



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO

FACULTAD DE CIENCIAS

Análisis in vitro de la respuesta de las larvas de *Comadia
redtenbacheri* en relación a las condiciones de alimentación
para su cultivo sustentable

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

BIÓLOGO

P R E S E N T A:

CARLOS MANUEL ZÁRATE SÁNCHEZ



DIRECTOR DE TESIS:
DR. RENÉ CERRITOS FLORES

CIUDAD DE MÉXICO

2018



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

1. Datos del alumno	1. Datos del alumno
Apellido paterno	Zárate
Apellido materno	Sánchez
Nombre(s)	Carlos Manuel
Teléfono	0445512925668
Universidad	Universidad Nacional Autónoma de México
Facultad	Facultad de Ciencias
Carrera	Biología
Número de cuenta	076477586
2. Datos del tutor	2. Datos del tutor
Grado	Dr.
Nombre(s)	René
Apellido paterno	Cerritos
Apellido materno	Flores
3. Datos del sinodal 1	3. Datos del sinodal 1
Grado	Dr.
Nombre(s)	Zenón
Apellido paterno	Cano
Apellido materno	Santana
4. Datos del sinodal 2	4. Datos del sinodal 2
Grado	Dr.
Nombre(s)	Johnattan
Apellido paterno	Hernández
Apellido materno	Cumplido
5. Datos del sinodal 3	5. Datos del sinodal 3
Grado	M. en C.
Nombre(s)	Alicia
Apellido paterno	Rojas
Apellido materno	Ascencio
6. Datos del sinodal 4	6. Datos del sinodal 4
Grado	M. en C.
Nombre(s)	Moisés Armando
Apellido paterno	Luis
Apellido materno	Martínez
7. Datos del trabajo escrito.	7. Datos del trabajo escrito
Título	Análisis <i>in vitro</i> de la respuesta de las larvas de <i>Comadia redtenbacheri</i> en relación a las condiciones de alimentación para su cultivo sustentable
Número de páginas	42
Año	2018

Índice

Resumen	7
I. INTRODUCCIÓN	10
II. ANTECEDENTES	12
2.1 Generalidades del gusano rojo de maguey	12
2.2 Desarrollo sustentable	14
III. OBJETIVOS, JUSTIFICACIÓN E HIPÓTESIS	16
IV. SISTEMA DE ESTUDIO	17
4.1 Descripción del ciclo de vida	17
4.2 Características morfológicas de la larva	18
4.3 Comportamiento de las larvas	20
4.4 Características de la pupa	21
4.5 Características de los adultos	22
4.6 Distribución geográfica de la especie	23
V. MATERIALES Y MÉTODOS	25
5.1 Supervivencia con dieta diferencial: tortilla vs. manzana	25
5.2 Supervivencia con cambio de alimento usando harina de maíz y manzana	26
5.3 Emergencia y razón sexual de las palomillas en dos sitios	26
VI.RESULTADOS	28
6.1 Supervivencia con dieta diferencial: tortilla vs. manzana	28
6.2 Supervivencia con cambio de alimento usando harina de maíz y manzana	29
6.3 Emergencia y razón sexual de las palomillas en dos sitios	30
VII. DISCUSIÓN	32
7.1 La dieta alternativa para la explotación sustentable	32
7.2 Supervivencia	33
7.3 Razón sexual	34
7.4 Propuesta para el módulo de producción de gusano rojo de maguey	34
VII.CONCLUSIÓN	37
Literatura citada	38

*Lo mejor de la vida
no es lo que te da la vida
sino lo que le arrancas a la vida.*

Raymundo "El Rayo de Jalisco"
alumno del Colegio Green Hills, 1994.

A mi esposa Laura, por la vida que hemos caminado juntos, por su apoyo y ayuda en todos estos años.

A mis hijos, Karla Ibaá y Carlos Manuel, con el deseo de que copien todo lo bueno que encuentran en mí, que aprendan de mis errores y los transformen en algo bueno. Siempre mejoren.

A mis padres, Lucina y Manuel. Gracias por su amor y apoyo incondicional.

A mis hermanos, María del Carmen, Martha, Laura y Alejandro, por el amor que les tengo a todos.

A mis sobrinos Gabriel, Paola, Paulina, Jorge, Diego, María Fernanda, Christian, Alejandro José y Mía Isabella.

A mis tíos Pedro, Pablo, Catalina, Rubén, Javier y Alicia.

Con cariño para todos.

Agradecimientos

Agradezco a los maestros que me enseñaron durante mi vida, que trabajaron con mucho amor para que yo, como su alumno, aprendiera de su esfuerzo, actitudes y trabajo.

A la Dra. Julieta Ramos-Elorduy y José Manuel Pino por su apoyo para iniciar este trabajo, y por su comprensión y paciencia.

A mi asesor, el Dr. René Cerritos Flores. Un sincero agradecimiento por la oportunidad de trabajar contigo, por su objetividad y excelentes ideas para el logro de este trabajo. Por el tiempo dedicado a la organización y supervisión. Por la empatía que transmite a las personas que trabajan con él y el entusiasmo por formar un gran equipo. Gracias por su amistad.

A los sinodales: Dr. Zenón Cano Santana, Dr. Johnattan Hernández Cumplido, M. en C. Alicia Rojas Ascensio, M. en C. Moisés Armando Luis Martínez. Gracias por sus consejos e indicaciones para poder concluir este trabajo, por promover que los alumnos realicen su mejor esfuerzo para lograr un trabajo acorde con calidad que requiere nuestra alma mater.

Gracias a todas las personas que forman parte de mi vida: tíos, primos, sobrinos, amigos y compañeros.

RESUMEN

El lepidóptero *Comadia redtenbacheri* es una de las especies de importancia alimentaria y económica en México. El aumento del consumo de esta especie ha disminuido sus tamaños poblacionales, además de la destrucción de muchas plantas de maguey, por lo que su explotación debe cambiar. El objetivo general de este trabajo fue determinar la sobrevivencia de larvas de *C. redtenbacheri* en relación al tipo de alimentación, así como la emergencia de las palomillas en diferentes localidades. En el primer ensayo se cuantificó la sobrevivencia de las larvas al ser alimentadas con tortilla o manzana. En un segundo experimento se determinó la sobrevivencia al alimentar a un grupo de larvas con una mezcla de harina de maíz y manzana en diferentes proporciones (1:1, 2:1 y 2:0.75). En un último ensayo se determinó la emergencia y la razón sexual de adultos en dos sitios diferentes. No se encontraron diferencias significativas en la sobrevivencia de las larvas cuando éstas alimentaron de tortilla (61.6 %) o con manzana (60 %). Las distintas proporciones de harina de maíz y manzana muestran una disminución en la sobrevivencia hasta 0 %. En el último ensayo se observó que las mariposas emergen en meses distintos en función de la localidad. En el Instituto de Biología de la UNAM (IBUNAM), en Ciudad Universitaria se presenta en marzo y abril, y en San Bernabé Ocotepéc sólo en mayo. La relación entre machos y hembras fue distinta en los sitios de trabajo, 44 machos: 17 hembras en el IBUNAM y 12 machos: 28 hembras en San Bernabé O. Estos ensayos indican que alimentar, las larvas, con tortilla o manzana es suficiente para mantenerlas vivas e ir consumiéndolas poco apoco, pero nos es adecuado para su cultivo, también que al disminuir la manipulación puede aumentar la cantidad de larvas que terminen su metamorfosis hasta palomilla, y sugiere que la localidad puede determinar la proporción de sexos que emergen al final del ciclo de vida. Conocer estas características del ciclo de vida del insecto aporta datos importantes sobre su alimentación y manejo para desarrollar el procedimiento adecuado de su producción sustentable de manera confinada.

SUMMARY

The Lepidoptera *Comadia redtenbacheri*, is one of the most important edible species in Mexico, this insect is eaten in its larva state. For its color and the plant it lives in it's called "gusano rojo de maguey". Due to of the rise in its consumption in the countryside and in the city, the haversters get the larvae by destroying a lot of maguey plants. Because of this over exploitation in its natural environment, the production and recollection methods must change. The construction of production modules or farms can be the best option. In this work, there were tests to maintain the individuals in larva and pupa state in laboratory conditions, outside its natural environment, to observe its survival rates with the modification of food and in two different locations. The first test to analyze was the larvae survival rate in relationship the feed type. Two groups were made, one being fed with apple and the other one being fed with tortilla. According to the results there is no big difference between the two groups. Even though survival is slightly higher when fed with tortilla. In the second analysis, the survival of larvae in a sequential diet change was determined. Different proportions of corn flour and apples were mixed (proportions: 1: 1, 2: 1 and 2: 0.75). Also the silk nest that the larvae create was eliminated. The results show a clear decrease in the survival rate. The negative effects of the diet change were constant during the 28 days of the test. In the last test the emerge rate, and sexual proportion in two different places was determined, one being the Biology Institute UNAM which is 2280 meters above sea level and the other one being Pueblo de San Bernabé Ocotepéc, at 2 610 meters above sea level. It was observed that the butterflies emerged in different months depending where they are. at UNAM it was during april and march, and at San Bernabé it was during may. The female number at UNAM was 17 and males 44, while, at San Bernabé O. was different: 12 males and 28 females. This work shows that feeding larvae with tortilla or apple is enough to keep them alive and consume them little by little, but is not suitable for its cultivation. Also by diminishing its manipulation you can increase the amount of larvae that end its

metamorphosis until its butterfly state. It also suggests that the altitude can determine the sex proportion that emerges at the end of the life cycle. Know the characteristics of life cycle of this insect, we can contribute with important data about its nutrition and handle to develop the process for its sustainable production in a confined way.

I. INTRODUCCIÓN

1.1. Insectos comestibles

La entomofagia se practica en muchos países del mundo, principalmente en regiones de Asia, África y América Latina (Bodenheimer, 1951; Cerritos, 2009). Los insectos comestibles constituyen un recurso importante para muchas culturas del mundo, ya que son abundantes y fáciles de recolectar, además son ricos en proteínas y ácidos grasos, estos son consumidos en forma habitual en 102 países, donde se han registrado 1 745 especies (Ramos-Elorduy y Viejo, 2007). La ingesta de estos organismos complementa la dieta de aproximadamente 2000 millones de personas, y se trata de un hábito que siempre ha estado presente en la conducta alimentaria de los seres humanos (FAO, 2013).

México es el país que más especies de insectos comestibles tiene reportado. Ramos-Elorduy (2008) consideró más de 500 especies, mientras Cerritos (2009) menciona que de manera recurrente y asociadas a los procesos culturales e históricos existen cerca de 200. En este país los insectos comestibles son en su mayoría colectados directamente del medio donde habitan. Ramos-Elorduy y Pino (1989) señalan que para obtenerlos se debe conocer el momento apropiado para su recolección, consumo y venta. Éstos forman parte de la cultura culinaria y se consumen desde la época prehispánica (Ramos-Elorduy, 1987). En el campo existe una forma de “protocultivo” que consiste en el cuidado de nidos o áreas donde se desarrollan los escamoles, gusanos blancos o chapulines y se recolectan en el momento de mayor abundancia (Ramos-Elorduy y Viejo, 2007). Como muestra de los problemas sobre la recolección del gusano rojo de maguey, según Cruz (com. pers.) en Zapotlán de Juárez, Hidalgo se crean brigadas de recolectores, de tres a siete personas durante los meses de julio hasta octubre, quienes recolectan desde 90 hasta 280 litros de gusanos por temporada, lo cual implica que se destruyan entre 12 y 15 mil plantas de maguey, muchas de ellas en estado silvestre. Esta actividad representa un ingreso económico importante para la manutención familiar. Según estimaciones, en Hidalgo se recolectan de 10 a 14 toneladas anualmente de la especie en la fase de larva. Extraoficialmente, los

municipios donde la recolección es mayor son: Singuilucan, San Agustín Tlaxiaca, Zempoala, Epazoyucan, Cardonal, Actopan y Huichapan, según Cruz (com. pers.).

La recolección de las larvas es una fuente de ingresos para los productores de maguey, debido a que su venta ayuda a la economía familiar y su consumo puede mejorar su alimentación, además existe una cadena económica, donde los acopiadores obtienen buenas ganancias, en ocasiones llegan vender hasta 8 000 kilogramos por temporada, en tanto que los restauranteros, que ofrecen platillos que forman parte de la alta cocina mexicana, desde 240 pesos por 100 g de gusanos (Arzola, com. pers.).

Actualmente se realizan investigaciones sobre insectos comestibles, principalmente en laboratorio. Por ejemplo, Ramos-Elorduy *et al.* (2001, 2002) reportan que éstos pueden ser considerados como un complemento alimenticio, ya que contienen una alta proporción de proteínas. Además, incluyen aminoácidos esenciales, grasas, vitaminas y minerales en cantidades adecuadas para el consumo humano. Wegier *et al.* (2017), por su parte, discuten que los insectos presentan gran eficiencia de conversión de materia consumida a biomasa, pues necesitan 10 veces menos materia vegetal que una res para producir un kilogramo de tejidos animales.

Sobre la reproducción industrial de insectos comestibles existen pocas empresas en el mundo, por ejemplo, Aspire Food Group (Aspirefg, 2016), que produce grillos en Estados Unidos de América y larvas de gorgojo de palmera en Ghana; Next Millennium Farms en Ontario Canadá (Entomo Farms, 2017), harina de grillo y tenebrio; y Proti-Farm (Proti-Farm, 2017) que produce harina de saltamontes y grillos en Países Bajos.

II. ANTECEDENTES

2.1. Generalidades del gusano rojo de maguey

El gusano rojo de maguey [*Comadia redtenbacheri* Hammerschmidt (1848), Lepidoptera: Cossidae], es la larva de una mariposa nocturna o polilla que habita en zonas áridas o semiáridas de la República Mexicana, en altitudes de 650 hasta 2770 m (Ramos-Elorduy *et al.*, 2008).

A este insecto se le conoce con diferentes nombres comunes dependiendo del lugar e idioma de la región: gusanito de sal, gusanito de mezcal, tecol, tekal, thenkue, tdencué, gusano rojo de maguey, gusano rosado de maguey, gusano colorado de maguey, chemicul, chilocuil, chilocuili, chilocuilin, chichiltlic, chichil, chilocuillin o chinicul (Rangel, 1987). A pesar de ser un parásito del maguey, se recolecta desde agosto hasta octubre para consumo familiar o venta, lo cual se realiza en diferentes presentaciones como: en collares de 100 individuos, sal de gusano para aderezar diversos alimentos, o bien para preparar sopa, salsas, tacos, tostadas, así como para expender las botellas de mezcal (Ancona, 1931).

En el transcurso de las dos primeras décadas del siglo XXI se han realizado diferentes investigaciones sobre el gusano rojo, principalmente en el laboratorio. Nolasco-Miguel *et al.* (2002), por ejemplo, realizaron trabajos sobre su reproducción con magueyes de 54 cm en promedio, en espacios delimitados con malla. Camacho *et al.* (2003), por su parte, describen su ciclo de vida, en tanto que Camacho *et al.* (2005) instalaron 40 unidades de producción con 20 000 magueyes de *Agave salmiana*, reportando porcentajes de infestación muy bajos. A pesar de estos estudios, no hay mucha información sobre su explotación y condiciones de las poblaciones naturales. Al respecto, Ramos-Elorduy (2006) lo identifica como un insecto sobreexplotado, ya que la demanda del mercado promueve un aumento en la recolección de larvas y causa la destrucción de sus hospederos. Llanderal-Cázares *et al.* (2007) estudiaron su biología y etología, y observan que las larvas viven en el maguey por 5 meses y en el campo hasta 8, en tanto que Almanza (2007) describe que, en condiciones de laboratorio, el ciclo de vida del gusano rojo es de 10 meses, y menciona que el tipo de magueyes adecuados para su cultivo deben medir entre 30 y 50 cm, y crecer en un suelo

franco, en tanto que la incubación de los huevos puede realizarse en cajas de Petri y que no es necesario alimentar a las palomillas porque tienen la boca atrofiada. Por otra parte, Miranda-Perkins *et al.* (2013) estudiaron el desarrollo pupal hasta adulto, y encontraron que la fracción de emergencia de los machos es de 64.04 % a 20 ± 5 °C. Ellos también realizaron cruces con diferentes razones sexuales.

Este lepidóptero es parásito de diferentes agaves. Rangel (1987) y MacGregor y Gutiérrez (1983) presentan una lista de las especies en las que se puede encontrar (Cuadro 1).

Cuadro 1. Hospederos del gusano rojo de maguey. Tomado de Rangel (1987) y MacGregor y Gutiérrez (1983).

Especie	Nombre común
<i>Agave gutierreziana</i>	Magueyón o curandero
<i>Agave marmorata</i>	Maguey tepestate
<i>Agave rubescens</i>	Maguey quixe
<i>Agave mapisaga</i>	Maguey manso
<i>Agave atrovirens</i>	Maguey manso
<i>Agave karwinskii</i>	Maguey bicuixe
<i>Agave americana</i>	Maguey grueso
<i>Agave salmiana</i>	Maguey pulquero
<i>Agave angustifolia</i>	Maguey mezcalero
<i>Agave tequilana</i>	Maguey azul

Las larvas se alimentan en el interior de la planta, en la base de las pencas, la raíz y el tallo o meyolote causándole daño por sus hábitos barrenadores, lo cual evita su crecimiento (Nolasco-Miguel *et al.*, 2002).

Después de que las larvas son recolectadas se puede conservar en recipientes, donde son alimentadas con tortilla, manzana o perones, según se expone a continuación. Ancona (1931) menciona que en Oaxaca existe un

cuidadoso sistema para criarlos. Recién extraídos del maguey, los gusanos son alimentados durante una o dos semanas con manzana o perones, en las que se levanta una tapa, se excava una celda reducida, donde son colocados y se cubren nuevamente con la parte levantada. Manzano (1989), por su parte, describe que para su conservación después de la extracción del maguey, se pueden mantener en un plato o cazuela, alimentándolas con tortilla. Las larvas hacen su “telaraña” más gruesa, sin embargo, esto tiene un efecto en su sabor.

2.2 Desarrollo sustentable

El desarrollo sustentable (o desarrollo sostenible) consiste en un crecimiento regulado que contiene algunas medidas políticas y sociales para encaminar de manera eficiente los recursos del planeta Tierra. Este tipo de desarrollo satisface las necesidades de todos los habitantes del planeta, sin comprometer los recursos del futuro (CMMAD, 1987).

Una alternativa para reducir la degradación del medio donde se colectan insectos comestibles, es la construcción de instalaciones que puedan minimizar el costo ecológico de producción (Ramos-Elorduy *et al.*, 2006). Las granjas son instalaciones necesarias para la producción sustentable de los insectos comestibles, donde se debe aplicar un control de calidad del producto y se puede tratar de evitar su contaminación con agroquímicos. Granados (1993) menciona que con el uso de las granjas se disminuye la presión de las poblaciones naturales causadas por la recolección indiscriminada. Discute también que es importante identificar la madurez de las larvas del gusano rojo y tener un control de calidad en el proceso de reproducción comercial para abastecer la industria de alimentos y licores.

Cerritos (2009), por su parte, menciona que algunas especies de insectos con tamaños poblacionales pequeños y que además son sobreexplotadas en etapas prereproductivas muestran serios problemas demográficos, incluyendo el peligro de extinción. Ante ello, es necesario aplicar métodos de manejo para conservar su población natural y desarrollar técnicas de crianza (Figura 1).

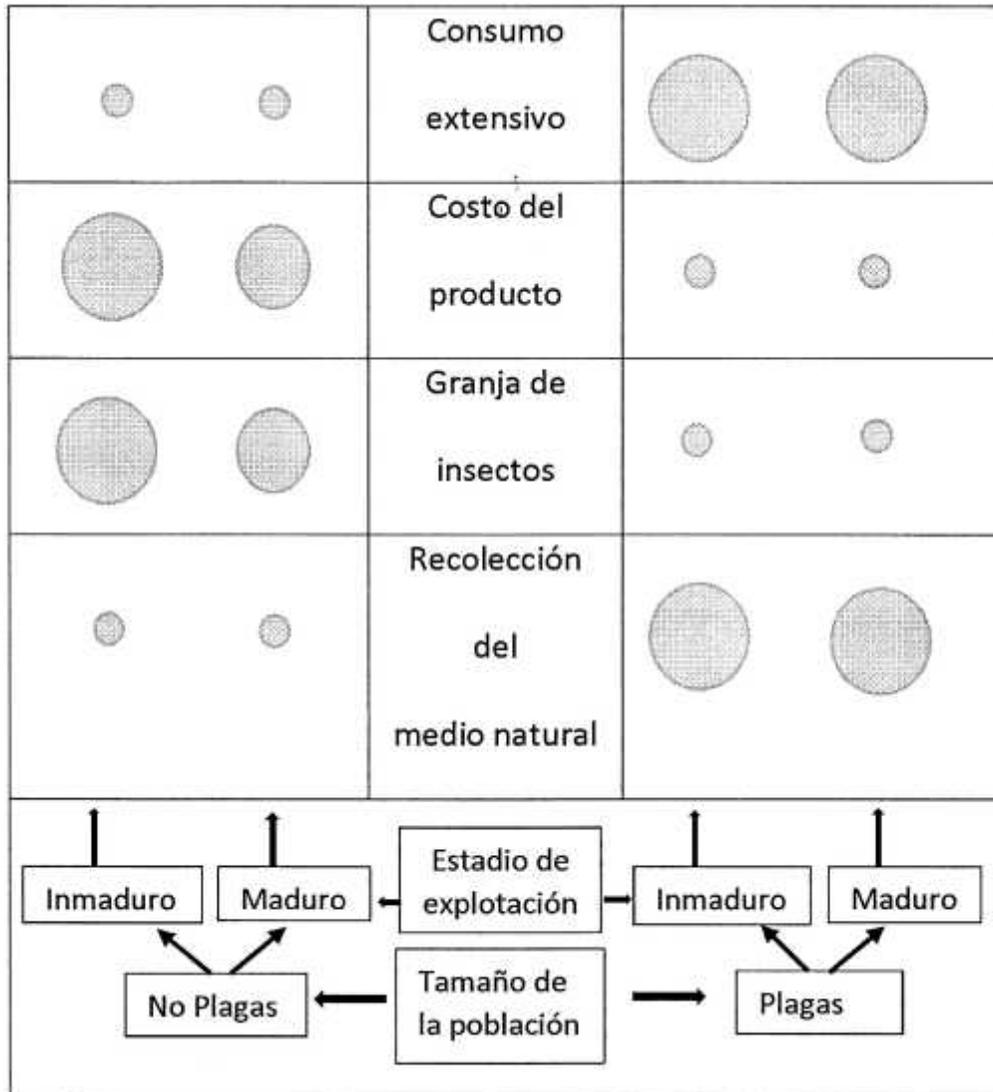


Figura 1. Propuesta para el manejo de insectos comestibles de acuerdo al tamaño poblacional (tomado de Cerritos, 2009).

III. OBJETIVOS, JUSTIFICACIÓN E HIPÓTESIS

El objetivo general de este trabajo es determinar la sobrevivencia de larvas de *C. redtenbacheri* en relación con la modificación del tipo de alimentación, así como la sobrevivencia de adultos, la razón sexual y tiempos de emergencia en diferentes localidades en las que son criadas.

Por otra parte, los objetivos específicos a trabajar en el presente estudio se formula como hipótesis las siguientes:

1. Con base en los métodos de crianza anteriormente utilizados, se espera una mayor supervivencia de las larvas alimentadas con tortilla en relación con la que son alimentadas con manzana.
2. La sobrevivencia de las larvas será menor por el aumento de disturbios o manipulación, al cambiar el alimento y eliminar la cubierta de seda que producen para su protección.
3. La emergencia de las palomillas será mayor en el Instituto de Biología de la UNAM en Ciudad Universitaria (IBUNAM), localizada a menor altitud, que en el pueblo de San Bernabé Ocotepéc.
4. Diseñar un módulo para iniciar la producción controlada del gusano rojo de maguey.

Este trabajo se justifica debido a que la demanda del gusano rojo en el mercado provoca la disminución en el tamaño de sus poblaciones naturales. Las larvas son extraídas sin conocer su madurez y sanidad y el tipo de alimentación es, sin duda, es uno de los parámetros más importantes.

En este trabajo se probó alimentar a las larvas de esta especie a partir de tortilla y manzana como sustituto del maguey. En trabajos previos ya se han propuesto este tipo de alimentos (Ancona, 1931; Manzano, 1989); sin embargo, nunca se había realizado un ensayo para determinar formalmente su sobrevivencia.

IV. SISTEMA DE ESTUDIO

El ciclo de vida, desarrollo y biología del gusano rojo de maguey *Comadia redtenbacheri* lo han estudiado Blásquez (1870); Ancona (1931); Rangel (1987); Manzano (1989); Camacho *et al.* (2003, 2005); Sánchez (2003), Hernández-Livera (2004); Almanza (2007); Llanderal-Cázares *et al.* (2007) y Miranda-Perkins *et al.* (2013), según se expone a continuación.

4.1. Ciclo de vida

El ciclo de vida inicia cuando las hembras ponen los huevos desde finales de enero hasta mayo. Estos son blancos, cilíndricos, y miden aproximadamente 1 *1.3 mm, son de consistencia coriácea, dispuestos solos o en grupos de hasta 120. Las hembras los cubren con una sustancia pegajosa de color pardo, por lo que se confunden con granos de arena o la tierra donde se encuentra el maguey (Fig. 2). El corion es de textura rugosa o áspera, ornamentada con polígonos en forma de celdas de panal.



Figura 2. Grupo de huevos de *C. redtenbacheri*. Las hembras los ponen solos o en grupos. Foto: Carlos Zárate.

El periodo de incubación del huevo es de 20 a 33 días a 29°C. Las larvas recién eclosionadas del primer estadio son blancas, con cutícula transparente, miden 2-4 mm, pesan alrededor de 6 mg y presentan un comportamiento gregario. En un principio se alimentan de epidermis y del cuello del rizoma, y conforme aumentan de tamaño penetran a los tejidos de las pencas y se distribuyen en la

parte central del maguey, denominado piña o meyolote. Durante el crecimiento de las larvas, en los tejidos del maguey efectúan tres mudas; la primera entre 10 y 12 días después de haber eclosionado; la segunda de 15 a 20 días después, algunos días más, presentan la tercera.

En el penúltimo estadio salen del maguey, se introducen en el suelo y forman su capullo. En ese momento experimentan la cuarta y última muda. Las palomillas que emergen del capullo viven entre uno y dos días, y algunas hembras hasta cinco días, durante los cuales copulan y ponen los huevos. El ciclo de vida es de 10 a 13 meses, aproximadamente.

La cópula tiene una duración de 40 a 60 min, y puede darse el mismo día de la emergencia. Las hembras ponen los huevos en la base del maguey, en la zona de la inserción de las hojas y lo pueden hacer en cualquier sustrato disponible, aun cuando no hayan tenido contacto con los machos.

4.2. Características morfológicas de la larva

Presentan 14 segmentos aparentes (Fig. 3), en el primero se encuentra la cabeza, los tres siguientes forman el tórax y los 10 restantes el abdomen. El cuerpo es blando, y el dorso está surcado de pliegues transversales cubierto por una gran cantidad de cerdas ordenadas en tres franjas longitudinales, una en el centro y dos laterales, de dos cerdas cada una, próximas a los márgenes del cuerpo, desde el metatórax. El último segmento presenta una excrecencia quitinosa en forma de cuerno, dirigida oblicuamente hacia arriba. En los costados se aprecian nueve estigmas, uno en el protórax y ocho en el abdomen (Fig. 4). En la región ventral, cada segmento del tórax presenta un par de patas de tres artejos cada una, con numerosas cerdas diminutas, y terminan en una uña. En el abdomen, los segmentos 7, 8, 9 y 10 presentan un par de patas suplementarias (Fig. 5) formadas por ligeras elevaciones superficiales, y están armadas con espinas quitinosas simples (Fig. 6). En el décimo segmento abdominal, aparecen dos protuberancias hemisféricas provistas de una depresión lineal media, que hacen las veces de pies fijadores, ayudados por una secreción mucilaginoso (Fig. 7).



Figura 3. Vista dorsal y ventral de la larva de *C. redtenbacheri*. Foto: Carlos Zárate.



Figura 4. Vista lateral de la larva de *C. redtenbacheri* en la que se observan nueve estigmas. Tomada de Cerritos (2017).

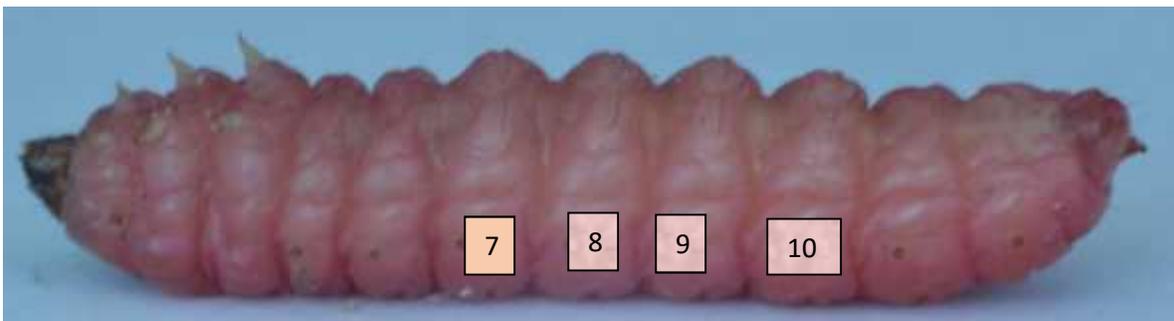


Figura 5. Patas suplementarias de los segmentos del 7 al 10 de la larva *C. redtenbacheri*. Tomada de Cerritos (2017).



Figura 6. Espinas quitinosas de las patas suplementarias de la larva de *C. redtenbacheri*. Tomada de Ancona (1931).

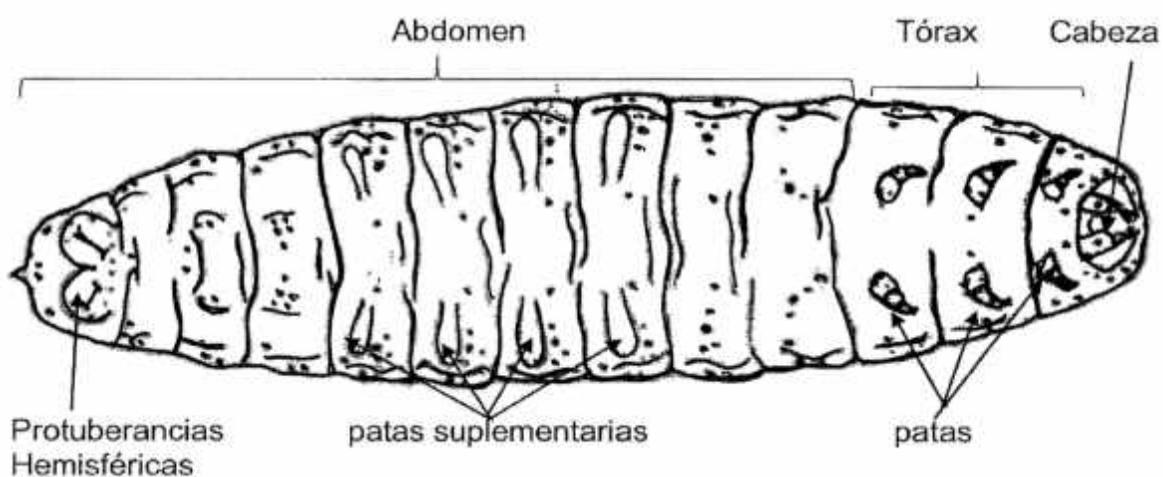


Figura 7. Esquema ventral de la larva de *C. redtenbacheri* (tomado de Ancona, 1931).

4.3. Comportamiento de las larvas

Las larvas viven en el interior del maguey entre cinco y seis meses, cuando están maduras salen del hospedero y se entierra rápidamente, en ocasiones, son arrastradas por el agua de lluvia a cierta distancia del maguey. En el suelo, cada larva construye un capullo con hilos de seda, a los que se adhieren partículas del sustrato. Es de forma ovalada, con el extremo anterior más dilatado, y puede llegar a medir 2.5 cm de longitud y 1 cm de ancho. En el laboratorio, cuando se colocan en un recipiente con tierra, dichas larvas se introducen para formar su capullo, pero algunas salen y entran varias veces, por lo que gastan mucha de su energía almacenada para su transformación y mueren.

4.4. Características de la pupa

En el interior del capullo se forma la pupa de tipo obtecta (esto es, sus apéndices no son libres). Es de color blanco cremoso a rosado. En la parte dorsal de cada uno de los segmentos abdominales presenta una hilera de proyecciones esclerosadas en forma de punta de flecha, que sirven de apoyo para salir del capullo y llegar hasta la superficie de la tierra. Cuando están sobre el suelo se puede determinar el sexo de cada individuo al observar a través de la cutícula, el tipo de antenas o en la parte final del abdomen, ya que en el último segmento en posición ventral se puede localizar una marca cuticular típica de los machos. La pupa recién salida del capullo es de color blanco cremoso (Fig. 8), cuando se pone de color dorado se abre y emerge el adulto (Fig. 9). La duración de la larva y la pupa, en el capullo, es de 2.5 hasta 6 meses



Figura 8. Pupa de *C. redtenbacheri* recién salida del capullo. Foto: Carlos Zárate.



Figura 9. Pupa de color dorado de *C. redtenbacheri*. Foto: Carlos Zárate.

4.5. Características de los adultos

El macho mide 1.4 a 1.5 cm de longitud por 2.2 a 2.6 cm de expansión alar, y presenta caracteres muy semejantes a los de la hembra, con la particularidad de que tiene predominio de color café oscuro sobre el cuerpo y sobre las alas anteriores (Fig. 10A). Sus antenas son plumosas o bipectinadas (Fig. 11) y puede vivir 1 o 2 días. La hembra, por su parte, mide 1.8 a 2.1 cm de longitud por 3.5 a 3.8 cm de envergadura. Su cuerpo es vellosos de color café claro, que se hace blanquecino en la parte proximal del abdomen. Las antenas se presentan como dos filamentos finamente aserrados de coloración ligeramente más clara. Puede vivir hasta 5 días y su fecundidad potencial es de 118 huevos en promedio (Fig. 10B).



Figura 10. Aspecto de un macho (A) y una hembra (B) adultos de *C. redtenbacheri*. Foto: Carlos Zárate.



Figura 11. Antenas bipectinadas del macho de *C. redtenbacheri*. Foto: Carlos Zárate.

4.6. Distribución geográfica de *Comadia redtenbacheri*

Esta especie se distribuye desde el sur de los Estados Unidos al sur de México (Fig. 12). En Estados Unidos, Brown (1975) reporta su distribución en el sur de Texas. Nolasco-Miguel *et al.* (2002); Camacho *et al.* (2005); Almanza (2007) y Ramos-Elorduy *et al.* (2008) reportan que en México esta especie se encuentra en Aguascalientes, Ciudad de México, Chiapas, Durango, Guanajuato, Hidalgo, Jalisco, Estado de México, Michoacán, Oaxaca, Puebla, Querétaro, San Luis Potosí, Tlaxcala, Veracruz, y Zacatecas, y es más abundante entre 1800 y 2000 m.s.n.m.



Figura 12. Mapa de la distribución geográfica del gusano rojo de maguey. Brown. (1975). Nolasco-Miguel *et al.* (2002), Camacho *et al.* (2005), Almanza (2007) y Ramos-Elorduy *et al.* (2008).

V. MATERIALES Y MÉTODOS

5.1. Supervivencia con dieta diferencial: tortilla vs. manzana

Se obtuvieron 120 larvas de *C. redtenbacheri* en la ciudad de Pachuca, Hidalgo. Las larvas pesaron 0.507 ± 0.183 g y midieron 3.0 ± 2.1 cm de longitud. Después, se distribuyeron en cuatro grupos de 30 larvas cada uno. Cada grupo se colocó en una caja de plástico de 15 cm x 5 cm x 4 cm. De las cuatro cajas, se formaron dos conjuntos de acuerdo al tratamiento diferencial en el tipo de dieta. Los dos primeros (1A y 1B) se alimentaron con dos tortillas cortadas en tiras ($55 \text{ g} \pm 0.05$ g), y los siguientes (2A y 2B) con $55 \text{ g} \pm 0.05$ g de manzana cortada en gajos. El alimento se cambió cada 3-4 días durante 34 días. Estos ensayos se realizaron en el Laboratorio de Insectos Comestibles del Instituto de Biología de la UNAM (IBUNAM), bajo condiciones controladas, a una temperatura promedio de 27.7 °C y una humedad relativa de 49 % en condiciones de oscuridad.

Se realizó la comparación de la supervivencia promedio de larvas a través del tiempo en relación a la alimentación en los dos grupos. Para comprobar que las diferencias entre las medias de los distintos tratamientos fueran significativas se llevó a cabo una prueba de *t* de student.

Después de los 34 días, las larvas de cada grupo (1A a 2B) se colocaron en cajas de vidrio de 40 cm x 50 cm x 30 cm sobre una capa de tierra con una profundidad de 8 cm para estimular el proceso de pupación. Se colocó una toalla de papel y se agregaron 20 ml de una solución de fungicida al 0.25 % con un aspersor sobre la superficie, una vez cada semana. Esto para evitar mortalidad de las larvas. Se colocaron dos frascos con agua destilada, al extremo de cada una de las cajas para mantener la humedad.

La tierra se esterilizó en autoclave por 15 min a 121 °C y 15 Lb de presión con la finalidad de evitar infecciones por bacterias y hongos. Para esto, se mezcló tierra de cultivo (75 %) y arena de tezontle (25 %) cernida con una malla de 2 mm de apertura.

5.2. Supervivencia con cambio de alimento usando harina de maíz y manzana

Para determinar el patrón de supervivencia al alimentarlas con mezclas de harina de maíz: manzana en diferentes proporciones a lo largo de su ciclo de vida se compraron 60 larvas de *C. redtenbacheri* provenientes del municipio de Cuautitlán de Romero Rubio, Estado de México. Las larvas se distribuyeron en dos grupos de 30 cada uno. Posteriormente, se colocaron en una caja de plástico de 15 cm x 5 cm x 4 cm y se les suministró el alimento. Para evitar la fuga de larvas, las cajas de plástico se colocaron dentro de cajas de vidrio de 40 x 50 x 30 cm. Una vez por semana y por 3 semanas se les ofreció una mezcla 1:1 (100 g harina de maíz y 100 g de manzana). Posteriormente, se les ofreció una mezcla 2:1 (100 g de harina de maíz y 50 g de manzana) cada semana durante 3 semanas. Finalmente, se les ofreció una mezcla en proporción 2:0.75 (100 g de harina de maíz y 37.5 g de manzana) por 5 días. La mezcla se hacía con manzana picada finamente mezclada con la harina hasta formar una masa a la cual se le daba una forma de tortilla rectangular. Ésta se colocaba sobre las larvas formando una tapa en la caja de plástico. Este ensayo fue realizado en el Laboratorio de Insectos Comestibles del IBUNAM. Se realizó una comparación secuencial de la supervivencia de las larvas en relación a cada mezcla ofrecida. El ensayo tuvo una duración de 28 días en el mismo sitio físico y bajo las mismas condiciones del experimento anterior (ver sección 5.1).

5.3. Emergencia y razón sexual de las palomillas en dos sitios

Se obtuvieron 240 larvas, las cuales fueron compradas en el Municipio de Hueyapoxtla, Estado de México. Las larvas se colocaron directamente en la tierra estéril para que puparan y continuaran su metamorfosis hasta la emergencia de las palomillas. Estos ensayos se realizaron en dos localidades: en el IBUNAM y en el pueblo de San Bernabé Ocotepéc (San Bernabé O.), delegación La Magdalena Contreras. Se formaron cuatro grupos de 30 larvas para cada sitio.

Cada grupo de larvas se colocó en una charola de plástico de 24 × 19 × 10.5 cm, donde previamente se agregó 1 kg de tierra estéril con 8 cm de profundidad. Posteriormente, se asperjó con 20 ml de solución fungicida al 0.25 % para evitar infecciones, cada tercer día, durante los siguientes 4 meses. Finalmente, las cajas se cubrieron con una tela negra de algodón, la cual se sujetó con una liga para mantenerlas en oscuridad total para que construyeran su capullo, realizaran la pupación y emergieran los adultos. Las charolas (1A, 2A, 1B y 2B) se colocaron dentro de una caja para mariposas de 40 × 40 × 40 cm, con los cuatro costados cubiertos con malla de mosquitero, además de una maceta con un maguey de 20 cm de altura y un año de edad, en los dos sitios.

Cuando las pupas alcanzaron la superficie del suelo, se determinó su sexo. También se colocó un pequeño recipiente con una solución de sacarosa a 5 %, dentro de la caja de las mariposas para observar si las palomillas se alimentaban. Finalmente, para determinar si existían diferencias significativas en los ensayos de la emergencia de hembras y machos entre los dos sitios de trabajo, se realizó una prueba de ².

VI RESULTADOS

6.1. Supervivencia con dieta diferencial: tortilla vs. manzana

La supervivencia de las larvas alimentadas con tortilla o manzana no varió significativamente entre tratamientos (prueba de t de student: $t = 0.898$, g.l. = 9, $P > 0.05$), aunque se registra en la mayor parte del período que la supervivencia era mayor en las larvas que se alimentaron con tortilla, esto desde los primeros cinco días del ensayo (Fig. 13), excepto a los 12 días. Al final del ensayo (entre 30 y 34 días), la diferencia en supervivencia fue semejante: 61.6 % con tortilla y 60.0 % con manzana (Fig. 13).

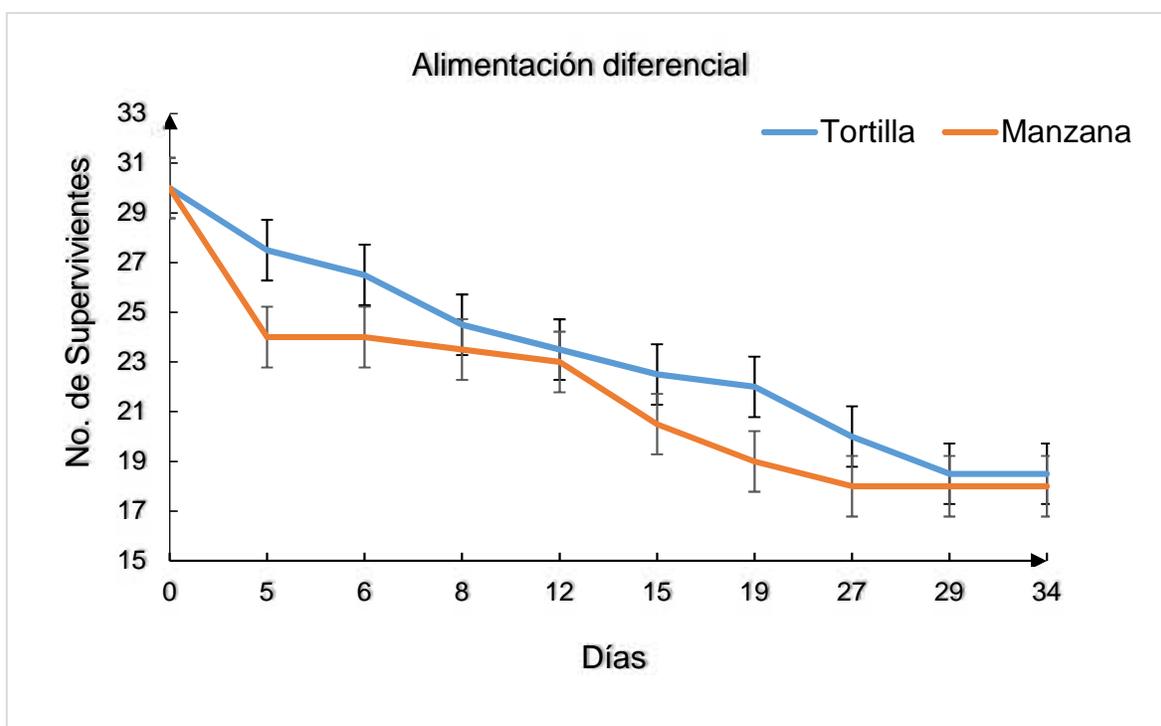


Figura 13. La supervivencia de larvas de *C. redtenbacheri* alimentadas con tortilla fue de 61.6 % y alimentados con manzana de 60 %. Los valores promedio para cada grupo es de: 23.3 ± 3.85 supervivientes con tortilla y 21.8 ± 3.86 supervivientes con manzana de 30 ejemplares iniciales. Datos promedio de dos réplicas con 30 larvas.

Después de 34 días, 73 larvas sobrevivientes se colocaron en el suelo estéril para que continuaran con su metamorfosis. A la semana siguiente se observó que bajo las toallas de papel se encontraban en total 10 larvas muertas. Hasta la tercera semana de marzo (3.5 meses después), se obtuvo solamente una

palomilla, esto corresponde a un 0.83 % de emergencia. Finalmente, en la segunda semana de abril, se cernió la tierra y se encontraron 58 capullos con pupas muertas y cinco larvas muertas que no elaboraron capullo. En este proceso se midió la profundidad a la que construyen su capullo, la cual varió de 2 a 7 cm (promedio: 4.5 cm).

6.2 Supervivencia con cambio de alimento usando harina de maíz y manzana

En la primera semana con la dieta en proporción 1:1 (harina: manzana) se observó que el color de las larvas se aclaró y sus movimientos eran lentos. En esa fecha la supervivencia promedio fue de 78.3 % (Fig. 14). A las 3 semanas las larvas tenían un color más claro que en la semana uno, cambiaron de rojo a rosa. Con el cambio del alimento en proporción 2:1, la supervivencia promedio fue de 38.3 %. Posteriormente, con el alimento en proporción 2:0.75 la supervivencia fue de 0% (Fig. 14).

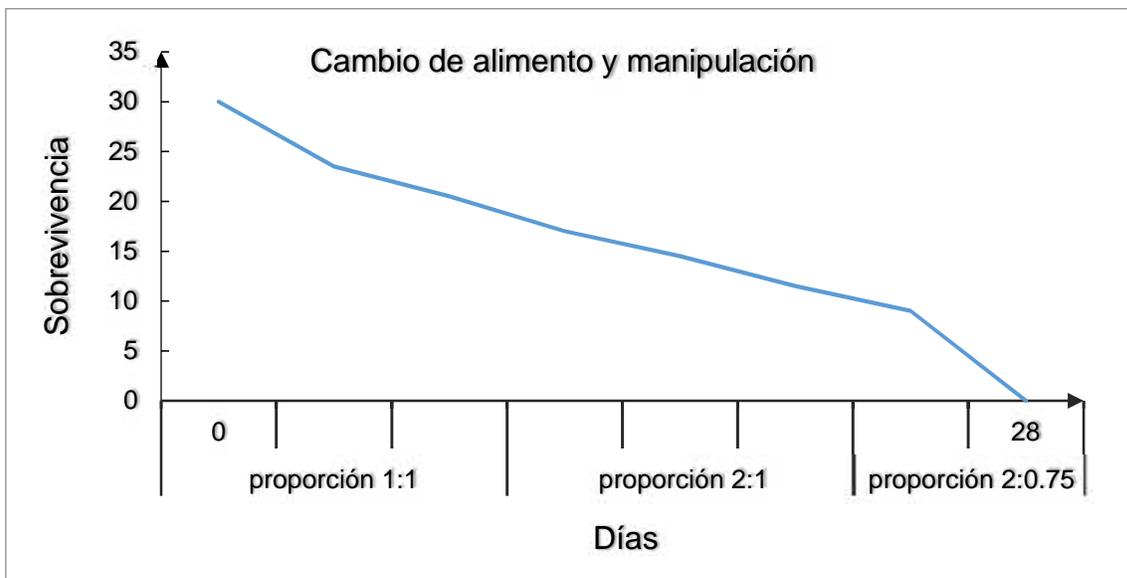


Figura 14. Curva de supervivencia de las larvas de *C. redtenbacheri* sometidas a cambios de alimento en la proporción harina de maíz: manzana.

6.3. Emergencia y razón sexual de las palomillas en dos sitios

En el IBUNAM las palomillas emergen en marzo y abril, mientras que en San Bernabé Ocoatepec, lo hacen en mayo (Fig. 15). Por otro lado, en el IBUNAM la fracción de emergencia fue de 50.83 % (61 adultos) y en San Bernabé O. de 33.3 % (40 adultos).

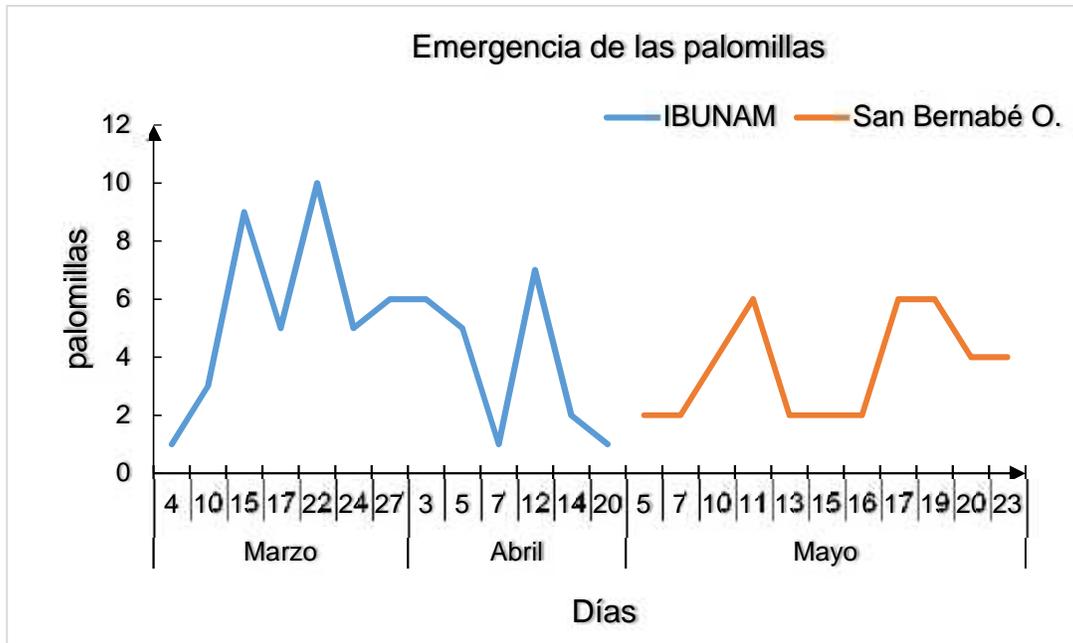


Figura 15. Patrón temporal de emergencia de los adultos de *C. redtenbacheri* en dos sitios: IBUNAM y San Bernabé O.

Al hacer la comparación de la emergencia de las palomillas se observó que la razón de sexos fue contrastante entre sitios ($\chi^2 = 17.35$, g. l. = 1, $P < 0.05$): mientras que en IBUNAM, de las 61 palomillas que emergieron 44 fueron machos (72.1 %) y 17 fueron hembras (27.9 %), en San Bernabé Ocoatepec la relación es inversa, pues de 40 adultos, 12 fueron machos (30 %) y 28 hembras (70 %) (Fig. 16).

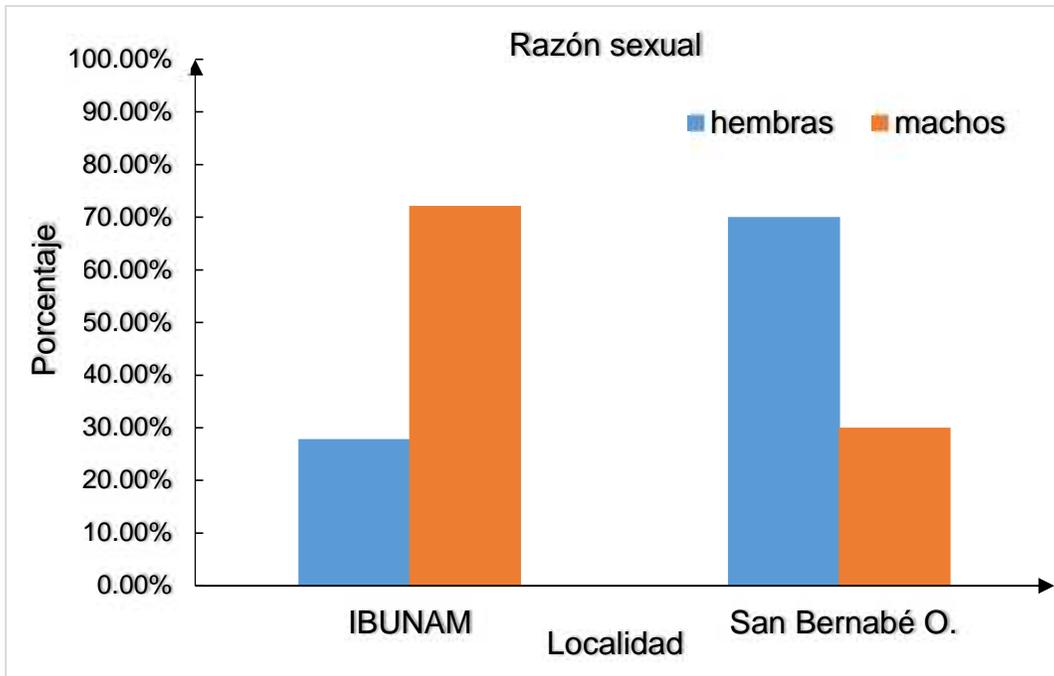


Figura 16. Razón sexual de adultos de *C. redtenbacheri* en dos sitios de estudio.

VII. DISCUSIÓN

7.1. La dieta alternativa para la explotación sustentable

La disminución de las poblaciones del maguey pulquero y el aumento en la demanda del gusano rojo han provocado su sobreexplotación, lo cual induce conflictos entre dueños de parcelas y recolectores y promueve la recolecta exhaustiva, sin verificar la calidad de sanidad y madurez de las larvas (Almanza, 2007). Estas condiciones ejercen cada vez más presión sobre las poblaciones naturales de este insecto, en contraste, prácticamente no existen granjas para su cultivo y, por ende, su aprovechamiento sustentable.

En este trabajo encontramos que la tortilla, la manzana o las mezclas de harina de maíz y manzana, como fuente alternativa de alimento para las larvas de esta especie, no son adecuadas para su nutrición y desarrollo, a pesar de que los recolectores sugieren que con estos alimentos pueden mantener e incluso reproducir las larvas. La principal fuente de alimentación de las larvas del gusano rojo es el maguey pulquero (*Agave salmiana*), sin embargo, existen al menos otros ocho hospederos no agaváceos (Chagoya-Lizama y Cano-Santana, 2009). Estos datos sugirieron que probablemente estos insectos podrían modificar su dieta, intercambiando especies vegetales de las que se alimentan, entre ellas el maíz (harina o tortilla) o la manzana como fuente principal. El propósito de usar tortilla, manzana o una mezcla de harina de maíz y manzana es por su fácil y económico acceso, lo que abarataría los costos de producción en un ambiente confinado. Desafortunadamente bajo estos ensayos se puede sugerir que no es posible sustituir el maguey por este tipo de alimentos si se pretende realizar un cultivo sustentable.

Para los recolectores de gusano rojo es necesario cortar casi por completo los magueyes donde se encuentra el insecto (obs. pers.). Van eliminando poco a poco la base de las pencas y el meyolote para sacar todas las larvas que se encuentran en la planta, y por el daño causado las plantas mueren, algunas sobreviven porque después de que son arrancadas, se observa que no tiene gusano (obs. pers.). Este tipo de práctica se realiza debido a que los recolectores

necesitan obtener la mayor cantidad de larvas posibles, sin importar el esfuerzo realizado y las condiciones del gusano. Una forma común y más sencilla de recolectar las larvas es cuando son arrastradas por el agua durante la temporada de lluvias, y antes de que se introduzcan en el suelo para iniciar su periodo de pupación (obs. pers.). Con este procedimiento muchas larvas pueden sobrevivir, por tanto, el tamaño de sus poblaciones no será afectado significativamente. Alternativamente a la implementación de granjas, se puede proponer un plan de desarrollo en donde se trabaje para concientizar a los recolectores para que exploten los recursos de manera tradicional. También se puede trabajar en la implementación de módulos de producción para satisfacer la demanda del mercado. Esta especie es sobreexplotada y se consume en su fase larvaria y por tanto su forma de recolección debe modificarse e iniciar su producción sustentable.

En trabajos previos ya se han utilizado la plantan del maguey como alimento. En estos se promovió la emergencia de las palomillas que pusieron los huevos en las plantas de maguey y las infestaron. Nolasco-Miguel *et al.* (2002) reportan que 100 de 135 plantas fueron infestadas en promedio con 70 larvas por planta. Los autores encontraron que éstas eran de pequeño tamaño porque se sacaron del maguey antes de completar su desarrollo larval. Por otro lado, Camacho *et al.* (2005) lograron tener hasta el 45 % de colonización, pero no reportan datos sobre obtención de larvas. Ambos estudios sugieren que existen problemas para la colonización del maguey y la producción de larvas de gusano rojo.

7.2. Supervivencia

En este estudio se encontró que de 73 larvas que inician la pupación solamente una palomilla adulta sobrevive, lo que corresponde al 0.83% de emergencia. De acuerdo a Miranda-Perkins *et al.* (2013), esto puede ser consecuencia de la manipulación en laboratorio. Camacho *et al.* 2005 mencionan que las larvas de gusano rojo se manejan de manera insalubre, lo que promueve infecciones y el ataque de parasitoides. Ellos reportan que algunas larvas obtenidas en el mercado manifiestan manchas y necrosis, cuya incidencia aumenta hasta 42 % a los 5 días

después de la compra. Por lo anterior, es importante obtener larvas a pie de maguey, del cuarto al sexto estadio para aumentar la viabilidad del cultivo.

En este trabajo, las larvas se colocaron directamente sobre el suelo estéril, disminuyendo su manipulación, con lo cual se alcanza un porcentaje de emergencia de los adultos de 50.83 % en el IBUNAM y de 33.33 % en San Bernabé O. Estos resultados son cercanos al promedio reportado por Camacho *et al.* (2005), donde mencionan haber alcanzado 61 % de emergencia de palomillas, las cuales emergieron en enero y febrero, esto difiere con las fechas registradas en el presente trabajo, donde las palomillas emergen en marzo-abril y hasta mayo, esto coincide con Miranda-Perkins *et al.* (2013), quienes mencionan que al disminuir la manipulación puede aumentar la supervivencia de palomillas y la emergencia extenderse hasta mayo.

7.3. Razón sexual

En el IBUNAM la emergencia de hembras alcanza un porcentaje de 27.9 %, mientras que en San Bernabé O. alcanzan el 70 %. El resultado de San Bernabé O. puede relacionarse con lo reportado por Miranda-Perkins *et al.* (2013) donde mencionan haber obtenido un porcentaje de emergencia de los machos de 64.0 %. Esto sugiere que al controlar las condiciones de la localidad (probablemente la altitud) donde se realice el proceso de pupación es posible manipular la razón sexual de las palomillas y aumentar la producción de larvas, además de alargar el ciclo de vida del este insecto y la temporada del gusano rojo de maguey.

7.4. Propuesta para el módulo de producción de gusano rojo de maguey

Hasta el momento no se han determinado las condiciones adecuadas para la reproducción y explotación del gusano rojo de maguey en condiciones controladas, debido al desconocimiento de la biología y etología del insecto (Llenderal-Cázares *et al.*, 2007). Sin embargo, al considerar el conocimiento generado por distintos investigadores, donde reportan que: (1) el ciclo de vida puede durar de 10 a 13 meses (Ancona, 1931; Camacho *et al.*, 2003; Almanza, 2007), (2) que la emergencia de las palomillas se presenta desde enero hasta abril

(Camacho *et al.*, 2005) o desde marzo hasta mayo (Miranda-Perkins *et al.*, 2013), (3) que la incubación de los huevos, en cajas de Petri, es aproximadamente de 1 mes (Almanza, 2007), (4) que los magueyes utilizados miden en promedio 54 cm (Nolasco-Miguel *et al.*, 2002), y (5) que las larvas salen desde agosto hasta octubre (Ancona, 1931; Llanderal-Cázares *et al.*, 2007), permite que en este trabajo se realice un diseño de módulo de producción en el cual se continúe la investigación y el desarrollo de la tecnología para su reproducción y la posibilidad de su explotación sustentable.

Se propone un módulo de 350 m² con 14 mesas para colocar los magueyes y otros materiales, un almácigo, oficina, salón, bodega y patio, distribuidas en las áreas siguientes (ver Fig. 17):

1. *Producción de larvas.* En 200 m² se distribuyen 13 mesas metálicas de 8 × 1.2 × 1 metros, sobre las cuales se colocan 1000 magueyes de 2 a 3 años de edad (30-50 cm de altura), además de una zona de pupación y emergencia de mariposas.
2. *Producción de maguey.* En 80 m² se preparan los almácigos y la reproducción de maguey para cambiar las plantas dañadas por la actividad de las larvas o para aumentar el área de producción de gusano.
3. *Administrativa.* En 70 m² se ubican un salón, patio de prácticas, oficina y bodega.

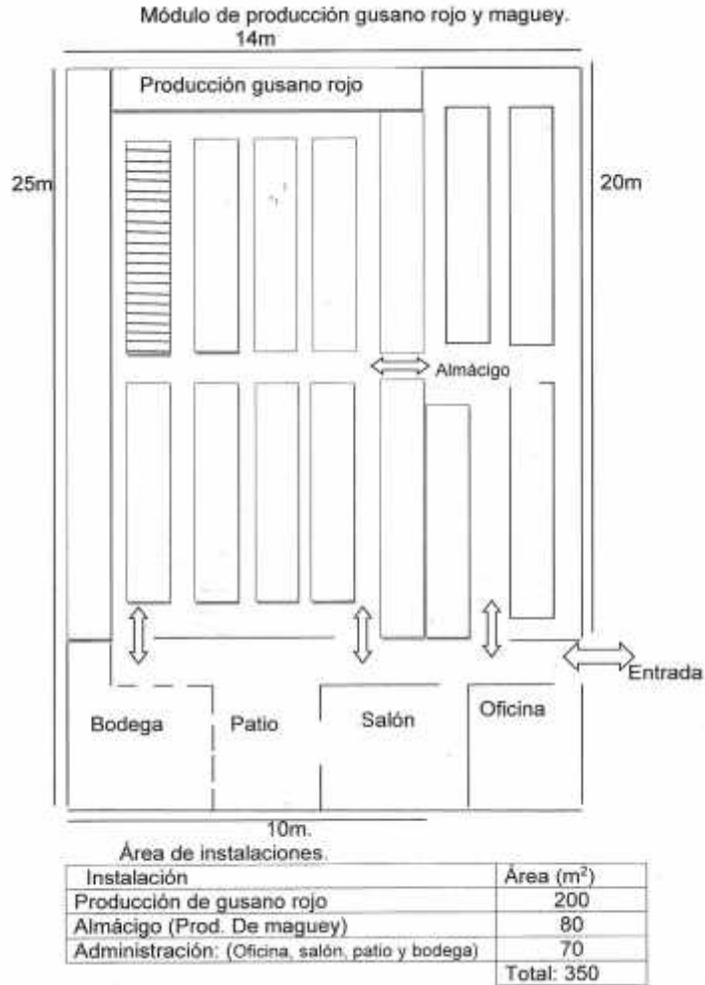


Figura 17. Módulo de producción propuesto para el cultivo de gusano rojo de maguey.

VIII. CONCLUSIÓN

Los resultados de este trabajo muestran que la tortilla, la manzana y mezclas de harina de maíz y manzana no son adecuados para la alimentación del gusano rojo de maguey, si se pretende hacer un cultivo en invernadero. Se encontró que las larvas de este insecto no pueden sobrevivir con esos alimentos y, menos todavía, continuar su metamorfosis hasta obtener nuevamente larvas para su comercialización y consumo. Para realizar un proceso de producción en invernadero es necesario hacer más ensayos de campo en los que se utilicen diferentes especies de maguey, y saber cuáles son las mejores para reproducir este insecto en un espacio confinado o en un invernadero.

También podemos concluir que la localidad (en particular, su altitud y/o temperatura) tiene un efecto sobre la emergencia de las palomillas y la razón sexual. Esta información se puede utilizar para alargar la temporada de producción y consumo del gusano rojo de maguey.

Por lo anterior, es importante: (1) continuar con las investigaciones para el establecimiento de módulos o granjas, utilizando las diferentes especies de *Agave* en las que vive como la mejor fuente de nutrimentos para su reproducción, (2) trabajar sobre la relación entre altitud y temperatura para controlar la razón sexual, y (3) disminuir la sobreexplotación de las poblaciones naturales.

LITERATURA CITADA

Almanza, V. E. 2007. Establecimiento de larvas de *Comadia redtenbacheri* Hamm en plantas de maguey en invernadero. Tesis de maestría. Colegio de postgraduados, Montecillo, Texcoco, Estado de México.

Ancona, L. H. 1931. Los chilocuiles o gusanitos de sal de Oaxaca. *Anales del Instituto de Biología, UNAM* 2: 265-277.

Aspire Food Group. 2016. En: <www.aspirefg.com>.

Blázquez, I. 1870. Insectos del maguey. *La Naturaleza* 1ra. serie 1: 280-290.

Bodenheimer, F. S. 1951. Insects as human food. A chapter of the ecology of man. Dr. W. Junk Publishers, La Haya, Holanda. 352 pp.

Brown, R. M. 1975. A revision of the North American *Comadia*. *Journal of Lepidoptera Research* 14(4): 189-192.

Chagoya-Lizama, V., Cano-Santana, Z. 2009. Hospederos del gusano rojo de maguey *Comadia redtenbacheri* Hamm (Lepidoptera: Cossidae) en Oaxaca y Zacatecas: El papel de la disponibilidad de *Agave salmiana*. *Entomología Mexicana* 8: 337-342.

Camacho, A., Nolasco-Miguel, A., Jiménez-Luna, J. E. 2003. Observaciones en condiciones de laboratorio de la biología del "Gusano rojo de maguey" *Comadia redtenbacheri* H. (Lepidoptera: Cossidae). *Entomología Mexicana* 2: 281-287.

Camacho, A., Nolasco-Miguel, A., Jiménez-Luna, J. E., Rivera-Torres, F. 2005. Reintroducción del maguey y cultivo del gusano rojo, *Comadia redtenbacheri* H. (Lepidoptera: Cosidae). *Entomología Mexicana* 4:599-603.

Cerritos, R. 2009. Insects as food: an ecological, social and economical approach. *CAB Reviews: Perspectives in Agriculture, Veterinary Science, Nutrition and Natural Resources* 4(27): 1–10.

CMMAD, Comisión Mundial del Medio Ambiente y del Desarrollo de las Naciones. 1987. Brundtland G. H. (pdta. de la CMMAD). “Informe Brundtland” o “Nuestro Futuro Común”. 24 pp. <<http://es.scribd.com/doc/10530534/ONU-informe-Brundtland-ago-1987>>.

Dyar, H. G. 1890. The number of molts of lepidopterous larvae. *Psyche* 5: 420-422.

Dyar, H. G. 1910. Descriptions of some new species and genera of Lepidoptera from México. *Proceedings of the United States National Museum* 38 (1742): 270.

FAO, (Food and Agriculture Organization of the United Nations) 2013. Dietary protein quality evaluation in human nutrition, Report of an FAO Expert Consultation. Roma.

FAO, (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura). 2013. Insectos comestibles.
<http://www.fao.org/docrep/018/i3264/i3264s00.pdf>.

FAO, (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura). 2014. Aprovechar el potencial de los insectos. En:
www.fao.org/news/story/es/item/231855/icode/, última consulta: 14 de mayo de 2014.

Granados, S. D. 1993. Los agaves en México. Universidad Autónoma Chapingo, Chapingo, Estado de México. 252 pp.

Hammerschmidt, K. E. 1848. Beschreibung eines neuen mexicanischen Schmetterlings *Comadia redtenbacheri* Naturwissenschaften Abhandlungen, Gesammelt und Durch Subcrition. *Wien* 2: 151-152.

Hernández-Livera, R. A. 2004. Inducción de la pupación e identificación de instares larvales de gusano rojo de maguey (*Comadia redtenbacheri* (Hamm)) (Lepidoptera Cossidae). Tesis de Maestría en Ciencias. Colegio de Postgraduados, México. 59 pp.

Hernández-Livera, R. A., Llanderal-Cázares, C., Nieto-Hernández, R., Castillo-Márquez, L. E., Valdés-Carrasco, J. 2005. Identificación de instares larvales de *Comadia redtenbacheri* Hamm. (Lepidoptera: Cossidae). *Agrociencia* 39: 539-544.

Llanderal-Cázares C., Nieto-Hernández, R. 2007. Biología y comportamiento de *Comadia redtenbacheri* Hamm (Lepidoptera: Cossidae). *Entomología Mexicana* 6: 252-255.

MacGregor, L. R., Gutiérrez, F. O. 1983. Guía de insectos nocivos para la agricultura en México. Ed. Alhambra Mexicana, México. 166 pp.

Manzano, M. J. 1988. Revisión bibliográfica sobre el gusano de maguey, con énfasis en su uso y conocimiento tradicional y definición de posibles áreas de trabajo en el Municipio de Apan, Hidalgo para realizar un estudio del gusano de maguey con enfoque etnobiológico. Informe de servicio social Facultad de Ciencias, UNAM, México. 46pp.

Manzano, M. J. 1989. Estudio etnobiológico del gusano de maguey *Aegiale (Acentrocneme) hepariaris* K., *Cossus redtenbacheri* Hamm, y *Scyphophorus acupunctatum* Gyll. en el Municipio de Apan, Hidalgo. Tesis profesional. Facultad de Ciencias, UNAM, México. 100 pp.

Miranda-Perkins, K., Llanderal-Cazares, C., De Los Santos-Posadas, H. M., Portillo Martínez, L., Viguera-Guzmán, A. L. 2013. *Comadia redtenbacheri* (Lepidoptera: Cossidae): Desarrollo pupal en el laboratorio. *Florida Entomologist* 96(4): 1424- 1433.

Nolasco-Miguel, A., Jiménez Luna, J. E., Camacho, A. D. 2002. Inducción de la pupación y colonización del gusano rojo de maguey *Comadia redtenbacheri* H. (Lepidoptera: Cissidae). *Entomología Mexicana* 1: 125-130.

Ramos-Elorduy, J. 1987. Los insectos como fuente de proteínas en el futuro. Limusa, México. 148 pp.

Ramos-Elorduy, J., Pino, J. M. 2001. Contenido de vitaminas de algunos insectos comestibles de México. *Revista de la Sociedad Química de México* 45: 66–76.

Ramos-Elorduy, J., Pino, J. M., Morales de León, J. 2002. Análisis químico proximal, vitaminas y nutrimentos inorgánicos de insectos consumidos en el estado de Hidalgo, México. *Folia Entomología Mexicana* 41(1): 15-29.

Ramos-Elorduy, J. 2006. Insectos comestibles amenazados en Hidalgo, México y algunas medidas para preservarlos. *Revista de Etnobiología y Etnomedicina* 2(51): 1–10.

Ramos-Elorduy, J., Pino M. J. M. y Martínez, C. V. H. 2008. *Base de datos de los insectos comestibles de México*. UNIBIO-IBUNAM, México. 78 pp.

Rangel, C. S. 1987. Etnobotánica de los agaves del Valle del Mezquital. Tesis profesional. ENEP Iztacala, UNAM, Los Reyes, Estado de México. 155 pp.

Sánchez, H. A. 2003. Contribución al conocimiento de la biología del gusano rojo de maguey *Comadia redtenbacheri* Hamm 1847 (Lepidoptera: Cossidae). Tesis profesional. ENCB, IPN, México. 66 pp.

Sahagún, B. 1975. Historia general de las cosas de la Nueva España. Porrúa, México. 1093 pp.

Wegier, A., Álvarez, V., Pérez-López, J., Calzada, L., Cerritos, R. 2017. Beef or grasshopper hamburgers: the ecological implications to choose one or another. *Basic and Applied Ecology*. Disponible en: doi.org/10.1016/j.baae.2017.09.004.