



**SEP**  
SECRETARÍA DE  
EDUCACIÓN PÚBLICA



TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO

Instituto Tecnológico de la Cuenca del Papaloapan

TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE LA CUENCA DEL PAPALOAPAN

# ANÁLISIS DE NIVELES DE INFESTACIÓN DE *Dactylopius opuntiae* EN CLADODIOS DE NOPAL BAJO CONDICIONES PROTEGIDAS

Tesis que presenta:

**PAUL FILS WOLPH RONALD SHWAGGER**

Como requisito parcial para obtener el título de:

**INGENIERÍA EN AGRONOMÍA**

**Tuxtepec, Oaxaca.**  
Septiembre 2019



Av. Tecnológico No. 21, San Bartolo Tuxtepec, Oax.

Tel. 01 (287) 8753926, 8754015, e-mail: dir\_cpapaloapan@tecnm.mx

www.tecnm.mx | www.itcuencap.edu.mx



**Programa  
acreditado**



**INSTITUTO TECNOLÓGICO  
DE LA CUENCA DEL  
PAPALOAPAN**



**COLEGIO DE POSTGRADUADOS  
CAMPUS MONTECILLO**

**ANÁLISIS DE NIVELES DE INFESTACIÓN DE *Dactylopius opuntiae*  
EN CLADODIOS DE NOPAL BAJO CONDICIONES PROTEGIDAS**

**PAUL FILS WOLPH RONALD SHWAGGER**

No de Control: 15810003

**ASESOR INTERNO:  
M.A.E. MERCEDES MURAIRA SOTO**

**ASESOR EXTERNO:  
DR. ESTEBAN RODRÍGUEZ LEYVA**

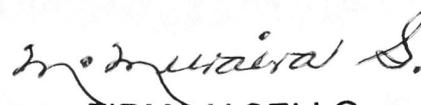
**PERIODO DE REALIZACIÓN:  
FEBRERO – JULIO 2019**

**SAN BARTOLO, TUXTEPEC, OAXACA AGOSTO DE 2019**

El presente trabajo de tesis, del C. Paul Fils Wolph Ronald Shwagger, denominado "ANÁLISIS DE NIVELES DE INFESTACIÓN DE *Dactylopius opuntiae* EN CLADODIOS DE NOPAL BAJO CONDICIONES PROTEGIDAS", que se desarrolló en el Colegio de Postgraduados campus Montecillo, fue revisado y aprobado por el:

DIRECTORA INTERNA DE TESIS

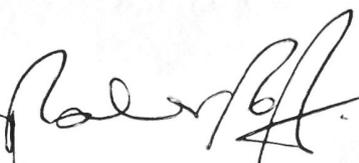
M.A.E. MERCEDES MURAIRA SOTO

  
FIRMA Y SELLO

DIRECTOR EXTERNO

DR. ESTEBAN RODRÍGUEZ LEYVA



  
FIRMA Y SELLO

CO-DIRECTORA EXTERNA DE TESIS

DRA. NADIA SALOMÉ GÓMEZ DOMÍNGUEZ

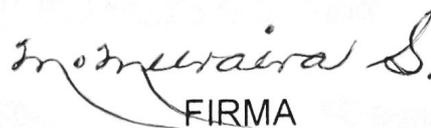
  
FIRMA Y SELLO

AGOSTO DEL 2019

La presente tesis, del C. Paul Fils Wolph Ronald Shwagger, denominada "ANÁLISIS DE NIVELES DE INFESTACIÓN DE *Dactylopius opuntiae* EN CLADODIOS DE NOPAL BAJO CONDICIONES PROTEGIDAS", que se desarrolló en el Colegio de Postgraduados campus Montecillo, fue revisado y aprobado para su impresión por el Honorable jurado integrado por:

DIRECTOR

MERCEDES MURAIRA SOTO

  
FIRMA

SECRETARIO

VICENTE VILLAR ZÁRATE

  
FIRMA

VOCAL

SERGIO RODRÍGUEZ ROY

  
FIRMA

AGOSTO DEL 2019

## **AGRADECIMIENTO**

Al Dios todopoderoso que me dio inteligencia y que siempre me ha guiado toda mi vida.

A mi gobierno (República de Haití) y al gobierno de México por la beca otorgada durante toda la carrera, a mis asesores, al Laboratorio de Control Biológico del Colegio de Postgraduados por todo el material brindado para llevar a cabo esta investigación, a todos los amigos y compañeros que de una manera u otra estuvieron presente para mí.

Al Biól. Mario Mancilla Moreno y la Biól. María Alejandra Guadalupe Rendón Rojas quienes sin esperar nada a cambio estuvieron presentes, compartiendo conocimiento, alegrías y tristeza.

A la Química Mercedes Muraira Soto y la Dra. Nadia Salomé Gómez Domínguez por todo el apoyo emocional e intelectual brindado en la realización de este proyecto.

Los líderes se hacen, no nacen, y están hechos por esfuerzos y trabajo duro, y eso es el precio que todos nosotros debemos pagar para alcanzar cualquier meta que valga la pena.

¡Gracias!

## **DEDICATORIA**

Todos tenemos sueños. Pero para convertir los sueños en realidad, se necesita una gran cantidad de determinación, dedicación, autodisciplina, esfuerzo y sobre todo se necesita estar rodeado de personas que creen en ti y que te impulsen a salir adelante, a servirte de antorcha cuando no ves la salida. Por eso mismo, dedico este trabajo:

A mi familia, especialmente mis padres, Lic. Jean Ronald Paul Fils y Cherline Saintélus quienes son los pilares de mi vida, han trabajado mucho por darme la mejor educación posible; la productividad nunca es un accidente, cada decisión suya fue un escalón para poder llegar a la cima. Eso es posible gracias a ustedes Mami y Papi.

## CONTENIDO

	Página
AGRADECIMIENTO .....	v
DEDICATORIA .....	vi
CONTENIDO .....	vii
ÍNDICE DE CUADROS .....	x
ÍNDICE DE FIGURAS .....	xi
GLOSARIO DE ABREVIATURAS Y ACRÓNIMOS.....	xii
GLOSARIO DE TÉRMINOS.....	xiii
RESUMEN.....	xiv
ABSTRACT.....	xv
1. INTRODUCCIÓN .....	1
1.1. OBJETIVOS.....	4
1.1.1. Objetivo general.....	4
1.1.2. Objetivos específicos.....	4
2. REVISIÓN DE LITERATURA .....	5
2.1. <i>Opuntia ficus indica</i> L. (MILLER) HOSPEDERO DE <i>Dactylopius opuntiae</i> .....	5
2.1.1. Origen, distribución y usos .....	5
2.1.2. El cultivo de nopal y el medio ambiente .....	7
2.1.3. El cladodio.....	8

2.1.4.	Plagas de importancia para los cultivos de <i>Opuntia</i> spp...	10
2.2.	ANTECEDENTES E IMPORTANCIA DE LA CRÍA DE INSECTOS	10
2.2.1.	Cría de la grana cochinilla ( <i>Dactylopius coccus</i> Costa) en <i>Opuntia ficus-indica</i> .....	13
2.3.	LA COCHINILLA SILVESTRE <i>Dactylopius opuntiae</i> (COCKERELL).....	16
2.3.1.	Taxonomía de <i>Dactylopius</i> spp. ....	16
2.3.2.	Biología de <i>Dactylopius opuntiae</i> .....	17
2.3.3.	<i>Dactylopius opuntiae</i> , origen y distribución .....	18
2.3.4.	<i>Dactylopius opuntiae</i> como control biológico.....	19
2.3.5.	Métodos de control de <i>Dactylopius opuntiae</i> .....	19
2.3.6.	Factores que influyen en la Cría de <i>Dactylopius</i> spp .....	22
3.	MATERIALES Y MÉTODOS.....	24
3.1.	ESTUDIOS PRELIMINARES.....	25
3.2.	MATERIAL BIOLÓGICO .....	25
3.3.	PREPARACIÓN DE CLADODIOS .....	28
3.4.	MÉTODOS DE INFESTACIÓN Y TRATAMIENTOS .....	29
3.5.	ANÁLISIS DE DATOS .....	31
4.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	33
4.1.	CICLO BIOLÓGICO .....	33
4.2.	NÚMERO DE COLONIAS.....	33
4.3.	PESO DE LAS HEMBRAS DE <i>Dactylopius opuntiae</i> .....	35

4.4.	PORCENTAJE DE INFESTACIÓN .....	37
4.5.	PÉRDIDA DE PESO .....	38
5.	CONCLUSIÓN.....	40
6.	RECOMENDACIONES .....	41
7.	REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.....	42

## ÍNDICE DE CUADROS

	Página
Cuadro 1. Depredadores de <i>D. opuntiae</i> en México (Vanegas-Rico <i>et al.</i> 2017). .....	22
Cuadro 2. Factores abióticos que limitan la cría de la cochinilla (FAO, 2018). .....	23
Cuadro 3. Cantidades de ninfas o hembras adultas utilizadas en cada tratamiento. ....	29

## ÍNDICE DE FIGURAS

	Página
Figura 1. Localización del área de estudio. ....	24
Figura 2. a) Tubos de 1000 ninfas de primer instar (50 µL). b) Balanza analítica. ....	26
Figura 3. a) Vista microscópica (10x) de hembras de <i>D. opuntiae</i> con ninfas de primer instar; b) Ninfas de primer instar caminando sobre <i>Opuntia ficus-indica</i> ; c) Conteo de ninfas 1 con ayuda del microscopio óptico (10x). ....	26
Figura 4. a) Recolección de cladodios de nopales. b) Cladodio lavado y desinfectado. ....	27
Figura 5. Cladodios colgados mediante alambre metálico. ....	28
Figura 6. Técnica utilizada para la infestación. ....	31
Figura 7. Número promedio de colonias de <i>Dactylopius opuntiae</i> desarrolladas en cladodios de <i>Opuntia ficus-indica</i> a diferentes niveles de infestación. ....	34
Figura 8. Peso promedio de hembras adultas de <i>Dactylopius opuntiae</i> obtenidas a diferentes niveles de infestación. ....	36
Figura 9. Porcentaje promedio de infestación de <i>D. opuntiae</i> en cladodios de <i>Opuntia ficus-indica</i> según el tratamiento. ....	38
Figura 10. Diferencia promedio de peso de los cladodios a los 45 días del experimento. ....	39

## **GLOSARIO DE ABREVIATURAS Y ACRÓNIMOS**

**BS:** Base seca.

**cm:** Centímetro.

**COLPOS:** Colegio de Postgraduados.

**FAO:** Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura.

**g:** Gramos.

**ha:** Hectáreas.

**ICARDA:** Centro Internacional de Investigaciones Agrícolas en Zonas Áridas.

**INIFAP:** Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias (México).

**IPCC:** Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático.

**MAC:** Metabolismo Ácido de las Crasuláceas.

**mg:** Miligramos.

**mm:** Milímetros.

**SAGARPA:** Secretaría de Agricultura Ganadería Pesca y Alimentación (México).

**SIAP:** Servicio de Información Agropecuaria y Pesquera (México).

**W<sub>w</sub>:** Peso del agua.

**μL:** Microlitros.

## GLOSARIO DE TÉRMINOS

**Ácido carmínico:** Colorante orgánico natural extraído de la cochinilla.

**Cladodios:** Mejor conocidos como pencas del nopal, son tallos de cutícula gruesa y cerosa que evita la evapotranspiración.

**Colonias:** Grupo de ninfas que se encuentran unidas entre sí.

**Fitófagos:** Que se alimentan de materias vegetales.

**Hematófagos:** Que se alimentan de la sangre.

**Hemolinfa:** Tejido líquido que tienen los invertebrados y es homólogo a la sangre y la linfa de vertebrados.

**Instar:** Se le llama instar a cada etapa en el desarrollo de los artrópodos, como los insectos.

**Larva:** Forma inmadura de los insectos endopterigotos; las larvas tienen una anatomía, fisiología y ecología diferente del adulto.

**Ninfas:** Se llaman ninfas a las etapas inmaduras que, a diferencia de las larvas, son similares a los adultos.

**Prepupa:** Estado de larva que precede al de pupa.

**Pupa:** Estado inactivo intermedio entre larva y el imago.

## RESUMEN

La cochinilla silvestre del nopal, *Dactylopius opuntiae* (Hemiptera: Dactylopiidae), es la plaga más importante del género *Opuntia* spp., y afecta sobre todo a *O. ficus-indica* Miller que es la especie más cultivada mundialmente. Actualmente, se busca controlar biológicamente a esta plaga, y por lo tanto la cría masiva de la presa ayudará a impulsar estudios y mantenimiento de un gran número de depredadores. Este trabajo consistió en analizar cinco niveles de infestación de *D. opuntiae* en cladodios de *O. ficus-indica* a  $27^{\circ}\text{C} \pm 4$  y fotoperiodo 12:12; los tratamientos fueron: (T1) 1000 ninfas 1, (T2) 2000 ninfas 1, (T3) 3000 ninfas 1, (T4) 4000 ninfas 1 y (T5) 10 hembras adultas. El tratamiento con el mayor número de colonias establecidas en el cladodio y mayor porcentaje de infestación fue T4 con 654 colonias y 18.52%, respectivamente; en los demás tratamientos no hubo diferencias significativas ( $\alpha \leq 0.05$ ). El mayor rendimiento de peso fresco por hembras se registró en los tratamientos T1, T2 y T3 con un promedio de 0.026 g por hembra; no obstante, el que tuvo mayor rendimiento por cladodio fue T4 (12.89 g) y para producir un kilogramo de *D. opuntiae* se necesita un promedio de 77 cladodios.

## ABSTRACT

The wild cochineal, *Dactylopius opuntiae* (Hemiptera: Dactylopiidae), is the most important pest of the *Opuntia* spp. genus, and it affects especially *O. ficus-indica* Miller which is the most cultivate species in the world. Today researches want to develop biological control programs of this pest and, therefore, the massive rearing of the prey will help boost studies about predators maintenance. This experiment consisted to analyze five infestation levels of *D. opuntiae* on cladodes of *O. ficus-indica* kept at  $27\pm 4$  °C and photoperiod 12:12. La infestation leves were: (T1) 1000 nymphs 1, (T2) 2000 nymphs 1, (T3) 3000 nymphs 1, (T4) 4000 nymphs 1 and (T5) 10 adults females. The better treatment was T4 with 1460 colonies and 18.52% of infestation; there were no difference between the others treatments ( $\alpha\leq 0.05$ ). Instead, the most fresh weight yields per female were registered in T1, T2 y T3 with an average of 0.026 g. Nevertheless, the treatment which have gotten the most fresh weight yield per cladode was T4 (12.89 g), potentially to produce one kilogram of *D. opuntiae* it would take an average of 77 cladodes.

## 1. INTRODUCCIÓN

La cochinilla silvestre del nopal, *Dactylopius opuntiae* (Cockerell), (Hemiptera: Dactylopiidae), es un insecto plaga nativo de México y que ha coevolucionado sobre plantas del género *Opuntia* spp. (nopales), y en menor medida sobre *Nopalea* spp. (Vanegas-Rico *et al.*, 2010, Chávez-Moreno *et al.*, 2011). Aunque es nativo de norteamérica, como sus plantas hospedadoras, este insecto escama se volvió invasivo en cultivos de *Opuntia* spp. (Caryophyllales: Cactaceae) en otros lugares. Por ejemplo, en Brasil ocasionó daños en más de 100,000 ha de nopal forrajero (Oliveira *et al.*, 2013), actualmente es un problema como plaga de *Opuntia*, sobre todo *O. ficus indica*, en la Cuenca Mediterránea y los daños son particularmente graves en Marruecos, Argelia, Túnez, Líbano e Israel; aunque se ha dispersado a otros países donde usan a *Opuntia* spp sobre todo como planta forrajera y para aprovechar sus frutos para consumo humano (Mazzeo *et al.*, 2019).

El control químico es una de las tácticas de control más común en México, pero también se sugirió como primera barrera para contener el problema en algunos países de la cuenca del mediterráneo, se usan sobre todo

insecticidas organofosforados (Badii y Flores, 2001), pero es riesgoso para la salud humana (Galloway y Handy, 2003) y el medio ambiente (Arias-Estévez *et al.*, 2007). Además de insecticidas organosintéticos, se han propuesto otros productos como aceites minerales, detergentes, extractos vegetales (Palacios-Mendoza *et al.*, 2004; Viguera *et al.*, 2009). Sin embargo, no hay resultados eficientes ni se usan de manera extensiva, por lo que se están implementando nuevas tácticas como el uso de enemigos naturales.

Las poblaciones de enemigos naturales nativos de *Dactylopius opuntiae* son sólo depredadores (Mann, 1969; Vanegas-Rico *et al.*, 2010), tales como coleópteros de la familia: Coccinellidae, *Chilocorus cacti* L. e *Hyperaspis trifurcata* Schaeffer (Mann, 1969; Gilreath y Smith, 1988; Badii y Flores, 2001; Rodríguez-Leyva *et al.*, 2010; Vanegas-Rico *et al.*, 2010, 2015). En México se han registrado el mayor número de enemigos naturales como de este insecto plaga. Entre éstos: *Leucopis bellula* Williston (Diptera: Chamaemyiidae), *Hyperaspis trifurcata* Schaeffer (Coleoptera: Coccinellidae) *Laetilia coccidivora* (Comstock) (Lepidoptera: Pyralidae), (*Symphorobius barberi* Bank (Neuroptera: Hemerobiidae), y otras nueve especies que se consideran de menor importancia (Vanegas-Rico *et al.*, 2010, 2017). Las especies *L. bellula* y *L. coccidivora* tienen hábito depredador sólo en estado de larva, *H. trifurcata*, *C. cacti*, *S. barberi*

son depredadores en estado de larva y adulto, tanto *H. trifurcata* como *S. barberi* se alimentan de las hembras y machos adultos de *D. opuntiae* (Vanegas-Rico *et al.*, 2010).

Para mantener la cría de los depredadores en el laboratorio se les proporciona una dieta de ninfas *D. opuntiae* (Vanegas-Rico *et al.*, 2015, 2016), sin embargo, en caso de *H. trifurcata*, se obtiene una mayor fecundidad proporcionándole una dieta mixta de *D. opuntiae* (Vanegas-Rico *et al.*, 2016).

Debido a la necesidad internacional de realizar estudios con los depredadores de *D. opuntiae*, para hacer propuestas de control biológico de esta plaga en el mundo, es indispensable que se conozca bien cómo mantener las crías de esos depredadores en su dieta natural (*D. opuntiae*). Las publicaciones que existen para reproducir a los depredadores de *D. opuntiae* se han concentrado en la cría de los depredadores, pero no de la presa. Así, los procedimientos describen de una manera general la cría de *D. opuntiae*; sin embargo, no existen números ni cantidad de material necesario para obtener un número específico de ejemplares. Considerando lo anterior, el presente trabajo tuvo como objetivo evaluar diferentes dosis de infestación de cochinilla silvestre en cladodios de nopal (*O. ficus indica*), para establecer las bases de metodologías de reproducción de esta presa.

## **1.1. OBJETIVOS**

### **1.1.1.Objetivo general**

Analizar metodológicamente los grados de infestación de cladodios de *Opuntia ficus-indica* mediante la propagación de ninfas de primer ínstar y adultos de *Dactylopius opuntiae*.

### **1.1.2.Objetivos específicos**

Comparar el desarrollo de cinco niveles de infestación mediante ninfas de primer instar y adultas de *Dactylopius opuntiae* sobre cladodios de nopal.

Determinar número de colonias establecidas y los porcentajes de infestación desarrollados en los diferentes tratamientos.

Mejorar la metodología existente para la cría masiva de *Dactylopius opuntiae*.

## **2. REVISIÓN DE LITERATURA**

### **2.1. *Opuntia ficus indica* L. (MILLER) HOSPEDERO DE *Dactylopius opuntiae***

#### **2.1.1. Origen, distribución y usos**

Los nopales datan de miles de años en Norteamérica, su uso y domesticación están íntimamente relacionados con las antiguas civilizaciones mesoamericanas (Pimienta, 1990). Existen evidencias arqueológicas de su cultivo hechos por las poblaciones indígenas asentadas en las zonas semiáridas de Mesoamérica (Pimienta, 1990). Los grupos nahuatl denominaron “nopalli” a las plantas que hoy conocemos como nopal; los cuales fueron una fuente indispensable de alimento y líquido potable durante el prolongado y difícil periodo de búsqueda del "sitio prometido" que nombraron Tenochtitlán, donde hoy se asienta la Ciudad de México (Zúñiga, 2012). El nopal (*Opuntia* spp.) representa para los mexicanos, con su desarrollo histórico uno de los elementos más relevantes y de gran valor cultural (Vigueras, 2008).

El centro y sur de México son lugares importantes de distribución y domesticación de *Opuntia ficus-indica* L. (Miller) en el Continente Americano (Nobel 2002, Griffith 2004). Ésta es una de las cactáceas con una larga historia de domesticación y actualmente es la especie más importante en la economía nacional para la producción de nopal verdura (nopalitos) y de frutos para consumo en fresco (Mann, 1969; Nobel, 2002; Griffith, 2004; Vanegas-Rico *et al.*, 2010). El nopal constituye una fuente de ingresos en las comunidades rurales de zonas áridas y semiáridas de México. Se ha utilizado para obtener tuna y nopalito para consumo humano; forraje y cercos para delimitar terrenos. Se ha destacado por su uso medicinales, para la fabricación de cremas, champús y enjuagues que contiene extracto de nopal (Vigueras, 2008). En la agroindustria, se procesan nopalitos en salmueras y en escabeche, mermeladas, jugos néctares, colorantes, pectinas y fructuosas (Vigueras, 2008). En cuanto al nopalito, destacan por su liderazgo el estado de Morelos, con 45.3% de la producción nacional, seguido por la delegación Milpa Alta en la Ciudad de México, que aporta el 25.2% (SIAP, 2017). No obstante, la Ciudad de México participa con el 38% del valor de la producción, en tanto que el estado de Morelos lo hace con 25%. El estado de Hidalgo reporta sólo 78 ha sembradas y participa con menos del 1% en el valor de la producción. En contraste, con respecto a la tuna, en 2016, Hidalgo sobresalió como un importante productor con 4,699 hectáreas sembradas y una

participación de 5.2% en el valor de la producción, por lo que ocupa el cuarto lugar, después de los estados de México, Puebla y Zacatecas, que en su conjunto concentran el 81% del valor de la producción (SIAP, 2017).

### **2.1.2.El cultivo de nopal y el medio ambiente**

La extensión del cambio ambiental ocurrido durante este siglo depende del cumplimiento de las metas de reducción de emisiones de gases de invernadero acordada por la mayoría de los países en 2015, incluyendo sus dos principales contribuyentes (Estados Unidos y China).

Este inminente cambio climático es posiblemente el más detrimental a la productividad agrícola (Monterroso Rivas *et al.*, 2011; Lobell y Gourdj, 2012; Ovalle Rivera *et al.*, 2015). Sin embargo, para ciertas plantas cultivadas tipo MAC (Metabolismo Ácido de las Crasuláceas), las nuevas condiciones ambientales pueden resultar en un incremento del área adecuada para su cultivo y explotación (Lobell & Gourdj, 2012). Naturalmente una mejor adaptación de las plantas MAC a ambientes cálidos y secos es el hecho de que el intercambio de gases ocurre en la noche cuando a temperatura del aire es más baja. Así mismo la productividad de las plantas MAC es predominantemente controlada por las temperaturas nocturnas del aire (cuando ocurre el intercambio de

gases), más que por las temperaturas diurnas (cuando las estomas están cerradas) (Andrade *et al.*, 2007). En la mayoría de los casos la temperatura nocturna que se ha asociado con la máxima absorción de CO<sub>2</sub> por las plantas MAC varía entre 10 y 20°C (Nobel y Castaneda, 1998). Así que mientras que la temperatura del aire sea apropiada puede ocurrir una absorción sustancial de CO<sub>2</sub> aún bajo condiciones de temperaturas diurnas crecientes.

### **2.1.3.El cladodio**

El nopal es una planta con metabolismo tipo MAC, comúnmente considerado resistente a sequía, debido a que almacena cantidades considerables de agua en sus cladodios (Nobel,1995). La morfología y anatomía de los cladodios ha evolucionado precisamente para servir esta función. De acuerdo con Buxbaum (1955), las cactáceas están ampliamente caracterizadas por sus yemas aéreas cortas (“areolas”, que poseen pelos y espinas), un tallo suculento con córtex verde y ausencia de follaje. Según Hunt y Taylor (1986), las areolas de Opuntioideae además de o en lugar de espinas, desarrollan pelos finos espinosos llamados gloquidios. En *O. ficus-indica* las partes de pseudotallo conocidos como cladodios, son suculentos y de forma típicamente oblonga a espatulada-oblonga, usualmente de 30 40 cm de largo, a veces más largas, (70-80 cm)

y de 18 a 25 cm de ancho. Anatómicamente el cladodio en una sección transversal es una eustela, formada por epidermis, córtex, tejido vascular, en un anillo y organizado en grupos de vasos vasculares separados por tejido de parénquima y médula, la cual forma la mayor parte del tejido succulento.

Los cladodios son tallos modificados aplanados con una forma ovoide característica, son capaces de ejercer acción fotosintética. Los cladodios tiernos, usualmente llamados nopalitos, son consumidos como hortaliza fresca, son usados en una gran variedad de platillos, incluyendo salsas, ensaladas, sopas, botanas, encurtidos, bebidas, dulces y postres (Saenz *et al.*, 2002). los principales componentes de los cladodios son polímeros que contienen carbohidratos, que comprenden una mezcla de mucílago y pectina. La composición química de los nopalitos frescos fue reportada por Sáenz *et al.* (2002):

- Humedad 91% (peso del agua ( $w_w$ )).
- Carbohidratos totales 4.5%.
- Proteína 1.5% ( $w$ , en base seca (BS)).
- Grasa 0.2% ( $w_w$  BS).
- Cenizas 1,3% ( $w_w$  BS), de los cuales el 90% es calcio.

#### **2.1.4. Plagas de importancia para los cultivos de *Opuntia* spp.**

El nopal es un cultivo importante desde el punto de vista económico, social y ambiental. Es esencial conocer los factores que afectan su producción; de éstos los bióticos como plagas y enfermedades son los más importantes (Orduño, 2009). En las zonas de producción, se sabe que existen alrededor de quince plagas de importancia económica dentro de las cuales la cochinilla silvestre (*Dactylopius opuntiae* Cockerell) y el picudo del nopal (*Metamasius spinolae* Gyllenhal) son las plagas primarias, aunque diferentes regiones de producción pueden tener problemas adicionales (Vanegas-Rico *et al.*, 2010).

## **2.2. ANTECEDENTES E IMPORTANCIA DE LA CRÍA DE INSECTOS**

Los problemas de índole entomológico han sido importantes para la humanidad, han dado pauta al establecimiento de crías de insectos, básicamente para realizar estudios de control y transmisión de enfermedades. Con los primeros estudios de nutrición y biología de muchas especies de importancia médica y agrícola, surgieron las primeras técnicas de cría y experiencias para resolver diversas situaciones y mejorar las técnicas. Tal es la importancia de la cría de insectos que actualmente los gobiernos, empresas privadas y públicas de diversos

países invierten mucho capital en programas de cría de insectos para diversos fines. Muchas especies de insectos son consideradas fáciles de criar en condiciones de cautiverio, como son la mosca doméstica *Musca domestica* L., mosca de la fruta (Tephritidae), mosquitos como *Aedes aegypti* (L.) *Culex quinquefasciatus* Say, insectos de granos almacenados, y otros más; sin embargo, algunas otras especies han requerido de mayor investigación y cuidados para establecer su crianza (Bautista *et al.*, 2004).

Después de la Segunda Guerra Mundial, los programas de cría masiva fueron enfocados al desarrollo de programas para el control de plagas agrícola como el picudo del algodnero *Anthonomus grandis* Boheman, el gusano rosado *Pectinophora gossypiella* (Saunders) y el gusano bellotero (*Heliothis* spp). Singh (1976) menciona que es tal la necesidad de la cría de insectos que de 1900-50 a 1971-75 el número de trabajos publicados sobre este tema se incrementó de 160 a 600. La mayoría de las publicaciones se refieren a los órdenes Diptera, Coleoptera y Lepidoptera, que son donde recae la mayor diversidad de insectos plaga (Bautista *et al.*, 2004).

Actualmente, la finalidad de criar insectos está dividida en cuatro grandes grupos: 1) Cría para uso industrial (obtención de derivados de los insectos), 2) Cría para consumo humano y animal, 3) Cría para el control

de insectos dañinos (cría masiva o a gran escala) y 4) cría para la investigación y enseñanza (cría en laboratorio o en pequeñas escalas). En los últimos dos grupos se encuentra la mayor diversidad de insectos que se han criado, debido a la importancia que ello implica para las ciencias agrícolas, médica y veterinaria. Entre los principales objetivos de la crianza de insectos están los de proporcionar material biológico sano, en cantidad y calidad para la enseñanza, evaluación de sustancias tóxicas en campo y laboratorio (pruebas de efectividad y susceptibilidad), evaluación de atrayentes y repelentes, selección de plantas resistentes a insectos, cultivo de microorganismos, transmisión de patógenos a plantas y animales, liberación de parásitos y depredadores de insectos, liberación de insectos estériles, estudios genéticos, biológicos y de comportamiento, entre muchos otros (Bautista *et al.*, 2004).

Sin duda alguna, la cría de insectos ha proporcionado grandes beneficios a la humanidad, ya que ha podido proporcionar alivio entre el eminente peligro de los insectos hematófagos, ha incrementado la producción de alimentos mediante el control de insectos plaga (con insecticidas seleccionados mediante bioensayos, feromonas, liberación de parasitoides y depredadores, insectos estériles, etc.). También ha proporcionado conocimientos de aspectos genéticos y fisiológicos, entre otros beneficios.

El conocimiento para establecer crías de insectos es una necesidad actual, ya que los problemas entomológicos y la urgencia de resolverlos están a la orden del día. En la actualidad, muchas instituciones y empresas privadas, así como programas gubernamentales en México realizan estudios para criar insectos, así como para aumentar el control de calidad y la liberación de insectos beneficios. Esto mejora la competencia con las especies silvestres y se incrementan los enemigos naturales, como una manera de contribuir para el control de plagas (Bautista *et al.*, 2004).

### **2.2.1. Cría de la grana cochinilla (*Dactylopius coccus* Costa) en *Opuntia ficus-indica***

Las especies más usadas para propósitos comerciales, debido a su alto contenido de pigmento (>20% de ácido carmínico), es la especie domesticada, *D. coccus* o cochinilla fina. En la antigüedad era conocida como “nocheztli”, una palabra náhuatl que significa “sangre del nopal”, en referencia al insecto y el pigmento que produce (Wright, 1963). En 1758, fue llamado *Coccus cacti* por Linneo, en 1835, Costa lo clasificó como *Dactylopius coccus* (Piña, 1977).

Las plantaciones comerciales de tuna dedicadas a la cría de cochinilla se hacen preferentemente con variedades sin espina, ya sea cielo abierto o bajo cubierta. La opción a seguir depende principalmente de las condiciones climáticas locales. Las estructuras de protección para criar cochinilla se construyen tradicionalmente de madera, pantallas protectoras, hojas de palma, plástico (transparente o negro) y otros materiales (Méndez-Gallegos, 2013); sin embargo, en años recientes se han utilizado invernaderos grandes para la producción intensiva (Escalante, 2013). En seguida se describen los principales métodos:

- **Microtúnel.** Estructuras de altura aproximada de 1 m, de polietileno o tela sombra de 1 mm de grueso para proteger las plantas hospederas infestadas de 2 a 3 años o cladodios individuales de 1 año (Viguera y Portillo, 2014). Este método es útil en regiones donde son comunes las lluvias fuertes o inviernos fríos (0-10°C).
- **Tapesco.** Estas estructuras tienen un techo de juncos, madera, varas, palma tejida o plástico (Santibañez, 1990). Se usan para colgar cladodios individuales maduros colgados

para criar cochinilla o para incrementar una colonia en particular protegiéndola de factores indeseables.

- **Producción intensiva.** Este sistema (propuesto por la empresa Campo Carmín) fue implementado por primera vez en 2002. Los invernaderos están contruidos usando módulos. Cubren 1,356 m<sup>2</sup> y poseen una capacidad mínima de 432,000 cladodios sin espinas que cuelgan (Escalante, 2013). Este es el método más común en México.
- **Producción con riego.** En Perú y México existen plantaciones en hidroponía usando cladodios individuales, fertilizados con macro y micronutrientes para promover el crecimiento de la planta hospedera y de la cochinilla (Vigueras *et al.*, 1993). Este método es común en la costa sur del Perú a cielo abierto, con altas densidades de plantación (aproximadamente 9,000 plantas ha<sup>-1</sup>) con fertirrigación e infestados manualmente (Flores, 1995).

## **2.3. LA COCHINILLA SILVESTRE *Dactylopius opuntiae* (COCKERELL)**

### **2.3.1. Taxonomía de *Dactylopius* spp.**

*Dactylopius* es el único género de la familia Dactylopiidae que forma parte de los neococoideos, éstos son hemípteros fitófagos. Estos insectos son nativos del Nuevo Mundo, principalmente de los desiertos de Estados Unidos de América, México y América del Sur; están íntimamente ligados a las cactáceas, ya que viven exclusivamente sobre estos vegetales y en especial sobre los nopales (*Opuntia* spp.), se distribuyen de forma gregaria en los cladodios y pueden afectar las raíces y frutos de dichas plantas. Son de tamaño pequeño, de 3 a 5 mm, y fáciles de reconocer debido a la presencia algodonosa que cubre el cuerpo y a la hemolinfa, la cual es de color roja purpura.

Esta familia es importante para la entomología por ser productoras de ácido carmínico, que es empleado como colorante natural en diversas industrias y como agente de control biológico en ciertas especies de cactáceas (Mazzeo *et al.*, 2019). Norteamérica tiene reportadas cinco especies: *Dactylopius bassí*, *D. coccus*, *D. reylonicus*, *D. confusus*, *D. opuntiae* y *D. tomentosus* (Vigueras y Portillo, 2014), a excepción de *D.*

*coccus*, a la cual se le denomina "grana cochinilla" o "cochinilla fina" el resto es considerada plaga y en especial *D. opuntiae* es la más importante para los productores de nopal verdura y tuna.

### **2.3.2. Biología de *Dactylopius opuntiae***

El desarrollo de *D. opuntiae* es similar a otras especies del género, las hembras presentan dos instares de ninfas antes de ser adulto, y los machos además de dos instares de ninfas, presentan prepupa, pupa y adulto (Vanegas-Rico, 2009). A lo largo del tiempo se han realizado muchos estudios acerca de su biología, en Norte, Centro y Sur-América (Mann, 1969; Romeo López *et al.*, 2006; Vanegas-Rico, 2009; Palafox-Luna *et al.*, 2018), Sudáfrica (Foxcroft y Hoffmann, 2000), y Australia (Mann, 1969), y el ciclo de vida ha sido estudiado tanto en laboratorio como en campo abierto. En laboratorio, el ciclo completo duró 77 y 43 días en hembras y machos respectivamente con una proporción sexual 1:1 (Flores-Hernández *et al.*, 2006; Romero López *et al.*, 2006). En invernaderos, una proporción sexual 3.7:1 se obtuvo de la descendencia (Palafox-Luna *et al.*, 2018). En campo abierto, el ciclo de vida de la hembra duró entre 40-180 días dependiendo del periodo del año y las condiciones climáticas, mientras que el macho completó su ciclo entre 35-52 días (Mann 1969; Ochoa *et al.*, 2015). La temperatura óptima para la cría fue

30 °C. A 35 °C, los machos no logran emerger de su capullo en estado de pupa, las hembras adultas no pueden poner huevos, y la supervivencia del insecto se ve afectada negativamente, aunque pueden vivir 24 horas a una temperatura de 45 °C (Karny, 1972). En general, el ciclo de vida del macho adulto es 4.2 días y 38.4 días para hembras adultas (Flores-Hernández *et al.*, 2006). Normalmente las especies se reproducen de manera sexual, aunque, bajo ciertas circunstancias (ej., altas temperaturas), tienden a reproducirse por partenogénesis, con una baja producción de progenie (Mann, 1969; Ochoa *et al.*, 2015). Otros estudios hechos en América y Australia han demostrado que las especies reproducen 4-5 generaciones por año, 5 en las áreas más calurosas (Mann, 1969).

### **2.3.3. *Dactylopius opuntiae*, origen y distribución**

En su trabajo intitulado: “Los hospederos norte y sudamericano de *Dactylopius opuntiae*”, Liberato Portillo (2008) publicó que, en México, la cochinilla silvestre *Dactylopius opuntiae* (Cockerell) (Hemiptera: Dactylopiidae) se encuentra distribuida prácticamente en todo el país, en ambos lados del eje transversal neovolcánico y a lo largo de ambas sierras madres; sus principales plantas hospederas son los nopales del complejo *Opuntia ficus-indica*, pero también se hospeda en otras especies, lo que

indica que posee una alta capacidad de adaptación. Es una plaga que tiene que ser controlada en cuanto se le detecta en las plantaciones comerciales, pues de lo contrario puede llegar a ser un factor de baja producción e incluso causar la muerte de la planta infestada (Portillo, 2008).

#### **2.3.4. *Dactylopius opuntiae* como control biológico**

La cochinilla *Dactylopius opuntiae* de México se volvió famosa después de que fue introducida primero en Australia en 1932 y más tarde en Sudáfrica en 1938, donde contribuyó sustancialmente al control biológico de *Opuntia stricta* y *Opuntia ficus-indica*, que habían invadido alrededor de 900,000 ha de pastizales (Zimmermann y Morán, 1991; Mazzeo *et al.*, 2019). La cochinilla fue introducida posteriormente en muchos otros países, en donde distintas especies de *Opuntia* spp. introducidas de América se habían convertido en una plaga.

#### **2.3.5. Métodos de control de *Dactylopius opuntiae***

Existen pocas alternativas para combatir la cochinilla silvestre del nopal: (1) una es la remoción de pencas infestadas para evitar la propagación de la plaga cuando ésta es severa (Gomes *et al.*, 2007); (2) la quema de

cladodios que están infestados con cochinilla silvestre; (3) el uso de jabones que causan la obstrucción de los espiráculos y permite remover la capa de cera cuticular, lo que provoca la deshidratación severa y la muerte del insecto (Gomes *et al.*, 2007).

A pesar de algunos intentos de control químico con productos menos tóxicos, generalmente se recurre al uso de insecticidas químicos de amplio espectro como el Malatión®, Clorpirifos® y Cipermetrina® entre otros (Palacios-Mendoza *et al.*, 2004). Los insecticidas organofosforados tienen un uso común en la producción de nopal, frutas, hortalizas y otros cultivos en México (Palacios-Mendoza *et al.*, 2004). Sin embargo, la aplicación de este tipo de productos además de contaminar el agroecosistema, afecta a las poblaciones de insectos benéficos y puede causar intoxicación tanto al individuo en el momento de aplicar como a los consumidores del nopal en fresco, por la alta cantidad de residuos tóxicos. Por otra parte, se han descrito poblaciones de insectos resistentes a los insecticidas lo cual genera ciertas dificultades para su control. El uso desmedido de químicos y el poco conocimiento de la plaga genera problemas como el envenenamiento agudo y crónico a los agricultores, así como a los consumidores, la destrucción de peces, aves y otros animales de la vida silvestre, la alteración del ciclo biológico natural y la polinización, así como la eliminación de nichos ecológicos de otras especies que interactúan con éste (Murray, 2006). El único insecticida

autorizado en México para el cultivo del nopal está elaborado a base de *Bacillus thurgiensis* (Berliner) para el control de *Paramyelois transtella* (Walker) (Lepidóptera: Pyralidae) (Palacios-Mendoza *et al.*, 2004). Por lo cual, el uso de extractos botánicos como el aceite de oliva es una alternativa para su combate (Vigueras *et al.*, 2009). Dando un panorama más amplio para el uso en la agricultura orgánica, en donde la producción requiere de mayor calidad e inocuidad en los alimentos y el campo. Palacios-Mendoza *et al.* (2004) probaron diversos productos biodegradables y extractos botánicos, con resultados variables que van del 35 al 99% de mortalidad, donde los estados inmaduros son los más susceptibles.

Debido al incremento de la resistencia del insecto a insecticidas y productos orgánicos, nació la necesidad de implementar nuevas técnicas de control. Por lo tanto, el control biológico es una buena alternativa. El control biológico también se contempla en las investigaciones recientes, cuyos resultados en laboratorio son muy prometedores para su aplicación futura (Guerrero-Hernández y Vigueras, 2007). Es importante resaltar que en México hay una excelente diversidad de enemigos naturales (Cuadro 1), que justamente es el principal factor que controla las poblaciones de cochinilla silvestre en hábitat natural y aún aquellas de grana fina (*D. coccus*) bajo cría.

Cuadro 1. Depredadores de *D. opuntiae* en México (Vanegas-Rico *et al.* 2017).

Orden	Familia	Especies
Diptera	Chamaemyiidae	<i>Leucopis bellula</i> Williston†
	Syrphidae	<i>Eosalpingogaster cochenillivora</i> (Güerin-Menéville)†
Coleoptera	Coccinellidae	<i>Chilorus cacti</i> Linneo †
		<i>Hyperaspis trifurcata</i> Schaeffer †§
		<i>Scymnus louisianae</i> Chapin
Lepidoptera	Pyralidae	<i>Laetilia coccidivora</i> (Comstock) †
Neuroptera	Hemerobiidae	<i>Symphorobius angustus</i> (Banks) †
		<i>Symphorobius barberi</i> (Banks) †§

†: Tienen hábito de depredador sólo en estado de larva.

†: Son depredadores en estado de larva y adulto.

§: Se alimentan también de las hembras y machos adultos.

### 2.3.6. Factores que influyen en la Cría de *Dactylopius* spp

La cría de la cochinilla es una actividad que puede llevarse a cabo en muchos sitios de regiones tropicales y subtropicales, pero está condicionada por factores bióticos y abióticos, los cuales son vitales que se comprendan para saber cuáles de ellos operan en un área específica. Durante la época de lluvias es recomendable llevar a cabo la cría en

cladodios aislados bajo cubierta. De hecho, en la mayor parte de México la cría se hace en esta modalidad debido a (FAO, 2018):

- Factores abióticos: por condiciones desfavorables a cielo abierto (Cuadro 2).
- Factores bióticos: esencialmente enemigos naturales.

Cuadro 2. Factores abióticos que limitan la cría de la cochinilla (FAO, 2018).

Factor	Efecto principal
Temperatura	Alteración de la duración del ciclo biológico. Deshidratación de ninfas.
Lluvia	Eliminación del 100% de la población de cochinilla. Sofocación de la cochinilla. Dificultad para fijarse y desarrollarse.
Viento	Fijación limitada de la cochinilla. Aumento de la dispersión y arrastre de ninfas.
Luz	Influye en el movimiento de ninfas. Permite el crecimiento y desarrollo de cochinilla.
Granizo	Tira las cochinillas al suelo.
Heladas	Eliminación del 50% de cochinilla.

### 3. MATERIALES Y MÉTODOS

La presente investigación se realizó en una cámara de siembra del laboratorio de control biológico del Colegio de Postgraduados, Montecillo, Estado de México, que se encuentra a  $19^{\circ} 29' N$  y  $98^{\circ} 54' O$ , y a 2250m, a una temperatura media de  $27^{\circ}C \pm 4$  y luminosidad 12:12 (Figura 1).

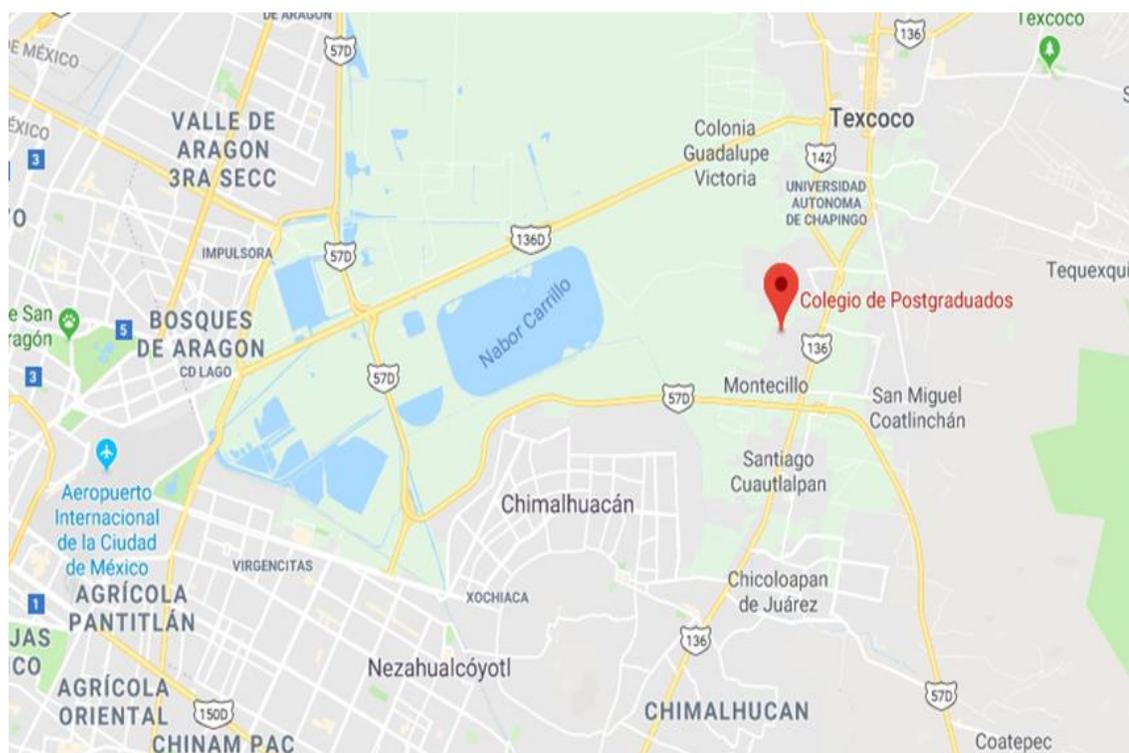


Figura 1. Localización del área de estudio.

### 3.1. ESTUDIOS PRELIMINARES.

El pie de cría de *D. opuntiae* se proporcionó por el Laboratorio de Control Biológico del Colegio Postgraduados. Se recolectaron hembras oviplenas (Figura 2a), se les pusieron en una caja y en aproximadamente una semana las ninfas de primer instar se separaron de las hembras agrupándose a un lado (Figura 2b) y finalmente mediante una lupa o un microscopio óptico en la escala 10x se contaron 1000 ninfas en diez repeticiones (Figura 2c), y se midió, en micro tubos de 200  $\mu$ L, el volumen aproximado que ocupaban esa cantidad de ninfas (Figura 3a). Las 1000 ninfas de *D. opuntiae* llegaron a medir 50  $\mu$ L, se pesaron en una balanza analítica (SCIENTECH®) y el promedio de peso vivo fue 8.41 mg (Figura 3b).

### 3.2. MATERIAL BIOLÓGICO

Se recolectó nopal verdura (*Opuntia ficus-indica*) de 24 meses de edad, variedad Atlixco de tres regiones: Teotihuacán, Estado de México, instalaciones del COLPOS campus Montecillo, Tlalnepantla, estado de Morelos (Figura 4a). Los cladodios fueron elegidos conforme a su

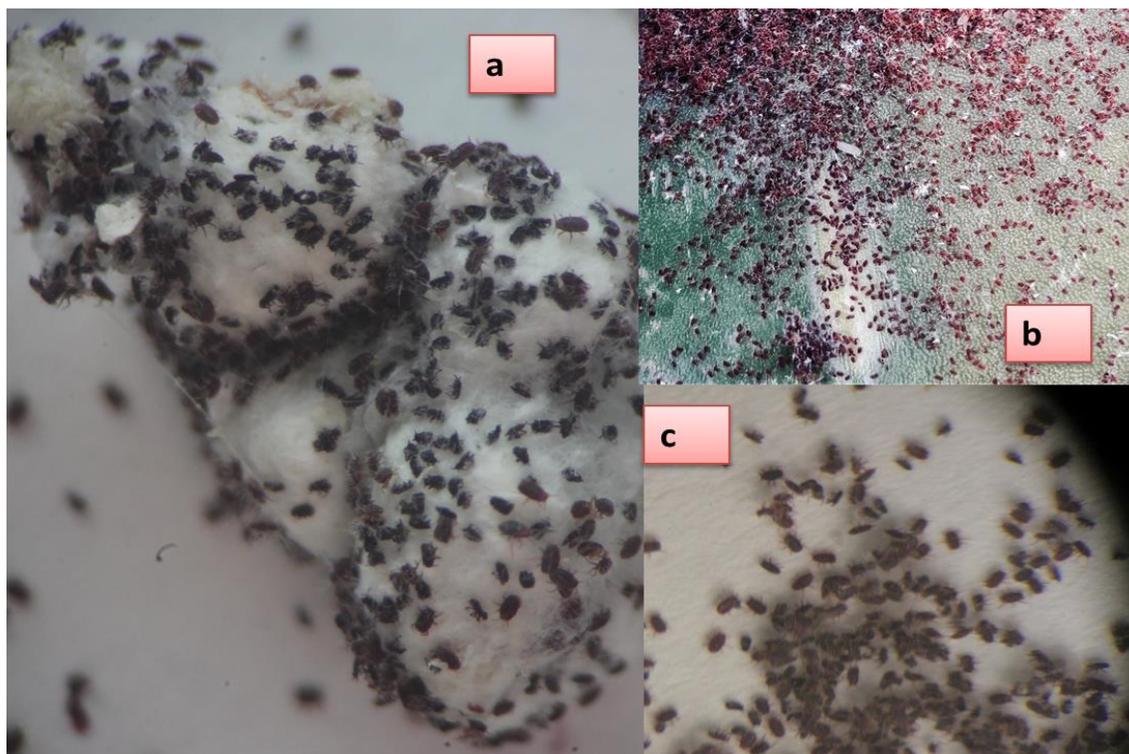


Figura 3. a) Vista microscópica (10x) de hembras de *D. opuntiae* con ninfas de primer instar; b) Ninfas de primer instar caminando sobre *Opuntia ficus-indica*; c) Conteo de ninfas 1 con ayuda del microscopio óptico (10x).

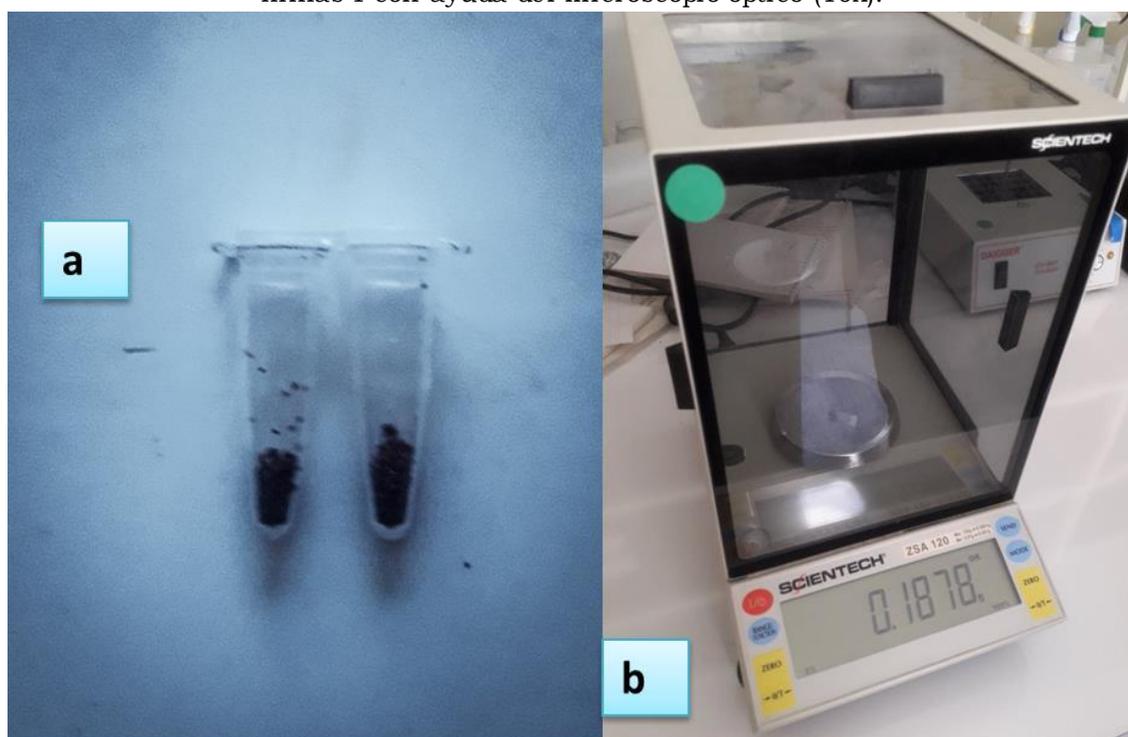


Figura 2. a) Tubos de 1000 ninfas de primer instar (50  $\mu$ L). b) Balanza analítica. uniformidad, su sanidad y transportados en rejas de plástico al

Laboratorio de Control Biológico.

Los cladodios se seleccionaron por tener tamaños uniformes ( $33\text{ cm} \pm 4$  de largo,  $22\text{ cm} \pm 4$  de ancho y  $2.5\text{ cm} \pm 0.5$  de grosor en cada región, se lavaron para eliminar rasgos de infestación de *Dactylopius* spp y cualquier otro producto no deseado, se desinfectaron con una solución de sulfato de cobre para prevenir el daño de hongos o bacterias (Figura 4b).

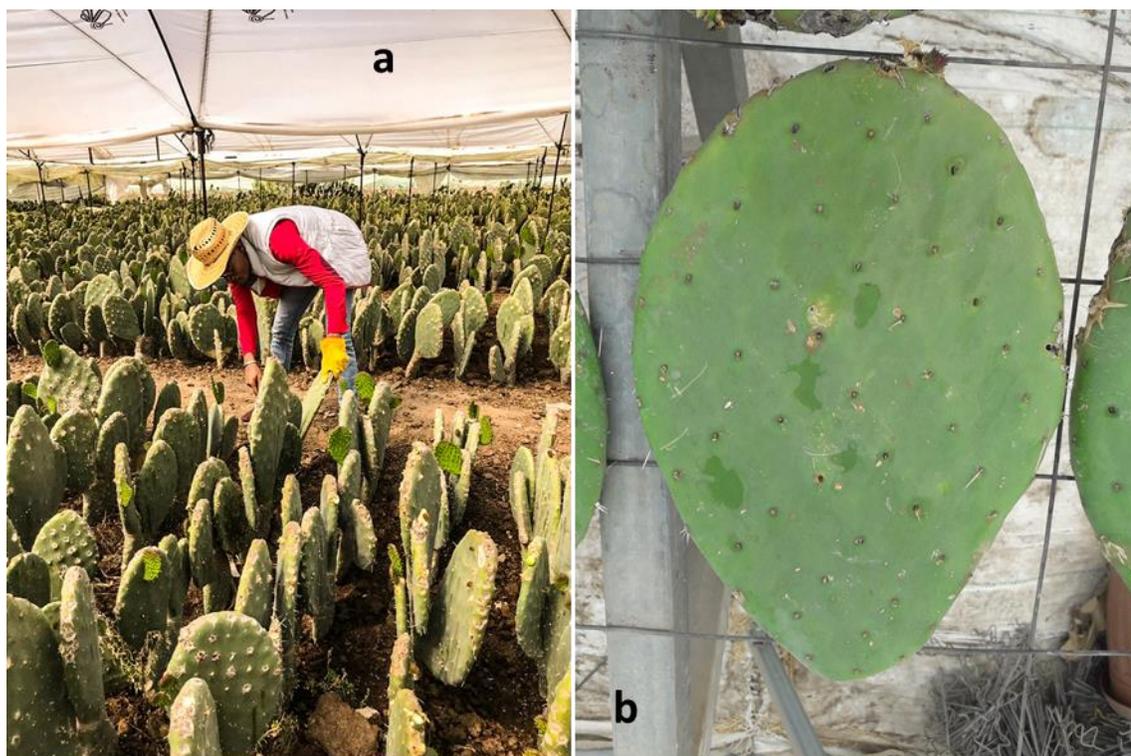


Figura 4. a) Recolección de cladodios de nopales. b) Cladodio lavado y desinfectado.

### 3.3. PREPARACIÓN DE CLADODIOS

Los cladodios se perforaron en la base, se dejaron cicatrizar 3 días, posteriormente se suspendieron verticalmente mediante un alambre metálico (Aldama-Aguilera y Llanderal-Cázares, 2003), se acomodaron a 10 cm uno a otro en cada bloque (Figura 5). Los soportes estaban distribuidos a 2 niveles separados a 50 cm entre sí con capacidad para albergar un bloque en cada nivel a las tres paredes de la cámara de cría.



Figura 5. Cladodios colgados mediante alambre metálico.

### 3.4. MÉTODOS DE INFESTACIÓN Y TRATAMIENTOS

Por la disponibilidad de material, y la cantidad de tratamientos, fue necesario planear un diseño de bloques completamente al azar. Primero se evaluaron cuatro tratamientos de ninfas de primer instar, uno de estos se consideró un testigo regional con la infestación de 10 hembras de *D. opuntiae* sin control de edad en ese grupo de hembras; además, se incluyó un testigo absoluto (sin cochinilla) para ver cómo perdía peso o se descomponía el nopal aun sin la infestación del insecto (Cuadro 3). Posteriormente se evaluaron cinco tratamientos y un testigo (Cuadro 3). En cada tratamiento se realizaron siempre 10 repeticiones.

Cuadro 3. Cantidades de ninfas o hembras adultas utilizadas en cada tratamiento.

Bloques	Tratamientos					
	I	II	III	IV	V	VI
I (Teotihuacán)	1000 ninfas 1	2000 ninfas 1	3000 ninfas 1	...	10 hembras adultas	Testigo
II (COLPOS)	1000 ninfas 1	2000 ninfas 1	3000 ninfas 1	...	10 hembras adultas	Testigo

III (COLPOS)	1000	2000	3000	4000	10	Testigo
	ninfas 1	ninfas 1	ninfas 1	ninfas	hembras	
				1	adultas	
IV (Tlalnepantla)	1000	2000	3000	4000	10	Testigo
	ninfas 1	ninfas 1	ninfas 1	ninfas	hembras	
				1	adultas	

Para poder infestar con el número de ninfas de cada tratamiento se usaron tubos de 50 y 100  $\mu$ L que equivalían a la cantidad de 1000  $\pm$ 50 y 2000  $\pm$ 80 ninfas 1, respectivamente (resultado de los ensayos preliminares). Para colocar las ninfas de cada tratamiento en los cladodios se fabricaron bolsas de papel (opalina). La bolsa tenía la parte superior abierta para la libre salida de las ninfas, en un primer intento se usaron palitos de madera (palillos de dientes) para colocar las bolsas, pero se observaron ciertas dificultades de las ninfas para dispersarse en el total del cladodio. Por ello, se procedió a pegar las bolsitas con una cinta adhesiva (Figura 6) ya que las ninfas tienden a subirse, por lo que la cinta hacía un puente entre la bolsa y el cladodio, así la distribución de las ninfas en el cuerpo del cladodio tuvo mejor resultado.

Las variables estudiadas fueron: a) número de hembras por cladodios, registrada en la cara de infestación, la cara opuesta y el total; b) peso promedio de las cochinillas según los tratamientos; c) porcentaje de infestación del cladodio; d) pérdida de agua del cladodio. En cada

tratamiento se utilizaron cantidades diferentes de ninfas 1 y adultos (Cuadro 3), se hicieron 10 repeticiones.



Figura 6. Técnica utilizada para la infestación.

### 3.5. ANÁLISIS DE DATOS

Los valores promedios se calcularon terminando el primer ciclo de *D. opuntiae* para determinar diferencias estadísticas entre los tratamientos. Para ello, se cuantificaron las hembras adultas en ovoposición de cada cladodio (por ambas caras) en cada tratamiento. Posteriormente se recolectaron de manera aleatoria diez hembras en cada cladodio (cinco en

la cara infestada y cinco en la cara opuesta), y con una balanza analítica de SCIENTECH® se obtuvo el peso fresco (g) de las hembras. Para determinar la pérdida de peso de los cladodios, se pesaron antes y después del experimento con una balanza granataria de marca VELAQ® modelo VE-2610. Estos datos se analizaron usando el programa Statistix mediante un ANOVA con una comparación de medias de Tukey ( $\leq 0.05$ ). Adicionalmente, se utilizó el programa ImageJ® para determinar en porcentaje el área infestada de cada cladodio y sacar el promedio según cada tratamiento.

## **4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

### **4.1. CICLO BIOLÓGICO**

Las ninfas 1 comenzaron a producir cera inmediatamente después de fijarse al cladodio y no fue posible diferenciar sexos por medio de características morfológicas, esas mismas observaciones ya se habían realizado por Palafox-Luna *et al.* (2018). La duración del ciclo biológico desde el estadio ninfa 1 a adulto fue de 45 días en hembras, similar a la estimada por Ochoa *et al.* (2015) quién afirmó que el ciclo biológico de *D. opuntiae* oscila entre 40-180 días dependiendo de la temperatura. Las hembras obtenidas de los cladodios que se infestaron con ninfas de primer instar fueron de mayor tamaño que las de los cladodios infestados con 10 hembras adultas.

### **4.2. NÚMERO DE COLONIAS**

El análisis de varianza del número de colonias por cladodios mostró diferencias significativas en los cinco tratamientos ( $F_{5,49} = 11.85$ ,  $p \leq 0.0018$ ). El mejor resultado fue el tratamiento T4 con un promedio de 654.67 colonias establecidas por cladodio, resultó superior a aquellos registrados por Tovar *et al.* (2005), Campos-Figueroa y Llanderal-Cázares

(2003) quienes obtuvieron 194 y 222 hembras por cladodio, respectivamente. Los demás tratamientos no fueron diferentes estadísticamente entre sí: T1 (153 colonias), T2 (230 colonias), T3 (331 colonias) y T5 (277 colonias) (Figura 7). Los tratamientos con 10 hembras adultas (T5) presentaron resultados similares a la estimada por Aldama-Aguilera y Llanderal-Cázares (2003) quienes estudiaron la grana cochinilla fina (*D. coccus* Costa) y encontraron un promedio de 279 colonias por cladodios.

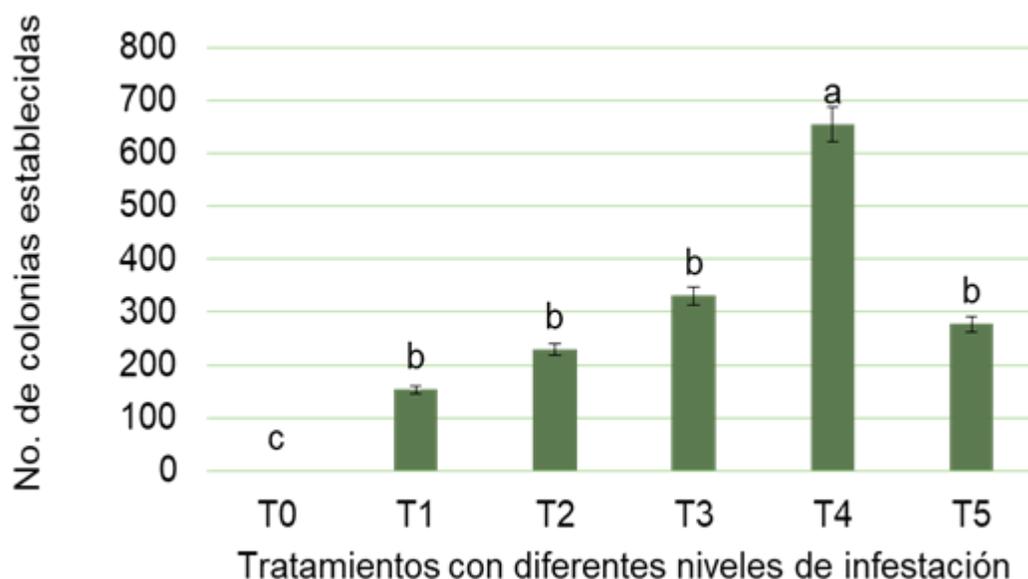


Figura 7. Número promedio de colonias de *Dactylopius opuntiae* desarrolladas en cladodios de *Opuntia ficus-indica* a diferentes niveles de infestación.

T0= testigo (sin ninfas), T1=1000 ninfas 1, T2=2000 ninfas 1, T3=3000 ninfas 1, T4=4000 ninfas 1 y T5= 10 hembras adultas (método de infestación tradicional). Barras con letras diferentes, mostraron diferencias estadísticas ( $\alpha=0.05$ )

### 4.3. PESO DE LAS HEMBRAS DE *Dactylopius opuntiae*

El promedio de peso de las hembras de *D. opuntiae* fueron diferentes estadísticamente entre los tratamientos ( $F_{5,49} = 23.37$ ,  $p \leq 0.0001$ ). Las hembras de T1, T2 y T3 fueron las más pesadas con un promedio de 0.026 g (Figura 8). Este valor al multiplicarse por el número promedio de hembras por cladodio en estos tres tratamientos, da un rendimiento de 3.97 g en T1, 5.98 g en T2 y 8.6 g en T3. Por lo tanto, para un kilogramo de cochinilla silvestre fresca se necesitaría infestar 250, 166 y 116 cladodios respectivamente. El resultado en peso de hembras obtenido en T3 es similar al de Adalma-Aguilera y Llanderal-Cázares (2003) quienes obtuvieron 8.62 g de cochinilla fina (*D. coccus*) por cladodio y un total de 116 cladodios para producir un kilogramo de *D. coccus* infestando con 10 hembras de *D. coccus* en cladodios colgados.

El tratamiento T4 bajó significativamente en comparación a los tres primeros tratamientos, con un peso promedio en hembra de 0,0196 g (Figura 8). Sin embargo, al multiplicar este valor con el número promedio de hembras por cladodios en este tratamiento, el rendimiento fue superior, 12.89 g por cladodio. En este caso, para producir un kilogramo de *D. opuntiae* fresca se necesitaría en promedio 77 cladodios de *Opuntia ficus*

*indica*. Este resultado supera a aquellos registrados por Aldama-Aguilera y Llanderal-Cázares (2003), Tovar *et al.* (2005) quienes obtuvieron infestando con *D. coccus* 8.62 g y 3.31 g por cladodio, respectivamente.

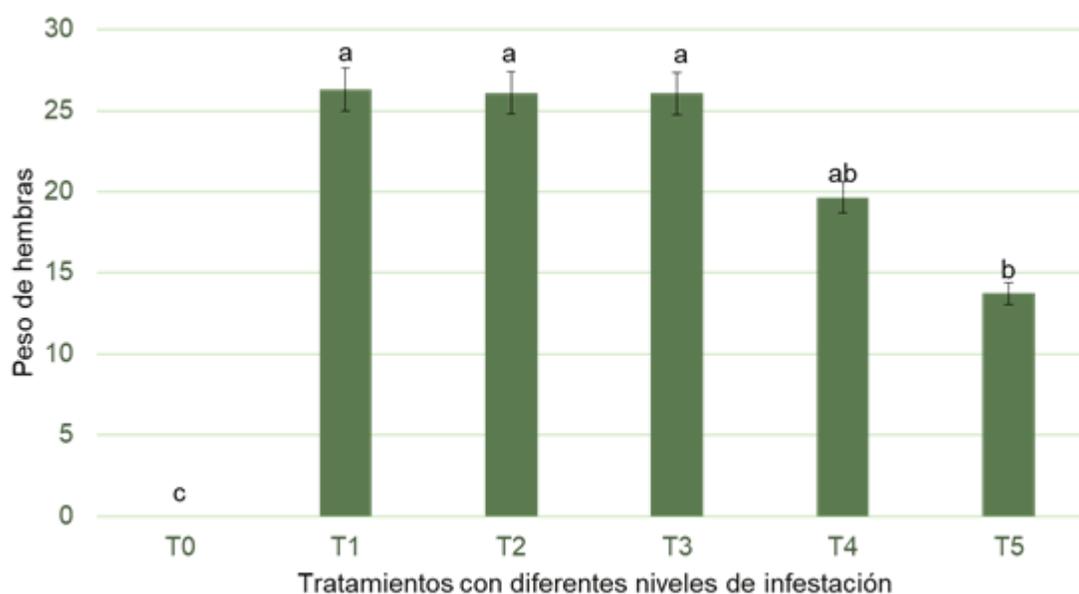


Figura 8. Peso promedio de hembras adultas de *Dactylopius opuntiae* obtenidas a diferentes niveles de infestación.

T0= testigo (sin ninfas), T1=1000 ninfas 1, T2=2000 ninfas 1, T3=3000 ninfas 1, T4=4000 ninfas 1 y T5= 10 hembras adultas (método de infestación tradicional). Barras con letras diferentes, mostraron diferencias estadísticas ( $\alpha=0.05$ ).

#### 4.4. PORCENTAJE DE INFESTACIÓN

Mediante el programa “ImageJ ®” se calcularon las áreas infestadas de los cladodios en porcentaje en los tratamientos. Se observó que el tratamiento T4 presentó el mayor porcentaje de infestación con un porcentaje promedio de 18.52% del cladodio (Figura 9), seguido por el tratamiento T3 que alcanzó un 8.61% del cladodio, lo cual no diferencia estadísticamente con el tratamiento T5 (8.37%) que es el método tradicional para la cría de *Dactylopius* spp. Mientras que los tratamientos con menos porcentaje de infestación son T1 y T2 con una cantidad de 5.28% y 6.13% respectivamente (Figura 9).

El tratamiento T4 alcanzó el nivel de infestación 4, en la escala propuesta por Vanegas-Rico *et al.* (2010). Mientras que los tratamientos T3 y T5 se encontraron en el nivel 3 y los tratamientos T1 y T2 al nivel 2 en dicha escala.

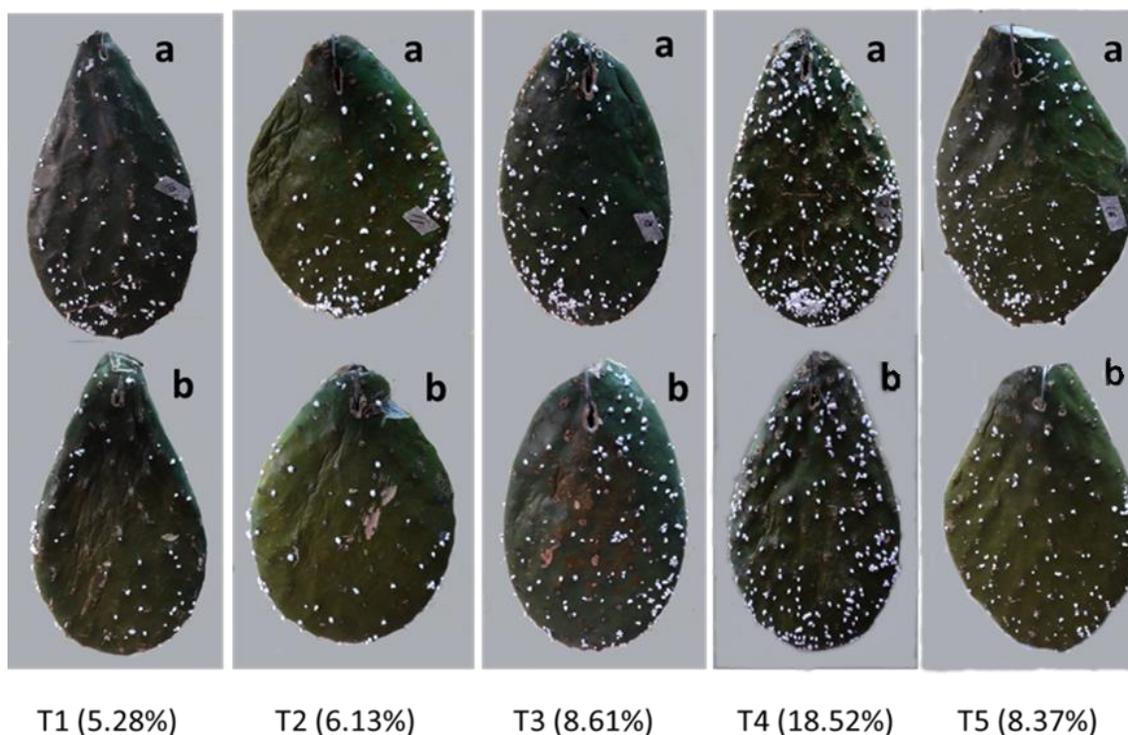


Figura 9. Porcentaje promedio de infestación de *D. opuntiae* en cladodios de *Opuntia ficus-indica* según el tratamiento.

a) Caras infestadas; b) Caras opuestas. T1=1000 ninfas 1, T2=2000 ninfas 1, T3=3000 ninfas 1, T4=4000 ninfas 1 y T5= 10 hembras adultas (método de infestación tradicional).

#### 4.5. PÉRDIDA DE PESO

La diferencia de peso de los cladodios antes y después del experimento no fue significativa entre tratamientos y el testigo ( $F_{5,49} = 1.88$ ,  $p \leq 0.1145$ ). A lo largo del experimento, todos los cladodios sin excepciones perdieron peso incluyendo los testigos en los cuales no hubo ninguna infestación (Figura 9). El promedio de pérdida de peso registrado en los cladodios

infestados fue de 0.23 kg lo cual es superior al promedio registrado en los testigos que fue de 0.15 kg. Los testigos perdieron menos agua y el tratamiento T4 perdió más (0.28 kg) (Figura 10), sin embargo, estadísticamente fueron insignificantes con la prueba de comparación de medias.

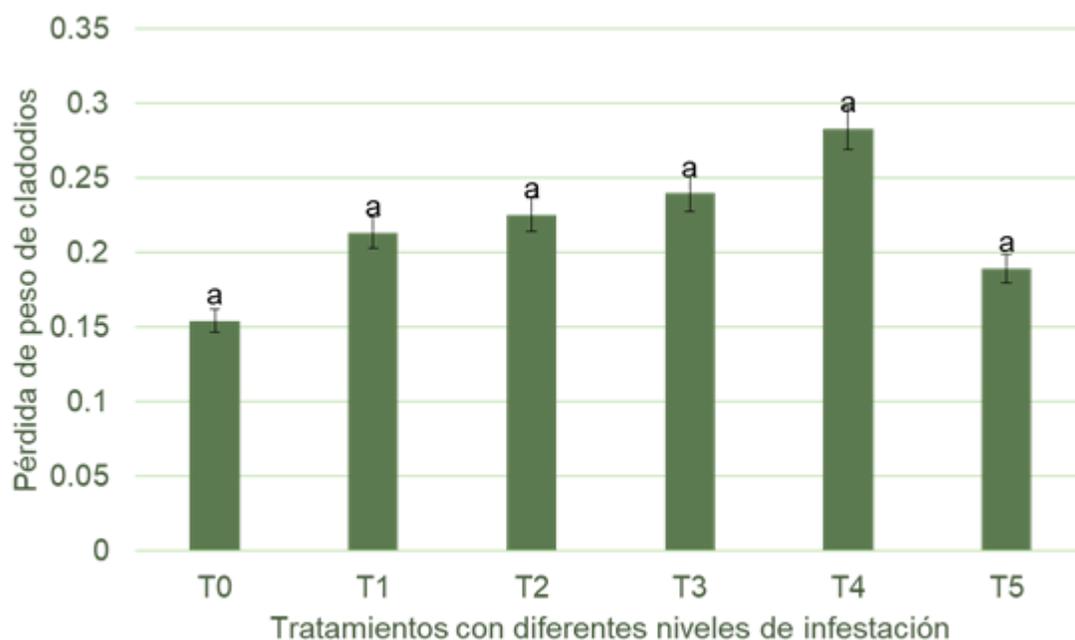


Figura 10. Diferencia promedio de peso de los cladodios a los 45 días del experimento.

T0= testigo (sin ninfas), T1=1000 ninfas 1, T2=2000 ninfas 1, T3=3000 ninfas 1, T4=4000 ninfas 1 y T5= 10 hembras adultas (método de infestación tradicional).  
Barras con letras idénticas, no mostraron diferencias estadísticas ( $\alpha=0.05$ ).

## 5. CONCLUSIÓN

De acuerdo con los resultados obtenidos, se concluye que el tratamiento más eficiente en establecimiento de hembras para la producción de *D. opuntiae* en laboratorio fue el del T4 (4000 ninfas). El método tradicional T5 (10 hembras) presentó un resultado similar a T2 (2000 ninfas) en número de hembras y porcentaje de infestación del cladodio, por lo que para la cría de *D. opuntiae* se recomienda infestar con 4000 ninfas. La inversión es intermedia ya que, si se quiere obtener un kilogramo de hembras de *D. opuntiae*, infestando con 4000 ninfas 1, solo se invertiría un promedio de 35 cladodios y el rendimiento es cuádruple en comparación al método tradicional (T5), lo cual es prometedor para la cría masiva de enemigos naturales.

## 6. RECOMENDACIONES

A partir de los resultados y conclusiones a las que se llegó en el presente estudio, se proponen las siguientes recomendaciones:

- Recolectar con 2 a 4 horas de antelación las ninfas de *D. opuntiae* a la infestación, para evitar una alta mortalidad por manejo y con ello asegurar el establecimiento de *D. opuntiae* en el cladodio.
- Utilizar cladodios sanos sin cicatrices, se deben desinfectar con un producto químico de preferencia sistemático para evitar “Pudrición suave negra” de los cladodios, una enfermedad bacteriana causada por el agente *Erwinia carotovora*.
- Realizar investigaciones que evalúen la calidad del alimento (cochinillas) de los diferentes niveles de infestación a nivel fisiológico.
- Realizar investigaciones para evaluar la producción de enemigos naturales que se puedan obtener en cada nivel de infestación.
- Determinar si la calidad del alimento obtenido por cada nivel de infestación tiene un efecto significativo en la producción de los enemigos naturales a nivel de cría de laboratorio.

## 7. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

Adalma-Aguilera, C. & C. Llanderal-Cázares. 2003. Grana cochinilla: comparación de métodos de producción en penca cortada. *Agrociencia* 37: 11-19.

Andrade, J. L., E. de la Barrera, C. Reyes-García, M. Ricalde F., G. Vargas-Soto, & J. Cervera C. 2007. El metabolismo ácido de las crasuláceas: diversidad, fisiología ambiental y productividad. *Sociedad Botánica Mexicana*. 81: 37-50.

Arias-Estévez, M., E. López-Periago, E. Martínez-Carballo, J. Simal-Gándara, J. C. Mejuto & L. García-Río. 2007. The mobility and degradation of pesticides in soils and the pollution of groundwater resources. *Agriculture Ecosystem and Environment*. 123: 247-260.

Badii M., H. & E. Flores A. 2001. Prickly pear cacti pests and their control in Mexico. *Florida Entomologist* 84:503-505.

Bautista M., N. H. Bravo M., C. Chavarin P. 2004. Cría de insectos plaga y organismos benéficos. Ed. 2. Colegio Postgraduados, Texcoco, México pp: 3-5.

Beccaro, G. L., L. Bonvegna, D. Donno, M. G. Mellano, A. K. Cerutti, G. Nieddu, I. Chessa & G. Bounous. 2015. *Opuntia* spp. Biodiversity conservation and utilization on the Cape Verde Islands. *Genetic Resource Crop Evolution*. 62(1): 21-33.

Buxbaum, F. 1955. The phylogenetic division of the subfamily Cereoideae, Cactaceae. *Madrono*. 14(6): 177-206.

Campos-Figueroa, M. & C. Llanderal-Cázares. 2003. Producción de grana cochinilla *Dactylopius coccus* (Homoptera: Dactylopiidae) en invernadero. *Agrociencia*. 37:149-155.

Chávez-Moreno, C. K., A. Tecante, A. Casas & L. E. Claps. 2011. Distribution and habitat in Mexico of *Dactylopius Costa* (Hemiptera:

Dactylopiidae) and their cacti hosts (Cactaceae: Opuntioideae). *Neotropical Entomology* 40 (1): 62-71.

Coronado-Flores, V., M. A. Tornero-Campante, R. Núñez-Tovar, J. L. Jaramillo-Villanueva, & S. J. Méndez-Gallegos. 2015. Productividad de cochinilla *Dactylopius coccus* (Hemiptera: Dactylopiidae) en cladodios de *Opuntia ficus-indica* (Cactaceae) con diferentes tratamientos de fertilización. *Acta Zoológica Mexicana* (n. s.), 31(2): 183-189.

Escalante, M. A. 2013. Producción intensiva de grana cochinilla en Morelos, México. In L. Portillo & A.L. Viguera, eds. *Conocimiento y aprovechamiento de la grana cochinilla*. First edition. México, University of Guadalajara. pp. 155-162.

FAO & ICARDA. 2018. *Ecología del cultivo, manejo y usos del nopal*. Traducido al español por: Calendario Mondragón Jacobo. FAO. 232 p.

Flores V., I. 1995. Crianza de la cochinilla en Sudamérica. En *Memorias del Conocimiento y Aprovechamiento del Nopal*, 6° Congreso Nacional y 4° Internacional. Universidad de Guadalajara, Jalisco, México, pp. 48-55.

Foxcroft, L. C. & J. H. Hoffmann, 2000. Dispersal of *Dactylopius opuntiae* Cockerell (Homoptera: Dactylopiidae), a biological control agent of *Opuntia stricta* Haworth. (Cactaceae) in the Kruger National Park. *Koedoe*, 43(2): 1-5.

Galloway T. & R. Handy. 2003. Immunotoxicity of organophosphorous pesticides. *Ecotoxicology*. 12:345-363.

Gilreath M. E. & J. W. Smith Jr. 1988. Natural enemies of *Dactylopius confusus* (Homoptera: Dactylopiidae): exclusion and subsequent impact on *Opuntia* (Cactaceae). *Environment and Entomology* 17:730-738.

Gomes, F. G., J. Bezerra de M., S. B. De Oliveira, S. A. Freire D., R. M. Sobral, R. De Melo M. and A. J. Rego L. 2007. Management of *Dactylopius opuntiae* in the agreste region of Pernambuco, Brazil. Abstracts en CD-ROM del VI International Congress on Cactus Pear and Cochineal, VI General Meeting FAO-CACTUSNET. João Pessoa, Paraíba, Brasil.

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.

Guerrero-Hernández, I. & A., Viguera L. 2007. Use of *Laetilia coccidiivora* Comstock to control of *Dactylopius* spp. under laboratory conditions. In: *Memorias en CD del VI International Congress on Cactus Pear and Cochineal*, Cactusnet-FAO. Paraíba, Brasil.

Hunt D. & N. P. Taylor. 1986. The genera of the Cactaceae: towards a new consensus. *Bradleya*. 4: 65–78.

Lobell, D. B. & M.S. Gourdj. 2012. The influence of climate change on global crop productivity. *Plant Physiology*. 160: 1686–1697.

Mann, J. 1969. Cactus-feeding insects and mites. *United States Natural Museum Bulletin*. 256:1-158.

Mazzeo G., S. Nucifora, A. Russo & P. Suma. 2019. *Dactylopius opuntiae*, a new prickly pear cactus pest in the Mediterranean: an overview. *Entomologia Experimentalis et Applicata* 1-14.

Mena C., J. & S. Rosas G. 2004. Guía para el manejo integrado de las plagas del nopal tunero. SAGARPA, INIFAP Campo Experimental Zacatecas. Publicación especial No. 14. p. 17-18.

Méndez-Gallegos, S. J. 2013. De los montes a la biofábrica: La evolución de los sistemas de cría de la cochinilla. In L. Portillo & A. L. Viguera, eds. *Conocimiento y aprovechamiento de la grana cochinilla*. First edition. University of Guadalajara, México. pp. 135-144.

Monterroso-Rivas, A. I., C. Conde-Álvarez, G. Rosales-Dorantes, & J. D. Gómez-Díaz. 2011. Assessing current and potential rainfed maize suitability under climate change scenarios in Mexico. *Atmosfera*. 24: 53-67.

Murray, B. I. 2006. Botanical insecticides, deterrents, and repellents in modern agriculture and an increasingly regulated world. *Annual Reviews Entomology*. 51: 45-66.

Nobel P. S. 2002. Cacti: biology and uses. Editorial: University of California, Berkeley California, USA.

Nobel, P. S. 1995. Environmental biology. In G. Barbera, P. Inglese and E. Pimienta Barrios, eds. Agro-ecology, cultivation and uses of cactus pear. pp. 36-48. FAO Plant Production and Protection Paper No. 132. Rome, FAO.

Nobel, P. S. & M. Castaneda, 1998. Seasonal light and temperature influences on organ initiation for unrooted cladodes of prickly pear cactus *Opuntia ficus-indica*. Society Horticulture Science. 123: 47–51.

Ochoa, M. J., E. Lobos, L. Portillo & A. L. Viguera. 2015. Importance of biotic factors and impact on cactus pear production systems. Acta Horticulturae 1067: 327-333.

Oliveira C., M., A. M. Auad, S. M. Méndez & M. R. Frizzas. 2013. Economic impact of exotic insect pest in Brazilian agriculture. Journal of Applied Entomology. 137:1-15.

Orduño-Cruz, N. 2009. Virulencia de *Beauveria bassiana* y *Metarhizium anisoliae* sobre picudo del nopal *Metamasius spinolae*. Tesis de Maestría. Colegio de Postgraduados. Texcoco, México, 79 p.

Ovalle R., O., P. Läderach, C. Bunn, M. Obersteiner, & G. Schroth. 2015. Projected shifts in Coffea Arabica suitability among major global producing regions due to climate change. PLoSOne. 10: e0124155.

Palacios-Mendoza C., R. Nieto-Hernández, C. Llanderal-Cázares & H. González-Hernández. 2004. Efectividad biológica de productos biodegradables para el control de la cochinilla silvestre *Dactylopius opuntiae* (Cockerell) (Homoptera: Dactylopiidae). Acta Zoológica Mexicana (ns) 20:99-106.

Palafox-Luna, J. A., E. Rodríguez-Leyva, J. R. Lomeli-Flores, A. L. Viguera-Guzmán & J. M. Vanegas-Rico. 2018. Ciclo de vida y fecundidad de *Dactylopius opuntiae* (Hemiptera: Dactylopiidae) en *Opuntia ficus-indica* (Caryophyllales: Cactaceae). Agrociencia. 52: 103-114.

Pelham, W. E. 1963. A thousand years of cochineal: A lost traditional Mexican industry is on its way back. American Dyestuff Reporter. 52(17): 53-61.

Pimienta, B., E.1990. El nopal tunero. Universidad de Guadalajara. pp 15-21.

Piña, I.1977. La grana o cochinilla del nopal. Monografías LANFI. No. 1. México, D.F. 54 p.

Portillo, L. 2008. Los hospederos Norte y Sudamericano de *Dactylopiidae*. Universidad de Guadalajara, Departamento de Botánica y Zoología. Jalisco, México. pp 52-57

Rodríguez-Leyva, E., J. R. Lomeli-Flores & J. M. Vanegas-Rico. 2010. Enemigos naturales de la grana cochinilla del nopal *Dactylopius coccus* Costa (Hemiptera: Dactylopiidae). In: Portillo L, Viguera AL (eds) Conocimiento y aprovechamiento de la grana cochinilla. Colegio de Postgraduados. Estado de México, México, pp 101-112.

Sáenz, C., J. Corrales-García & G. Aquino-Pérez. 2002. Nopalitos, mucilage, fiber, and cochineal. In P.S. Nobel, ed. *Cacti: Biology and uses*. pp. 211-234. Berkeley, CA, USA, University of California Press.

Santibáñez, L. G. 1990. Ciclo biológico, cultivo y aprovechamiento de la cochinilla del nopal *Dactylopius coccus* Costa en el municipio de Villa Díaz Ordaz, Tlacolula, adscrito al centro Coordinador Indigenista (I.N.I.) Zapoteco del Valle Oaxaca. Reporte de Servicio Social. México, Autonomous Metropolitan University. 149 pp.

Shackleton, R. T., A. B. R. Witt, F. M. Piroris & B. W. van Wilgen. 2017. Distribution and socio-ecological impacts of the invasive alien cactus *Opuntia stricta* in eastern Africa. *Biological Invasions* 19: 2427-2441.

SIAP. 2017. Cultivo de nopal en México. Consultado en internet en junio 2019: <https://www.gob.mx/siap>

Tovar, A., Pando-Moreno, M. & C. Garza. 2005. Evaluation of three varieties of *Opuntia ficus-indica* (L.) Miller as hosts of the cochineal insect *Dactylopius coccus* Costa (Homoptera: Dactylopiidae) in a semiarid area of northeastern Mexico. *Economic Botany*, 59: 3-7.

Vanegas-Rico, J. M., 2009. Dinámica poblacional de *Dactylopius opuntiae* y sus enemigos naturales en Tlalnepantla, Morelos. Tesis de Maestría en Ciencias. Colegio de Postgraduados, Texcoco, Estado de México, México.

Vanegas-Rico, J. M., A. Pérez-Panduro, J. R. Lomelí-Flores, E. Rodríguez-Leyva, J. M. Valdez-Carrasco & G. Mora-Aguilera. 2017. *Dactylopius opuntiae* (Cockerell) (Hemiptera: Dactylopiidae) population fluctuations and predators in Tlalnepantla, Morelos, Mexico. *Folia Entomológica Mexicana* 3:23-31.

Vanegas-Rico, J. M., E. Rodríguez-Leyva, J. R. Lomelí-Flores, H. González-Hernández, A. Pérez-Panduro and G. Mora-Aguilera. 2016. Biology and life history of *Hyperaspis trifurcata* feeding on *Dactylopius opuntiae*. *BioControl* 61: 691-701.

Vanegas-Rico, J. M., J. R. Lomelí-Flores, E. Rodríguez-Leyva, A. Pérez-Panduro & H. González-Hernández, A. Marín-Jarillo. 2015. *Hyperaspis trifurcata* (Coleoptera: Coccinellidae) y sus parasitoides en el centro de México. *Revista Colombiana de Entomología* 41 (2): 194-199.

Vanegas-Rico, J. M., J. R. Lomelí-Flores, E. Rodríguez-Leyva, G. Mora-Aguilera & J. M. Valdez. 2010. Natural enemies of *Dactylopius opuntiae* (Cockerell) on *Opuntia ficus-indica* (L.) Miller in Central Mexico. *Acta Zoológica Mexicana* 26:415-433.

Vigueras, A., L. 2008. Evaluación de la actividad insecticida de extractos botánicos para el control de *Catoblastis cactorum* Berger y *Dactylopius* spp. en *Opuntia* spp. (nopal). Tesis de doctorado. Centro Universitario de Ciencias Exactas. Zapopan, Jalisco. 131p.

Vigueras, A. L., J. Cibrián-Tovar & C. Pelayo-Ortiz. 2009. Use of botanical extracts to control wild cochineal (*Dactylopius opuntiae* Cockerell) on cactus pear. Proceedings of the VI international congress on cactus and cochineal. *Acta Horticulturae* 811: 229-234.

Vigueras, A., L. & L. Portillo, 2014. Control de cochinilla Silvestre y Cría de Grana Cochinilla. Consejo Estatal de Ciencia y Tecnología del Estado de Jalisco. 66 pp.

Vigueras, A., L., L. Portillo, & I. Flores V., 1993. Influencia de los macro y micro elementos aplicados a cladodios de *Opuntia ficus-indica* sobre el desarrollo de la cochinilla. *Quepo* 7: 81-91.

Wright, N. 1963. A thousand years of cochineal. A lost but traditional Mexican industry on its way back. *American Dyestuff Reporter* 52: 53-62.

Zúñiga, C. 2012. Micropropagación de varios cultivares de *Opuntia ficus-indica* (L.) Miller (Cactaceae). Tesis de licenciatura. Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias. Zapopan, Jalisco. 36p.

Zimmermann, H. G. & V. C. Morán. 1991. Biological control of prickly pear, *Opuntia ficus-indica* (Cactaceae), in South Africa. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 37: 29-35.

## APÉNDICE

### ANEXO 1. ESTADÍSTICA DESCRIPTIVA POR CADA TRATAMIENTO USANDO EL PROGRAMA STATISTIX® 8.0

Descriptive Statistics for Tratamien = T0

	No_coloni	Infestaci	Peso_hemb	Perdida_p
N	9	9	9	9
Sum	0	0	0	1.3875
Mean	0.0000	0.0000	0.0000	0.1542
SD	0.0000	0.0000	0.0000	0.0970
Variance	0.0000	0.0000	0.0000	9.401E-03
SE Mean	0.0000	0.0000	0.0000	0.0323
Minimum	0.0000	0.0000	0.0000	0.0185
Median	0.0000	0.0000	0.0000	0.1342
Maximum	0.0000	0.0000	0.0000	0.3035

Descriptive Statistics for Tratamien = T1

	No_coloni	Infestaci	Peso_hemb	Perdida_p
N	10	10	10	10
Sum	1534	52.841	262.98	2.1334
Mean	153.40	5.2841	26.298	0.2133
SD	64.257	2.0851	6.1427	0.0740
Variance	4128.9	4.3476	37.732	5.475E-03
SE Mean	20.320	0.6594	1.9425	0.0234
Minimum	67.000	3.2050	16.600	0.1200
Median	146.00	4.6570	26.550	0.2100
Maximum	279.00	9.9150	34.700	0.3439

Descriptive Statistics for Tratamien = T2

	No_coloni	Infestaci	Peso_hemb	Perdida_p
--	-----------	-----------	-----------	-----------

N	10	10	10	10
Sum	2301	61.308	260.88	2.2523
Mean	230.10	6.1308	26.088	0.2252
SD	122.20	2.0518	9.3839	0.0722
Variance	14932	4.2100	88.058	5.217E-03
SE Mean	38.642	0.6488	2.9674	0.0228
Minimum	56.000	2.0280	12.660	0.1145
Median	192.00	6.1665	24.090	0.2138
Maximum	481.00	8.7400	44.460	0.3372

#### Descriptive Statistics for Tratamien = T3

	No_coloni	Infestaci	Peso_hemb	Perdida_p
N	10	10	10	10
Sum	3307	86.196	260.64	2.3971
Mean	330.70	8.6196	26.064	0.2397
SD	126.87	3.3364	8.6640	0.0927
Variance	16095	11.131	75.064	8.587E-03
SE Mean	40.119	1.0551	2.7398	0.0293
Minimum	110.00	3.3050	12.160	0.1155
Median	341.50	8.6850	23.230	0.2200
Maximum	495.00	12.660	40.980	0.4125

#### Descriptive Statistics for Tratamien = T4

	No_coloni	Infestaci	Peso_hemb	Perdida_p
N	6	6	6	6
Sum	8758	111.17	117.98	1.6987
Mean	1459.7	18.528	19.663	0.2831
SD	1950.8	9.6384	2.0290	0.1426
Variance	3.806E+06	92.899	4.1170	0.0203
SE Mean	796.41	3.9349	0.8284	0.0582
Minimum	98.000	8.0290	16.880	0.1673
Median	921.50	16.980	20.680	0.2438
Maximum	5366.0	30.455	21.280	0.5420

#### Descriptive Statistics for Tratamien = T5

	No_coloni	Infestaci	Peso_hemb	Perdida_p
N	10	10	10	10
Sum	2772	83.740	137.32	1.8908
Mean	277.20	8.3740	13.732	0.1891
SD	202.23	4.7213	5.7215	0.0665
Variance	40899	22.290	32.736	4.428E-03
SE Mean	63.952	1.4930	1.8093	0.0210
Minimum	18.000	0.5590	3.1000	0.0910
Median	235.00	9.7280	14.560	0.2159
Maximum	682.00	14.266	21.940	0.2637

## **ANEXO 2. COMPARACIÓN DE MEDIAS DE TUCKEY (STATISTIX® 8.0)**

Tukey HSD All-Pairwise Comparisons Test of No\_coloni for Tratamien

Tratamien	Mean	Homogeneous Groups
T4	654.67	A
T3	330.70	B
T5	277.20	B
T2	230.10	B
T1	153.40	B
T0	0.000	C

Alpha 0.05 Standard Error for Comparison VARIES  
 Critical Q Value 4.194 Critical Value for Comparison VARIES  
 Error term used: Error, 49 DF  
 There are 2 groups (A and B) in which the means  
 are not significantly different from one another.

Tukey HSD All-Pairwise Comparisons Test of Peso\_hemb for Tratamien

Tratamien	Mean	Homogeneous Groups	
T1	26.298	A	0.026298
T2	26.088	A	

T3 26.064 A  
 T4 19.663  
 AB  
 T5 13.732 B  
 T0 0.0000  
 C

Alpha 0.05 Standard Error for Comparison VARIES  
 Critical Q Value 4.194 Critical Value for Comparison VARIES  
 Error term used: Error, 49 DF  
 There are 3 groups (A, B, etc.) in which the means  
 are not significantly different from one another.

Tukey HSD All-Pairwise Comparisons Test of Pérdida de peso for Tratamientos

Tratamientos Mean Homogeneous Groups  
 T4 0.2831 A  
 T3 0.2397 A  
 T2 0.2252 A  
 T1 0.2133 A  
 T5 0.1891 A  
 T0 0.1542 A

Alpha 0.05 Standard Error for Comparison VARIES  
 Critical Q Value 4.194 Critical Value for Comparison VARIES  
 Error term used: Error, 49 DF  
 There are no significant pairwise differences among the means.

### **ANEXO 3. ANÁLISIS DE VARIANZA EN CADA TRATAMIENTO (STATISTIX® 8.0).**

Analysis of Variance Table for Número\_colonias

Source	DF	SS	MS	F	P
Tratamien	5	9071585	1814317	4.51	0.0018
Error	49	1.971E+07	402300		

Total 54

Note: SS are marginal (type III) sums of squares

Grand Mean 408.51 CV 155.26

Analysis of Variance Table for Peso\_hemb

Source	DF	SS	MS	F	P
Tratamien	5	5062.67	1012.53	23.37	0.0000
Error	49	2122.89	43.32		
Total	54				

Note: SS are marginal (type III) sums of squares

Grand Mean 18.641 CV 35.31

Analysis of Variance Table for Pérdida\_peso

Source	DF	SS	MS	F	P
Tratamien	5	0.07497	0.01499	1.88	0.1145
Error	49	0.39024	0.00796		
Total	54				

Note: SS are marginal (type III) sums of squares