



COLEGIO DE POSTGRADUADOS

INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS AGRÍCOLAS

CAMPUS MONTECILLO

POSTGRADO EN FITOSANIDAD

ENTOMOLOGÍA Y ACAROLOGÍA

CULTIVO DEL INSECTO COMESTIBLE *Comadia redtenbacheri* Hammerschmidt EN PLANTAS DE AGAVE

NORMA ESPINOSA GARCÍA

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

DOCTORA EN CIENCIAS

MONTECILLO, TEXCOCO, ESTADO DE MÉXICO

2018

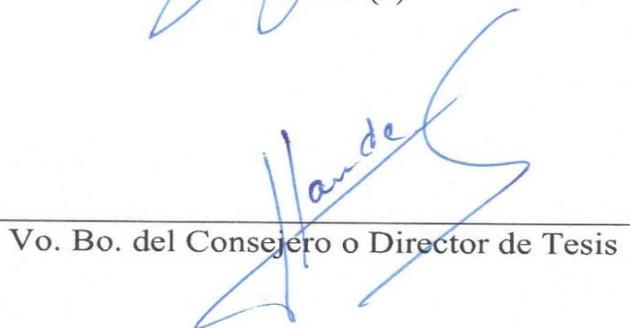
CARTA DE CONSENTIMIENTO DE USO DE LOS DERECHOS DE AUTOR Y DE LAS REGALIAS COMERCIALES DE PRODUCTOS DE INVESTIGACION

En adición al beneficio ético, moral y académico que he obtenido durante mis estudios en el Colegio de Postgraduados, el que suscribe Norma Espinosa García, Alumno (a) de esta Institución, estoy de acuerdo en ser participe de las regalías económicas y/o académicas, de procedencia nacional e internacional, que se deriven del trabajo de investigación que realicé en esta institución, bajo la dirección del Profesor María Celina Micaela Llanderal Cázares, por lo que otorgo los derechos de autor de mi tesis Cultivo del insecto comestible Comadia redtenbacheri Hammerschmidt en plantas de maguey

y de los productos de dicha investigación al Colegio de Postgraduados. Las patentes y secretos industriales que se puedan derivar serán registrados a nombre del colegio de Postgraduados y las regalías económicas que se deriven serán distribuidas entre la Institución, El Consejero o Director de Tesis y el que suscribe, de acuerdo a las negociaciones entre las tres partes, por ello me comprometo a no realizar ninguna acción que dañe el proceso de explotación comercial de dichos productos a favor de esta Institución.

Montecillo, Mpio. de Texcoco, Edo. de México, a 25 de octubre de 2018


Firma del Alumno (a)

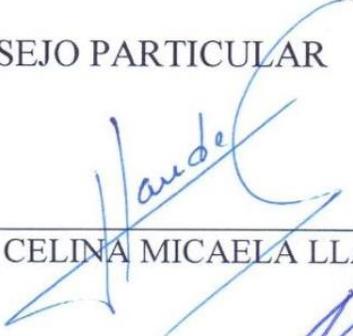

Vo. Bo. del Consejero o Director de Tesis

La presente tesis titulada: **Cultivo del insecto comestible *Comadia redtenbacheri* Hammerschmidt en plantas de maguey,** realizada por la alumna: **Norma Espinosa García,** bajo la dirección del Consejo Particular indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

DOCTORA EN CIENCIAS
FITOSANIDAD
ENTOMOLOGÍA Y ACAROLOGÍA

CONSEJO PARTICULAR

CONSEJERA



DRA. MARÍA CELINA MICAELA LLANDERAL CÁZARES

ASESORA



DRA. KALINA MIRANDA PERKINS

ASESOR



DR. HÉCTOR GONZÁLEZ HERNÁNDEZ

ASESOR



DR. MATEO VARGAS HERNÁNDEZ

ASESOR



DR. JESÚS ROMERO NÁPOLES

Montecillo, Texcoco, Estado de México, noviembre de 2018

CULTIVO DEL INSECTO COMESTIBLE *Comadia redtenbacheri* Hammerschmidt
EN PLANTAS DE MAGUEY
Norma Espinosa García, D. en C.
Colegio de Postgraduados, 2018

RESUMEN

El consumo del insecto comestible *Comadia redtenbacheri* (Hammerschmidt) conocido como “gusano rojo del maguey” aumentó en los últimos años, lo que ha llevado a una colecta excesiva de poblaciones silvestres de esta especie. Por ello, la presente investigación propone métodos para la infestación inducida de plantas de *Agave salmiana* en macetas con larvas de 0.12 g y mayores a 0.30 g de peso promedio a densidades de 20, 30 y 40 por planta, así como adultos recién emergidos en las proporciones hembra-macho 1:1, 1:2 y 2:1, además de plantas en el suelo con larvas de más de 0.30 g a densidades de 30, 60, 90 y 120. Las larvas de mayor peso en macetas a densidades de 30 y 40 individuos por planta, presentaron más capullos y emergencia de adultos. La proporción hembras-machos 1:2 tuvo un promedio de 12 larvas por planta y 75% de plantas infestadas. Con las larvas liberadas en el suelo a una densidad de 60 por planta, se logró el establecimiento de una segunda generación con 72% de plantas infestadas y 14.5% de daño promedio al interior del tallo. Los resultados obtenidos pueden servir de base para programas de producción o restablecimiento de poblaciones de gusano rojo. El mayor número de perforaciones en el tallo se presentó en la especie *Agave salmiana* variedad Manso, considerado el hospedero preferente de *Comadia redtenbacheri*.

Palabras clave: Gusano rojo, agave, infestación, apareamiento, entomofagia.

***Comadia redtenbacheri* HAMMERSCHMIDT FARMING IN AGAVE PLANTS**

Norma Espinosa García, D. en C.

Colegio de Postgraduados, 2018

ABSTRACT

The consumption of the edible insect *Comadia redtenbacheri* (Hammerschmidt), known as "agave red worm", has increased in recent years, which has caused an excessive collection from wild populations. This research proposes methods to induce their infestation in *Agave salmiana* plants in pots, with larvae of 0.12 g and greater than 0.30 g of weight, at densities of 20, 30 and 40 larvae per plant, as well as newly emerged adults at 1:1, 1:2, and 2:1 female: male ratios, and agave plants planted in pots with soil and larvae greater than 0.30 g at densities of 30, 60, 90 and 120 larvae per plant. The results indicate that in pots, larvae with the higher weight at 30 and 40 larvae per plant, produced the greatest number of pupae and adult emergence. Adults at 1:2 female-male ratio had an average of 12 larvae per plant and 75% of plants infested. The larvae released on pots with soil at densities of 60 larvae by plant, successfully became established and produced a second generation with 72% of plants internally infested, with an average of 14.5% of plant's stem damage. The results obtained may serve as the basis for the production or population recovery programs of the agave red worm. The highest number of perforations in the stem occurred in the *Agave salmiana* (Manso), considered the preferred host of *Comadia redtenbacheri*.

Keywords: Redworm, *Agave*, infestation, mating, entomophagy.

AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), por la beca otorgada para la realización de mis estudios de doctorado.

Al Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo por todo el apoyo académico y logístico.

A la Dra. Celina Llanderal Cázares, quien me brindó la ayuda y orientación necesaria para la realización de esta investigación, gracias por brindarme su confianza y apoyo incondicional en los momentos más difíciles, ha sido un privilegio trabajar con usted.

A la Dra. Kalina Miranda Perkins por su acertada guía durante la investigación, su paciencia y valiosa amistad, mi más profundo agradecimiento.

Al Dr. Héctor González Hernández, por sus valiosas aportaciones y su visión que ayudó siempre a la mejora del trabajo.

Al Dr. Mateo Vargas Sánchez, por su inestimable ayuda desde los primeros pasos de esta investigación, gracias por inspirarme a vencer mis limitaciones.

Al Dr. Nápoles por su guía, apoyo y consejos que permitieron concluir satisfactoriamente este trabajo (los consejos son mejores cuando se dan a tiempo).

Al M.C. Jorge M. Valdez Carrasco, por su ayuda en la investigación.

A mis compañeros del Laboratorio de Fisiología de Insectos, Rosario (mil gracias amiga), Manuel, Abraham y Ricardo por todo el apoyo, sugerencias y alegrías compartidas durante mi estancia en el Colegio de Postgraduados.

DEDICATORIA

A mis padres, hermanas y hermano en especial a mi querida mamá por su apoyo incondicional.

A Enrique, gran parte de esta tesis te la debo a ti que me has acompañado siempre.

A Isaías y Aarón, mi inspiración.

A las personas que me ayudaron y motivaron cuando pensé que todo se terminaba.....

.

CONTENIDO

	Página
RESUMEN	iv
ABSTRACT	v
LISTA DE CUADROS	x
LISTA DE FIGURAS	xi
INTRODUCCIÓN GENERAL	1
Objetivo general	1
Objetivos particulares	1
Lugar del ensayo	2
Recolecta de agaves	2
Análisis estadístico	3
Literatura citada	3
CAPÍTULO 1. INFESTACIÓN DE AGAVES EN MACETA	5
RESUMEN	5
ABSTRACT	6
1.1. INTRODUCCIÓN	7
1.2. MATERIALES Y MÉTODOS	8
1.3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	8
1.3.1. Infestación con larvas de aproximadamente 0.12 g en maceta.	8
1.3.2. Infestación con larvas de 0.3-1.0 g de peso en maceta.	11
1.4. CONCLUSIONES	12
1.5. LITERATURA CITADA	12
CAPÍTULO 2. LIBERACIÓN DE ADULTOS DE <i>Comadia redtenbacheri</i>	14
EN AGAVES EN MACETA	
RESUMEN	14
ABSTRACT	15
2.1. INTRODUCCIÓN	16
2.2. MATERIALES Y MÉTODOS	16
2.3. RESULTADOS	19
2.4. DISCUSIÓN	21

2.5. CONCLUSIONES	21
2.6. LITERATURA CITADA	21
CAPITULO 3. INFESTACIÓN INDUCIDA DE PLANTAS DE <i>Agave</i>	23
<i>salmiana</i> CON LARVAS DE <i>Comadia redtenbacheri</i> (mayores de 0.30 g) EN	
SUELO	
RESUMEN	23
ABSTRACT	24
3.1. INTRODUCCIÓN	25
3.2. MATERIALES Y MÉTODOS	26
3.3. RESULTADOS	29
3.4. DISCUSIÓN	32
3.5. CONCLUSIONES	34
3.6. LITERATURA CITADA	34
CAPITULO 4. INFESTACIÓN POR <i>Comadia redtenbacheri</i> EN DOS	36
ESPECIES DE AGAVE	
RESUMEN	36
ABSTRACT	37
4.1. INTRODUCCIÓN	38
4.2. MATERIALES Y MÉTODOS	39
4.3. RESULTADOS	41
4.4. DISCUSIÓN	42
4.5. CONCLUSIONES	45
4.6. LITERATURA CITADA	46
5. ANEXO	49

LISTA DE CUADROS

Página

Cuadro 1.1. Variables evaluadas en las plantas de agave infestadas con larvas de 0.3-1.0 g de peso de <i>Comadia redtenbacheri</i>	11
Cuadro 2.1. Valores promedio de las variables evaluadas en las plantas de <i>Agave salmiana</i> infestadas con diferente proporción de sexos de adultos de <i>Comadia redtenbacheri</i>	20
Cuadro 3.1. Tratamientos con larvas de 0.3-1.0 g de peso, establecidas en el suelo de plantas de agave.....	28
Cuadro 3.2. Daño en plantas de agave infestadas con larvas de <i>Comadia redtenbacheri</i> de 0.3-1.0 g de peso.....	30
Cuadro 4.1. Valores promedio de las variables evaluadas en diferentes variedades de agave infestadas artificialmente con larvas de <i>Comadia redtenbacheri</i>	41
Cuadro 4.2. Número y profundidad de perforaciones en los tallos subterráneos de diferentes variedades de agave infestados artificialmente por larvas de <i>Comadia rdtenbacheri</i>	41
Cuadro 4.3. Correlación entre las variables de las cinco variedades de agave.....	42

LISTA DE FIGURAS

	Página
Figura 1.1. Proceso para la infestación de plantas de <i>Agave salmiana</i> en macetas con larvas de aproximadamente 0.12 g. a. Agaves plantados en macetas; b. Larvas previamente seleccionadas en laboratorio; c. Larvas liberadas en suelo, colocadas en la base de la planta; d, e. Larvas en su ingreso a la base de la planta; f. Plantas infestadas, cubiertas con bolsas de tul; g, h, i. larvas en la periferia de los tallos subterráneos momificadas e invadidas por patógenos.....	9
Figura 1.2. Proceso para la infestación de plantas de <i>Agave salmiana</i> en macetas con larvas de 0.3 a 1.0 g de peso. a. Agaves plantados en macetas; b. Larvas previamente seleccionadas en laboratorio; c. Larvas liberadas en suelo, colocadas alrededor de la planta; d, e, f. Larvas insertándose en el suelo para pupación; g. Plantas infestadas, cubiertas con bolsas de tul; h. Planta extraída de la maceta, previo al muestreo destructivo; i. Eliminación de las raíces de la planta; j. Separación de las pupas en el suelo; k. Puparios.....	10
Figura. 2.1. Planta de agave en maceta, cubierta con una bolsa de tela de tul para el confinamiento de adultos de <i>Comadia redtenbacheri</i>	17
Figura 2.2. Proceso para la obtención de adultos de <i>Comadia redtenbacheri</i> en condiciones de confinamiento.....	17
Figura 2.3. Proceso para la liberación de adultos de <i>Comadia redtenbacheri</i> en tratamientos con diferentes proporciones de hembra-macho. a. Traslado de adultos al lugar de experimentación en bolsas de tul; b. Plantas de agave con hojas secas en su base; c. Colocación de adultos en la base de la planta; d. Adultos liberados; e. Planta cubierta con una bolsa de tul; f-g. Plantas cubiertas, separadas por tratamientos.....	18
Figura 2.4. Proceso para la liberación de adultos.....	19
Figura 2.5. Larvas extraídas de las plantas durante el primero (a) y segundo muestreo (b)..	20
Figura 3.1. Disposición de los agaves en cuatro bloques, con 0.8 m entre plantas, 1.0 m entre surcos y 1.2 m entre bloques. Se muestra la estructura tipo túnel de 6×2×1.6 m, cubierta con tela de tul.....	26
Figura 3.2. Liberación de larvas de <i>Comadia redtenbacheri</i> . a. Plantas de agave en suelo aflojado y regado previo a la liberación; b. Larvas previamente seleccionadas, listas para su	

liberación; c. Liberación de larvas en las plantas de agave; d. larvas liberadas en suelo; e. larvas enterrándose en el suelo para pupar.....	27
Figura 3.3. Proceso para la infestación de agaves con larvas de 0.3-1.0 g de peso liberadas en suelo.....	29
Figura 3.4. Larvas encontradas dentro de los agaves, durante 2016.....	29
Figura 3.5. Daños en el tallo subterráneo, resultado de la barrenación de las larvas de <i>C. redtenbacheri</i> . A la derecha de los tallos digitalizados se muestran las imágenes segmentadas con el programa GIMP 2.8.....	31
Figura 3.6. Porcentaje de plantas dañadas con relación a su altura	32
Figura 4.1. Proceso para la infestación de plantas de agave. a. Agaves plantados en macetas; b. Larvas previamente seleccionadas en laboratorio; c y d. Larvas liberadas, colocadas en la base de la planta; e y f. Plantas infestadas cubiertas con bolsas de tul; h. Planta extraída de la maceta, previo al muestreo destructivo; g, i y j. Tallos subterráneos dañados.....	40
Figura 5.1. Métodos para la infestación de agaves con <i>Comadia redtenbacheri</i>	49

INTRODUCCIÓN GENERAL

En México hay especies de insectos comestibles amenazadas por el incremento en su consumo, entre ellas *Comadia redtenbacheri* (Hammerschmidt) (Lepidoptera: Cossidae), conocida como “gusano rojo del maguey” (Ramos-Elorduy, 2006). Esta especie ha sido colectada por grupos indígenas en México para su alimentación desde la época prehispánica (Hogue, 1993) y en la actualidad es apreciada como alimento por consumidores nacionales y extranjeros, además de que tiene gran demanda en la industria mezcalera (Hernández-Livera *et al.*, 2005; Millán-Mercado *et al.*, 2016).

Comadia redtenbacheri se comporta como barrenador en estado larval (Borrer *et al.*, 1981) y sus hospederos principales son *Agave salmiana* Otto ex Salm-Dyck, *A. mapisaga* Trel. y *A. atrovirens* Karw. (Camacho *et al.*, 2005). Las larvas después de emerger del huevo migran en grupo hacia el tallo subterráneo donde completan su madurez y como en el caso de otros insectos barrenadores que se alimentan de los tejidos internos de su hospedero, su actividad es detectada hasta que existe un daño evidente en la planta, lo que complica su estudio (Llanderal-Cázares *et al.*, 2017).

La satisfacción de la demanda de gusano rojo depende de la recolecta de individuos silvestres que se extraen del interior de los agaves los cuales, si sobreviven a la extracción de larvas de su interior, no son replantados y tienden a morir (Ramos-Elorduy, 2006). El manejo destructivo y la reducción de la superficie de agave sembrada en los últimos años, también han ocasionado la disminución de las poblaciones del gusano rojo (Llanderal- Cázares *et al.*, 2010).

OBJETIVO GENERAL

Desarrollar procedimientos para la producción de gusano rojo *Comadia redtenbacheri* (Hammerschmidt), en plantas de *Agave* establecidas en suelo y macetas.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Evaluar la infestación de plantas de *Agave salmiana* Otto ex Salm-Dyck, mediante la liberación de larvas de 0.12 g de peso promedio.

- Evaluar la infestación de plantas de *Agave salmiana* Otto ex Salm-Dyck, mediante la liberación de larvas de 0.3 a 1.0 g de peso.
- Evaluar la infestación de plantas de *Agave salmiana* Otto ex Salm-Dyck, con liberación de adultos.
- Evaluar la preferencia de *C. redtenbacheri* por diferentes tipos de agaves.

LUGAR DEL ENSAYO

El ensayo se estableció en la localidad de Cuautlacingo, perteneciente al Municipio de Otumba en el Estado de México. Esta comunidad se encuentra a 2360 m y su ubicación georreferenciada es 19°41'34"N y 98°47'08"O. Otumba colinda al norte con el Municipio de Axapusco, al este con de Axapusco y el Estado de Hidalgo, al sur con los Estados de Hidalgo y Tlaxcala y con el Municipio de Tepetlaoxtoc, al oeste con los Municipios de Tepetlaoxtoc, San Martín de las Pirámides, Teotihuacán y Axapusco. Ocupa el 0.88% de la superficie del Estado de México y forma parte de la Provincia Eje Neovolcánico, Subprovincia Lago y Volcanes de Anáhuac.

El clima es templado subhúmedo con lluvias en verano, con la mayor precipitación durante el periodo junio-septiembre. La temperatura promedio anual es de 19.6 °C, con la histórica más alta y baja registradas de 33 °C y -8 °C. El índice UV para este municipio va de 6-7 (alto) hasta 8-10 (muy alto). El suelo está conformado por Phaeozem (69.54%), Leptosol (23.96%), Durisol (1.14%) y Vertisol (0.53%) (INEGI, 2015).

RECOLECTA DE AGAVES

Se obtuvieron 100 plantas de *A. salmiana* de aproximadamente tres años de edad, en la comunidad de Santiago Zacualuca, Municipio de San Juan Teotihuacán, Estado de México (19° 41' 53" N y 98° 55' 43" O, altitud 2272 m) y plantas de agave *A. salmiana* de las variedades Manso y Ayoteco y las variedades Verde, Carrizo y Xilometl (*Agave mapisaga*), cinco por variedad, con alturas de 30 a 50 cm y aproximadamente tres años de edad provenientes de Otumba, Estado de México (19°37'47" N, 98°43'38" O, altitud 2667 m). Todas las plantas fueron sometidas a una revisión minuciosa para seleccionar aquellas sanas y libres de insectos, para su traslado a un terreno ubicado en Cuautlacingo, Otumba, Estado de México (19°41'37" N, 98°47'16" O, altitud 2345 m), bajo malla de monofilamento de 40% de sombra.

ANÁLISIS ESTADÍSTICO

En una primera etapa se realizó una prueba de bondad de ajuste a las diferentes variables, para determinar la metodología estadística específica más adecuada en cada caso. Para la variable porcentaje de daño en el tallo subterráneo, se realizó un análisis de varianza paramétrico con el modelo lineal asociado a un diseño completamente al azar, mientras que las variables no continuas como número de larvas y número de pupas, se examinaron mediante la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis, con la transformación de los valores originales a los rangos para realizar el ANOVA. Las comparaciones de medias se realizaron mediante la diferencia mínima significativa de Fisher, con un nivel de significancia al 5% ($p=0.05$) y se reportaron las medias de las variables en sus unidades originales. Todos los análisis estadísticos se efectuaron con el programa SAS® v.9.4 (SAS Institute, 2018).

LITERATURA CITADA

- Borror, D. J., D. M. De Long, and C. A. Triplehorn. 1981. An Introduction to the Study of Insects, 5th Edition. Saunders College Publishing 827 p.
- Camacho, A. D., A. Nolasco-Miguel, J. E. Jiménez-Luna, y F. Rivera-Torres. 2005. Organización Ambientalista Tlaxcalteca Ometeotl. 2005. Reintroducción de maguey y cultivo del gusano rojo *Comadia redtenbacheri* H. (Lepidoptera: Cossidae). Entomología Mexicana 4: 599-603.
- Hernández-Livera, R. A., C. Llanderal-Cázares, L. E. Castillo-Márquez, J. Valdez-Carrasco y, R. Nieto-Hernández. 2005. Identificación de instares larvales de *Comadia redtenbacheri* (Hamm.) (Lepidoptera: Cossidae). Agrociencia 39: 539-544. ISSN: 1405-3195
- Hogue, C. L. 1993. Latin American Insects and Entomology. University of California Press, Berkeley. 536 p.
- Llanderal-Cázares, C., H. M. De los Santos-Posadas, E. I. Almanza-Valenzuela, R. Nieto-Hernández, y C. Castillejos-Cruz. 2010. Establecimiento del gusano rojo en plantas de maguey en invernadero. Acta Zool. Mex. (n.s.) 26: 1-6.
- Llanderal-Cázares, C., R. Castro-Torres, and K. Miranda-Perkins. 2017. Bionomics of *Comadia redtenbacheri* (Hammerschmidt, 1847) (Lepidoptera: Cossidae). SHILAP Rev. de Lepidopt. 45: 373-383.

- Millán-Mercado, E., C. Llanderal-Cázares, J. Valdez-Carrasco, and A. L. Viguera. 2016. Conservación del color y de la turgencia del gusano rojo *Comadia redtenbacheri* para mezcal embotellado. *Southwest. Entomol.* 41: 751-760.
- Ramos-Elorduy, J. 2006. Threatened edible insects in Hidalgo, Mexico and some measures to preserve them. *J. Ethnobiol. Ethnomed.* 2: 51. ISSN: 1746-4269.
- SAS INSTITUTE. 2014. SAS/STAT Output delivery system: User's guide. Version 9.4. SAS Institute, Cary, North Carolina, USA.

CAPÍTULO 1. INFESTACIÓN DE AGAVES EN MACETA

Norma Espinosa García

Colegio de Postgraduados, Montecillo, 2018

RESUMEN

Como parte de la entomofagia, una práctica común en varias regiones del país desde la época prehispánica, algunas especies son semicultivadas, por ejemplo, los chapulines, ahuatele y escamoles, pero la mayoría se recolectan de poblaciones silvestres. En la actualidad, el consumo de insectos ha aumentado de manera significativa y la demanda en el mercado por algunas especies como el gusano rojo *Comadia redtenbacheri*, va en incremento, sin un manejo adecuado para la recolección, cría, producción o comercialización, que aumente la cantidad de insectos disponibles y disminuya la recolección silvestre. La presente investigación propone la infestación inducida de plantas de *Agave salmiana* en macetas, con larvas de *C. redtenbacheri* con pesos promedio alrededor de 0.12 g y mayor de 0.30 g de peso promedio, a densidades de 20, 30 y 40 larvas por planta. Para el caso de las larvas de aproximadamente 0.12 g en maceta, se encontraron individuos de *C. redtenbacheri* en la periferia de los tallos subterráneos, que presentaron evidencia de daño por patógenos. Las larvas mayores de 0.30 g a densidades de 30 y 40 individuos por planta, presentaron el mayor número de pupas y emergencia de adultos.

Palabras clave: Entomofagia, gusano rojo, maguey, cría, insectos comestibles.

CHAPTER 1. POTTED AGAVE INFESTATION

Norma Espinosa García

Colegio de Postgraduados, Montecillo, 2018

ABSTRACT

As a part of entomophagy, a common practice in some regions of the country since the pre-hispanic's time. Some species are semicultivated such as grasshoppers, ahuatele and escamoles, but most of them are collected from wild populations. Currently consumption of insects has risen significantly and the market demand for some edible species, like the red worm *Comadia redtenbacheri* has been increased, without an adequate management for collection, rearing, production or commercialization, to increase the amount of available insects and reduce the wild collection. This research proposes the induced infestation in potted *Agave salmiana* plants, with *C. redtenbacheri* larvae around 0.12 g and greater than 0.30 g of weight at densities of 20, 30 and 40 larvae per plant. For larvae about 0.12 g, some individuals were found around the underground stems periphery that showed evidence of pathogens damage. Larvae greater than 0.30 g, to 30 and 40 densities per plant, presented more pupae and adults emergence.

Key words: Entomophagy, redworm, maguey, rearing, edible insects.

1.1. INTRODUCCIÓN

Los insectos son una fuente de nutrientes para la alimentación humana o animal y los medios para su adquisición no siempre son sostenibles, debido a que en algunos casos, la cosecha de poblaciones silvestres puede llevar a la sobreexplotación de especies (van Huis, 2013; Yen, 2015). Es necesario desarrollar metodologías para cultivo de insectos, especialmente para aquellas especies amenazadas (Gullan y Cranston, 2005), ya que existe una creciente demanda por especies comestibles (Hanboonsong *et al.*, 2013). A pesar de que Lepidoptera es uno de los órdenes mayormente consumidos en el mundo (Pal y Roy, 2014), hay pocas especies comestibles de este orden con técnicas de cría establecidas, como el caso del barrenador del bambú *Omphisa fuscidentalis* (Lepidoptera: Crambidae) en algunos países asiáticos, que permanece en estado larval dentro del hospedero por más de ocho meses y su cría es mediante el control del apareamiento de adultos (Kayikananta, 2000).

En Africa, se ha reportado la introducción en lugares seleccionados de las especies *Imbrasia obscura*, *I. ertli* y *Cirina forda* (Lepidoptera: Saturniidae), donde las larvas jóvenes que son colectadas en áreas silvestres, son llevadas para que se alimenten de árboles hospedantes cerca de las casas o terrenos de las poblaciones consumidoras y una vez que alcanzan su madurez, son extraídas para su consumo, aunque algunas son mantenidas para que pupen en los árboles (van Itterbeeck y van Huis, 2012).

En el caso del gusano rojo, Nolasco *et al.* (2002) y Camacho *et al.* (2005) intentaron establecer, en condiciones controladas, diferentes estados de desarrollo. Llanderal *et al.* (2010) probaron la infestación de larvas de tercero y cuarto instar de 55 mg de peso en densidades de 25, 50 y 100 en plantas establecidas en invernadero y obtuvieron los mejores resultados de infestación con las densidades más bajas (25 larvas por planta). Delgado-Tejeda *et al.* (2017) registraron el establecimiento de *C. redtenbacheri* con 120 larvas por maceta, con un peso mayor de 0.30 g, aunque recomiendan continuar los experimentos hasta obtener una siguiente generación con mayores densidades por unidad de superficie. Con estos antecedentes, el objetivo de la investigación fue infestar plantas de *Agave salmiana* con larvas de alrededor de 0.12 g y mayor de 0.30 g de peso promedio a densidades de 20, 30 y 40 larvas por planta.

1.2. MATERIALES Y MÉTODOS

En octubre de 2016 se adquirieron del Estado de México y Tlaxcala larvas de *C. redtenbacheri* de aproximadamente 0.12 g y 0.3 a 1.0 g de peso, seleccionadas como sanas, sin lesiones ni signos de parasitismo o daño por patógenos (Zetina y Llanderal, 2014) y 12 plantas sanas de *Agave salmiana*. Para la ubicación de las larvas de 0.12 g se descubrió la base de la planta hasta el tallo subterráneo y se procedió a distribuir a los individuos en la base de las hojas y cerca del inicio del cuello del tallo. Los tratamientos fueron asignados completamente al azar en densidades de 20, 30 y 40 larvas por planta, cada densidad con dos repeticiones (Figura 1.1).

Para ubicar en las macetas a las larvas de 0.3 a 1.0 g de peso, superficialmente se removió el suelo con una pala y se aplicó un riego hasta capacidad de campo, se escurrieron las macetas por 24 horas. Las larvas se colocaron alrededor de la base de las plantas a densidades de 20, 30 y 40 larvas por planta, cada densidad con dos repeticiones. Para ambos tratamientos, las plantas infestadas se cubrieron con una bolsa de tul para evitar que las larvas fueran atacadas por depredadores. En junio y julio de 2017 se realizó la extracción de agaves para la búsqueda de larvas mediante un muestreo destructivo y el suelo se tamizó para localizar larvas y pupas (Figura 1.2).

1.3. RESULTADOS Y DISCUSION

1.3.1. Infestación en maceta con larvas de aproximadamente 0.12 g.

No se encontraron individuos de *C. redtenbacheri* en el interior de las plantas, pero sí en la periferia de los tallos subterráneos, las larvas presentaron evidencia de daño por patógenos como coloración verde, gris y negra, además de momificación y endurecimiento de las larvas.



Figura 1.1 Proceso para la infestación de plantas de *Agave salmiana* en macetas con larvas de aproximadamente 0.12 g. a. Agaves plantados en macetas; b. Larvas previamente seleccionadas en laboratorio; c. Larvas liberadas en suelo, colocadas en la base de la planta; d, e. Larvas a su ingreso a la base de la planta; f. Plantas infestadas, cubiertas con bolsas de tul; g, h, i. larvas en la periferia de los tallos subterráneos momificadas e invadidas por patógenos.



Figura 1.2. Proceso para la infestación de plantas de *Agave salmiana* en macetas con larvas de 0.3 a 1.0 g de peso. a. Agaves plantados en macetas; b. Larvas previamente seleccionadas en laboratorio; c. Larvas liberadas en suelo, colocadas alrededor de la planta; d, e, f. Larvas a su ingreso en el suelo para pupación; g. Plantas infestadas, cubiertas con bolsas de tul; h. Planta extraída de la maceta, previo al muestreo destructivo; i. Eliminación de las raíces de la planta; j. Separación de las pupas en el suelo; k. Puparios.

Delgado-Tejeda *et al.* (2017) al evaluar la emergencia y oviposición de adultos de *C. redtenbacheri*, a partir de la colocación de larvas en macetas con plantas de agave, identificaron hongos de los géneros *Rhizopus*, *Penicilium* y *Aspergillus* que afectaron a larvas, prepupas, y pupas. Miranda-Perkins *et al.* (2013) encontraron 39.6% de individuos infectados por *Beauveria* spp., patógeno que produce momificación y dureza en larvas, síntomas que coinciden con los hallados en este experimento y motivo probable de la muerte de las larvas.

1.3.2. Infestación con larvas de 0.3-1.0 g de peso en maceta.

Se localizaron galerías en el interior de la planta cerca del cuello y dentro del tallo subterráneo, típicas del daño por *C. redtenbacheri* y al tamizar el suelo contenido en la maceta, se observaron pupas con orificios de salida, aunque sin larvas ni adultos. Basado en una prueba de bondad de ajuste y debido a que las variables no son continuas, la variable número de larvas y número de pupas, se examinaron mediante la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis, no se encontraron diferencias ($p = 0.05$) para la variable número de pupas en los tratamientos con 30 y 40 larvas (Cuadro 1.1).

Cuadro 1.1. Variables evaluadas en las plantas de agave infestadas con larvas de 0.3-1.0 g de peso de *Comadia redtenbacheri*.

Tratamientos (larvas por planta)	Promedio de pupas*	Larvas que puparon (%)	Plantas infestadas (%)
20	8.5 b	42.5	50
30	13.5 a	45.0	50
40	12.0 a	30.0	100

* Medias por columnas con la misma letra no son estadísticamente diferentes. Diferencia Mínima Significativa de Fisher ($p=0.05$).

De acuerdo con Miranda-Perkins *et al.* (2013), el porcentaje de emergencia de adultos se incrementa al usar larvas con un peso mayor de 0.3 g, que tienen la capacidad de completar su metamorfosis. Dado que no hubo diferencia entre los porcentajes de pupas en la infestación con 30 y 40 larvas de peso mayor de 0.30 g, el primero de esos tratamientos, con 45% de larvas que puparon, sería el más aceptable, lo que se acerca a lo publicado por Llanderal-Cázares *et al.*

(2010), quienes después de infestar plantas en macetas con densidades de 25, 50 y 100 larvas de 55 mg de peso en promedio, concluyeron que era preferible usar 25 individuos por planta al considerar el costo del material biológico.

1.4. CONCLUSIONES

Ante el aumento en la demanda de gusano rojo en el mercado, es necesario establecer metodologías para su manejo, cría o producción. La infestación de agaves en maceta con larvas de *C. redtenbacheri* con larvas de peso mayor de 0.30 g, a densidades de 30 y 40 individuos por planta, permite el establecimiento de la especie dentro de la planta de tal forma que puede alcanzar su madurez hasta la emergencia de adultos y ser usada como método de cría.

1.5. LITERATURA CITADA

- Camacho, A. D., A. Nolasco M., J. E. Jiménez-Luna, y F. Rivera-Torres. 2005. Reintroducción de maguey y cultivo del gusano rojo *Comadia redtenbacheri* H. (Lepidoptera: Cossidae). Entomología Mexicana 4: 599-603.
- Delgado-Tejeda, I., C. Llanderal-Cázares, K. Miranda-Perkins, y H. M. De los Santos-Posadas. 2017. Pupación, emergencia de adultos y oviposición de *Comadia redtenbacheri* (Lepidoptera: Cossidae) en vivero. Agrociencia 51: 447-454. ISSN: 1405-3195
- Gullan, P. J. and P. S. Cranston. 2005. The insects: an outline of entomology. Chapman & Hall. 505 p.
- Hanboonsong, Y., Jamjanya, T. and Durst, P.B., 2013. Six-legged livestock: edible insect farming, collecting and marketing in Thailand. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Bangkok, Thailand 68p.
- Kayikananta, L. 2000. Biological study and rearing techniques on bamboo caterpillar *Omphisa fuscidentalis* Hampson. (<http://forprod.forest.go.th/forprod/RESEARCH/ABSTRACT/1239.pdf>).
- Llanderal-Cázares, C., H. M. De los Santos-Posadas, E. I. Almanza-Valenzuela, R. Nieto-Hernández, y C. Castillejos-Cruz. 2010. Establecimiento del gusano rojo en plantas de maguey en invernadero. Acta Zoológica Mexicana (n.s.) 26: 25-31

- Miranda-Perkins, K., C. Llanderal-Cázares, H. M. De Los Santos-Posadas, L. Portillo-Martínez, and A. L. Viguera-Guzmán. 2013. *Comadia redtenbacheri* (Lepidoptera: Cossidae) pupal development in the laboratory. Fla. Entomol. 96: 1424-1433.
- Nolasco, M. A., J. E. Jiménez-Luna., y Camacho A. D. 2002. Inducción a la pupación y colonización del gusano rojo del maguey *Comadia redtenbacheri* H. (Lepidoptera: Cossidae). Entomología Mexicana 1: 125-130.
- Pal, P., and Roy, S. 2014. Edible insects: future of human food, a review. International Letters of Natural Sciences 26:1-11.
- van Huis, A. 2013. Potential of insects as food and feed in assuring food security. Annu. Rev. Entomol. 58: 563-583.
- Van Itterbeeck, J. and van Huis A. 2012. Environmental manipulation for edible insect procurement: a historical perspective. J Ethnobiol Ethnomed 8:3.
- Yen, A. L. 2015. Insects as food and feed in the Asia Pacific Region: current perspectives and future directions. Journal of Insects as Food and Feed 1: 33-55.
- Zetina, D. H., and C. Llanderal. 2014. Signs and symptoms in *Comadia redtenbacheri* Hamm. (Lepidoptera: Cossidae) larvae affected by parasitoids. Southwest. Entomol. 39: 285-290.

CAPÍTULO 2. LIBERACIÓN DE ADULTOS DE *Comadia redtenbacheri* EN AGAVES EN MACETA

Norma Espinosa García
Colegio de Postgraduados, Montecillo, 2018

RESUMEN

Se realizó un estudio para la infestación de agaves a partir de la liberación de adultos recién emergidos de *Comadia redtenbacheri*, en las proporciones hembra:macho 1:1, 1:2 y 2:1, que fueron colocados en macetas que contenían plantas de *Agave salmiana* para estimular su apareamiento. La proporción hembra:macho 1:2 tuvo un promedio de 12 larvas por planta y 75% de plantas infestadas, lo que comprueba que el apareamiento fue posible, ya que las larvas se introdujeron para alimentarse y establecieron en los agaves.

Palabras clave: Cruzas, infestación inducida, gusano rojo, maguey.

CHAPTER 2. *Comadia redtenbacheri* ADULTS RELEASE IN POTTED AGAVE PLANTS

Norma Espinosa García
Colegio de Postgraduados, Montecillo, 2018

ABSTRACT

For the mating of newly emerged adults of *Comadia redtenbacheri*, a study was conducted. They were released at 1: 1, 1: 2 and 2:1 female: male ratio and were placed in pots containing *Agave salmiana* plants in order to stimulate mating. The 1:2 ratio had an average of 12 larvae per plant and 75% of infested plants, which proves that the mating was possible, since the larvae introduced and established in the agaves.

Key words: Mating, induced infestation, agave, redworm.

2.1. INTRODUCCIÓN

De acuerdo con van Huis *et al.* (2013), el manejo de insectos con fines de alimento es prácticamente inexistente, por lo que hay necesidad de establecer metodologías para su producción, cría masiva o cultivo. En Tailandia, se han desarrollado técnicas de crianza para la obtención de *Omphisa fuscidentalis*, barrenador del bambú, donde se recomienda controlar el apareamiento de adultos por medio de jaulas de nylon que cubren al brote, o se liberan adultos para su apareamiento natural en el campo (Kayikananta, 2000). Delgado-Tejeda *et al.* (2017) señalaron que si los adultos de *C. redtenbacheri* procedentes de larvas maduras liberadas en macetas con agave, se confinaron para su apareamiento y oviposición, se podría completar el ciclo de vida y lograr el establecimiento de la especie en un área determinada, de modo que las larvas sobrevivientes se establezcan en los agaves y continúen su desarrollo con nuevas generaciones.

Miranda-Perkins *et al.* (2013 y 2016), llevaron a cabo estudios en laboratorio con *C. redtenbacheri*, con el objetivo de detectar diferencias de fecundidad entre cruza con distintas proporciones de hembras y machos y observaron que los porcentajes de oviposición se incrementaron conforme al aumento en el número de machos. El Objetivo del presente estudio fue infestar plantas de agave establecidas en maceta mediante la liberación de adultos de *C. redtenbacheri*, para su reproducción bajo condiciones controladas.

2.2 MATERIALES Y MÉTODOS

Se seleccionaron 12 plantas sanas de *Agave salmiana* con una altura de 30 a 40 cm y con hojas secas en la base. Estas plantas se establecieron en macetas de 25.4 cm de diámetro y fueron ubicadas en el vivero del laboratorio de Fisiología de Insectos del Colegio de Posgraduados en Montecillo, Texcoco, Estado de México. El vivero estaba cubierto con malla de monofilamento con 40 % de sombra para evitar la entrada de pájaros.

En septiembre y octubre de 2015 se colectaron larvas de *C. redtenbacheri* en el Estado de México e Hidalgo, que fueron inducidas a pupar para la obtención de adultos, conforme a la metodología establecida por Miranda-Perkins *et al.* (2013) (Figuras 2.1). Los adultos emergieron a principios de mayo de 2016 y fueron separados por sexo con base en la morfología

de las antenas (Figura 2.1). Después del apareamiento, que se lleva a cabo durante el mismo día de la emergencia o al día siguiente (Llanderal-Cázares *et al.* 2017), los adultos se colocaron en bolsas de tul para su traslado inmediato al sitio del experimento (Figuras 2.1 y 2.3).



Figura 2.1. Proceso para la obtención de adultos de *Comadia redtenbacheri* en condiciones de confinamiento.

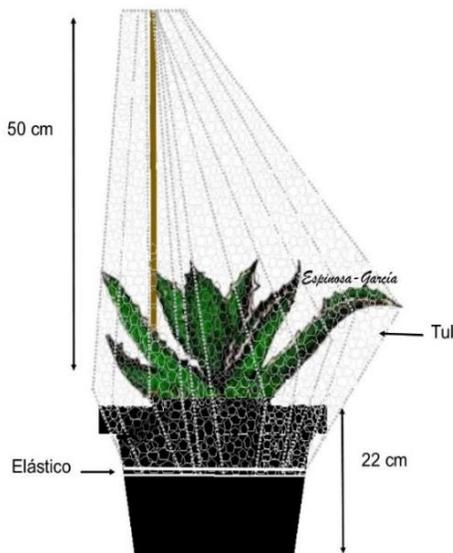


Figura. 2.2. Planta de agave en maceta, cubierta con una bolsa de tela de tul para el confinamiento de adultos de *Comadia redtenbacheri*.



Figura 2.3. Proceso para la liberación de adultos de *Comadia redtenbacheri* en tratamientos con diferentes proporciones de hembra-macho. a. Traslado de adultos al lugar de experimentación en bolsas de tul; b. Plantas de agave con hojas secas en su base; c. Colocación de adultos en la base de la planta; d. Adultos liberados; e. Planta cubierta con una bolsa de tul; f-g. Plantas cubiertas, separadas por tratamientos.

Los tratamientos consistieron en tres proporciones hembra-macho: 1:1, 2:1 y 1:2, cada proporción fue colocada por maceta, con cuatro repeticiones (Figura 5.1). Las plantas se cubrieron con bolsas de tul de 80×40 cm, sostenidas con un poste de madera de 70 cm de altura y sujetas con un elástico en la parte media de la maceta (Figuras 2.2 y 2.3). El muestreo usado para la obtención de datos fue destructivo, ya que se hizo la disección de la planta para observar el interior del tallo y la base de las hojas. El primer muestreo se llevó a cabo en diciembre de 2016, siete meses después de la colocación de los adultos, por lo que las larvas encontradas fueron pequeñas, aproximadamente de tercer instar (Figuras 2.4 y 2.5). El segundo muestreo fue en abril de 2017, 11 meses después de la ubicación de los adultos y las larvas encontradas fueron de sexto y séptimo instar (Figura 2.5). En ambos muestreos se midieron las características morfológicas de la planta, altura, número de hojas, diámetro, longitud y peso del tallo subterráneo; así como el número de larvas por planta.

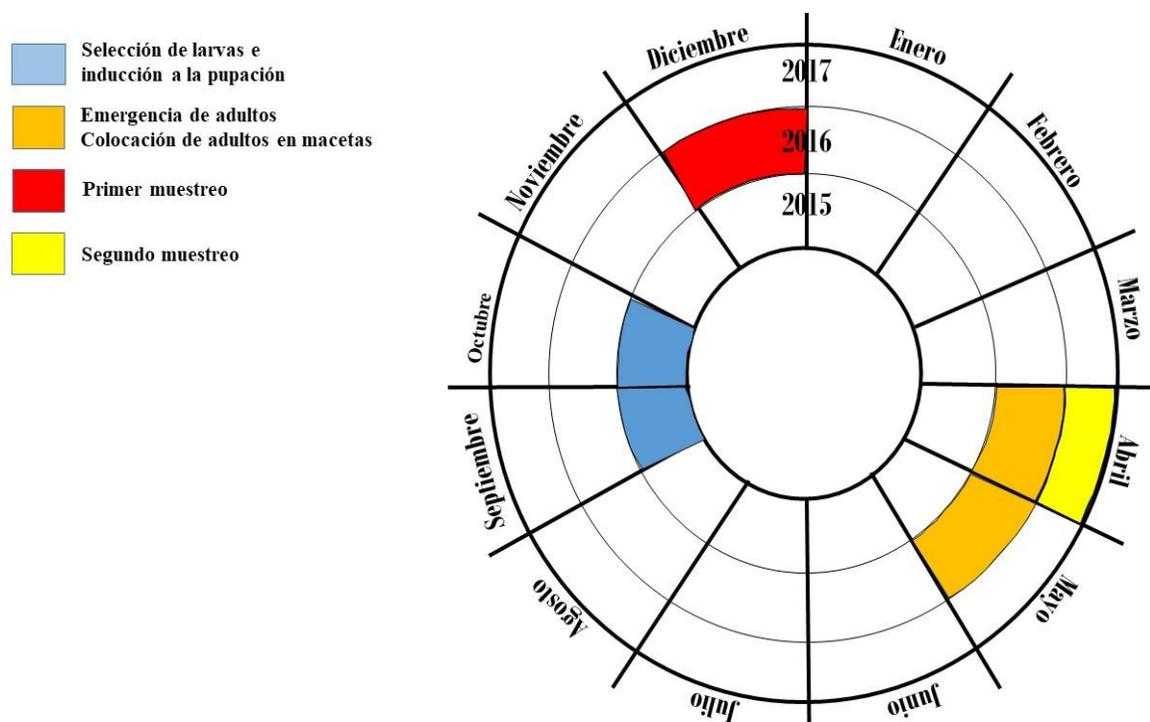


Figura 2.4. Proceso para la liberación de adultos.

2.3. RESULTADOS

Las variables asociadas a las características morfológicas de las plantas de agave como la altura, número de hojas, diámetro, longitud y peso del tallo subterráneo, son variables continuas y se

analizaron mediante el modelo lineal asociado a un diseño completamente al azar. Sin embargo, la variable número de larvas, se analizó mediante una prueba no paramétrica, la prueba de Kruskal-Wallis.



Figura 2.5. Larvas extraídas de las plantas durante el primero (a) y segundo muestreo (b)

El tratamiento en la proporción hembra-macho de una hembra con dos machos (2:1) mostró los mejores resultados respecto al número de larvas dentro de la planta, con un máximo de 17 larvas por planta, 4.25 en promedio (Cuadro 2.1.) y un 75% de plantas infestadas.

Cuadro 2.1. Valores promedio de las variables evaluadas en las plantas de *Agave salmiana* infestadas con diferente proporción de sexos de adultos de *Comadia redtenbacheri*.

Proporción ♀:♂	Altura	Número de hojas	Valores promedio*					
			Tallo subterráneo			Número de larvas promedio		
			Diámetro (cm)	Longitud(cm)	Peso (g)			
1:1	44.00 a	5.5 a	20.50 a	9.50 a	137.5 a	0.00 b		
2:1	46.00 a	6.0 a	22.50 a	10.25 a	187.5 a	4.25 a		
1:2	42.75 a	6.0 a	21.62 a	9.00 a	115.0 a	0.00 b		

*: Medias por columnas con la misma letra no son estadísticamente diferentes, prueba de la Diferencia Mínima Significativa de Fisher con nivel de significancia al 5%.

2.4. DISCUSION

La infestación de adultos en agaves en maceta permite completar el ciclo de vida en la misma planta, lo que facilitaría el establecimiento de *C. redtenbacheri* en un área determinada, donde las larvas sobrevivientes se pueden establecer en su hospedero, coincide con lo señalado por Delgado-Tejeda *et al.* (2017), que usaron macetas de mayores dimensiones.

El tratamiento de una hembra con dos machos (2:1) presentó los mejores resultados en cuanto al número de larvas, hasta 17 por planta, el resultado para esta combinación es similar a lo publicado por Miranda-Perkins *et al.* (2016), quienes realizaron cruzas con diferentes proporciones de hembras y machos en condiciones de laboratorio y observaron que la mayor fecundidad se obtuvo con una hembra con dos machos. Si se consideran la corta longevidad de los adultos, su incapacidad para alimentarse (Llanderal-Cázares *et al.*, 2007) y la posibilidad de que las hembras se apareen una sola vez (Ramírez-Cruz y Llanderal-Cázares, 2015), al restringir el número de machos en las cruzas, se reduce la posibilidad de apareamiento para las hembras. En las proporciones 1:1 y 2:1 no hubo presencia de larvas.

2.5. CONCLUSIONES

La liberación de adultos es un método que asegura la infestación directa de agaves, mediante la oviposición y establecimiento de las larvas neonatas en el tejido de las plantas hospederas. Con la proporción de una hembra con dos machos (2:1) se obtuvieron hasta 17 larvas por planta, aunque este procedimiento depende de la disponibilidad de adultos recién emergidos en las proporciones hembra-macho idóneas para su apareamiento, por lo que lo llevarían a cabo sólo las personas que conocen el ciclo biológico del insecto y cuentan con espacios y materiales para inducir a las larvas a que formen capullos de los cuales emerjan los adultos que iniciarán la infestación.

2.5. LITERATURA CITADA

Delgado-Tejeda, I., C. Llanderal-Cázares, K. Miranda-Perkins, y H. M. De los Santos-Posadas. 2017. Pupación, emergencia de adultos y oviposición de *Comadia redtenbacheri* (Lepidoptera: Cossidae) en vivero. *Agrociencia* 51: 447-454.

- Kayikananta, L. 2000. Biological study and rearing techniques on bamboo caterpillar *Omphisa fuscidentalis* Hampson.
<http://forprod.forest.go.th/forprod/RESEARCH/ABSTRACT/1239.pdf>).
- Llanderal-Cázares, C., R. Nieto-Hernández, I. Almanza-Valenzuela, y C. Ortega-Alvarez. 2007. Biología y comportamiento de *Comadia redtenbacheri* (Hamm) (Lepidoptera: Cossidae). *Entomología Mexicana* 6: 252-255.
- Llanderal-Cázares, C., Castro-Torres, R. and Miranda-Perkins, K. 2017. Bionomics of *Comadia redtenbacheri* (Hammerschmidt, 1847) (Lepidoptera: Cossidae). *SHILAP Revista de Lepidopterología* 45: 179?.
- Miranda-Perkins K., y C. Llanderal-Cázares. 2013. Cruzas con diferente proporción de sexos en *Comadia redtenbacheri* Hamm. *Entomología Mexicana*, 12: 530-533.
- Miranda-Perkins, K., C. Llanderal-Cázares, M. Cadena Barajas, and J. López-Sauceda. 2016. Adult emergence and reproductive behavior of *Comadia redtenbacheri* in confinement. *Southwest. Entomol.* 41: 657-665.
- Ramírez-Cruz, A., y C. Llanderal-Cázares. 2015. Morfología del sistema reproductor de la hembra de *Comadia redtenbacheri* (Hammerschmidt) (Lepidoptera: Cossidae). *Acta Zool. Mex. (n.s.)* 31: 431-435.
- van Huis, A. 2013. Potential of insects as food and feed in assuring food security. *Annu. Rev. Entomol.* 58: 563-583.

CAPITULO 3. INFESTACIÓN INDUCIDA EN PLANTAS DE *Agave salmiana* CON LARVAS DE *Comadia redtenbacheri* MAYORES DE 0.30 g EN SUELO

Norma Espinosa García

Colegio de Postgraduados, Montecillo, 2018

RESUMEN

El gusano rojo *Comadia redtenbacheri* es un insecto comestible consumido en su etapa larvaria por habitantes del centro y occidente del país. El desarrollo de programas de producción sustentable a pequeña o gran escala podría evitar la sobreexplotación de esta especie y contribuir a su conservación. Se evaluó la infestación de plantas de *Agave salmiana*, mediante la liberación de larvas de 0.3 a 1.0 g de peso en el suelo, a densidades de 30, 60, 90 y 120 como método para la obtención de gusano rojo. Se comprobó el establecimiento de una segunda generación de gusano rojo con 72% de plantas infestadas y un 14.5% de daño promedio al interior del tallo subterráneo a densidades de 60 y 90 larvas por planta.

Palabras clave: Gusano rojo, entomofagia, cría, infestación.

CHAPTER 3. INDUCED INFESTATION OF *Agave salmiana* PLANTS INTO THE SOIL, WITH *Comadia redtenbacheri* (GREATER THAN 0.30 g) LARVAE.

Norma Espinosa García
Colegio de Postgraduados, Montecillo, 2018

ABSTRACT

The redworm *Comadia redtenbacheri* is an edible insect consumed as larval stage by people in the center and west regions of the country. The development of sustainable production programs at small or large scale could prevent the overexploitation for this species and contribute to its conservation. It was evaluated the infestation of plants of *Agave salmiana*, through the release of larvae from 0.3 to 1.0 g of weight in the soil, at 30, 60, 90 and 120 densities as a cultivation method to obtain redworm larvae. A second generation of the red worm was proved with 72% of infested plants and 14.5% of average damage into the underground stem at 60 and 90 larvae density per plant.

Keywords: Maguey redworm, entomophagy, rearing, infestation.

3.1 INTRODUCCIÓN

Existe una fuerte demanda de insectos comestibles (Hanboonsong *et al.*, 2013) y es necesario el desarrollo de técnicas para su cultivo, especialmente para aquellas donde la sobreexplotación podría amenazar su viabilidad (Gullan y Cranston, 1994), entre las que se encuentran varias especies de Lepidoptera, uno de los órdenes mayormente consumidos en el mundo (Pal y Roy, 2014).

La recolección de insectos es en su mayoría de tipo manual y generalmente se destruye parcial o totalmente al hospedero (Yen, 2015), por lo que el desarrollo de técnicas de cultivo o recolección puede contribuir de manera significativa a la conservación de especies, siempre y cuando sean recolectadas o cultivadas de forma sustentable (Yen, 2009). El gusano rojo *Comadia redtenbacheri* se obtiene por medio de la recolección de poblaciones silvestres sin un programa de manejo o conservación, lo que lleva a la destrucción de las plantas de agave al extraer las larvas del rizoma (Llenderal- Cázares *et al.*, 2007; Miranda-Perkins *et al.*, 2013).

Llenderal-Cázares, *et al.* (2010) sugieren la colocación de larvas de *C. redtenbacheri* de 55 mg en agaves establecidos en macetas, en densidades de 25 larvas por planta y reportan el establecimiento y desarrollo de la fase larvaria del gusano rojo hasta el estado de pupa en plantas de agave en invernadero. Según Delgado-Tejeda *et al.* (2017) el confinamiento de adultos en agaves en macetas permite completar el ciclo de vida de *C. redtenbacheri* en la misma planta, lo que facilitaría el establecimiento de la especie en un área determinada. Camacho *et al.* (2005) señalaron la posibilidad de un mayor establecimiento de las larvas y emergencia de adultos en campo si la infestación se lleva a cabo con larvas de gusano rojo colectadas directamente del maguey. El objetivo de este estudio fue evaluar el establecimiento del gusano rojo, mediante la liberación de larvas en el suelo de plantas de *Agave salmiana* Otto ex Salm-Dyck.

3.2 MATERIALES Y MÉTODOS

Se replantaron 60 agaves de *Agave salmiana* en suelo en cuatro bloques de 15 plantas. Cada bloque fue separado físicamente con una lámina de metal de 5.0 m de largo \times 1.0 m de ancho, enterrada 50 cm en el suelo para evitar el movimiento de larvas entre bloques y delimitado en la parte aérea con una estructura a base de arcos de varilla de 1.1 cm de diámetro, que en la época de emergencia de los adultos fue cubierta con tela de tul (Figura 3.1).

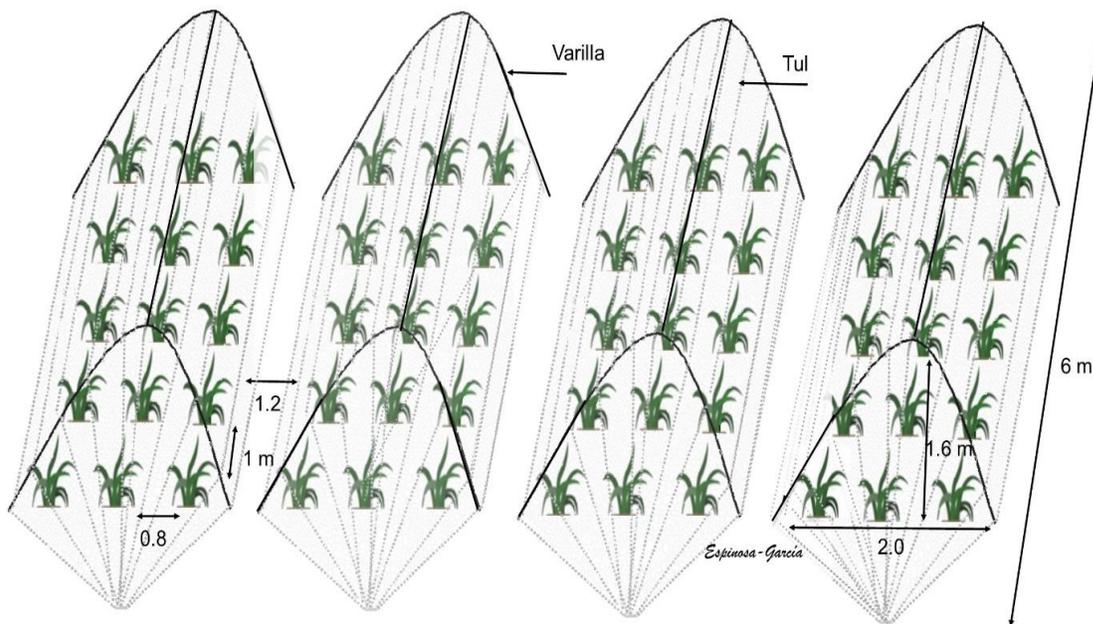


Figura 3.1. Disposición de los agaves en cuatro bloques, con 0.8 m entre plantas, 1.0 m entre surcos y 1.2 m entre bloques. Se muestra la estructura tipo túnel de $6 \times 2 \times 1.6$ m, cubierta con tela de tul.

Se adquirieron larvas de *C. redtenbacheri* del Estado de México e Hidalgo, que fueron seleccionadas en el laboratorio para descartar individuos enfermos, parasitados o muertos. Las larvas, se colocaron del 15 al 18 de octubre de 2015 sobre el suelo alrededor de la base de las plantas, éste se removió y regó ligeramente antes de la liberación (Figura 3.2). La colocación fue gradual, con la liberación de 450 larvas por bloque por día, hasta completar el número correspondiente de cada tratamiento (900; 1,350; 1,800 larvas por bloque) (Cuadro 3.1). En diciembre de 2015 y 2016 los bloques fueron cubiertos con tul mediante estructuras tipo túnel, para evitar la fuga de adultos durante el apareamiento (Figura 3.1).



Figura 3.2. Liberación de larvas de *Comadia redtenbacheri*. a. Plantas de agave en suelo aflojado y regado previo a la liberación; b. Larvas previamente seleccionadas, listas para su liberación; c. Liberación de larvas en las plantas de agave; d. Larvas liberadas en suelo; e. Larvas enterrándose en el suelo para pupar.

Cuadro 3.1. Tratamientos con larvas de 0.3-1.0 g de peso, establecidas en el suelo de plantas de agave.

Tratamiento	Plantas por bloque	Larvas por planta	Total de larvas por bloque
T1	15	30	450
T2	15	60	900
T3	15	90	1,350
T4	15	120	1,800

De octubre a noviembre de 2016, seis meses después de encontrar capullos con pupas vivas, se realizó el muestreo destructivo para el registro de individuos de cualquier estado biológico, mediante la extracción de dos plantas por mes por tratamiento, 16 plantas en total. Adicionalmente, se tamizó el suelo contenido en 50 cm de profundidad alrededor de cada planta de agave, para localizar a los individuos que hubieran permanecido como larva o pupa. El resto de las plantas que conformaron los bloques fueron revisadas hasta el 2017, dos años después de la colocación de las larvas en suelo, para dar oportunidad a su establecimiento (Figura 3.3).

A partir de julio de 2017 se revisó un total de 44 plantas, ocho durante los primeros cinco meses y cuatro el sexto mes. Además, se hizo la medición cuantitativa del porcentaje de daño o de barrenación en el tallo subterráneo mediante la extracción de los agaves, la separación del tallo y la eliminación tanto de raíces como del exceso de tierra. El tallo fue cortado transversalmente en el centro con una sierra caladora (Black and Decker® 400w Ks405). Cada tallo con presencia de galerías en el interior, fue digitalizado con un escáner modelo HP Scanjet® 4890 a una resolución de 300 dpi con el programa GIMP 2.8. Las imágenes obtenidas fueron segmentadas para diferenciar el daño del resto del tejido interior y a partir de esto se midió el área para obtener el porcentaje de barrenación con el programa Image J (Rasband, 2011; Schneider *et al.*, 2012). Se realizó un análisis de varianza con el modelo lineal asociado a un diseño completamente al azar y comparaciones múltiples de medias mediante la diferencia mínima significativa de Fisher con un nivel de significancia al 5%.

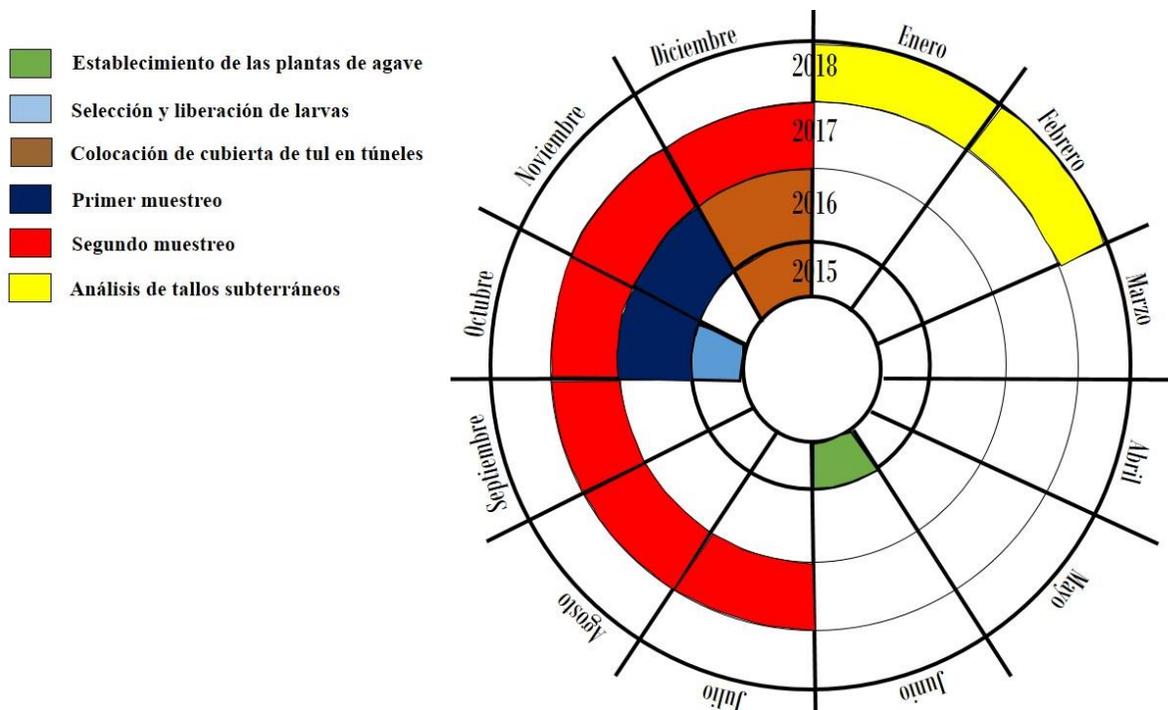


Figura 3.3. Proceso para la infestación de agaves con larvas de 0.3-1.0 g de peso liberadas en suelo.

3.3 RESULTADOS

A partir de las larvas liberadas en 2015 se obtuvieron individuos en dos generaciones, una en 2016 y otra en 2017. En abril de 2016 se encontraron capullos con pupas vivas y de octubre a noviembre de una a 22 larvas en el 50% de las plantas muestreadas, con un rango de peso de 0.65 a 0.85 g (Figura 3.4). Las larvas detectadas fueron resultado del apareamiento y oviposición de los adultos emergidos a partir de los individuos colocados en octubre de 2015.



Figura 3.4. Larvas encontradas dentro de los agaves, durante 2016.

En 2017 no se obtuvieron larvas en las plantas en el interior de los bloques, pero sí se observaron galerías en los tallos subterráneos. Al medir el porcentaje de daño, el tratamiento con 30 larvas fue diferente del resto de los tratamientos, con 9.5% de daño promedio y 45% de plantas dañadas ($p = 0.05$). Los tratamientos con 60 y 90 larvas por planta ocasionaron un daño promedio mayor al 14% en el tallo subterráneo y 72% de plantas infestadas (Cuadro 3.2, Figura 3.5). Se observó una relación inversa de la altura de las plantas con el porcentaje de daño en el tallo subterráneo (Figura 3.6). En 15 agaves ubicados hasta a 10 m de distancia de los bloques, se encontraron 12 larvas en promedio por planta, con un peso de 0.3 a 0.7 g.

Cuadro 3.2. Daño en plantas de agave infestadas con larvas de *Comadia redtenbacheri* de 0.3-1.0 g de peso.

Tratamiento (larvas por planta)	Porcentaje de daño en el tallo subterráneo*			Plantas dañadas por tratamiento (%)
	Mínimo	Máximo	Promedio	
30	4.0	34.5	9.5 b	45
60	10.5	42.8	14.5 a	72
90	7.7	34.6	16.0 a	72
120	7.7	65.7	17.0 a	63

*Medias por columnas con la misma letra no son estadísticamente diferentes. Diferencia Mínima Significativa de Fisher ($p=0.05$).

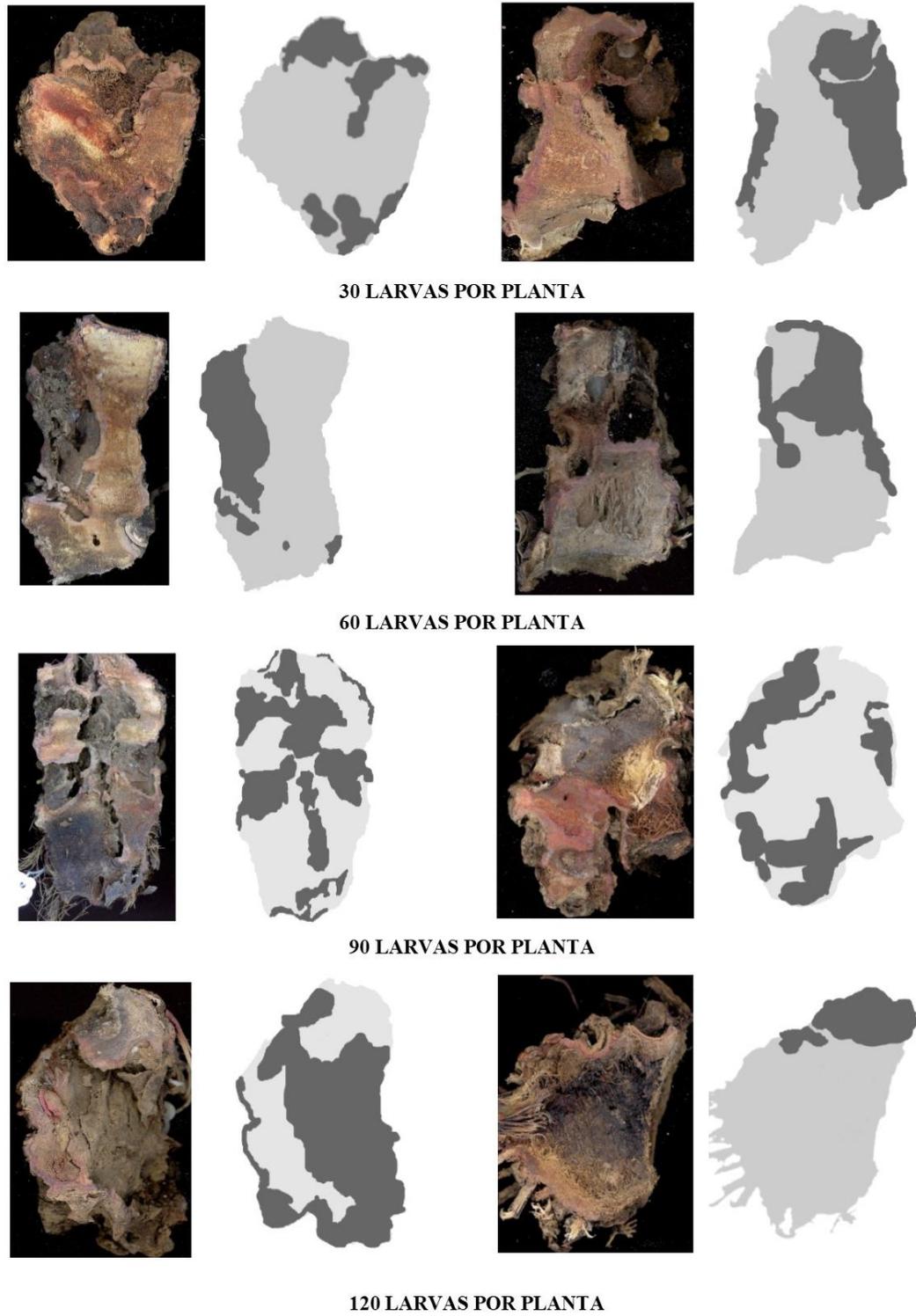


Figura 3.5. Daños en el tallo subterráneo, resultado de la barrenación de las larvas de *C. redtenbacheri*. A la derecha de los tallos digitalizados se muestran las imágenes segmentadas con el programa GIMP 2.8.

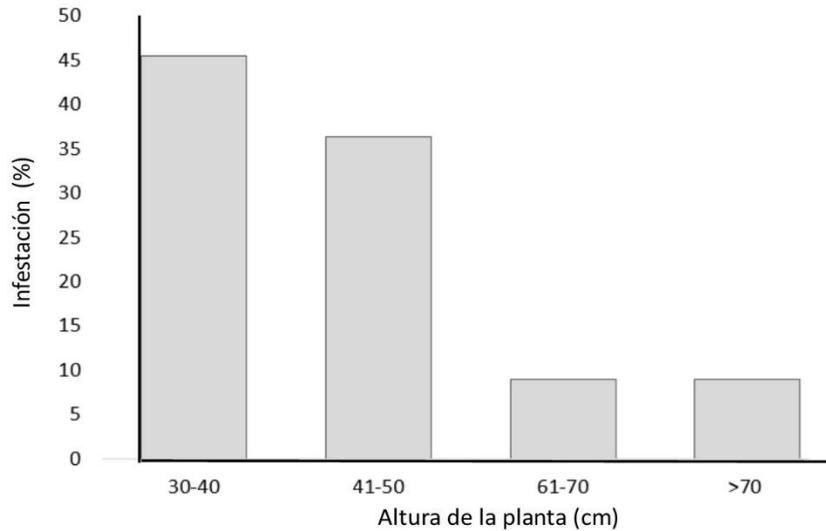


Figura 3.6. Porcentaje de plantas de agave dañadas por larvas de *Comadia redtenbacheri* con relación a su altura.

3.4. DISCUSIÓN

Delgado-Tejeda *et al.* (2017) liberaron larvas de *C. redtenbacheri* con un peso mayor a 0.30 g, a un densidad de 200, 400 y 600 individuos por maceta de 122×122×30 cm, cada una de las densidades en cinco plantas de agave. El mayor número de adultos (15.9% de emergencia) lo obtuvieron con la densidad más alta de individuos por maceta, equivalente a 120 larvas por planta y recomiendan continuar los experimentos hasta obtener una siguiente generación. En el presente trabajo, los tratamientos con 60 y 90 larvas de *C. redtenbacheri* por planta ocasionaron un daño en el tallo subterráneo superior al 14% y con un 72% de plantas infestadas, por lo cual se sugiere una densidad idónea de 60 larvas para una infestación inicial, si se toma en cuenta la dificultad de recolecta y el precio de las larvas.

El establecimiento de larvas de más de 0.30 g fue posible, pero no se hallaron pupas en el suelo alrededor de los agaves, lo que permite deducir que la movilidad de las larvas es intensa y no puede ser controlada fácilmente. Llanderal-Cázares *et al.* (2007) observaron una gran actividad en larvas que recorren distancias variables, para ubicar un sitio donde enterrarse para iniciar la pupación. Las larvas colocadas en el suelo, a pesar del uso de láminas para delimitar bloques, tuvieron alta movilidad, aunque en una plantación con fines de producción del gusano rojo no

se requeriría la delimitación de bloques y por lo tanto no tendría importancia su localización final.

Los agaves dañados por *C. redtenbacheri* presentaron signos de debilidad, tales como hojas amarillentas, secas y reducción en la altura y vigor. Hunter (2001) explica que, por la presencia de insectos rizófagos en diversas especies de plantas, el tejido de la raíz disminuye y la planta puede morir. En los agaves usados en el estudio, el daño máximo de 65.7% en el tallo subterráneo afectó su desarrollo, pero no les provocó la muerte. Con un adecuado cuidado, las plantas se podrían usar como hospederas del gusano rojo por más de un ciclo, aunque para completar el proceso de producción, es necesario definir el número de años que una planta de agave puede vivir con la presencia de larvas en su interior, así como establecer métodos para su extracción que no involucren la destrucción de la planta.

Brown (1975) encontró 15% de infestación por *C. redtenbacheri* en plantaciones de *A. salmiana*. Mientras que Esparza-Frausto *et al.* (2008) registraron 10% de infestación en *A. salmiana*, subsp. *crassispinata* (Trel. Ex L. H. Bailey) Gentry y realizaron un análisis costo-beneficio, en el que sugieren mantener 30% de plantas infestadas en el campo para aprovechamiento y extracción continua de larvas. En esta investigación, la infestación resultó en porcentajes entre 45% y 72%.

La infestación inducida de *C. redtenbacheri* en plantas sanas de agave, abre la posibilidad de establecer un sistema de producción controlada, lo que podría reducir la presión sobre poblaciones silvestres al no depender de éstas, e incluso se podría reintroducir al gusano rojo en áreas donde haya disminuido o desaparecido. Yen (2015) sugirió que para implementar métodos para la cría masiva o cultivo de insectos, es necesario tener conocimiento de la biología de la especie objetivo. La infestación con larvas maduras a partir de poblaciones colectadas en el campo, la pueden llevar a cabo productores con un entrenamiento para la selección de larvas y el conocimiento básico de la duración del ciclo biológico de las diferentes etapas de desarrollo de *C. redtenbacheri*.

3.5 CONCLUSIONES

El método de infestación propuesto se debe realizar con larvas de 0.3 a 1.0 g de peso, que pueden ser adquiridas directamente con recolectores, su liberación es sencilla y permite el establecimiento del gusano rojo en agaves sanos hasta una segunda generación con 72% de plantas infestadas. Esta técnica de infestación inducida podría ser usada en superficies con agaves previamente plantados para la producción de gusano rojo.

3.6. LITERATURA CITADA

- Brown, R. M. 1975. A revision of the North American *Comadia* (Cossidae). J. Res. Lepid. 14: 189- 212.
- Camacho, A. D., A. Nolasco M., J. E. Jiménez-Luna, y F. Rivera-Torres. 2005. Reintroducción de maguey y cultivo del gusano rojo *Comadia redtenbacheri* H. (Lepidoptera: Cossidae). Entomología Mexicana 4: 599-603.
- Delgado-Tejeda, I., C. Llanderal-Cázares, K. Miranda-Perkins y H. M. De los Santos-Posadas. 2017. Pupación, emergencia de adultos y oviposición de *Comadia redtenbacheri* (Lepidoptera: Cossidae) en vivero. Agrociencia 51: 447- 454
- Esparza-Frausto, G., F. J. Macías-Rodríguez, M. Martínez-Salvador, M. A. Jiménez-Guevara, y S. D. J. Méndez-Gallegos. 2008. Insectos comestibles asociados a las magueyeras en el Ejido Tolosa, Pinos, Zacatecas, México. Agrociencia 42: 243-252.
- Gullan, P. J. and P. S. Cranston. 1994. The insects: an outline of entomology. 1st. Ed. Chapman & Hall, London 491 p.
- Hanboonsong, Y., T. Jamjanya, and P. B. Durst. 2013. Six-legged livestock: edible insect farming, collecting and marketing in Thailand. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Bangkok, Thailand 68 p.
- Hunter, M. D. 2001. Out of sight, out of mind: the impacts of root feeding insects in natural and managed systems. Agric. For. Entomol. 3: 3-9.
- Llanderal-Cázares, C., R. Nieto-Hernández, I. Almanza-Valenzuela y C. Ortega-Álvarez. 2007. Biología y comportamiento de *Comadia redtenbacheri* Hamm. (Lepidoptera: Cossidae). Entomología Mexicana 6: 252-255.

- Llanderal-Cázares, C., H. M. De los Santos-Posadas, I. Almanza-Valenzuela, R. Nieto-Hernández y C. Castillejos C. 2010. Establecimiento del gusano rojo en plantas de maguey en invernadero. *Acta Zool. Mex.* (n. s.) 26: 25-31.
- Miranda-Perkins, K., Llanderal-Cázares, C., De Los Santos-Posadas, H. M., Portillo-Martínez, L. and Viguera-Guzmán, A. L. 2013. *Comadia redtenbacheri* (Lepidoptera: Cossidae) pupal development in the laboratory. *Fla. Entomol.* 96: 1424-1433.
- Pal, P., and S. Roy. 2014. Edible insects: future of human food, a review. *International Letters of Natural Sciences* 26:1-11.
- Rasband, W. S. 2011. ImageJ, U. S. National Institutes of Health, Bethesda, Maryland, USA.
- SAS INSTITUTE. 2014. SAS/STAT Output delivery system: User's guide. Version 9.4. SAS Institute, Cary, North Carolina, USA.
- Schneider, C. A., W. S. Rasband, and K. W. Eliceiri. 2012. NIH Image to ImageJ: 25 years of image analysis. *Nat. Methods* 9: 671-675.
- Yen, A. L. 2009. Entomophagy and insect conservation: some thoughts for digestion. *Journal of Insect Conservation* 13: 667-670.
- Yen, A. L. 2015. Insects as food and feed in the Asia Pacific Region: current perspectives and future directions. *Journal of Insects as Food and Feed* 1: 33-55.

CAPITULO 4. INFESTACIÓN POR *Comadia redtenbacheri* EN DOS ESPECIES DE AGAVE

Norma Espinosa García
Colegio de Postgraduados, Montecillo, 2018

RESUMEN

Los insectos herbívoros se asocian con plantas hospedantes y si las asociaciones son adecuadas nutricional y ecológicamente, prosperarán siempre y cuando el insecto las tenga disponibles. El gusano rojo *Comadia redtenbacheri* es la única especie de la familia Cossidae que se desarrolla en agaváceas, principalmente en *Agave salmiana* y *A. mapisaga*. En la presente investigación se colocaron larvas en agaves hospedantes de gusano rojo de *A. salmiana* de las variedades Manso y Ayoteco y *A. mapisaga* de las variedades Verde, Carrizo y Xilometl. Después de seis meses del establecimiento del gusano rojo en condiciones de campo, el mayor número de perforaciones en el tallo subterráneo se presentó en *A. salmiana* de la variedad Manso, reconocida como la hospedera preferente de *C. redtenbacheri*.

Palabras clave: Gusano rojo, maguey, entomofagia, preferencia, hospedantes.

CHAPTER 4. *Comadia redtenbacheri* INFESTATION IN TWO AGAVE SPECIES

Norma Espinosa García

Colegio de Postgraduados, Montecillo, 2018

ABSTRACT

The herbivorous insects are associated with host plants, if these associations are nutritionally and ecologically adequate, they should be thrive as long as the plants are available to them. The red worm *Comadia redtenbacheri* is the only specie into Cossidae that develop into Agavaceae, mainly *Agave salmiana* and *A. mapisaga*. In this research, red worm larvae were put on two agave hosts, *A. salmiana* varieties Manso and Ayoteco, and *A. mapisaga* varieties Verde, Carrizo and Xilometl. Six months after the red worm was established in field conditions, the highest perforations into the underground stem, was present in *A. salmiana* variety Manso, which is recognized as the preferred host to *C. redtenbacheri*.

Key words: Maguey, redworm, entomophagy, preference, hosts.

4.1. INTRODUCCIÓN

Conforme los insectos herbívoros evolucionan se asocian con plantas disponibles, lo que depende de eventos neurológicos y olfativos de su sistema sensorial, que los llevan a aceptarlas como hospedantes (Ehrlich y Raven, 1964; Dethier, 1982). La preferencia puede considerarse en términos de la cantidad de alimento ingerido y la velocidad de consumo (Dethier, 1982; Matthews y Matthews, 2009), aunque ésta puede ser modificada por factores ecológicos, capacidad del sistema sensorial y características de la planta huésped (Gripenberg *et al.*, 2010).

Algunos barrenadores destruyen directamente los tejidos vasculares de su hospedante, debilitan la estructura de la planta y se mantienen en un ambiente aislado y protegido (Nielsen, 1981). Los larvas barrenadoras de la familia Cossidae ocasionan daños en ramas y troncos de cultivos forestales y hortícolas (Davis *et al.*, 2008). *Comadia redtenbacheri*, conocida como “gusano rojo del maguey” es la única de esta familia que tiene un desarrollo larval en agaváceas (Brown, 1975) y que ha sido descrita como fitófaga y especialista en agaves (Cárdenas-Aquino *et al.*, 2018). Según Ancona (1931) y Brown (1975) hay una relación entre *C. redtenbacheri* y su hospedero, que le lleva a mostrar preferencia por las especies de agave.

Los agaves difieren de los árboles por la consistencia de sus tejidos, contenido nutricional y defensas químicas (Vergara *et al.*, 2012), además de la producción de cristales de oxalato de calcio en forma de drusas, estiloides y rafidios en las hojas, como mecanismo de protección contra especies fitófagas (Castro-Díaz y Guerrero-Beltran, 2013), así como saponinas esteroidales que pueden ser tóxicas (Vergara *et al.*, 2012; Simmons-Boyce y Winston, 2007). De acuerdo con Vergara *et al.*, (2012), la alimentación distintiva de *C. redtenbacheri* puede basarse en mecanismos de desintoxicación que han evolucionado contra productos químicos vegetales y pueden estar ausentes en otros Cossidae, por lo que la especialización de ésta es una característica ecológica.

Las plantas hospedantes reportadas para esta especie incluyen a *Agave salmiana* Otto ex Salm-Dyck, *Agave mapisaga* Trel. y *Agave atrovirens* Karw. (Ramos-Elorduy *et al.*, 2011), siendo las dos primeras las predominantes en áreas de incidencia natural y cultivada (Gentry, 2004), aunque podrían existir diferencias en la elección del insecto por alguna de las especies o sus

variedades, lo que lleva al planteamiento del objetivo del presente trabajo, que fue evaluar la preferencia de *C. redtenbacheri* hacia diferentes tipos de agaves.

4.2. MATERIALES Y MÉTODOS

Se recolectaron cinco plantas de agaves de las variedades Manso y Ayoteco (*Agave salmiana*) y Verde, Carrizo y Xilometl (*Agave mapisaga*) hospedantes de gusano rojo, con una altura de 30 a 50 cm y aproximadamente tres años de edad, provenientes de Otumba, Estado de México (19°37'47" N, 98°43'38" O, altitud 2667 m), que fueron trasladadas a un predio habilitado como invernadero en Cuautlacingo, Otumba, Estado de México (19°41'37" N, 98°47'16" O, altitud 2345 m), donde se establecieron en macetas de plástico de 25 cm de diámetro, que contenían suelo del lugar. Cada planta fue sujeta a una revisión minuciosa para seleccionar individuos sanos y libres de insectos.

En octubre de 2016, se adquirieron larvas de *C. redtenbacheri* originarias del Estado de México y Tlaxcala, que fueron seleccionadas en el Laboratorio de Fisiología de Insectos del Colegio de Posgraduados, para eliminar individuos con lesiones, signos de parasitismo o daño por patógenos, según los criterios de Zetina y Llanderal (2014). Para la colocación de las larvas se descubrió la base de la planta hasta el tallo subterráneo y se procedió a distribuir a los individuos en la base de las pencas y cerca del inicio del cuello del tallo. Se utilizó una sola densidad de infestación, 30 larvas con peso promedio de 0.12 g en cada planta, con cinco repeticiones. Seis meses después de la colocación de las larvas se extrajeron las plantas para buscar indicios de galerías en los tallos subterráneos (Figura 4.1 y 5.1).

En cada tallo se realizó un conteo del total de perforaciones en la periferia y su profundidad en milímetros por medio de una varilla graduada. Adicionalmente se contabilizó el número de pencas y se midió la altura de la planta, peso, longitud y diámetro del tallo. Se realizó un análisis de varianza con el modelo lineal general asociado a un diseño completamente al azar y comparaciones múltiples de medias mediante la Diferencia Significativa Honesta de Fisher con un nivel de significancia al 5%.



Figura 4.1. Proceso para la infestación de plantas de agave. a. Agaves plantados en macetas; b. Larvas previamente seleccionadas en laboratorio; c y d. Larvas liberadas, colocadas en la base de la planta; e y f. Plantas infestadas cubiertas con bolsas de tul; h. Planta extraída de la maceta, previo al muestreo destructivo; g, i y j. Tallos subterráneos dañados.

4.3. RESULTADOS

El total de los tallos presentó perforaciones en la periferia. El análisis de varianza mostró diferencias significativas ($P \leq 0.05$) para las variables altura de planta, número de hojas, longitud y número de perforaciones en el tallo subterráneo. El agave Carrizo mostró los valores más altos para la altura y el número de pencas y el agave Verde para la longitud del tallo. Para el diámetro y el peso del tallo no hubo diferencias entre las variedades de agave. El agave Manso exhibió el mayor promedio de perforaciones en el tallo, mientras que en el resto de las variedades de agave no hubo diferencias (Cuadro 4.1).

Cuadro 4.1. Valores promedio de las variables evaluadas en diferentes variedades de agave infestadas artificialmente con larvas de *Comadia redtenbacheri*.

Variedad	Planta		Tallo subterráneo			
	Altura (cm)	Número de pencas	Diámetro (cm)	Peso (g)	Longitud (cm)	Promedio de perforaciones
Ayoteco	49.0 b	6.0 b	22.2 a	108 a	7.2 a	4.4 b
Carrizo	67.2 a	7.6 a	21.2 a	130 a	5.7 ab	4.8 b
Manso	44.6 b	5.6 b	21.4 a	140 a	6.5 ab	8.4 a
Verde	50.0 b	6.0 b	21.1 a	140 a	7.7 a	4.4 b
Xilometl	49.0 b	6.8 ab	21.2 a	104 a	4.7 b	3.4 b

* Medias por columnas con la misma letra no son estadísticamente diferentes. Diferencia Mínima Significativa de Fisher ($P=0.05$).

Cuadro 4.2. Número y profundidad de perforaciones en los tallos subterráneos de diferentes variedades de agave infestados artificialmente por larvas de *Comadia redtenbacheri*.

Variedad	Número de perforaciones por tallo			Profundidad de perforaciones (mm)		
	Mínimo	Máximo	Promedio	Mínimo	Máximo	Promedio
Manso	6	14	8.4 a	3	18	6.57a
Carrizo	3	6	4.8 b	1	20	6.25ab
Verde	2	8	4.4 b	1	10	4.22bc
Xilometl	2	5	3.4 b	1	8	3.82c
Ayoteco	2	7	4.4 b	1	10	3.27c

*Medias por columnas con la misma letra no son estadísticamente diferentes. Diferencia Mínima Significativa de Fisher ($P=0.05$).

Las perforaciones presentaron una profundidad mínima de 1 mm en los agaves Carrizo, Verde, Xilometl y Ayoteco, mientras que en el agave Manso la profundidad mínima fue de 3 mm (Cuadro 4.2). Las plantas que presentan mayor altura, también son las que muestran mayor número de pencas, como en las variedades Carrizo, Verde y Ayoteco (Cuadro 1). Hubo correlación positiva moderada entre el número de pencas y la altura de la planta y entre el peso con el diámetro del tallo; una correlación positiva baja entre la longitud el tallo y número de perforaciones y una correlación negativa baja entre la longitud de tallo y el número de perforaciones (Cuadro 4.3).

Cuadro 4.3. Correlación entre las variables de las cinco variedades de agave.

Variable	Número de pencas	Diámetro tallo (cm)	Peso tallo (gr)	Longitud tallo (cm)	Numero de perforaciones
Altura de planta	0.61127**	0.18004	0.29013	0.0613	-0.02572
Número de hojas		-0.14572	-0.00264	-0.1106	-0.18282
Diámetro tallo (cm)			0.63919**	0.3006*	0.08175
Peso tallo (gr)				0.6229**	0.49131*
Longitud tallo (cm)					0.30772*

* Significativas al 5%, **significativas al 1%.

4.4. DISCUSIÓN

Los insectos se asocian con una planta disponible en su área geográfica que les permite sobrevivir (Ehrlich y Raven 1964 y Dethier, 1982). Las especies de *Agave* presentan respuestas fisiológicas y bioquímicas variadas que reflejan su amplia tolerancia a condiciones bióticas y abióticas adversas y explican la amplia distribución del género, en especial de las especies *A. salmiana* y *A. mapisaga* (Ramírez-Tobías *et al.*, 2014), cuya distribución se debe a las condiciones ecológicas del Altiplano Central de México (Aguilar *et al.*, 2014). De acuerdo con Mora-López *et al.* (2011), *A. salmiana* es una de las especies de maguey con la variabilidad morfológica más amplia, ya que sus variantes se localizan en ambientes diversos, desde agostaderos hasta plantaciones y áreas agrícolas, que la vuelven la más abundante de su género, a más altitud y con mayor número de retoños (Gentry, 2004).

Luck y Scriven (1979), realizaron una prueba de preferencia con el escarabajo de la hoja del olmo *Pyrrhalta luteola* (Müller) en el sur de California, en cinco grupos con 20 larvas para ser criadas con hojas de cuatro especies de olmo americano *Ulmus americana* L., inglés *U. procera* Salisb., olmo siberiano *U. pumila* L. y olmo chino *U. parvifolia* Jacq. y concluyeron que la especie hospedera más importante en el sur de California fue *U. pumila*, debido a que es la especie predominante en las plantaciones. En el caso de los agaves se refleja una situación similar, ya que la abundancia de *A. salmiana* en las plantaciones y áreas silvestres representa una amplia disponibilidad que puede aprovechar *C. redtenbacheri*, para usarla como hospedante principal.

La palatabilidad afecta la ingesta de alimento, pues éste debe ser grato para quien lo come y es independiente del valor nutritivo de las plantas, pues sólo determina la selección de ellas como alimento por parte de los individuos (Pliner *et al.*, 1990). Los fitófagos exhiben un grado de selectividad en sus alimentos y se ven en la necesidad de seleccionar a sus hospedantes a lo largo de su vida (Bernays y Chapman, 1994), selectividad que puede ser influenciada por la variación geográfica, distribución de la planta, abundancia y experiencias anteriores (Barman *et al.*, 2012). De acuerdo con el estudio de Harrison (1987), en ausencia de su hospedero principal, el escarabajo de la papa *Leptinotarsa decemlineata* (Say) (Coleoptera: Chrysomelidae), discriminan entre especies estrechamente relacionadas con éste, ya que pueden alimentarse de estas plantas y sobrevivir, pero no pierde la preferencia por su hospedero ancestral. En el presente estudio, todos los agaves fueron aptos como hospedantes para las larvas de *C. redtenbacheri*, debido a que todas las variedades de agave presentaron perforaciones en el tallo subterráneo en mayor o menor medida, pero se notó una preferencia por el agave Manso, donde las larvas hacen más galerías y a una mayor profundidad.

El agave Manso presenta el mayor número de pencas entre las variedades de agave probados en el experimento. Alfaro-Rojas *et al.* (2007) y Nieto *et al.* (2016) describieron a las variedades Ayoteco, Xilometl y Manso, como los que presentan mayor altura y número de pencas dentro del género *Agave*. La variedad Manso presenta pencas numerosas, grandes y robustas (hasta 70 pencas a lo largo de su vida); el Ayoteco tiene pencas robustas e inclinadas 60° hacia atrás; el Verde pencas angostas en su base; el Carrizo con pencas numerosas, largas, angostas y erguidas con menor grosor que los demás agaves probados y el Xilometl presenta pencas robustas con la

mayor longitud entre las plantas del presente estudio. La cantidad de pencas, disposición y ángulo de las hojas podrían ser factores a tomar en cuenta por el adulto de *C. redtenbacheri*, ya que según Llanderal–Cázares *et al.* (2017), por lo general la hembra coloca sus huevos en la base de las pencas externas y secas del agave y con cierto grado de humedad en su base. El agave Manso presenta el mayor número de pencas tanto secas como frescas con tejido blando en su base (Ramírez-Tobías *et al.*, 2014; Nieto *et al.*, 2016), por lo que es el agave idóneo a ser elegido por la hembra para depositar sus huevos y que las larvas neonatas puedan ingresar hacia el tallo subterráneo.

Ruiz *et al.* (2007) encontraron que el tamaño del rizoma y el número de pencas en *A. salmiana* no se ve afectado por la falta de humedad, pero sí se afecta la altura de la planta y su vigor. De acuerdo con Sengalewitsch (1971), *Cossus cossus* (Lepidoptera: Cossidae) ataca con frecuencia árboles debilitados y menciona que la sequía, altas temperaturas, baja disponibilidad de agua y el incremento de la alcalinidad del suelo, tienden a favorecer el ataque, por lo que esta especie a menudo actúa como plaga secundaria al colonizar árboles debilitados por el daño de otras especies. En nuestra investigación existe relación entre la altura de la planta y el número de perforaciones, de modo que el menor número de perforaciones se presenta en las plantas de mayor altura. De acuerdo con Llanderal- Cázares *et al.* (2010) y según la experiencia de los recolectores de gusano rojo, esta especie prefiere infestar plantas de 30 a 50 cm de altura y la falta de vigor en los agaves atrae a las palomillas para postura de huevos, además de que la conservación del número de pencas y del tamaño de tallo subterráneo, aún en condiciones de sequía, permite a la larva de *C. redtenbacheri* completar su madurez dentro de la planta.

Todas las especies probadas presentaron perforaciones por el proceso de alimentación de *C. redtenbacheri* en el tallo subterráneo, aunque el agave Manso fue el preferido por el gusano rojo en cuanto a la cantidad de perforaciones y su profundidad. Debido a que las larvas se desarrollan en conjunto con el progreso de la planta, Suits *et al.* (2017) plantearon la hipótesis de que un solo tipo de tejido podría no satisfacer las necesidades nutricionales de las larvas del noctuido *Helicoverpa zea* en todos los estadios, pues un individuo se alimenta de múltiples tipos de tejidos durante su desarrollo. Las larvas de gusano rojo después de su emergencia pueden requerir

alimentarse de diferentes tejidos blandos en la base de las pencas y cuello del tallo subterráneo, pues conforme ingresan a éste, el tejido cambia al igual que sus propiedades nutricionales.

Los agaves cuentan con mecanismos de protección en las hojas contra insectos fitófagos, principalmente en plantas jóvenes (Castro-Díaz y Guerrero-Beltran, 2013), sin embargo, hasta hoy no se conocen los medios que le permiten a *C. redtenbacheri* evadir de estas defensas. Según Llanderal *et al.* (2017), se requiere un estudio de las posibles adaptaciones anatómicas y bioquímicas o de la relación simbiótica con microorganismos que le permiten al gusano rojo alimentarse de los agaves.

4.5. CONCLUSIONES

Los resultados de la investigación proporcionaron datos que podrían explicar la relación entre *C. redtenbacheri* y sus agaves hospederos, ya que las galerías encontradas en las especies del ensayo muestran que todas las variedades de agave son capaces de albergar al gusano rojo, aunque el número mayor de perforaciones en el tallo subterráneo y profundidad se presentan en el agave Manso, por lo que se considera como su principal hospedante.

4.6. LITERATURA CITADA

- Aguilar J. B., J. R. Enríquez del Valles, G. Rodríguez-Ortiz, S. D. Granados y C. B. Martínez. 2014. El estado actual de *Agave salmiana* y *A. mapisaga* del Valle de México. Revista Mexicana de Agroecosistemas 1: 106-120.
- Alfaro-Rojas G., J. P. Legaria-Solano y J. E. Rodríguez-Pérez. 2007. Diversidad genética en poblaciones de agaves pulqueros (*Agave* spp.) del nororiente del Estado de México. Rev. Fitotec. Mex. 30: 1.
- Ancona H. L. 1931. Los chilocuiles o gusanitos de la sal de Oaxaca. Anales del Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México 2: 265–277.
- Barman A. K., M. N. Parajulee, C. G. Sansone and R. F. Medina, 2012. Host preference of cotton fleahopper, *Pseudatomoscelis seriatus* (Reuter) is not labile to geographic origin and prior experience. Environ. Entomol. 41: 125-132.
- Bernays E. A. and R. F. Chapman. 1994. Host-plant selection by phytophagous insects. Chapman y Hall. New York. 312 p.

- Brown R. M. 1975. A revision of the North American *Comadia* (Cossidae). J. Res. Lepidoptera. 14: 189- 212.
- Cárdenas-Aquino, M. D. R., N. M. Alarcón-Rodríguez, M. Rivas-Medrano, H. González-Hernández, M. Vargas-Hernández, H. Sánchez-Arroyo and C. Llanderal-Cázares. 2018. Molecular delineation of the Agave Red Worm *Comadia redtenbacheri* (Lepidoptera: Cossidae). Zootaxa 4375: 358-370.
- Castro-Díaz, A. S. y J. A. Guerrero-Beltrán. 2013. El agave y sus productos. Temas Selectos de Ingeniería de Alimentos 7: 53-61.
- Davis, S. R., P. Gentili-Poole, and C. Mitter. 2008. A revision of the Cossulinae of Costa Rica and cladistic analysis of the world species (Lepidoptera: Cossidae). Zool. J. Linn. Soc. 154: 222-277.
- Dethier, V. G. 1982. Mechanism of host plant recognition. Entomol. Exp. Appl. 31: 49-56.
- Ehrlich, P. R. and P. H. Raven. 1964. Butterflies and plants: a study in coevolution. Evolution 18: 586–608.
- Gentry, H. S. 2004. Agaves of Continental North America. University of Arizona Press. 670 p.
- Gripenberg, S., P. J. Mayhew, M. Parnell, and T. Roslin. 2010. A meta- analysis of preference performance relationships in phytophagous insects. Ecol. Lett. 13: 383-393.
- Harrison, G. D. 1987. Host- plant discrimination and evolution of feeding preference in the Colorado potato beetle *Leptinotarsa decemlineata*. Physiol. Entomol. 12: 407-415
- INEGI. 2009. Prontuario de información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos Otumba, México. Fecha de consulta: 07 de agosto de 2018
http://www3.inegi.org.mx/contenidos/app/mexicocifras/datos_geograficos/15/15065.pdf
- Llanderal-Cázares C., R. Castro-Torres and K. Miranda-Perkins. 2017. Bionomics of *Comadia redtenbacheri* (Hammerschmidt, 1847) (Lepidoptera: Cossidae). SHILAP Rev. de Lepidopt. 45: 373-383.
- Llanderal-Cázares C., H. M. De los Santos-Posadas, E. I. Almanza-Valenzuela, R. Nieto-Hernández, y C. Castillejos-Cruz. 2010. Establecimiento del gusano rojo en plantas de maguey en invernadero. Acta Zool. Mex. (n.s.) 26: 25-31
- Luck R. F., and G. T. Scriven. 1979. The elm leaf beetle, *Pyrrhalta luteola*, in southern California: its host preference and host impact. Environ. Entomol. 8: 307-313.

- Matthews R. W., and J. R. Matthews. 2009. Insect behavior. Second Edition, Springer Science & Business Media. New York. 519 p.
- Mora-López J. L., J. A. Reyes-Agüero, J. L. Flores-Flores, C. B. Peña-Valdivia y J. R. Aguirre-Rivera. 2011. Variación morfológica y humanización de la sección *salmiana* del género *Agave*. *Agrociencia* 45:465-467.
- Nielsen D. G., 1981. Studying biology and control of borers attacking woody plants. *Bulletin of the Entomol. Soc. Am.* 27: 251-259.
- Nieto A. R., M. J. Vargas, A. J. C. Nieto, O. Rodríguez, P. V. M. Jiménez, C. J. Hernández, y B. M. Ortiz. 2016. El cultivo del maguey pulquero (*A. salmiana*) en el Valle del mezquital. Universidad Politécnica de Fco. I. Madero. Hidalgo, México. 53p.
- Pliner P., C. P. Herman and J. Polivy. 1990. Palatability as a determinant of eating: Finickiness as a function of taste, hunger, and the prospect of good food. In: E. D. Capaldi and T. L. Powley (Eds.), *Taste, experience, and feeding* (pp. 210-226). Am. Psychol. Assoc. Washington, D.C.
- Ramírez-Tobías, H. M., C. B. Peña-Valdivia y J. R. Aguirre. 2014. Respuestas bioquímico-fisiológicas de especies de *Agave* a la restricción de humedad. *Bot. Sci.* 92: 131-139.
- Ramos-Elorduy J., Moreno, J. M. P., Vázquez, A. I., Landero, I., Oliva-Rivera, H. and V. H. M. Camacho. 2011. Edible Lepidoptera in Mexico: Geographic distribution, ethnicity, economic and nutritional importance for rural people. *J. Ethnobiol. Ethnomed.* 7: 1-22.
- Ruiz G. S, C. Peña-Valdivia, L. Trejo y A. Sánchez. 2007. Reacción fisiológica del maguey (*Agave salmiana* Otto ex Salm-Dyck) a la sequía intermitente. *Rev. Fac. Agron.* 24 (Sup 1): 318-325.
- Sengalewitsch G, 1971. The influence of ecological conditions on the population density of the willow borer in southern Bulgaria. *Nachrichtenblatt für den Pflanzenschutzdienst in der DDR* 25: 194-196.
- Simmons-Boyce J., and T. Winston. 2007. Steroidal saponins and sapogenins from the Agavaceae family. *Nat. Prod. Commun.* 2: 99-114.
- Suits R., D. Reisig, and H. Burrack. 2017. Feeding preference and performance of *Helicoverpa zea* (Lepidoptera: Noctuidae) larvae on various soybean tissue types. *Fla. Entomol.* 100: 162-167.

- Vergara F., R. C. Everroad, G. Andraca, J. Kikuchi, J., and H. Makihara. 2012. Plant host differences between *Cossus redtenbacheri* and *Cossus insularis*: insights from mechanical tests and molecular phylogeny. *Bull. Insectology* 65: 217-222.
- Zetina D. H., and C. Llanderal. 2014. Signs and symptoms in *Comadia redtenbacheri* Hamm. (Lepidoptera: Cossidae) larvae affected by parasitoids. *Southwest. Entomol.* 39: 285-290.

5. ANEXO

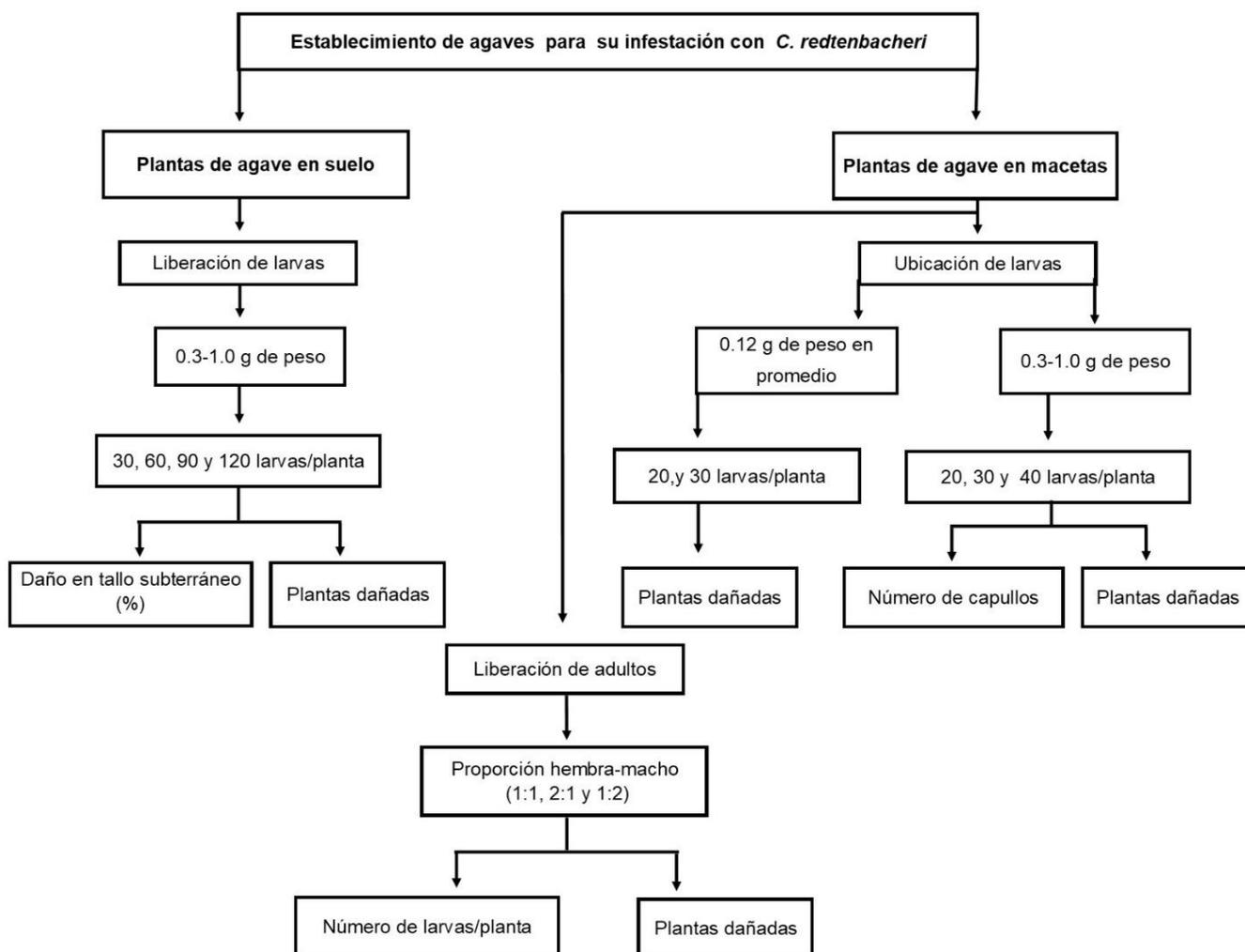


Figura 5.1. Métodos para la infestación de agaves con *Comadia redtenbacheri*.