hoffman (2015). Para *D. austrinus*, se obtuvieron valores de supervivencia de 80 % al inicio de la reproducción a temperaturas constantes de 22.5° C (Sullivan, 1990); asimismo, Méndez-Gallegos et al. (1993) registraron una probabilidad de supervivencia de 58 % para *D. coccus* a temperaturas constantes de 20° C.

El periodo de preoviposición en *D. opuntiae* tuvo una duración de 17 d; asimismo, el inicio de la etapa reproductiva se presentó a partir del día 56 después de su establecimiento y se prolongó 17 días, en promedio (Figura 4). Por su parte, Palafox et al. (2018) señalan que éste se puede extender hasta 4 semanas. Rodrigo et al. (2010) registraron el inicio de la reproducción de *D. opuntiae* a los 51 días después de su establecimiento, pero la reproducción mayor se observó 8 días después. Durante la primera semana se produjeron 5,357 individuos, alcanzando los valores mayores (1,475) el día 63. La prolificidad mayor (66 % de las crías) se presenta durante la tarde-noche. Esto puede ser una estrategia para evitar la desecación de la progenie, dadas las condiciones secas donde se desarrollan naturalmente o bien la presencia de fototaxia negativa.

Las observaciones mostraron que *D. opuntiae* presenta predominantemente una reproducción ovovivípara, dado que muchos de los huevos eclosionan cuando aún se encuentran contenidos en el oviducto. Un comportamiento similar fue registrado por Palafox et al. (2018).

Table 1. Population parameters of *Dactylopius opuntiae* on cladodes of *Opuntia ficus-indica* L. (Mill.) under semi-controlled greenhouse conditions compared to other similar studies.

Cuadro 1. Parámetros poblacionales de *Dactylopius opuntiae* sobre cladodios de *Opuntia ficus-indica* L. (Mill.) en condiciones semicontroladas de invernadero, en comparación con otros estudios similares.

Parameters / Parámetros	López-Rodríguez et al. (2018)	Palafox et al. (2018)*	Sullivan (1990)**
Ro: Net reproduction rate (females·female ⁻¹ ·generation ⁻¹) / Ro: Tasa neta de reproducción (hembras·hembra ⁻¹ ·generación ⁻¹)	26.09	290.1	256
r _m : Natural intrinsic growth rate (females·female ⁻¹ ·day ⁻¹) / r _m : Tasa intrínseca de crecimiento natural (hembras·hembra ⁻¹ ·día ⁻¹)	0.05	0.13	0.05
Λ: Finite rate of increase (females·female ⁻¹) / Λ: Tasa finita de incremento (hembras·hembra ⁻¹)	1.08	1.14	1.056***
T: Generation time (d) / T: Tiempo generacional (d)	63.61	40.9	77
TD: Duplication time (d) / TD: Tiempo de duplicación (d)	14	5.0	12.5
Average female eggs ⁻¹ ·day ⁻¹ / Promedio huevos hembra ⁻¹ ·día ⁻¹	7.37	-	-
Overall average of eggs·female ⁻¹ / Promedio total de huevos·hembra ⁻¹	125.31	567.5	1.390

* Values obtained by Palafox et al. (2018) in females of *Dactylopius opuntiae* using substrate of *Opuntia ficus-indica*.

** Values obtained by Sullivan (1990) in females of *Dactylopius ceylonicus* bred on *Opuntia vulgaris* at a temperature of 22° C.

-Data not submitted.

***Data estimated by the authors.

* Valores obtenidos por Palafox et al. (2018) en hembras de *Dactylopius opuntiae* empleando sustrato de *Opuntia ficus-indica*.

** Valores obtenidos por Sullivan (1990) en hembras de *Dactylopius ceylonicus* criadas sobre *Opuntia vulgaris* a una temperatura de 22° C.

-Datos no presentados.

***Dato calculado por los autores.

normal field conditions, this species is affected by different environmental factors, immigration and emigration, as well as by the appearance of natural enemies that settle in the colonies and prey on different stages of cochineal development, depending on the species of entomophagous (Vanegas-Rico et al., 2010). In this study, the number of females increased at a rate of 0.05 individuals·d⁻¹; this indicates that the population increases 5 % daily. Palafox-Luna et al. (2018) recorded an r_m value of 0.13 almost three times higher than that obtained in this study. Méndez et al. (1993) estimated a value of r_m=0.035 for *D. coccus* at a constant temperature of 20° C. Other species of insects with large reproductive rates, such as aphids, have values of r_m = 0.22 (La Rossa, Vasicek, López, Medy, & Paglioni, 2005).

The net reproduction rate of *D. opuntiae* is 26.09 higher than that of its natural enemies; the presence of parasitoids affecting entomophagous organisms makes control difficult. Such a situation is complicated when the system breaks in with chemical applications.

Parámetros poblacionales de *D. opuntiae*

Los indicadores poblacionales de *D. opuntiae* desarrollada sobre cladodios de *O. ficus-indica* (L.) Mill. cv. Villanueva se detallan en el Cuadro 1. La tasa neta de reproducción (Ro) tiene un valor de 27.07 y un tiempo medio generacional (T) de 63.5 d, lo que indica que la población de *D. opuntiae* se incrementa 27.07 veces cada 63.5 d, Para la misma especie, Palafox-Luna et al. (2018) registraron una Ro mayor (290) y T menor (40.9) que las estimadas en el presente estudio. A una temperatura constante de 22° C, *D. ceylonicus* tuvo Ro=256 y T=109 d (Sullivan, 1990). La población de *D. opuntiae* desarrollada sobre cladodios de *O. ficus-indica* cv Villanueva puede duplicar su población en un periodo de 14 días.

Es importante resaltar que el valor de r_m en condiciones semicontroladas está limitado solamente a la natalidad y mortalidad de los individuos de *D. opuntiae*. En condiciones normales de campo, esta especie es afectada por distintos factores ambientales, inmigración y

Conclusions

The biological cycle duration of *D. opuntiae* females on cladodes of *O. ficus-indica* (L.) Mill. was 72 ± 4.6 d in adult females and 40 ± 2.3 d in adult males with a sexual ratio of 1:3 (females:males). Reproduction began at 56 d and each female could give birth to 7.3 individuals per day for 17 days. The population of *D. opuntiae* under semi-controlled conditions can be increased by $5\% \cdot d^{-1}$,

Acknowledgements

The authors thank Dr. Francisco Javier Morales Flores, Associate Research Professor of the Campus San Luis Potosí, Colegio de Postgraduados, for his valuable collaboration in statistical analysis.

End of English version

References / Referencias

- Anderson, E. F. (2001). *The Cactus Family*. Timber. Portland. 776 p.
- Badii, M. H., & Flores, A. E. (2001). Prickly pear cacti pests and their control in Mexico. *Florida Entomologist*, 84 (4):203-505. Obtenido de <http://www.jstor.org/stable/3496379>
- Cuéllar, M. (2001). Reseña de "Fundamentos y perspectivas de control biológico". In M. H. Badii, A. E. Flores, & L.J. Galán W. (Eds.). Ciencias, Universidad Autónoma de Nuevo León, Monterrey, México, IV(2):226-228. <http://www.redalyc.org/pdf/402/40240217.pdf>
- Carneiro-Leão, M. P, Vieira Tiago, P., Vieira Medeiros, L., Costa, A. F., & Tinti de Oliveira, N. (2017). *Dactylopius opuntiae*: control by the *Fusarium incarnatum-equiseti* species complex and confirmation of mortality by DNA fingerprinting. *Journal of Pest Science*, 90:925-933. doi: 10.1007/s10340-017-0841-4.
- Chávez-Moreno, C. K., Tecante, A., & Casas, A. (2009). The *Opuntia* (Cactaceae) and *Dactylopius* (Hemiptera: Dactylopiidae) in Mexico: a historical perspective of use, interaction and distribution. *Biodivers Conserv.*, 18: 3337. doi.org/10.1007/s10531-009-9647-x.
- Chávez-Moreno, C. K., Tecante, A., Casas, A., & Claps, L. (2011). Distribution and habitat in Mexico of *Dactylopius* Costa (Hemiptera: Dactylopiidae) and their cacti hosts (Cactacea: Opuntioideae). *Neotropical Entomology*, 40(1): 62-71. <http://dx.doi.org/10.1590/S1519-566X2011000100009>.
- Coronado-Flores, V., Tornero-Campante, M. A. Núñez-Tovar, R., Jaramillo-Villanueva, J. L., & 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* (n. s.), 31(2): 183-

emigración, así como por la aparición de enemigos naturales que se establecen en las colonias y depredan en distintos estados de desarrollo de la cochinilla, dependiendo de la especie del entomófago (Vanegas-Rico et al., 2010). En este estudio el número de hembras se incrementó a una tasa de 0.05 individuos·d⁻¹; esto indica que la población se incrementa 5% diariamente. Palafox-Luna et al. (2018) registraron un valor de r_m de 0.13 casi tres veces mayor que el obtenido en esta investigación. Méndez et al. (1993) estimaron un valor de $r_m = 0.035$ para *D. coccus* a una temperatura constante de 20° C. A otras especies de insectos con tasas reproductivas grandes, como los áfidos, corresponden valores de $r_m = 0.22$ (La Rossa, Vasicek, López, Medy, & Paglioni, 2005).

La tasa neta de reproducción de *D. opuntiae* es 26.09 mayor que la de sus enemigos naturales y la presencia de parasitoides que afectan a los entomófagos dificultan su control natural. Tal situación se complica cuando se irrumpe el sistema con aplicaciones de productos químicos.

Conclusiones

La duración del ciclo biológico de las hembras de *D. opuntiae* desarrolladas sobre cladodios de *O. ficus-indica* (L.) Mill. fue de 72 ± 4.6 en hembras adultas y 40 ± 2.3 en machos adultos con una proporción sexual de 1:3 (hembras: machos). El inicio de la reproducción se presentó a partir de los 56 d y cada hembra puede llegar a originar 7.3 individuos por día durante 17 días. La población de *D. opuntiae* en condiciones semicontroladas puede incrementarse $5\% \cdot d^{-1}$, mientras que la población de su depredador conocido (*Hyperaspis trifurcata*) es $6\% \cdot d^{-1}$.

Agradecimientos

Los autores expresan su mayor agradecimiento al Dr. Francisco Javier Morales Flores, Profesor Investigador Asociado del Campus San Luis Potosí, Colegio de Postgraduados, por su valiosa colaboración en el análisis estadístico.

Fin de la version en español

189. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0065-17372015000200005
- De Souza, N. R., & Hoffman, J. H. (2015). Testing the hypothesis that a cochineal insect species (Hemiptera: Dactylopiidae) may have been displaced by congeneric biological control agent a different cactus host. *Biological Control*, 85:25-29. doi.org/10.1016/j.biocontrol.2015.03.003
- Duarte, L., Ceballos, M., Baños, H. L., Sánchez, A., Miranda, I., & Martínez, M. D. L. A. (2011). Biología y tabla de vida de *Myzus persicae* (Sulzer) (Hemiptera: Aphididae) en condiciones de laboratorio. *Revista de Protección Vegetal*, 26(1):1-4. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1010-27522011000100001
- Flores-Hernández, A., Murillo-Amador, B., Rueda-Puente, E. O., Salazar-Torres, J. C., García-Hernández, J. L., & Troyo-Diéguez, E. (2006). Reproducción de cochinilla silvestre *Dactylopius opuntiae* (Homoptera: Dactylopiidae). *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 77(1), 97-102. Obtenido de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1870-34532006000100011&lng=es.
- Foxcroft, L. C., & Hoffmann, J. H. (2000). Dispersal of *Dactylopius opuntiae* (Cockerell) (Homoptera: Dactylopiidae), a biological control agent of *Opuntia stricta* (Haworth) (Cactaceae) in the Kruger National Park. *Koedoe* 43: 1-5. <https://doi.org/10.4102/koedoe.v43i2.194>
- Gilreath, E. M., & Smith, J. W. (1987). Bionomics of *Dactylopius confusus* (Homoptera: Dactylopiidae). *Annals of the Entomological Society of America*, 80(6): 768-774. doi: 10.1093/aesa/80.6.768
- González, A. B. D. J., García, A. A., Olguín, J. F. L., Rivera, A., & Martínez, V. L. (2016). Entomofauna Asociada al Nopal Verdura (*Opuntia ficus-indica* Miller) en San Andrés Cholula, Puebla, México. *Southwestern Entomologist*, 41(1), 259-266. doi.org/10.3958/059.041.0123
- Griffith, P. (2004). The origins of an important cactus crop, *Opuntia ficus-indica* (Cactaceae): new molecular evidence. *Am. J. Bot.*, 91:1915-1921. doi: 10.3732/ajb.91.11.1915.
- Hosking, J. R. (1984). The effect of temperature on the population growth potential of *Dactylopius austrinus* De Lotto (Homoptera: Dactylopiidae) on *Opuntia aurantiaca* Lindley. *Austral Entomology*, 23(2):133-139. doi.org/10.1111/j.1440-6055.1984.tb01927.x
- Kiesling, R. (1999). Origen, domesticación y distribución de *Opuntia ficus-indica*. *J. Profess. Assoc. Cact. Develop.*, 3: 50-59. <http://www.jpacd.org/?modulo=JS&ID=4>
- Krebs, J. C. (1978). *Ecology. The experimental analysis of distribution and abundance*. Second Edition. Harper & Row, Publishers. New York, Evanston, San Francisco, London. 680 p.
- La Rossa, F., Vasicek, A., López, M., Mendy, M., & Paglionni, A. (2005). Biología y demografía de *Brevicoryne brassicae* (L.) (Hemiptera: Aphididae) sobre cuatro variedades de *Brassica oleracea* L. en condiciones de laboratorio. *Revista de Investigaciones Agropecuarias*, 34(3):105-114. <http://www.redalyc.org/pdf/864/86434307.pdf>
- Lopes, E. B., Brito, C. H., Albuquerque, I. C., & Batista, J. L. (2009). Desempenho do óleo de laranja no controle da cochinilha-do-carmim em palma gigante. *Engenharia Ambiental: Pesquisa e Tecnologia*, 6: 252-258. <http://ferramentas.unipinhal.edu.br/engenhariaambiental/viewarticle.php?id=197>.
- Matthenge, C. W., Holford, P., Hoffman, J. H., Spooner-Hart, R. Beattie, G. A. C., & Zimmernann, H. G. (2009). The biology of *Dactylopius tomentosus* (Hemiptera. Dactylopiidae). *Bulletin of Entomological Research*, 99:551-559. doi: 10.1017/S0007485308006597
- Mena-Covarrubias, J. (2013). Tecnologías de manejo integrado para los insectos plaga del nopal tunero en el Altiplano Mexicano. In C. Gallegos V., S. J. Méndez G., & C. Mondragón J. (Eds.). *Producción sustentable de la tuna*. Fundación Produce San Luis Potosí, México. pp: 127-161.
- Méndez-Gallegos, S.J., J. Vera-Graziano, H. Bravo-Mojica, & López-Collado, J. (1993). Tasas de supervivencia y reproducción de la grana-cochinilla *Dactylopius coccus* Costa (Homoptera: Dactylopiidae) en diferentes temperaturas. *Agrociencia*, 4(1): 7-22. https://www.academia.edu/32909057/Tasas_de_supervivencia_y_reproduccion_de_la_grana-cochinilla_Dactylopius_coccus_Costa_Homoptera_Dactylopiidae_a_diferentes_temperaturas
- Méndez-Gallegos, S. de J., Tarango-Arámbula, L. A., Carnero, A., Tiberi, R., & Díaz-Gómez, O. (2010). Crecimiento poblacional de la cochinilla *Dactylopius coccus* Costa criada en cinco cultivares de nopal *Opuntia ficus-indica* Mill. *Agrociencia*, 44: 225-234. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-31952010000200011
- Moran, V., & Cabby, B. (1979). On the life-history and fecundity of the cochineal insect, *Dactylopius austrinus* De Lotto (Homoptera: Dactylopiidae), a biological control agent for the cactus *Opuntia auriantica*. *Bulletin of Entomological Research*, 69(4):629-636. doi:10.1017/S0007485300020174
- Moran, V. C., Gunn, B. H., & Walter, G. H. (1982). Wind dispersal and settling of first instar crawlers of the cochineal insect *Dactylopius austrianus* (Homoptera: Coccoidea: Dactylopiidae). *Ecological Entomology*, 7:409-419. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2311.1982.tb00683.x>
- Ochoa, M. J., & Barbera, G. (2017). History, economic and agro-ecological importance. In P. Inglese, C. Mondragón, A. Nefzaoui, & C. Sáenz (Eds.). *Crop Ecology, cultivation and uses of cactus pear*. FAO-ICARDA. pp: 1-12. <http://www.fao.org/3/a-i7012e.pdf>
- Palafox-Luna, J. A., Rodríguez-Leyva, E., Lomeli-Flores, J. R., Viguera-Guzmán, A. L., & Vanegas-Rico, J. M. (2018). Ciclo de vida y fecundidad de *Dactylopius opuntiae* (Hemiptera: Dactylopiidae) en *Opuntia ficus-indica* (Caryophyllales: Cactacea). *Agrociencia*, 53:103-114.

- <http://www.colpos.mx/agrocien/Bimestral/2018/ene-feb/art-8.pdf>
- Pool, R. W. (1974). *An introduction to Quantitative Ecology*. McGraw-Hill series in population biology. Tokyo, Japan. 527 p.
- Rabinovich, J. E. 1980. *Introducción a la ecología de poblaciones animales*. México. Ed. Continental. 313 p.
- Rodrigo, E., M Catalá-Oltra, & Granero, M. (2010). Estudio comparativo de la morfología y biología de *Dactylopius coccus* Costa y *D. opuntiae* (Cockerell) (Hemiptera: Dactylopiidae), dos especies presentes en la Comunidad Valenciana. *Bol. San. Veg. Plagas*, 36:23-35. http://www.mapama.gob.es/ministerio/pags/Biblioteca/Revistas/pdf_Plagas%2FBSVP_36_01_23_36.pdf
- Romero-López, B. E., Flores-Hernández, A. Santamaría-Cesar, E., Salazar-Torres, J. C., Ramírez-Delgado, M., & Pedroza-Sandoval, A. (2006). Identificación, biología y adaptación de la cochinilla silvestre *Dactylopius opuntiae* (Homoptera: Dactylopiidae) a las condiciones de Bermejillo, Durango. *Revista Chapingo Serie Zonas Áridas*, 5:41-48. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=455545053006>
- Torres-Ponce, R. L., Morales-Corral, D., Ballinas-Casarrubias, M. de L., & Nevárez, G. V. (2015). El nopal: planta del semidesierto con aplicaciones en farmacia, alimentos y nutrición animal. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 6(5): 1129-1142. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-09342015000500018&lng=es&nrm=iso
- Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria [SENASICA]. (2013). Cochinilla rosada del hibisco (*Maconellicoccus hirsutus* Green). Dirección General de Sanidad Vegetal - Programa de Vigilancia Epidemiológica Fitosanitaria. Cd. de México. Última actualización: Febrero, 2016. Ficha Técnica. No. 6. 25 p.
- Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera [SIAP]. (2016). Consultado 05-09-2017 en http://nube.siap.gob.mx/cierre_agricola/
- Soares da Silva, M. G., Batista Dubeux, J. C., da Silva Lagos Cortes Assis, L. C., Mota, D. L., Soares da Silva, L. L., Ferreira dos Santos, M. V.,... Cordeiro dos Santos, D. (2010). Anatomy of different forage cacti with contrasting insect resistance. *Journal of Arid Environments*, 74(6):718-722. doi.org/10.1016/j.jaridenv.2009.11.003
- Sullivan, P. R. (1990). Population growth potential of *Dactylopius ceylonicus* Green (Hemiptera: Dactylopiidae) on *Opuntia vulgaris* Miller. *Austral Entomology*, 29(2):123-129. doi.org/10.1111/j.1440-6055.1990.tb00333.x
- Vanegas-Rico, J. M., Lomeli-Flores, J. R., Rodríguez-Leyva, E., Mora-Aguilera, G., & Valdez, J. M. (2010). Enemigos naturales de *Dactylopius opuntiae* (Cockerell) en *Opuntia ficus-indica* (L.) Miller en el centro de México. *Acta Zool. Mex.* (n.s.), 26(2): 415-433. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0065-17372010000200007
- Vanegas-Rico, J. M., Rodríguez-Leyva, E., Lomeli-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. doi:10.1007/s10526-016-9753-0.
- Vera G., J., Pinto, V. M., López, J., & Reyna, R. (2002). *Ecología de Poblaciones de Insectos*. Segunda Edición. Editorial Colegio de Postgraduados ISBN-968-839-369-X. 157 pp.
- Volchansky, C. R., Hoffmann, J. H., & Zimmermann, H. G. (1999). Host-affinities of two biotypes of *Dactylopius opuntiae* (Homoptera. Dactylopiidae): enhanced prospects for biological control of *Opuntia stricta* (Cactacea) on South Africa. *Journal of Applied Ecology*, 36: 85-91. doi.org/10.1046/j.1365-2664.1999.00381.x
- Zhang, Z. (2017). The life tables of *Dactylopius coccus* Costa (Homoptera: Dactylopiidae) at different temperatures and humidities. *Agriculture, Forestry and Fisheries*, 6(1): 45-48. doi: 10.11648/j.aff.20170601.16