



COLEGIO DE POSTGRADUADOS

INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS AGRÍCOLAS

CAMPUS MONTECILLO

POSTGRADO DE FITOSANIDAD

ENTOMOLOGÍA Y ACAROLOGÍA

Manejo del defoliador de la teca *Hyblaea puera* Cramer (1777) (Lepidoptera: Hyblaeidae) en plantaciones forestales del sureste de México

Víctor David Cibrián Llanderal

T E S I S

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL
PARA OBTENER EL GRADO DE:

DOCTOR EN CIENCIAS

MONTECILLO, TEXCOCO, EDO. DE MÉXICO


Junio, 2015.

La presente tesis titulada: **Manejo del defoliador de la teca *Hyblaea puera* Cramer (1777) (Lepidoptera: Hyblaeidae) en plantaciones forestales del sureste de México**, realizada por el alumno: **Víctor David Cibrián Llanderal**, bajo la dirección del Consejo Particular indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

DOCTOR EN CIENCIAS
FITOSANIDAD
ENTOMOLOGÍA Y ACAROLOGÍA

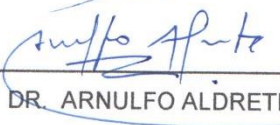
CONSEJO PARTICULAR

CONSEJERO: 
DR. HÉCTOR GONZÁLEZ HERNÁNDEZ

ASESOR: 
DR. DAVID CIBRIÁN TOVAR

ASESOR: 
DR. J. CONCEPCIÓN RODRÍGUEZ MACIEL

ASESOR: 
DR. HÉCTOR MANUEL DE LOS SANTOS POSADAS

ASESOR: 
DR. ARNULFO ALDRETE

Montecillo, Texcoco, Estado de México, Junio de 2015.

**MANEJO DEL DEFOLIADOR DE LA TECA *Hyblaea puera* Cramer (1777)
(Lepidoptera: Hyblaeidae) EN PLANTACIONES FORESTALES DEL SURESTE
DE MÉXICO**

**Víctor David Cibrián Llanderal
Colegio de Postgraduados, 2015**

RESUMEN GENERAL

El defoliador *Hyblaea puera*, se ha convertido en la principal plaga de la teca (*Tectona grandis*) en las plantaciones comerciales localizadas en los estados de Tabasco y Campeche, en el sureste del México. Las defoliaciones masivas reducen la tasa de crecimiento de los árboles y se aumenta el tiempo para la corta final. Actualmente se considera al defoliador de la teca como bien establecido y en fase de expansión en el sureste del país, al grado que ha infestado 5,000 ha de teca en la región. En esta investigación se reporta la incidencia de *Hyblaea puera* Cramer (Lepidoptera: Hyblaeidae) en plantaciones comerciales de teca (*Tectona grandis* L. f.) en el sureste de México en los años 2011 a 2013, en el último de los cuales más de 1,000 y 4,000 ha de teca fueron atacadas por este defoliador en Tabasco y Campeche, respectivamente. También se definió un método de cría que incluyó la formulación de una dieta merídica a base de harinas de maíz y de soya que permitió la definición del ciclo biológico y el desarrollo de los estados inmaduros de *H. puera*, desde la fase de huevo, hasta la formación de las pupas, así como la obtención de adultos fértiles y sin deformaciones. Se estudió la susceptibilidad de larvas neonatas de *H. puera* a los insecticidas spinetoram y *Bacillus thuringiensis* var. *Aizawai*. Las DL₅₀ fueron 0.000000036 y 0.000000028 para spinetoram y *Bacillus thuringiensis* var. *aizawai*, respectivamente. Se propone el uso de estos de estos productos para el manejo de *H. puera* en las plantaciones forestales comerciales de teca en México. Se definió un procedimiento a base de trampas de luz UV para la detección temprana y la fluctuación de poblaciones de adultos durante 2 años consecutivos. La red de trampeo permitió detectar el arribo de la población epicéntrica, una semana antes de detectar los primeros signos de defoliación. Se aplicaron medidas de control sobre esta población, con lo que se evitó el desarrollo de la fase epidémica. En las regiones productoras de teca de Balancán,

Tabasco y el Valle de Edzná en Campeche, se registraron dos picos poblacionales de *H. puera*, el primero entre los meses de junio y julio y el segundo en septiembre, después de la canícula.

Palabras clave: Incidencia, cría, bioensayos, detección, captura.

**MANAGEMENT OF THE TEAK DEFOLIATOR *Hyblaea puera* CRAMER (1777)
(LEPIDOPTERA: HYBLAEIDAE) ON FOREST PLANTATION IN THE SOUTHEAST
OF MÉXICO**

**Víctor David Cibrián Llanderal
Colegio de Postgraduados, 2015**

GENERAL ABSTRACT

The defoliator *Hyblaea puera*, has become the main pest of teak (*Tectona grandis*) in the forest plantations of this species, located in the States of Tabasco and Campeche in the southeast of the Mexico. The massive defoliation reduces the growth of trees and increases the time for the final cut. The insect is established and in expansion in the southeast of the country. Currently infestations affect 5,000 has in the region. *Hyblaea puera* Cramer (Lepidoptera: Hyblaeidae) was reported in commercial teak (*Tectona grandis* L. f.) plantations in the states of Campeche and Tabasco in southeastern Mexico, from 2011 to 2013. By 2013 more than 1,000 and 4,000 of teak were attacked by *H. puera* in Tabasco and Campeche, respectively. A rearing method was defined, with the formulation of a meridic diet based on flour corn and soybean, which allowed the definition of the biological cycle and the development of the immature stages of *H. puera*, from the egg to the pupae formation. Larvae were exposed to the insecticides spinetoram and *Bacillus thuringiensis* var. *aizawai*. LD₅₀ was 3.6×10^{-8} and 2.8×10^{-7} for spinetoram and *Bacillus thuringiensis* var. *aizawai*, respectively. It is proposed the use of these products for the management of *H. puera* in commercial plantations of teak in Mexico. An early detection procedure using UV light traps was developed for the early detection. The fluctuation of adult populations was registered for two consecutive years. This trapping system allowing the detection of the arrival of epicentric populations, and the timely application of control methods one week before the first signs of defoliation and the development of the epidemic stage. In both teak plantations in Balancán, Tabasco and Edzná Valley, Campeche, two population peaks of *H. puera* were recorded, the first between the June and July and the second in September.

Key words: incidence, breeding, bioassays, detection, capture.

AGRADECIMIENTOS

Al Dr. Héctor González Hernández quien como mi consejero y director de tesis se condujo con una gran responsabilidad y profesionalismo, y me brindó todo el apoyo requerido para la realización de esta investigación.

A los integrantes de mi consejo particular, los Drs. David Cibrián Tovar, J. Concepción Rodríguez Maciel, Héctor Manuel De los Santos Posadas y Arnulfo Aldrete, quienes se comprometieron y apoyaron para concluir satisfactoriamente este trabajo de investigación.

Al Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo, institución que me recibió y formó durante el doctorado en su programa de Entomología y Acarología.

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

A Jürgen Stock; Omar Carrero, Nancy Flores, Gabriela Hernández, Marynor Ortega, Frank Falco, Secundino Torres, Víctor Sarao, Santos Domínguez y Juan Manuel Alejo, por el gran apoyo en esta investigación en la zona de Balancán Tabasco.

A Víctor Hugo Fernández, Artemiza Bernal, Edgar Viques, José Cibrián y Edgar Chávez por el apoyo en la instalación del sistema de monitoreo y colecta de material en Campeche.

Al Dr. Manuel Campos Figueroa (iTrap S.A. de C.V.) por la ayuda en el diseño y fabricación de las trampas de luz.

A la Dra. Celina Llanderal y la Sra. Susana Illescas, del Laboratorio de Fisiología de Insectos del CP campus Montecillo por su gran apoyo en las diversas etapas de la cría en laboratorio y la realización de los bioensayos.

A Enrique Alvarado Moreno por la ayuda en la instalación del sistema de monitoreo en Campeche y Tabasco.

A mis amigos Mariana, Manuel por todas las atenciones brindadas durante mi estancia en el Colegio.

DEDICATORIA

A Celina, David, Kalina, Tania y Tamara

CONTENIDO

RESUMEN	iii
ABSTRACT	v
ÍNDICE DE CUADROS	x
ÍNDICE DE FIGURAS	xi
INTRODUCCIÓN GENERAL	1
Objetivo general	2
Objetivos particulares	2
Literatura citada	3
CAPÍTULO 1. INCIDENCIA DE <i>Hyblaea puera</i> (Lepidoptera: Hyblaeidae) EN MÉXICO	4
1.2. Literatura citada	7
CAPÍTULO 2. METODO DE CRÍA PARA EL DEFOLIADOR DE LA TECA <i>Hyblaea puera</i> (Lepidoptera: Hyblaeidae)	11
2.1. Introducción	12
2.2. Materiales y métodos	13
2.2.1. Procedimiento para la crianza y manejo de la colonia	13
2.3. Resultados y discusión	18
2.4. Conclusiones	23
2.5. Literatura citada	25
CAPITULO 3. SUSCEPTIBILIDAD DE <i>Hyblaea puera</i> (CRAMER 1777) (LEPIDOPTERA: HYBLAEIDAE) A SPINETORAM Y <i>Bacillus thuringiensis</i> var. <i>aizawai</i>	27
3.1. Introducción	28
3.2. Materiales y métodos	29
3.2.1. Colecta de material biológico	29
3.2.2. Cría de <i>H. puera</i>	29
3.2.3. Bioensayo	30
3.3. Resultados y discusión	31
3.3.1. Susceptibilidad a insecticidas en larvas neonatas de <i>H. puera</i> de Campeche, Camp. Méx.	31
3.3.2. Consideraciones del uso de insecticidas contra <i>Hyblaea puera</i>	32
3.4. Conclusión	35
3.5. Literatura citada	35

CAPITULO 4. DINÁMICA POBLACIONAL Y DETECCIÓN TEMPRANA DE <i>Hyblaea puera</i> (LEPIDOPTERA: HYBLAEIDAE) EN PLANTACIONES DE TECA DE TABASCO Y CAMPECHE.....	39
4.1. Introducción.....	40
4.2. Materiales y métodos	42
4.2.1 Respuesta al tipo de luz	42
4.2.2 Diseño de trampas automatizadas	43
4.2.3 Instalación de la red de monitoreo.....	43
4.2.4. Dinámica poblacional y detección temprana de brotes epicéntricos	46
4.3. Resultados y discusión.....	47
4.3.1 Respuesta al tipo de luz	47
4.3.2 Dinámica poblacional	47
4.4. Conclusiones.....	61
4.5. Literatura citada.....	61
ANEXO 1. Proc Probit Spinetoram.....	64
ANEXO 2. Pro probar Bt. var. aizawai.....	68

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 2.1. Ingredientes de la dieta meridica formulada para la cría de <i>Hyblaea puera</i>	16
Cuadro 3.1. Susceptibilidad a insecticidas en larvas neonatas de <i>H. puera</i> procedentes de Campeche	31
Cuadro 4.1. Correlación entre las capturas de adultos de <i>H. puera</i> con trampas de luz y los parámetros ambientales durante 2013 y 2014 en una plantación de teca en Balancán, Tabasco.....	53
Cuadro 4.2. Correlación entre las capturas de adultos de <i>H. puera</i> con trampas de luz y los parámetros ambientales durante 2013 en una plantación de teca en el Valle de Edzná, Campeche.....	54

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1. <i>Hyblaea puera</i> : a) adulto b) pupa macho c) pupa hembra d) bursa copulatrix e) proceso coxal en la tibia de la pata posterior de un macho el f) pata posterior de una hembra g) genitalia del macho h) genitalia de la hembra.....	9
Figura 1.2. Diferente patrón de coloración en adultos de <i>H. puera</i> de material colectado en México.....	10
Figura 2.1. Pupas de <i>H. puera</i> de ambos sexos colectadas en plantaciones de teca en Campeche, Campeche.....	14
Figura 2.2. Jaula con malla de tul utilizada para la emergencia de adultos, apareamiento y oviposición del defoliador de la teca.....	14
Figura 2.3. Tela de organdí con adultos de <i>Hyblaea puera</i> y sus oviposturas.....	15
Figura 2.4. a) Incubadora de baja temperatura; b) charolas de cría, en la parte superior de 128 cavidades y en la inferior de 32; c) tapas autoadheribles con ventilación para las charolas antes mencionadas.....	17
Figura 2.5. a) Larva de último instar, se notan las excretas adheridas a la tapa; b) En la parte superior izquierda se observa una larva de tercer instar, sin coloración laterodorsal, mientras que a su derecha hay una prepupa y en la parte inferior dos larvas de quinto instar con la línea laterodorsal completamente pigmentada.....	24
Figura 4.1. Trampa de luz automatizada diseñada específicamente para el monitoreo de <i>H. puera</i> en plantaciones de teca.....	44
Figura 4.2. Sitios de monitoreo con trampas de luz para la captura de <i>H. puera</i> , a) Balancán, Tabasco y b) Valle de Edzná, Campeche.....	45
Figura 4.3. Hojas de teca defoliadas por larvas de primer y segundo estadio de <i>H. puera</i> , el patrón de defoliación ocurre desde los bordes al centro de la hoja.....	46
Figura 4.4. Total de adultos de <i>H. puera</i> capturados durante tres noches en trampas con diferentes tipos de luz en una plantación de teca en Campeche.....	47
Figura 4.5. Dinámica poblacional de <i>H. puera</i> en plantaciones de teca en Balancán, Tabasco. 2013.....	48
Figura 4.6. Capturas de adultos de <i>H. puera</i> durante en Balancán, Tabasco. 2014.....	49
Figura 4.7. Dinámica poblacional de <i>H. puera</i> en Valle de Edzná, Campeche. 2013.....	50
Figura 4.8. Monitoreo de <i>H. puera</i> en Valle de Edzná, Campeche. Junio de 2014.....	51
Figura 4.9. Dinámica poblacional de <i>H. puera</i> entre los meses de junio a septiembre de los años 2013 y 2014 en plantaciones de teca en Balancán, Tabasco y el Valle de Edzná, Campeche.....	52

Figura 4.10. Captura de adultos por trampa en 2013 en Balancán, Tab., las capturas correspondieron a las trampas 1, 2, 7 y 8.....	55
Figura 4.11. Captura de adultos de <i>H. puera</i> por trampa en 2014 en Balancán, Tabasco, las capturas correspondieron a las trampas 2, 4, 6, 7 y 8.....	56
Figura 4.12. Captura de adultos por trampa en 2013 en el Valle de Edzná en Campeche, Campeche.....	57
Figura 4.13. Captura de adultos por trampa en 2013 en el Valle de Edzná.....	57
Figura 4.14. Signos de defoliación una semana después de un ataque epicéntrico de <i>H. puera</i> en una plantación de teaca en Balancán, Tabasco.....	58

INTRODUCCIÓN GENERAL

Las plantaciones forestales comerciales (PFC) tienen características especiales que las diferencian de un bosque natural, generalmente éstas comprenden grandes áreas dominadas por unas pocas especies de árboles, en su mayoría especies exóticas y de reducida variabilidad genética, estas características o condiciones representan un gran riesgo en el surgimiento de brotes de plagas, ya que las especies de insectos exóticos o nativos se benefician de estas condiciones. El riesgo también se incrementa debido a la gran movilidad de productos forestales en el mundo, como resultado de la apertura comercial de mercados, lo que está ocasionando que continuamente nuevas especies invasoras provoquen grandes epifitias (Nair, 2002).

La teca *Tectona grandis* L. f. (Verbenaceae) es una de las principales maderas preciosas comerciales de los trópicos y preferidas a nivel mundial, debido a su alto costo y a sus propiedades de durabilidad y apariencia. De manera natural, la teca forma bosques en la India, Myanmar, la República Democrática Popular Lao y Tailandia. También esta especie maderable se ha establecido en toda la zona tropical de Asia, en el África y en América Latina y el Caribe en países como Costa Rica, Colombia, Ecuador, El Salvador, Panamá, Trinidad y Tobago, Venezuela (Pandey y Brown, 2000). Desde hace 10 años, el cultivo de la teca ha crecido de manera importante en México debido a su alto valor comercial.

De esta forma, en México en los últimos 10 años, se han realizado grandes esfuerzos para aumentar la superficie sembrada de esta especie maderable, principalmente por parte de compañías privadas, por lo que para el año 2013 se tenían cerca de 20,000 ha sembradas; donde destacan por superficie cultivada los estados de Campeche (7,498 ha) y Tabasco (5,273 ha), ambas entidades ubicadas en el sureste del país (CONAFOR, 2013). Además, en esos estados cada año se suman varios miles de hectáreas plantadas de teca.

Las plantaciones recientes de teca en México se componen de bloques coetáneos de más de 1,000 ha, que en la mayoría de los casos se encuentran a pocos kilómetros unos de otros y en general formando un área, más o menos compacta, de plantaciones puras.

Hyblaea puera Cramer (Lepidoptera: Hyblaeidae), es un insecto originario del sureste asiático y la principal plaga de la teca a nivel mundial, especie exótica que ha sido introducido a diferentes partes del mundo, incluyendo a México, aunque no se tiene la certeza de como entró el insecto a nuestro país, ésta especie se ha convertido en un serio problema en las plantaciones forestales comerciales de teca *T. grandis* del sureste de México (Cibrián-Llenderal y Cibrián-Tovar, 2013).

OBJETIVO GENERAL

Diseñar una estrategia de manejo para *Hyblaea puera*, basada en el monitoreo de las poblaciones del defoliador de la teca, en las plantaciones forestales comerciales del sureste de México.

Objetivos particulares

- Determinar su estatus de *H. puera* como plaga en México.
- Desarrollar un método de cría a través de la formulación de una dieta merídica, con la cual se obtenga el desarrollo *H. puera* en condiciones de laboratorio.
- Determinar las dosis diagnósticas de los productos spinetoram y *Bacillus thuringiensis* var. *aizawai* contra larvas neonatas de *H. puera*.
- Diseñar un sistema de detección temprana basado en trampas de luz automatizadas que permitiera detectar el arribo y la abundancia estacional de la población epicéntrica de *H. puera*.

LITERATURA CITADA

Cibrián-Llenderal V. D. y Cibrián-Tovar D. 2013. *Hyblaea puera*. pp: 120-125. In: Cibrián-Tovar D. (Ed.). Manual de Identificación y Manejo de Plagas y Enfermedades en las Plantaciones Comerciales de México. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México.

CONAFOR. 2013. Comisión Nacional Forestal (CONAFOR) <http://www.conafor.gob.mx:8080/documentos/docs/5/4817Especies%20Maderables%20establecidas%20en%20PFC%20por%20a%C3%B1o%20.pdf>.

Nair K. S. S. 2002. Pest outbreaks in tropical forest plantations: Is there a greater risk? CIFOR, Indonesia. 74 p.

Pandey D. and Brown C. 2000. La teca: Una visión global. Unasylva 51: 3-13.

CAPÍTULO 1. INCIDENCIA DE *Hyblaea puera* (Lepidoptera: Hyblaeidae) EN MÉXICO

RESUMEN

Se reporta la incidencia de *Hyblaea puera* Cramer (Lepidoptera: Hyblaeidae) en plantaciones comerciales de teca (*Tectona grandis* L. f.) en el sureste de México en los años 2011 a 2013, en el último de los cuales más de 1,000 y 4,000 ha de teca fueron atacadas por este defoliador en Tabasco y Campeche, respectivamente. Para evitar estos daños, es necesario monitorear y detectar la fase epicéntrica para tomar acciones y prevenir la fase epidémica y la defoliación de grandes áreas.

Palabras clave: Defoliador de la teca, expansión, plantaciones comerciales, infestación.

ABSTRACT

Hyblaea puera Cramer (Lepidoptera: Hyblaeidae) was reported in commercial teak (*Tectona grandis* L. f.) plantations in the states of Campeche and Tabasco in southeastern Mexico, from 2011 to 2013. By 2013 more than 1,000 and 4,000 of teak were attacked by *H. puera* in Tabasco and Campeche, respectively. Then, in order to reduce these damages, it is necessary to monitor and detect of the arrival of the epicentric phase of *H. puera* to take action and prevent the epidemic phase and defoliation of large areas.

Key words: Teak defoliator, expansion, commercial plantations, infestation.

La principal plaga de la teca (*Tectona grandis* L. f.) a nivel mundial es *Hyblaea puera* Cramer (Lepidoptera: Hyblaeidae), un defoliador que en plantaciones jóvenes en la India, ocasiona disminución en el crecimiento de los árboles, tanto en altura como en diámetro, lo que se manifiesta en una reducción en el incremento anual de volumen de hasta el 44% (Nair 2007). Este lepidóptero también se ha convertido en una plaga importante de teca en Costa Rica y Brasil (Javaregowda & Krishna Naik 2007). Se trata de un insecto polífago y se han identificado más de 45 especies de plantas hospederas en el subcontinente Indio y en el sureste asiático, que son las regiones de origen de esta especie (Nair 2007).

Desde hace 10 años el cultivo de la teca ha crecido de manera importante en México debido a su alto valor comercial. En la República Mexicana actualmente existen cerca de 20,000 ha de superficie sembrada de esta especie maderable, donde destacan por superficie cultivada los estados de Campeche, con 7,498 ha y Tabasco, con 5,273 ha, ambas entidades ubicadas en el sureste del país (CONAFOR, 2013); además, en esta región cada año se suman varios miles de hectáreas plantadas. Las plantaciones recientes de teca en México se componen de bloques coetáneos de más de 1,000 ha, que en la mayoría de los casos se encuentran a pocos kilómetros unos de otros, formando en general un área, más o menos compacta, de plantaciones puras.

En México desde el año 2010 se han registrado infestaciones severas de *H. puera*, aunque únicamente sobre *T. grandis*, pero pudiera ser una plaga de gran importancia para los mangles del género *Avicennia* L. (Barroncas-Fernandes et al. 2009, Mehlig & Menezes 2005) en el sureste del país, probablemente por la cercanía de estos manglares con las plantaciones de teca (Cibrián-Llenderal & Cibrián-Tovar, 2013).

Actualmente se considera a *H. puera* como una especie plaga bien establecida y en proceso de expansión en los estados de Campeche y Tabasco, donde las infestaciones han aumentado año con año desde el 2010, desde que se registró el primer ataque de importancia económica en el país, con una infestación en cerca de 1,000 ha de teca en el estado de Campeche. Además, el impacto sobre las plantaciones de teca cada vez es mayor, lo que ha obligado a realizar acciones de combate químico vía aérea con el

insecticida químico spinetoram, para detener los brotes del defoliador. Durante los años 2011 y 2012 la superficie afectada por *H. puera* fue semejante a la del año 2010 en las plantaciones del estado de Campeche, sin embargo, para el 2013 en las mismas plantaciones de Campeche se registraron defoliaciones en más de 4,000 ha con varios ataques por año que comienzan en el mes de abril y continúan durante mayo, junio y julio, periodo de mayor crecimiento de la teca, cuando las infestaciones pueden tener el mayor impacto en las plantaciones (Chandrasekhar et al. 2006). Durante agosto en el sureste de México se presenta un periodo de sequía conocido como “canícula” que se caracteriza por altas temperaturas y las poblaciones del insecto bajan drásticamente, mientras que las últimas defoliaciones por esta plaga se dan durante los meses de septiembre y octubre.

En plantaciones del estado de Tabasco, la primera detección de esta plaga fue en agosto del año 2012, concretamente en el municipio de Balancán, fronterizo con Guatemala. El primer ataque que causó daños económicos se dio en el mes de julio de 2013 en más de 1000 ha y requirió la aspersion aérea de spinetoram; además, en este mismo sitio se tuvo otro ataque del defoliador en septiembre de ese mismo año, aunque de menor intensidad. En el municipio de Huimanguillo los primeros registros de ataques severos de esta especie son del año 2013, en los meses de agosto, septiembre y octubre. Aunque no se conoce como llegó *H. puera* a México, una posibilidad es la introducción de planta viva de teca de otros países en los que se encuentra bien establecido, como Costa Rica o Brasil, o bien por la migración del insecto a través de Centroamérica mediante hospedantes alternos.

Javaregouda & Krishna Naik (2007) identificaron en plantaciones de teca en la India tres tipos de poblaciones de *H. puera* siguientes: a) endémica, b) epicéntrica y c) epidémica. La población endémica se encuentra en las plantaciones de teca todo el año a baja densidad y no causa daño económico; mientras que la epicéntrica se alimenta en hospederos alternos y migra hacia las plantaciones comerciales de teca al inicio de la temporada de lluvias, formando grupos de palomillas que ovipositan en la parte superior de la copa de los árboles y posteriormente sus descendientes dan origen a la fase epidémica que causa defoliaciones masivas en áreas muy extensas de las

plantaciones. En México se han encontrado estos tres tipos de poblaciones de *H. puera*, por lo que es necesario establecer un monitoreo que funcione como alerta temprana y permita identificar la llegada de la fase epicéntrica para ejercer las acciones de manejo sobre esta población y evitar el surgimiento de la fase epidémica.

La incidencia de *H. puera* en México ha ido en aumento tanto en nuevas áreas geográficas como en el tamaño y la severidad de los ataques, lo que ha obligado a realizar acciones de manejo contra el insecto. De no realizar acciones preventivas de manejo contra esta palomilla, se espera que los daños sean mayores, conforme aumente la superficie plantada de teca en México, y podrá convertirse en una limitante en el establecimiento de nuevas plantaciones de *T. grandis*.

La identificación de la especie se realizó de acuerdo a las estructuras morfológicas diagnósticas con base en la descripción de Koning y Roepke (1949) y Kaila y colaboradores (2013), entre las más importantes son un proceso coxal o saco presente en las tibias de las patas posteriores de los machos, la genitalia del macho con un uncus de tres puntas, la bursa copulatrix de la hembra es una membrana quitinosa interna con arrugas de manera concentrica y presenta dos grandes espinas que surgen de una misma base y son de diferente longitud, estas espinas a su vez están fuertemente cubiertas por espinas de menor tamaño (Figura 1.1). Los adultos presentan variación en la coloración (Figura 1.2). El material colectado se encuentra depositado en la Colección de Insectos Forestales de la División de Ciencias Forestales de la Universidad Autónoma Chapingo con número de colecta 2836.

1.2. LITERATURA CITADA

Barroncas-Fernandes M. E., Monteiro Nascimento A. A., and Lira Carvalho M. L. 2009. Effects of herbivory by *Hyblaea puera* (Hyblaeidae: Lepidoptera) on litter production in the mangrove on the coast of Brazilian Amazonia. *Journal of Tropical Ecology* 25:337-339.

- Chandrasekhar, N., Sajeev T. V., Sudeendrakumar V. V., and Banerjee M. 2005. Population dynamics of the Teak defoliator (*Hyblaea puera* Cramer) in Nilambur teak plantations using Randomly Amplified Gene Encoding Primers (RAGEP). *BMC Ecology*, 5, p.1.
- Cibrián-Llenderal V. D. y Cibrián-Tovar D. 2013. *Hyblaea puera*. pp: 120-125. In: Ed. by Cibrián-Tovar D. Manual de Identificación y Manejo de Plagas y Enfermedades en las Plantaciones Comerciales de México. Universidad Autónoma Chapingo.
- CONAFOR. 2013. Comisión Nacional Forestal (CONAFOR) <http://www.conafor.gob.mx:8080/documentos/docs/5/4817Especies%20Maderables%20establecidas%20en%20PFC%20por%20a%C3%B1o%20.pdf>.
- Javaregowda, and Krishna Naik L. 2007. Seasonal incidence of teak defoliator, *Hyblaea puera* Cramer (Hyblaeidae: Lepidoptera) in Uttara Kannada district of Karnataka. Karnataka J. Agric. Sci., 20: 153-154.
- Kaila L., M. E. Epstein, M. Heikkila, and M. Mutanen. 2013. The assignment of Prodidactidae to Hyblaeoidea, with remarks on Thyridoidea (Lepidoptera). Zootaxa 3682 (3): 485-494.
- Koning H. S., and W. Roepke. 1949. Remarks on the morphology of the teak moth, *Hyblaea puera* Cr. (Lep. Hyblaeidae). Trebuia, 20: 25-30.
- Mehlig U., and Menezes M. P. M. 2005. Mass defoliation of the mangrove tree *Avicennia germinans* by the moth *Hyblaea puera* (Lepidoptera: Hyblaeidae) in Equatorial Brazil. Ecotropica 11:87-88.
- Nair K. S. S. 2007. Tropical Forest Insect Pests, Ecology, Impact and Management. Cambridge University Press. U.K. 424 p.

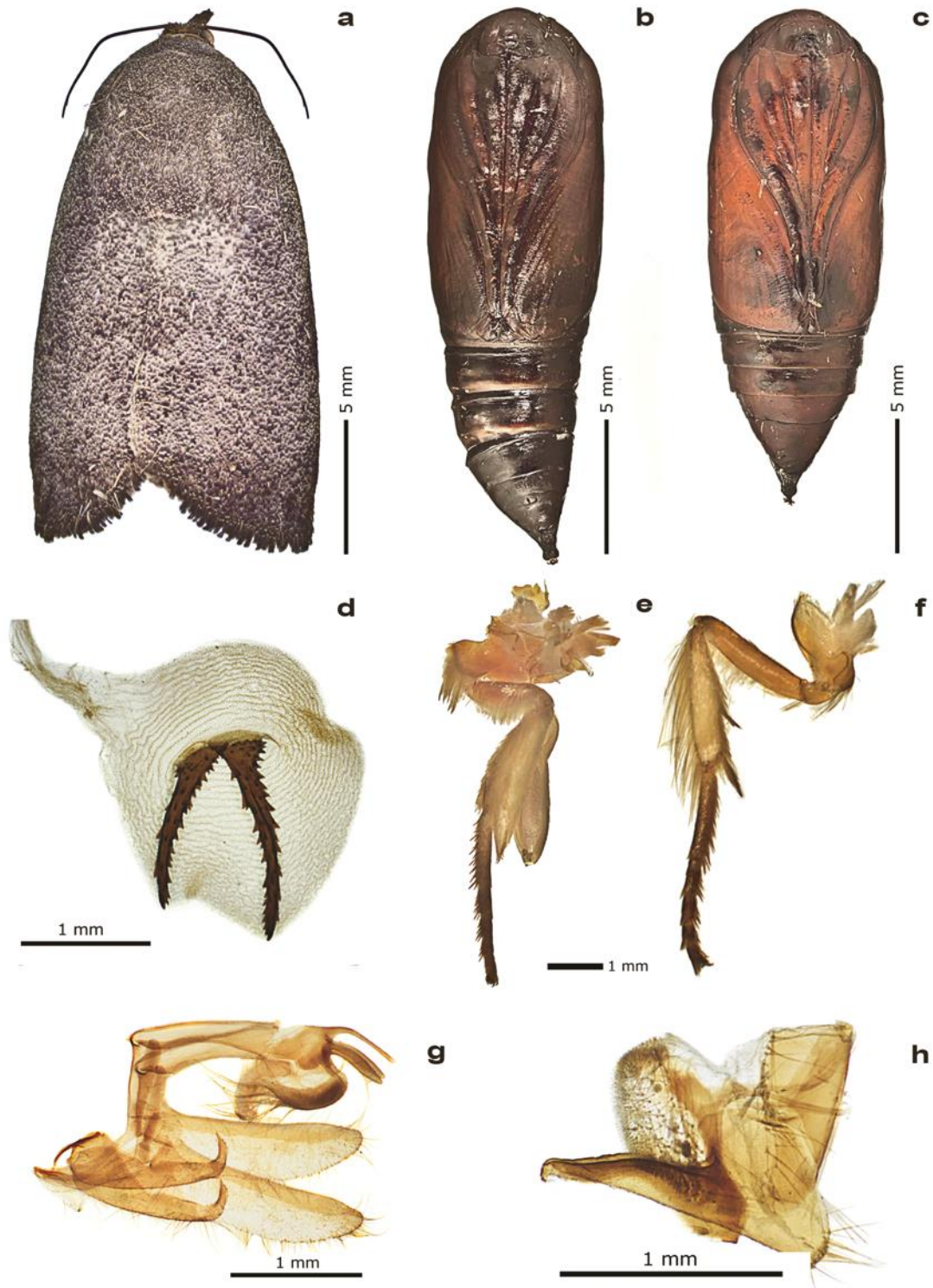


Figura 1.1. *Hyblaea puera*. a) adulto b) pupa macho c) pupa hembra d) bursa copulatrix e) proceso coxal en la tibia de la pata posterior de un macho el f) pata posterior de una hembra g) genitalia del macho h) genitalia de la hembra.

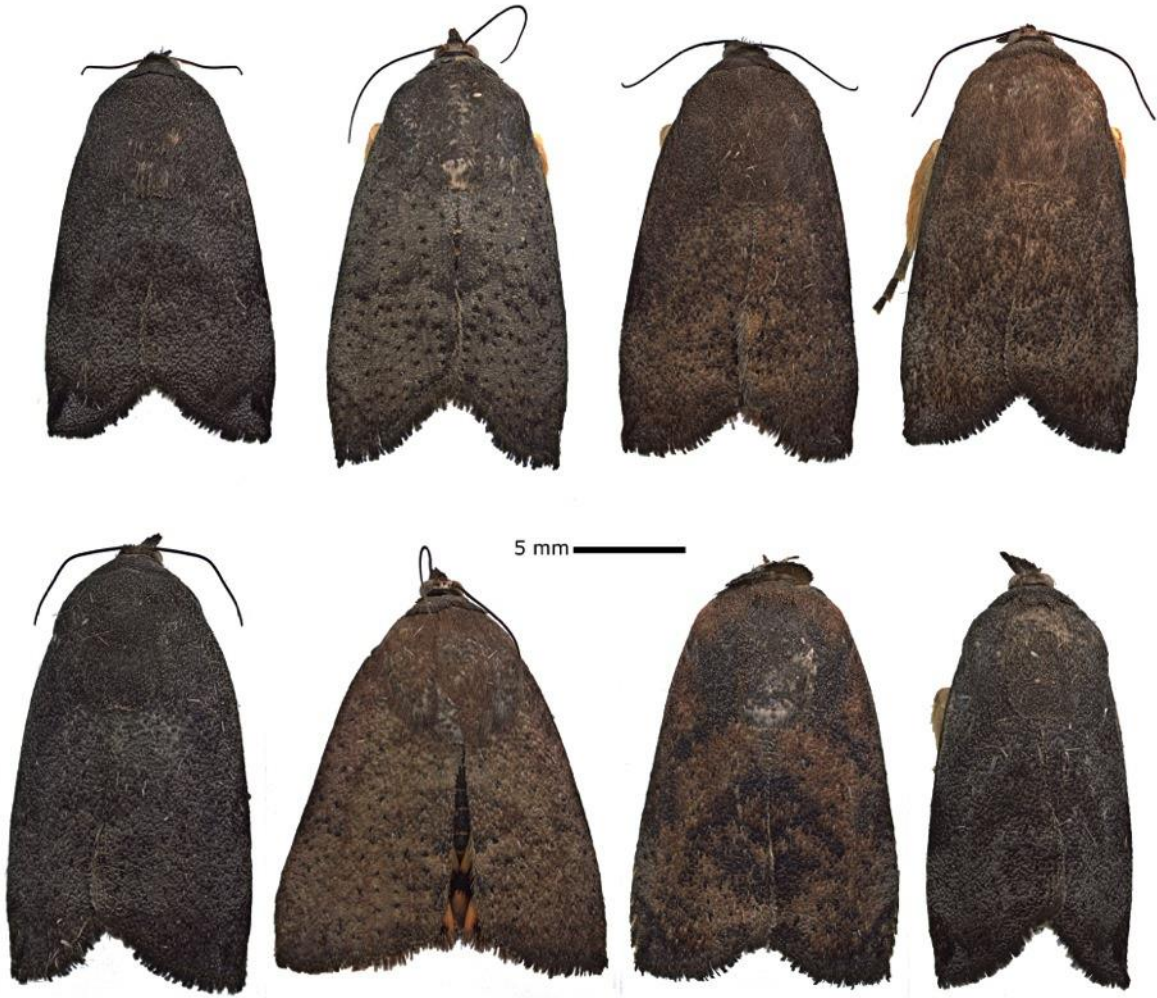


Figura 1.2. Diferente patrón de coloración en adultos de *H. puera* de material colectado en México.

CAPÍTULO 2. METODO DE CRÍA PARA EL DEFOLIADOR DE LA TECA *Hyblaea puera* (Lepidoptera: Hyblaeidae)

RESUMEN

Se definió un método de cría que incluyó la formulación de una dieta merídica a base de harinas de maíz y de soya que permitió la definición del ciclo biológico y el desarrollo de los estados inmaduros de *H. puera*, desde la fase de huevo, hasta la formación de las pupas, así como la obtención de adultos fértiles y sin deformaciones, los cuales puedan ser usados en experimentos de laboratorio tales como bioensayos o estudios de efectividad.

Palabras clave: Biología, comportamiento, dieta artificial.

ABSTRACT

A rearing method was defined, with the formulation of a meridic diet based on flour corn and soybean, which allowed the definition of the biological cycle and the development of the immature stages of *H. puera*, from the egg to the pupae formation. Were obtained fertile adults without deformations, which can be used in laboratory studies such as bioassays or effectiveness.

Keywords: biology, behavior, artificial diet.

2.1. INTRODUCCIÓN

La mayor limitante en la cría del defoliador de la teca *Hyblaea puera* Cramer 1777 ha sido la falta de una dieta artificial que permita el desarrollo de todos los instares larvales hasta la formación de pupas y de un método de cría adecuado con el que se incremente y sostenga la producción de esta palomilla (Bindu *et al.*, 2014a).

Mathew y colaboradores (1990) elaboraron una dieta a base de harina de garbanzo (*Cicer arietinum*) y hoja de teca (*Tectona grandis*) molida para la cría de *H. puera*, en la que las larvas recién eclosionadas debían alimentarse en primer lugar de hojas de teca frescas y pasar a la dieta artificial hasta el segundo y/o tercer instar, lo que involucraba tener una gran cantidad de material vegetal, además de que una gran proporción de los adultos obtenidos presentaban deformaciones y la mayoría no eran fértiles.

Las modificaciones a la dieta anterior por Bindu *et al.* (2014b y 2014c), consistieron en adicionar diferentes ingredientes para dilucidar el papel de proteínas, lípidos y micronutrientes en el desarrollo de *H. puera* sobre una dieta artificial, sin embargo, en esta dieta de larvas recién eclosionadas aún dependían de hojas de teca frescas para continuar su desarrollo y hasta el momento no se ha obtenido una dieta definitiva.

En la cría de insectos influyen diversos aspectos, desde la colecta en campo de un estado de desarrollo para iniciar la cría, el transporte al laboratorio, control de temperatura y humedad, diseño de jaulas para la emergencia, apareamiento de los adultos, la alimentación de éstos, manejo de los huevos y finalmente el tipo de contenedores en donde se colocará la dieta para los inmaduros (Cohen, 2003).

Con base en lo anterior, se probó un método de cría que incluyera la formulación de una dieta merídica para permitir el desarrollo de los estados inmaduros de *H. puera*, desde la fase de huevo, hasta la formación de las pupas, así como la obtención de adultos fértiles y sin deformaciones, los cuales puedan ser usados en experimentos de laboratorio tales como bioensayos o estudios de efectividad de enemigos naturales.

2.2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.2.1. Procedimiento para la crianza y manejo de la colonia

2.2.1.1. Obtención de las pupas

Se colectaron pupas de *H. puera* adheridas a hojas de teca en el mes de julio de 2013, en una plantación forestal cercana a la localidad de Pich (19°32'23.46" N, 90°05'31.77" O) en el municipio de Campeche, Campeche, las cuales se llevaron al Laboratorio de Fisiología de Insectos del Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo, Texcoco, Edo. de México. A este material se le determinó la proporción sexual, para lo cual se tomó una muestra al azar de 100 pupas y mediante el reconocimiento de las marcas genitales ventrales de los últimos segmentos abdominales de las pupas se separaron los sexos, tomando como base dos abultamientos en el macho y una hendidura en la hembra (Figura 2.1).

2.2.1.2. Emergencia de adultos

Se colocaron 150 pupas en jaulas con un marco de alambre de 3 mm de diámetro con dimensiones de 35 x 25 x 25 cm, cubiertas con tela organdí (1 hilo / mm) (Figura 2.2); las pupas se rociaban con agua corriente usando un atomizador manual, dos veces al día, con el objeto de mantener la humedad de las pupas, hasta la emergencia de los adultos. Ya emergidos, los adultos se alimentaron con una solución al 15% de miel de maíz Karo® embebida en esponjas que se colocadas en cajas Petri por dentro de las jaulas, mientras que el agua se les proporcionaba dos veces al día mediante atomizaciones directamente a la malla (Figura 2.2). Tanto las pupas como los adultos se mantuvieron a temperatura ambiente de 23 °C ±1.

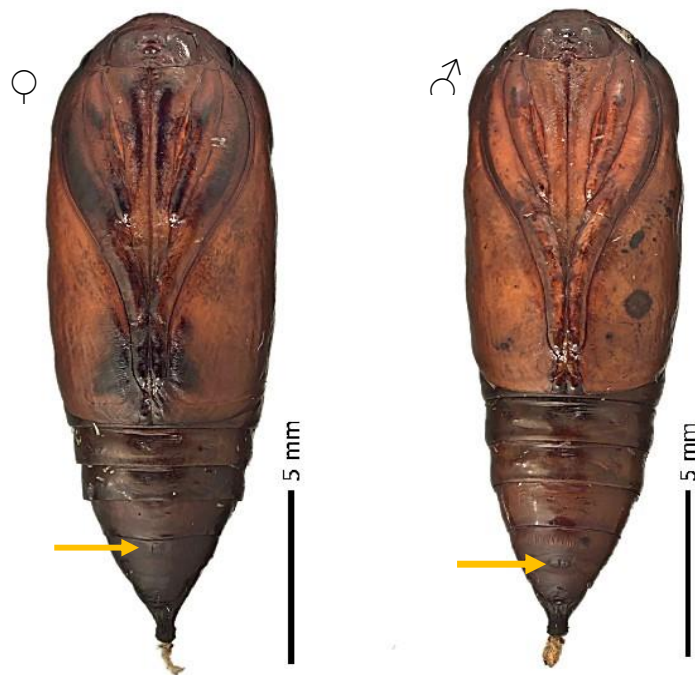


Figura 2.1. Pupas de *H. puera* de ambos sexos colectadas en plantaciones de teca en Campeche, Campeche.

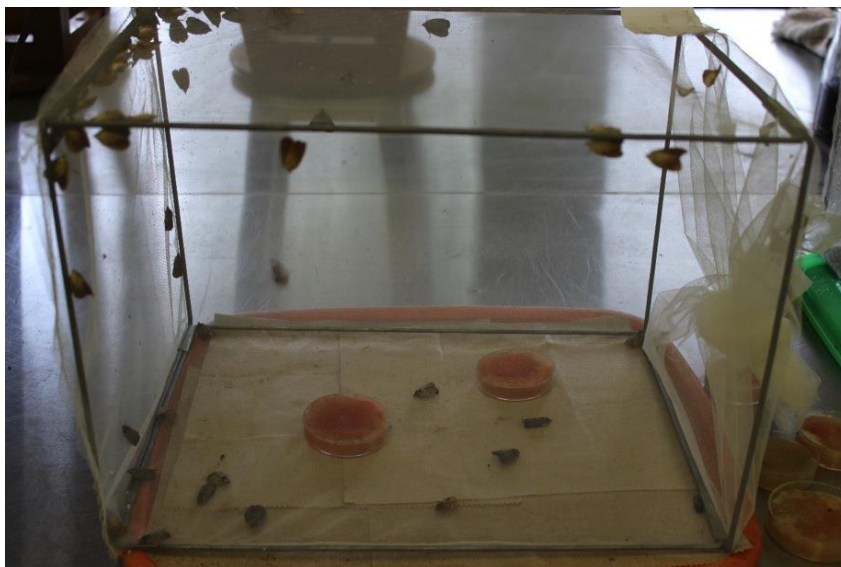


Figura 2.2. Jaula con malla de tul utilizada para la emergencia de adultos, apareamiento y oviposición del defoliador de la teca.

2.2.1.3. Apareamiento y oviposición

Se utilizaron las mismas jaulas ya descritas. La tela de la jaula con oviposturas se cambiaba cada tercer día. Anterior a esto, los adultos se inmovilizaban mediante la introducción de la jaula a un refrigerador (Daewoo® mod. RF-T425NW) a 6 °C durante 3 min. Ya con una tela nueva se volvían a colocar a los adultos (Figura 2.3), mientras que la malla con huevos se colocaba en un recipiente de plástico de 40 x 31 x 14 cm, con tapa provista de una rejilla de alambre de calibre 50 (300 µm) para la ventilación.



Figura 2.3. Tela de organdí con adultos de *Hyblaea puera* y sus oviposturas.

Los recipientes con los huevos se introdujeron a una incubadora (ECOSHEL® mod. BOD-150) a 25 °C y fotoperiodo de 12:12 h. Diariamente se aplicaba agua con ayuda de un atomizador para mantener la humedad de éstos y conforme eclosionaban, las larvas neonatas se transferían con ayuda de un pincel número 000 a la dieta merídica, la cual se formuló teniendo como base la desarrollada por Mihm, 1984; para la cría de *Spodoptera frugiperda* J. E. Smith (Lepidoptera: Noctuidae) y que se modificó para la cría de *H. puera*. Para la colocación de la dieta se probaron diferentes recipientes, como

cajas Petri de 9 cm de diámetro; vasos de plástico rígido y de color blanco de 3.5 cm de diámetro y 3.8 de altura, con tapa provista de una rejilla de alambre de 300 μm y recipientes de plástico rectangulares de 200 ml de capacidad, con tapa hermética y perforada; sin embargo, los recipientes más útiles fueron las charolas para bioensayo de 128 cavidades Bio-Assay tray (C-D International®) para larvas neonatas y charolas de cría de 32 cavidades Rearing-tray (C-D International®) (Figura 2.4) para larvas a partir del tercer instar; ambas provistas de tapas de plástico autoadheribles con ventilación. Los recipientes con las larvas se mantuvieron en la misma incubadora antes mencionada.

2.2.1.4. Elaboración de la dieta

En el Cuadro 2.1 se enlistan los materiales y las cantidades utilizadas en la elaboración de la dieta artificial.

Cuadro 2.1. Ingredientes de la dieta merídica formulada para la cría de *Hyblaea puera*.

Ingrediente	Cantidad (g)
Maíz blanco molido	96
Frijol soya molido	50
Levadura de cerveza	40
Germen de trigo	2
Ácido ascórbico	4
Ácido sórbico	1.25
Formaldehido 37%	2.5
Agar-agar granulado	40
Metil-P-hidroxibenzoato	2.5
Mezcla de Vitaminas de Vanderzant	5
Cloruro de colina	2
Hoja de teca molida	30
Alcohol etílico absoluto	6 mL
Agua	1 L

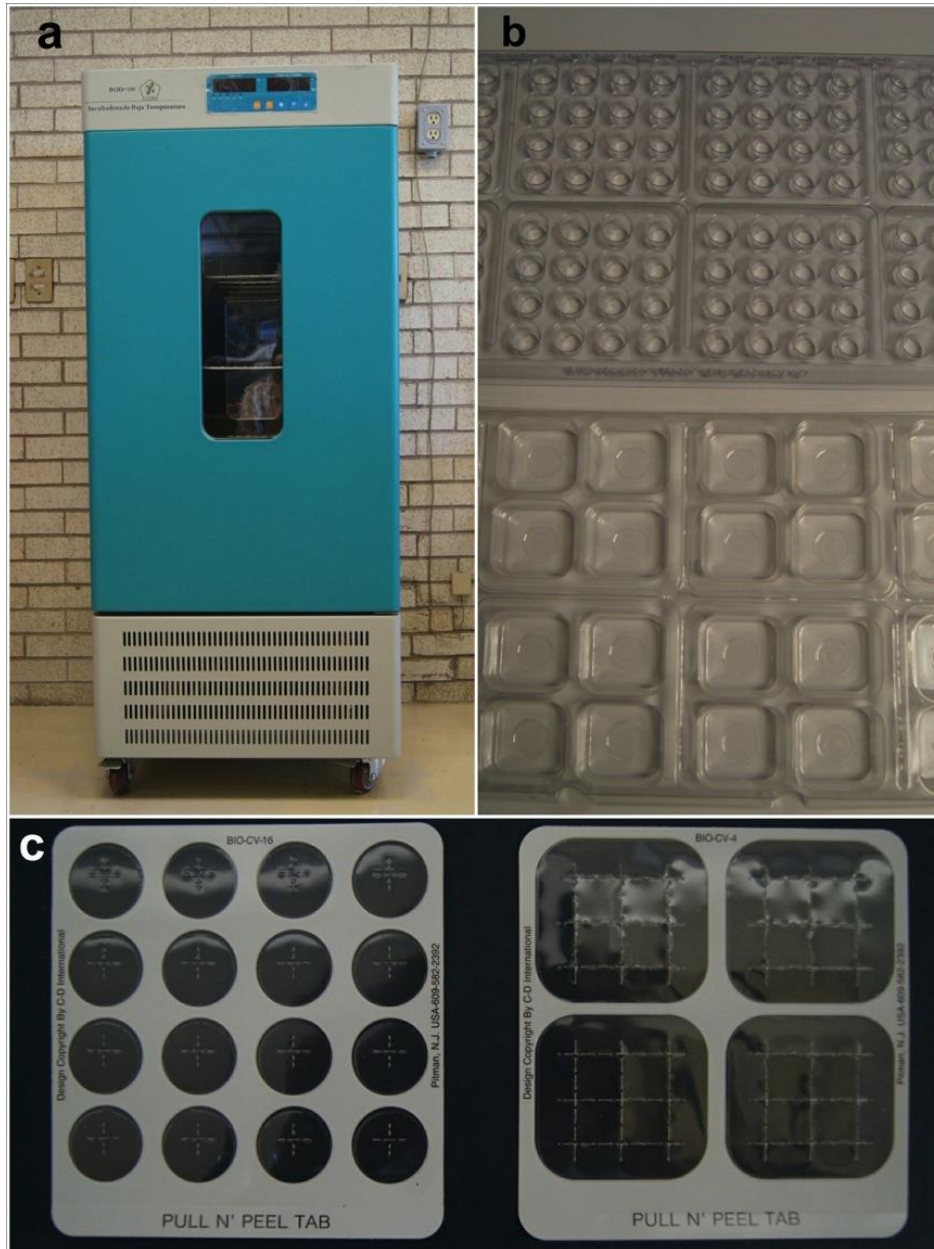


Figura 2. 4. a) Incubadora de baja temperatura; b) charolas de cría, en la parte superior de 128 cavidades y en la inferior de 32; c) tapas auto-adheribles con ventilación para las charolas antes mencionadas.

2.2.1.5. Procedimiento para la preparación de la dieta

- Se mezclan en 400 ml de agua el maíz blanco molido, la soya, el germen de trigo y la levadura, en un vaso de precipitados de cristal de 1000 mL de capacidad.
- El agar se disuelve en 600 mL de agua y se calienta hasta el punto de ebullición. Agitar constantemente el vaso para evitar que se formen grumos y se pegue al fondo del recipiente. Dejar enfriar durante 15 min o hasta que su temperatura alcance 45°C.
- Disolver en un matraz el ácido sórbico en 6 mL de alcohol etílico absoluto, acercar al fuego por 5 seg. retirar y agitar. Repetir este procedimiento hasta que el ácido se disuelva completamente.
- Agregar el agar disuelto a la primera mezcla, batir y agregar al mismo tiempo los demás ingredientes hasta que estén perfectamente incorporados.
- La mezcla se vierte en los recipientes y se dejar solidificar.

2.3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La proporción sexual de las pupas colectadas en campo fue cercana a 1:0.9, hembras a machos. La emergencia de los adultos ocurrió entre 2 y 10 días después de que las pupas fueron colectadas en campo. Se observó que los adultos recién emergidos empiezan a ingerir solución azucarada y agua una vez que han expandido sus alas y pocos minutos después inician vuelos cortos. Uno o 2 días después, la hembra inicia el llamado (cortejo), durante el cual realiza varios movimientos que incluyen vibración de las alas, curvado del abdomen, con protrusión como retracción de los últimos segmentos abdominales. Los machos en respuesta, exhiben una serie de conductas de cortejo que involucran aleteo, desplazamiento rápido, vuelo dentro de las jaulas y acercamiento a las hembras. Este comportamiento previo al apareamiento, característico de palomillas de hábitos crepusculares, se observó generalmente a partir de las 19:00 h y alcanzó un máximo de actividad entre las 22:00 y las 24:00 h.

La cópula ocurrió entre el segundo y cuarto día después de la emergencia de los adultos, principalmente en la noche. Sharma *et al.* (2013) reportan que el apareamiento ocurre solo en la noche, pero en este estudio se observaron varias parejas copulando

en la mañana y en el transcurso del día. La oviposición tuvo lugar directamente sobre la tela que cubría la jaula y al día siguiente del apareamiento y continuó por 6 días, lo que coincide con Sharma *et al.* (2013), aunque en este caso, ocasionalmente se alargó hasta 10, con la máxima oviposición al cuarto día.

Las hembras comienzan a ovipositar después de 24 h del apareamiento, principalmente a partir de las 18:00 h y continúa durante toda la noche, aunque también se observó oviposición durante el transcurso de la mañana, aunque en menor proporción.

Los huevos recién puestos son ovalados, de color blanco amarillento y las hembras los adhirieron a la tela mediante un pegamento. A los 2 días comienzan a tornarse de color rojo y un día antes de la emergencia se puede observar la cápsula cefálica de la larva a través del corion. El tiempo de incubación va de 3 a 4 días, lo que concuerda con lo reportado por Nair *et al.* (1985), Katagall (1991) y Sharma *et al.* (2013). En los primeros intentos por obtener larvas se notó que los huevos se deshidrataban en un día si se encontraban dentro de la incubadora, por lo que se les proporcionó humedad tres veces al día mediante aspersion de agua con ayuda de un atomizador.

Las larvas neonatas son muy activas e inmediatamente comienzan a desplazarse y pueden alimentarse a los pocos minutos después de la eclosión. Producen una gran cantidad de seda y tienden a caminar hacia los bordes y las tapas de las cajas de emergencia y son atraídas hacia la luz. Las larvas deben ser colocadas sobre la dieta en un periodo máximo de 4 h después la eclosión, pues de no hacerlo se presenta una alta mortalidad.

La dieta merídica propuesta por Mathew *et al.* (1990) está compuesta por garbanzo, agar, caseína, levadura, hoja de teca en polvo y microingredientes como la Mezcla de Sales de Wesson, multivitamínicos, ácido ascórbico, vitamina E, ácido sórbico, estreptomycin, ampicilina, metil-para-hidroxibenzoato y agua. Esta dieta y modificaciones a la misma (Bindu *et al.*, 2014b) tienen la limitante de que las larvas neonatas requieren alimentarse en primer lugar con hojas de teca frescas y posteriormente trasladar a las de segundo instar a la dieta artificial, lo que hace necesario un suministro constante de material vegetal para mantener la colonia,

situación que no es posible si los árboles de teca están alejados. Cuando en esta dieta de Mathew et al (1990) se colocaron larvas neonatas de segundo e incluso algunas de tercer instar de *H. puera*, una gran cantidad de éstas morían ahogados por falta de consistencia en la dieta y aunque se adicionó doble cantidad de agar, se siguió presentando una gran mortalidad en los primeros estadios larvales, además de que se presentaban malformaciones en las pupas y baja fertilidad en los adultos. Por esta razón, se realizaron modificaciones a la dieta propuesta por Mihm (1984) para la cría de gusano cogollero *S. frugiperda* para adaptarla a la cría de *H. puera*.

De acuerdo a los fundamentos de nutrición en insectos establecidos por House (1974), la mayoría de las especies tienen requerimientos nutricionales similares, ya que la composición química de sus tejidos y sus procesos metabólicos por lo general son parecidos, algunos químicos que solo pueden ser obtenidos en la dieta, son los esenciales, mientras que otros pueden ser sintetizados por el insecto a partir de los componentes de una dieta. Además los requerimientos dietéticos de una especie algunas veces pueden ser enmascarados debido a químicos que han sido acumulados y pasados desde una generación previa (Chapman, 1998).

A pesar de las similitudes puede haber diferencias mayores en los requerimientos nutricionales, que pueden ser resultado de cambios evolutivos asociados con la alimentación sobre sustratos con balances diferentes de nutrientes desde el punto de vista cuantitativo y algunas veces cualitativo. Además, en aspectos de nutrición, el principio de la proporcionalidad de nutrientes establece que diferentes proporciones de ciertos nutrientes son característicos para las necesidades de diferentes especies. El principio de los nutrientes suplementarios menciona que algunos nutrientes pueden ser sustituidos por otros, o que pueden ser proporcionados por los simbiontes para cubrir las necesidades de una especie en particular.

Así se ha definido que para varias especies son necesarios los carbohidratos para el crecimiento, mientras que la reproducción está más relacionada con el aporte de proteínas (Chapman, 2013; Cohen, 2003).

La dieta merídica del presente estudio se formuló a base de harina de maíz blanco (*Zea maíz*), harina de soya (*Glycine max*), levadura de cerveza (Nevada®) y hoja de teca (*T. grandis*) molida; como antimicrobiales se adicionaron formaldehído al 37% (Aldrich®), metil-P-hidroxibenzoato (Eastman®) y ácido sórbico al 99.4% (Baker Analyzed®) diluido en alcohol etílico absoluto al 99.96% (J. T. Baker®), además, la Mezcla de Vanderzant® y ácido ascórbico al 99.8% (Fermont®) como fuente de vitaminas; el cloruro de colina (99%, Aldrich®) para la adición de aminoácidos; agar-agar granulado (Merck®) como agente gelificante y agua destilada como solvente. Las diferencias a la dieta de Mihm (1984) fueron la cantidad y tipo de agar (agar granulado en lugar de agar en fibra), la adición de las Vitaminas de Vanderzant y la hoja de teca molida.

En la dieta formulada para *H. puera*, las harinas de maíz blanco, frijol soya y germen de trigo, aportan los carbohidratos que son usados como combustible en la mayoría de los insectos. De acuerdo con Chapman (2013) y Cohen (2003), los carbohidratos son parte esencial de la constitución de la cutícula, por lo que se consideran componentes importantes en la formulación de las dietas, además de que aportan los aminoácidos necesarios para la producción de proteínas que se requieren en la síntesis de enzimas, para transporte y almacenamiento y como moléculas receptoras.

Las vitaminas del grupo B se requieren en pequeñas cantidades en la dieta debido a que no pueden ser sintetizadas y funcionan como cofactores de las enzimas (Chapman, 2013). La adición de la Mezcla de Vitaminas de Vanderzant asegura la inclusión de las siete vitaminas requeridas por los insectos, que son tiamina, riboflavina, ácido nicotínico, piridoxina, ácido pantoténico, ácido fólico y biotina. La deficiencia de ácido ascórbico se asocia con anormalidades en el momento de la ecdisis, por lo que se ha sugerido que puede estar relacionado con algunos procesos involucrados en la coloración y esclerotización de la cutícula. La mayoría de los insectos que se alimentan de plantas vivas tienen requerimiento dietético de ácido ascórbico. Los compuestos inorgánicos como sodio, potasio, calcio, magnesio, cloro y fósforo son esenciales para el funcionamiento de las células y casi siempre están presentes como impurezas en cualquier dieta artificial (Cohen 2003). La consistencia de la dieta se obtuvo con la adición de agar-agar, que ha sido un componente difícil de sustituir, ya que se mantiene

estable en un rango alto de temperaturas, por lo que se ha usado en la mayoría de las dietas de insectos (Klowden, 2013; Nation, 2007; Chapman, 2013).

El ácido sórbico, metil para-hidroxibenzoato y el formaldehído, permitieron la conservación de la dieta durante un mes y medio a temperatura de 23 (¿Cuál?) y en charolas de cría, mientras que en refrigeración y en recipiente hermético puede durar hasta 5 meses sin fermentarse, ni perder características físicas. La adición de ingredientes antimicrobiales disponibles comercialmente puede ser muy ventajosa en el desarrollo de crías de insectos (Forschler y Nordin, 1989).

Un programa eficiente de cría provee flexibilidad importante para cualquier programa de investigación entomológica. Galford (1969) estableció que la falta de técnicas de cría ha retrasado la investigación en aspectos de biología y control de muchas especies. Leppla *et al.* (1975) desarrollaron una dieta consistente en ingredientes disponibles comercialmente para producir y mantener una colonia de *Prionoxystus robiniae* (Lepidoptera: Cossidae), capaz de suplir las necesidades de investigación con un número adecuado de adultos. Solomon y Abrahamson (1976) desarrollaron una técnica aséptica que redujo la contaminación y el desperdicio de dieta, eliminando la necesidad de cambio periódico de ésta y una manipulación excesiva, de manera que tuvieron como resultado una mayor supervivencia de *P. robiniae* que cualquier dieta reportada para el barrenador mencionado.

En el presente estudio, las charolas de cría fueron el medio de confinamiento más indicado para la cría de *H. puera*, ya que en ellas se obtuvo una supervivencia de 97.9 % y de 95.8 %, (n = 128) en larvas de primer y segundo instar, respectivamente, charolas donde cada larva disponía de un espacio exclusivo y no tenía contacto con otros individuos, lo que reduce el riesgo de contagio de enfermedades y evita comportamientos agresivos entre los individuos. En comparación con el estudio de Bindu y colaboradores (2014a) que utilizaron cajas Petri como recipiente de cría y obtuvieron un máximo de supervivencia de 67.98 % (n = 30) para larvas de segundo instar de *H. puera* criadas en conjunto.

Las larvas de *H. puera* se criaron en charolas de 128 cavidades desde el primero hasta el tercer instar. Posteriormente estas larvas de tercer instar se pasaron a charolas de 32 cavidades con dieta fresca, hasta que éstas alcanzaron el estado pupal.

Las larvas se mantuvieron en la parte superior de los recipientes y solo bajaban a comer; se observó que las excretas eran depositadas en la tapa de los contenedores, lo cual es una ventaja para evitar la contaminación del alimento (Figura 2.5). Las larvas de último instar utilizaron la misma dieta como sustrato para formar el capullo.

Se obtuvo un 48 % (n = 100) de emergencia de adultos de *H. puera* en la nueva dieta formulada, mientras que la emergencia de las pupas colectadas en campo fue de 69.52 % (n= 105), resultando ambas muestras diferentes con una $P=0.0104$ ($\alpha= 0.05$). La dieta modificada por Bindu *et al.* (2014b) para la misma especie obtuvo una emergencia del 55% (n = 90) y no resultó ser diferente estadísticamente con la elaborada en este estudio ($P= 0.7378$, $\alpha=0.05$). El tamaño promedio de los adultos de *H. puera* obtenidos a partir de la dieta (n = 35) fue de 1.79 cm, muy similar a los adultos que emergieron del material de campo, que fue de 1.82 cm (n = 33) y no hubo diferencias significativas entre ambos tratamientos ($P= 0.8939$, $\alpha=0.05$).

2.4. CONCLUSIONES

El método de cría propuesto para *H. puera* incluye materiales de fácil adquisición y permitió el desarrollo de los cinco instares larvales y la formación de pupas sobre una dieta merídica, así como el apareamiento y oviposición de los adultos con mínima manipulación. El tiempo desde que las larvas de primer instar eclosionan hasta la formación de la pupa tardó 4 días más que en condiciones de campo. Los adultos obtenidos a partir de las larvas criadas en la dieta no mostraron malformaciones y tuvieron comportamiento, tamaño y coloración, semejantes a los individuos colectados en plantaciones de teca.

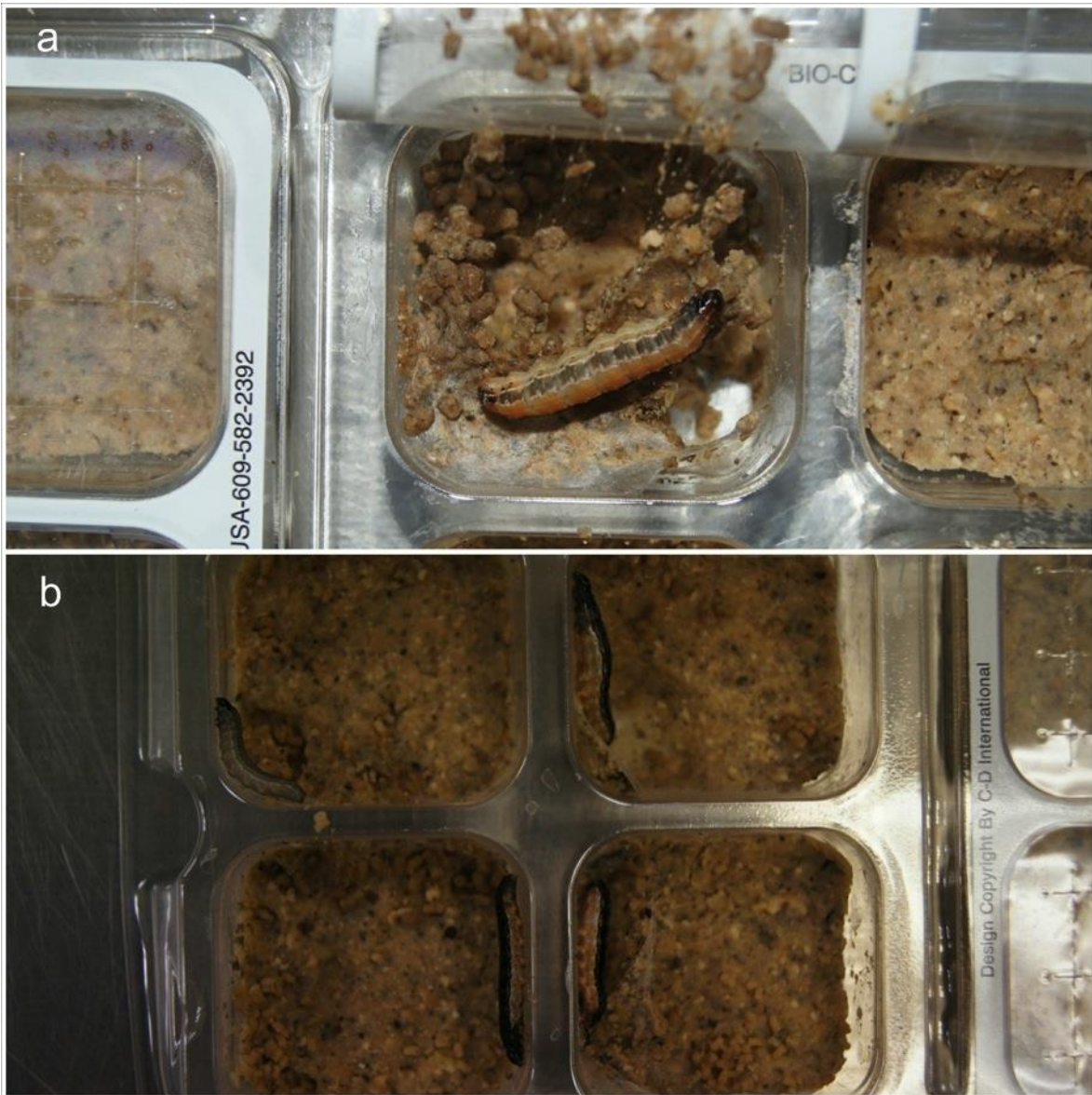


Figura 2. 5. a) Larva de último instar, se notan las excretas adheridas a la tapa; b) En la parte superior izquierda se observa una larva de tercer instar, sin coloración laterodorsal, mientras que a su derecha hay una prepupa y en la parte inferior dos larvas de quinto instar con la línea laterodorsal completamente pigmentada.

2.5. LITERATURA CITADA

- Bindu K. J., V. V. Sudheendrakumar, and T. V. Sajeev. 2014a. Evaluation of various captive spaces for the rearing of the teak defoliator (*Hyblaea puera*). Journal of Entomology and Zoology Studies 2 (1): 99-103.
- Bindu K. J., T. V. Sajeev, and V. V. Sudheendrakumar. 2014b. Role of protein and lipids in artificial diets of teak defoliator moth. Journal of Entomology and Zoology Studies 2 (2):97-100.
- Bindu K. J., V. V. Sudheendrakumar, and T. V. Sajeev. 2014c. Micronutrients- Significance and function in growth and survival of insects- A case of study. Entomology and Applied Science Letters 1 (3): 1-4.
- Chapman, R. F. 2013. The insects: Structure and Function, Fifth Ed./Edited by S. J. Simpson & A. E. Douglas. Cambridge Univ. Press, U.K. 961 p.
- Cohen, A. C. 2003. Insect Diets: Science and Technology. CRC Press, U.S.A. 324 p.
- Forschler B. T., and G. L. Nordin. 1989. Techniques for rearing the wood borers *Prionoxystus robiniae* (Lepidoptera: Cossidae) and *Paranthrene dollii* (Lepidoptera: Sesiidae). Florida Entomologist 72(1): 224-226.
- House, H. L. 1974. Nutrition, en The Physiology of Insecta, Vol. 5, M. Rockstein, Ed. Academic Press, New York, 1-62.
- Galford, J. R. 1969. Artificial rearing of 10 species of Woodboring insects. U. S. Dep. Agric. For. Serv. Res. Note NE-102. 6.
- Klowden, M. J. 2003. Physiological Systems in Insects. Third Ed. Elsevier, N. Y. 682 p.
- Katagall, R. D. 1991. Insect pest of teak (*Tectona grandis*) with special reference to the bio-ecology of the defoliator *Hyblaea puera* (Cramer) (Lepidoptera: Hyblaeidae). M.Sc (Agri) Thesis, University of Agricultural Sciences, Bangalore, India. 161 p.

- Leppa, N. C., J. D. Solomon, and R. E. Doolittle. 1975. Culturing the carpenterworm. *Ann. Entomol. Soc. Amer.* 68: 683-685.
- Mathew, G., V. V. Sudheendrakumar, K. Mohanadas, and K.S.S. Nair. 1990. An artificial diet for the teak defoliator, *Hyblaea puera* Cramer (Lepidoptera: Hyblaeidea). *Entomon.* Vol. 15 (3-4): 159-163.
- Mihm, J. A. 1984. Técnicas eficientes para la crianza masiva e infestación de insectos, en la selección de las plantas hospedantes para resistencia al gusano cogollero *Spodoptera frugiperda*, Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo, CIMMYT, El Batán, México. 16 p.
- Nair, K. S. S., V. V. Sudheendrakumar, R. V. Varma, and K. C. Chacko. 1985. Studies of the seasonal incidence of defoliators and the effect of defoliation on volumen increment of teak. *KFRI Research Report.* 30: 1-78.
- Nation J. L. 2007. *Insect Physiology and Biochemistry.* 2nd ed. U. S A. 544 p.
- Sharma S., J. S. Tara, and S .Bathia. 2013. Bionomics of *Hyblaea puera* (Lapidoptera: Hyblaeidae), a serious pest of teak (*Tectona grandis*) from Jammu (India). *Mun. Ent. Zool.* 8(1): 139-147.
- Solomon, J. D., and L. P. Abrahamson. 1976. Survival and development of carpenterworms reared aseptically on an artificial diet. *Ann. Entomol. Soc. Amer.* 69: 851-853.

**CAPITULO 3. SUSCEPTIBILIDAD DE *Hyblaea puera* (CRAMER 1777)
(LEPIDOPTERA: HYBLAEIDAE) A SPINETORAM Y *Bacillus thuringiensis*
var. *aizawai***

RESUMEN

Se definió la línea base de los insecticidas spinetoram y *Bacillus thuringiensis* var. *aizawai* en contra de larvas neonatas de *Hyblaea puera* mediante bioensayos por contaminación de dieta, las DL₅₀ fueron 0.000000036 y 0.00000028 para spinetoram y *Bacillus thuringiensis* var. *aizawai*, respectivamente. Se propone el uso de estos de estos productos para el manejo de *H. puera* en las plantaciones forestales comerciales de teca en México.

Palabras clave: Insecticidas, defoliador de la teca, bioensayos.

ABSTRACT

The base line of the insecticides spinetoram and *Bacillus thuringiensis* var. *aizawai* against first instar larvae of *Hyblaea puera*, using diet contamination. LD₅₀ was 3.6×10^{-8} and 2.8×10^{-7} for spinetoram and *Bacillus thuringiensis* var. *aizawai*, respectively. It is proposed the use of these products for the management of *H. puera* in commercial plantations of teak in Mexico.

Keywords: Insecticides, teak defoliator, bioassays.

3.1. INTRODUCCIÓN

Hyblaea puera Cramer 1777, es la principal plaga de la teca (*Tectona grandis*) a nivel mundial, las infestaciones de *Hyblaea puera* en plantaciones de teca en el Sureste de México se han incrementado en intensidad y tamaño desde el año 2010 (Cibrián-Llenderal y Cibrián-Tovar, 2013), esta plaga puede causar disminución en el incremento de volumen de hasta el 44% por año (Nair y Mohanadas, 1996).

Existen tres tipos de poblaciones de *Hyblaea puera*: endémica, se encuentra a bajas densidades y no causa daño económico, epicéntrica, población que se desarrolla fuera de las plantaciones de teca en hospederos secundarios y es la que inicia el ataque y epidémica que son los descendientes de la población epicéntrica y es la que causa defoliaciones masivas (Chandrasekhar *et al.*, 2005), por lo que los esfuerzos de manejo deben de estar enfocados en atacar a la población epicéntrica para evitar el surgimiento de la población epidémica cause daño económico.

En otros países productores de teca como la India, se han probado diferentes estrategias para el manejo de *H. puera*, como el control biológico con depredadores y parasitoides (Nair *et al.*, 1995), aplicación de hongos entomopatógenos (Remadevi *et al.*, 2010; Remadevi *et al.* 2013); virus de poliedrosis nuclear (Nair *et al.*, 1996), utilización de extractos vegetales de diversas especies de plantas (Deepa y Remadevi, 2011; Sundararaj, 2014) y el uso de insecticidas químicos y de origen microbiano (Javaregowda y Krishna Naik, 2008) con diferentes grados de éxito, obteniéndose los mejores resultados con insecticidas de amplio espectro del grupo de los organofosforados (Javaregowda y Krishna-Naik, 2008).

La única estrategia de manejo exitosa contra este defoliador en México ha sido la aplicación del insecticida spinetoram por vía aérea en las dos principales zonas productoras de teca que son los estados de Campeche y Tabasco, este tipo de aplicaciones ha sido suficiente para controlar la población epicéntrica e incluso abatir a poblaciones epidémicas en áreas mayores a 1000 ha.

La dependencia de un único tipo de insecticida puede llevar al desarrollo de resistencia, por lo que es necesario la evaluación de otros productos que cumplan la normativa de la certificadora FSC (Forest Stewardship Council), como el insecticida de origen microbiano *Bacillus thuringiensis* var. *aizawai* para poder ser empleado en las plantaciones comerciales de teca.

La vigilancia de la resistencia a insecticidas es fundamental para la definición de planes y estrategias de manejo por lo cual el propósito de este estudio fue determinar las dosis diagnósticas de spinetoram y *Bacillus thuringiensis* var. *aizawai* contra larvas neonatas de *H. puera*.

3.2. MATERIALES Y MÉTODOS

3.2.1. Colecta de material biológico

Para la determinación de la línea base se colectaron pupas de *Hyblaea puera* en el mes de junio de 2014 en una plantación de teca ubicada en el Valle de Edzná en el estado de Campeche (19°39'20.72" N, 89°59'14.08" O, altitud: 110 msnm) en el sitio de colecta no se tenían antecedentes de aplicación de productos químicos para el control del defoliador de la teca, con este material se formó una colonia que no ha sido expuesta a presión de selección por insecticidas. Las pupas se mantuvieron a una temperatura de 15°C en una hielera durante el traslado del campo al laboratorio.

3.2.2. Cría de *H. puera*

Para obtener los adultos de las palomillas, se colocaron las pupas traídas de campo en jaulas de marco de alambre de 35 x 25 x 25 cm, cubiertas con una malla de organdí y se rociaban con agua dos veces al día con ayuda de un atomizador manual para mantener la humedad hasta la emergencia de los adultos. La alimentación de los adultos, se colocó dentro de cada jaula una caja de Petri con una esponja embebida en una solución al 15% de miel de maíz Karo®. Los insectos se mantuvieron a temperatura ambiente promedio de 23 °C.

La oviposición ocurrió comenzó a los cuatro después de la emergencia de los adultos, los huevos fueron depositados en la superficie interior de la tela de las jaulas. Diariamente se retiraba la jaula con huevos y se ponía dentro de una caja de plástico con tapa provista de una malla de alambre de 300 μm para ventilación, estas cajas se colocaron en una incubadora (ECOSHEL® mod. BOD-150) a 25 °C y fotoperiodo de 12:12 h. La eclosión de las larvas ocurrió a los cuatro días después de ser ovipositados los huevos.

3.2.3. Bioensayo

El método elegido para la exposición de los insectos al tóxico fue el de contaminación de la dieta. Se utilizaron charolas de bioensayo de 128 cavidades Bio-Assay tray (C-D International®). En cada cavidad de las charolas se colocó 1 ml de la dieta formulada para *H. puera* mencionada en el capítulo 2, se esperó a que se solidificara la dieta y se adicionaron 200 μl de cada concentración de los productos a evaluar, se dejaba ocho horas para que el tóxico penetrara en la dieta y posteriormente se transfirieron las larvas recién eclosionadas de un máximo de cuatro horas de nacidas con ayuda de un pincel del número 000. Previamente estas charolas se desinfectaron con una solución al 2 % de hipoclorito de sodio. Se utilizaron los productos comerciales Palgus (Spinetoram) y XenTari (*Bacillus thuringiensis* var. *aizawai*).

Para cada insecticida se determinó previamente la ventana biológica de respuesta al tóxico mediante la aplicación de concentraciones del ingrediente activo al 0.00000001, 0.0000001, 0.000001, 0.00001, 0.0001, 0.001, 0.01 y 1.0% de los dos productos evaluados, para determinar el intervalo desde donde no había efecto, hasta aquél en que se producía la mortalidad total de la población, posteriormente se intercalaron dosis intermedias entre el rango previamente establecido.

Se utilizaron 8 dosis para cada insecticida, con 16 insectos por dosis en tres repeticiones realizadas en diferentes días. Para cada dosis también se estableció un testigo que constaba de 16 insectos en tres repeticiones.

La mortalidad se evaluó a las 24 horas después del tratamiento, se consideró una larva muerta si no mostraba capacidad de reacción al ser tocada con un pincel. No hubo necesidad de hacer corrección de mortalidad por medio de la fórmula de Abbot (1925) debido a que los tratamientos testigo presentaron una mortalidad menor al 5%.

Los datos de mortalidad se procesaron mediante el programa PROC PROBIT de SAS versión 9.0, para obtener las líneas de regresión, las dosis letales y los límites de confianza de cada producto. Los valores del error estándar de la pendiente se calcularon mediante el programa PROBIT de SAS (Anexo 1y 2). La prueba de χ^2 (Ji-cuadrada) permitió comparar los valores observados con los esperados y definir el grado de ajuste del modelo.

3.3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.3.1. Susceptibilidad a insecticidas en larvas neonatas de *H. puera* de Campeche, Camp. Méx.

Los resultados del análisis probit (Cuadro 3.1) indican que la toxicidad a nivel de la DL_{50} fue mayor para spinetoram, seguido de *Bacillus thuringiensis* var. *aizawai*, la diferencia en la toxicidad entre ambos productos es significativa ya que no hubo traslape en los límites de confianza obtenidos para estos a nivel de dosis letal media.

Cuadro 3.1. Susceptibilidad a insecticidas en larvas neonatas de *H. puera* procedentes de Campeche

Insecticida	DI_{50} (LC 95%)	DI_{95} (LC 95%)	Pendiente +/- EE	χ^2 ($\alpha=0.05$)	gl
Spinetoram	0.000000036 (0.000000033, 0.000000039)	0.000000072 (0.000000063, 0.000000086)	2.1 +/- 0.19	6.43	5
<i>Bt. var. aizawai</i>	0.00000028 (0.00000026, 0.00000031)	0.00000063 (0.00000054, 0.00000077)	2.3 +/- 0.20	5.31	5

Ambos productos mostraron alta toxicidad para larvas neonatas de *H. puera*, sobre todo spinetoram, lo cual demuestra su efectividad, que ha sido comprobada en las aplicaciones que se realizan para el control de esta palomilla en las plantaciones de teca en Campeche y Tabasco.

La respuesta más homogénea se obtuvo con *Bacillus thuringiensis* var. *aizawai* (b=2.3), seguida por spinetoram (b=2.1).

En los valores de χ^2 (Cuadro 3.1) se observa que en los dos casos se obtuvo un buen ajuste al modelo lineal ($\alpha=0.05$), siendo éste mejor en el caso de *B. thuringiensis* var. *aizawai*.

3.3.2. Consideraciones del uso de insecticidas contra *Hyblaea puera*

El defoliador de la teca es una plaga de reciente ingreso al país, las primeras defoliaciones que causaron daño económico se detectaron en el año 2010 en el estado de Campeche, durante este tiempo se probaron diferentes insecticidas como spirotetramat, flubendiamida y *Bacillus thuringiensis* var. *kurstaki* y productos de control biológico como *Beauveria bassiana* y *Metarrhizium anisopliae* (Bernal-Alcocer com. pers.), sin embargo no se logró un control efectivo, lo que ocasionó el desarrollo de poblaciones epidémicas que defoliaron varias miles de hectáreas de plantaciones de teca.

Senguttuvan y colaboradores (2000) evaluaron la toxicidad de ocho insecticidas mediante bioensayos en discos foliares asperjados con los tóxicos, los productos utilizados fueron una mezcla de chlorpirifos y cipermetrina al 50% y al 5% respectivamente, monocrotophos, quinalphos, chlorpirifos, dichlorvos, carbaril y dos formulaciones de *Bacillus thuringiensis* contra larvas de tercer instar de *H. puera*, con una mortalidad para todos los insecticidas y los productos a base de *B. thuringiensis* entre el 85-100% a las 24 horas, sin embargo, las concentraciones aplicadas fueron elevadas ya que por ejemplo para el monocrotophos la mortalidad del 100 % de la población se obtuvo con 0.05% del producto.

Gupta y Borse (1997) realizaron bioensayos con 11 insecticidas contra el tercer instar de *H. puera* bajo condiciones de laboratorio, el orden de importancia por toxicidad relativa fue: chlordimefon, leptophos, dichlorvos, campehechlor, malation, carbaril, endosulfan, dimetoato, fenitorion, fenitotrión + malation y trichlofora. Javaregowda y Krishna-Naik (2008) en experimentos bajo condiciones de campo reportaron que el mejor insecticida fue indoxicarb, seguido de spinosad, propenphos, navaluron y chlorpirifos.

De manera general *H. puera* es susceptible a una gran variedad de insecticidas, sin embargo, las principales plantaciones de teca en México están certificadas a través del Forest Stewardship Council (FSC), este consejo regula el tipo de insecticidas que se pueden utilizar por considerarlos altamente peligrosos y excluye a los grupos toxicológicos como organofosforados, piretroides, carbamatos, organoclorados, neonicotinoides y avermectinas (FSC, 2015) lo que limita el rango de productos a utilizar en el manejo del defoliador de la teca.

Desde hace varias décadas se ha realizado la búsqueda e identificación de enemigos naturales de *H. puera* como una alternativa al control químico, se han hecho estudios de la incidencia estacional de depredadores y parasitoides en relación con la incidencia del defoliador de la teca. Estos trabajos se han desarrollado sobre todo en la India y Myanmar, países que tienen cerca del 80 por ciento de los bosques naturales de teca y tienen la mayor cantidad de plantaciones forestales comerciales a nivel mundial (Patil y Naik, 1998). Se han identificado a once especies de parasitoides, entre estas, las más numerosas son; *Paleroxista solennis* (Tachinidae), *Brachymeria lasus* (Chalcididae), *Sympiesis* sp. (Eulophidae), *Apanteles* (Braconidae) y a dos especies de la familia Ichneumonidae, además, de los depredadores *Parena nigrolineata* (Carabidae) y *Cantheconidea furcellata* (Pentatomidae) (Hutacharen y Choldumrongkul, 1995).

También se han realizado liberaciones de hasta diez especies de parasitoides de huevos (Tricogrammatidae) y evaluado su capacidad de control contra este defoliador sin mucho éxito. La gran movilidad de *H. puera* dentro y fuera de las plantaciones ocasiona que las poblaciones de parasitoides y depredadores sean incapaces de

responder numéricamente al incremento de densidad poblacional del huésped, lo que provoca que el impacto sobre este defoliador sea muy bajo (Nair, 1995).

La mayor tasa de parasitismo (de todas las especies de parasitoides en conjunto) en estudios de dos años consecutivos es del 26 al 28 % ((Hutacharen y Choldumrongkul, 1995), estos valores se dan en el mes de julio, una vez que ha pasado el primer y más importante brote del defoliador de la teca que se presenta en abril y mayo, este primer ataque es el que causa el mayor impacto en el crecimiento de la teca, ya que es el periodo de emisión de nuevas hojas. En los meses de abril, mayo y junio el porcentaje total de parasitismo no sobrepasa al 6 % en su área de distribución natural y no influye en la reducción significativa de las poblaciones de *H. puera*, ni evita el desarrollo de defoliaciones masivas (Sudheendrakumar, 1986).

El agente de control biológico más prometedor es el virus de poliedrosis nuclear HpNPV, que ha causado epizootias de manera natural en la India (Sajeev *et al*, 2008; Mahiba-Helen *et al.*, 2012). Agente natural que en México hasta la fecha no se ha podido aislar

Esta situación ha obligado a seguir dependiendo de los insecticidas como estrategia de manejo contra *H. puera*, sin embargo, el desarrollo de nuevos productos como el spinetoram, que tiene un perfil toxicológico favorable como baja toxicidad a mamíferos y una baja residualidad en el medio ambiente (Dripps *et al.*, 2008) y un modo de acción completamente nuevo en los receptores nicotínicos diferente al de los neonicotenoides (Crouse *et al.*, 2007), lo hacen un buen producto para aplicarlo en las plantaciones de teca.

El spinetoram es un derivado artificial del spinosad, este último proviene de los extractos de la fermentación del actinomiceto *Saccharopolyspora spinosa* y es una combinación de las spinosinas A y D, el spinetoram está compuesto por las spinosinas J y L, ambos productos tienen actividad por contacto e ingestión, el spinetoram presenta mayor actividad insecticida contra larvas de lepidóptera que el spinosad, incluso en bioensayos realizados con la palomilla de la manzana *Cydia pomonella*, el spinetoram

produjo un control similar que el azinfos metílico pero a menor concentración (Dripps *et al.*, 2008).

La aplicación de insecticidas sintéticos en los bosques y plantaciones forestales comerciales ha provocado preocupación debido a los efectos negativos que estos tienen sobre los enemigos naturales y al ambiente, por esta razón se ha promovido el uso de productos con toxinas de origen natural como *Bacillus thuringiensis* (Meshram, 2010). *H. puera* también puede atacar a diferentes especies de manglares del género *Avicennia* (Arun y Mahagan, 2012). En Brazil han ocurrido defoliaciones masivas sobre la especie *Avicennia germinans* (Barronca-Fernandes, *et al.*, 2009), esta misma especie de mangle también conocida como mangle negro se encuentra en ampliamente distribuida en México y las mayores poblaciones se ubican en el litoral del estado de Campeche cercanas a las plantaciones de teca, en este ambiente es muy riesgoso realizar control químico debido a la fragilidad de este ecosistema, por lo que tener una alternativa como *B. thuringiensis* var. *aizawai* para realizar aplicaciones en caso de presentarse defoliaciones en el manglar era muy importante.

3.4. CONCLUSIONES

-Se propone como línea base de comparación de insecticidas para *Hyblaea puera* la obtenida en este estudio con valores de DL_{50} de $3.6E^{-8}$ para spinetoram y de DL_{50} de $2.8E^{-7}$ para *Bacillus thuringiensis* var. *aizawai*.

-Se sugiere el uso de spinoteram y *Bacillus thuringiensis* var. *aizawai* para el control de *H. puera* en plantaciones forestales comerciales de teca en México.

3.5. LITERATURA CITADA

Abbott, W. S. 1925. A method of computing the effectiveness of an insecticide. J. Econ. Entomol. 18: 265-267.

Arun P. R., and M. V. Mahagan. 2012. Ecological costs and benefits of teak defoliator (*Hyblaea puera* Cramer) outbreaks in a mangrove ecosystem. Marine Science 2(5): 48-51.

- Chandrasekhar N., T. V. Sajeev, V. V. Sudheendrakumar, and M. Banerjee. 2005. Population dynamics of the Teak defoliator (*Hyblaea puera* Cramer) in Nilambur teak plantations using randomly amplified gene encoding primers (RAGEP). *BMC Ecology* 5:1.
- Cibrián-Llenderal V. D. y Cibrián-Tovar D. 2013. *Hyblaea puera*. pp: 120-125. *In: Manual de Identificación y Manejo de Plagas y Enfermedades en las Plantaciones Comerciales de México*. Universidad Autónoma Chapingo.
- Crouse, G. D., Dripps, J. E., Orr, N., Sparks, T. C., and Waldron, C. 2007. DE-175 (Spinetoram), a new semisynthetic spinosyn in development. pp: 1013-1031. *In: Modern Crop Protection Chemistry*. W. Kramer and U. Schirmer, eds. Wiley-VCH, Weinheim, Germany.
- Deepa B. and O. K. Remadevi. 2011. Insecticidal activity of the phyto-extracts derived from different parts of the trees of Fabacea family against *Hyblaea puera* Cramer (Lepidoptera: Hyblaeidae). *Biological Forum*. 3(2): 1-8.
- Remadevi O. K., N. Sapna Bai, T. O. Sasidharan, M. Balachander and P. Dharmarajan. 2013. Attempts at controlling teak defoliator (*Hyblaea puera* Cramer, Lepidoptera, Hyblaeidae) with the entomopathogenic fungus, *Metarhizium anisopliae* (Metsch.) laboratory, nursery and field trails. *International Journal of Pest Management*, 59(3): 236-242.
- Dripps, J., Olson, B., Sparks, T., and Crouse, G. 2008. Spinetoram: How artificial intelligence combined natural fermentation with synthetic chemistry to produce a new spinosyn insecticide. Online. *Plant Health Progress* doi: 10.1094/PHP-2008-0822-01-PS.
- FSC. 2015. Forest Stewardship Council (FSC) List of highly hazardous pesticides. www.fsc.org. 20 p.

- Gupta, B.K., and S. S. Borse. 1997. Relative toxicity of some insecticides as contact poison against third instar larvae of *Hyblaea puera* (Lepidoptera: Hyblaeidae). Indian Forester. 123(5): 427-429.
- Hutacharen C., and S. Choldumrongkul. 1995. Survey on the natural enemies of teak defoliator *Hyblaea puera* Cramer. Thai J. For. 14: 9-16.
- Javaregowda, and Krishna Naik. 2008. Efficacy of nuclear polyhedrovirus (HpNPV) against teak defoliator, *Hyblaea puera* Cramer (Hyblaeidae: Lepidoptera). Karnataka J. Agric. Sci. 21(4): 452.
- Mahiba-Helen S., V. V. Sudhendrakumar, T. V. Sajeev,, and R. A. Deshmuk. 2012. Biosafety of crude and formulated *Hyblaea puera* (Cramer) (Lepidoptera: Hyblaeidae), Nucleopolyhedrovirus (HpNPV) against silkworm *Bombix mori* (L.), Indian mynah, *Acrida theruistris* (Linn.) and cell lines. JBiopest. 5(2): 201-207.
- Meshram P. B. 2010. Role of some biopesticide in management of some forest insect pests. J Biopest 3 (Special Issue): 250-252.
- Nair, K. S. S., Mohanadas, K., and Sudheendrakumar, V. V. 1995. Biological control of the teak defoliator, *Hyblaea puera* (Lepidoptera: Hyblaeidae) using insect parasitoids- problems and prospects. pp: 75-95. In: Biological control of social forest and plantation crop insects (Ed. Ananthkrishnan, T. N.). Oxford and BR Publishing Co. Pvt. Ltd. New Delhi.
- Nair K. S. S., and Mohanadas K. 1996. Early events in the outbreak of the tak caterpillar, *Hyblaea puera*. International Journal of Ecology and Environmental Sciences. 22: 271-279.
- Nair, K. S. S., Biju Babjan, Sajeev, T.V., Sudheendrakumar, V. V., Ali, Mohammed, M. I., Varma, R. V., and Mohanadas, K. 1996. Field efficacy of nuclear polyhedraosis virus for protection of teak against the defoliator, *Hyblaea puera* Cramer (Lepidoptera: Hyblaeidae). Journal of Biological Control. 10: 79-85.

- Patil, S. U., and M. I. Naik, 1998. Natural enemies of teak defoliator, *Hyblaea puera* Cramer and their seasonal incidence. *Indian Journal of Forestry*. 21(3): 253-255.
- Sajeev T. V., V. V. Sudheendrakumar, S. Mahiba-Helen, C. S. Meera, T. N. Bindu, and K. J. Bindu. 2008. Hybcheck-the biopesticide for managing teak defoliator (*Hyblaea puera* Cramer): An announcement. *Processing and Marketing of Teak Wood Products of Planted Forest-Regional Workshop*. KFRI, Kerala India.
- Senguttuvan, T., C. Chinniah, R. V. Varma, and K. S. S. Nair. 2000. Knockdown toxicity of insecticides and B. t. formulations on larvae of teak defoliator, *Hyblaea puera*. *Indian Journal of Forestry*. 23(2): 160-163.
- Sudheendrakumar V. V. 1986. Studies on the natural enemies of the teak pests, *Hyblaea puera* and *Eutectona machaeralis*. Kerala Forest Research Institute. India. 23 p.
- Sundararaj R. 2014. Relevance of Botanicals for the Management of Forest Insect Pests of India. *In* K. Sahayaraj (ed.) *Basic and Applied Aspects of Biopesticides*. Springer India.

CAPITULO 4. DINÁMICA POBLACIONAL Y DETECCIÓN TEMPRANA DE *Hyblaea puera* (LEPIDOPTERA: HYBLAEIDAE) EN PLANTACIONES DE TECA DE TABASCO Y CAMPECHE

RESUMEN

El defoliador de la teca *Hyblaea puera* ataca a las plantaciones de teca en el sureste de México y presenta tres tipos de poblaciones, endémica, epicéntrica y epidémica. La población epicéntrica se origina fuera de las plantaciones de teca y da origen a la formación de las epidémicas, que causan defoliaciones masivas en el periodo en que los árboles de teca emiten follaje nuevo. La detección de las poblaciones epicéntricas es fundamental para el manejo de esta plaga, por lo que se diseñó un sistema de trapeo basado en trampas de luz automatizadas, con las que se instaló una red de monitoreo a una densidad de 1 trampa/100 ha, lo que permitió detectar el arribo de la población epicéntrica, una semana antes de detectar los primeros signos de defoliación. Se aplicaron medidas de control sobre esta población, con lo que se evitó el desarrollo de la fase epidémica. Las trampas de luz también permitieron determinar la dinámica poblacional de *H. puera* durante los años 2013 y 2014, en las regiones productoras de teca de Balancán, Tabasco y el Valle de Edzná en Campeche. No se encontró una correlación entre las variables climáticas y el número de adultos capturados de *H. puera*. En cada uno de los dos sitios se registraron dos picos poblacionales de *H. puera*, el primero entre los meses de junio y julio y el segundo en septiembre, después de la canícula.

Palabras clave: Trapeo, *Hyblaea puera*, teca.

ABSTRACT

The defoliator *Hyblaea puera* became an important pest in teak plantations in southeastern Mexico. Three types of populations characterize attacks by this pest: endemic, epicentric and epidemic. Epicentric populations are originated outside the teak plantations and gives rise to the formation of the epidemic population that causes massive defoliation when the teak trees emit new foliage. Detection of epicentric populations is essential for the management of this pest. A trapping system was designed, based on automated light traps, installed at a density of one trap/100 ha, allowing the detection of the arrival of epicentric populations, and the timely application of control methods one week before the first signs of defoliation and the development of the epidemic stage. Light traps also allowed determining the population dynamics of *H. puera* during the years 2013 and 2014, in the regions Balancán, Tabasco and Edzná Valley, Campeche. We did not find a correlation between climatic variables and the number of captured adults. In both sites were recorded two population peaks of *H. puera*, the first between the June and July and the second in September.

Key words: trapping, *Hyblaea puera*, teak.

4.1. INTRODUCCIÓN

Los insectos tienen la capacidad de ver en el espectro ultravioleta, por lo que la mayoría de los insectos nocturnos son atraídos a fuentes de luz que emiten grandes cantidades de radiación UV. Debido a lo anterior, se han desarrollado trampas que explotan este comportamiento, sobre todo para monitorear el vuelo de los primeros adultos en una temporada o los brotes de plagas (Shimoda y Honda, 2013).

El uso de diferentes métodos de trapeo juega un papel muy importante en el entendimiento de la forma en que se comportan las poblaciones de insectos. Tomando en cuenta que la mayoría de las especies de insectos son de actividad nocturna, un muestreo regular y que aporte datos cuantitativos del comportamiento de las especies,

solo puede ser llevado a cabo a través de trampas que operen automáticamente. El uso de trampas de luz es uno de los métodos preferidos para realizar estudios poblacionales sobre todo de plagas agrícolas y forestales (Szentkirályi, 2002).

Los campos de estudio en los que se han utilizado las trampas de luz son diversos, por ejemplo, los estudios faunísticos de grandes áreas geográficas son posibles gracias al uso de este tipo de trampas (Kovács, 1971). En el caso de bosques templados, es posible identificar a una gran cantidad de barrenadores de las familias Cerambycidae y Buprestidae; así como a escarabajos ambrosiales de la familia Scolytidae (Toth, 1973).

El propósito de diseñar una trampa de luz automática, fue la de generar una estrategia de detección temprana de poblaciones epicéntricas de *Hyblaea puera* en plantaciones de teca. Esta palomilla tiene tres tipos de poblaciones: a) endémica, se encuentra a bajas densidades y no causa daño económico, b) epicéntrica, población que se desarrolla fuera de las plantaciones de teca en hospederos secundarios y es la que inicia el ataque y c) epidémica, que son los descendientes de la población epicéntrica y es la que causa defoliaciones masivas (Chandrasekhar *et al.*, 2005). Por lo anterior, los esfuerzos de manejo deben de estar enfocados en detectar y atacar a la población epicéntrica para evitar el surgimiento de la población epidémica y evitar daños severos.

Debido a las pérdidas económicas que causa este defoliador, se han hecho intentos por estandarizar métodos de control que incluyen el control biológico con entomófagos y aplicaciones aéreas con insecticidas químicos. El control biológico utilizando parasitoides no ha sido exitoso y las aplicaciones a gran escala de insecticidas de amplio espectro tienen un impacto ambiental negativo muy elevado (Sajeev, 1999). Por el contrario, el control biológico utilizando el virus de poliedrosis nuclear HpNPV, es una alternativa promisorio debido a su especificidad y a su rápida acción de control (Nair y Mohanadas, 1996).

Sin embargo, el mayor problema al utilizar cualquier estrategia de control radica en detectar los brotes de esta plaga antes de iniciar las medidas de manejo. Las plantaciones de teca en México ocupan superficies de grandes dimensiones, en ocasiones de varios miles de hectáreas, por lo que la detección visual de nuevos brotes

del defoliador de la teca dentro de las plantaciones es prácticamente imposible, debido a que las hembras adultas ovipositan en la parte superior de la copa de los árboles y el daño producido por las larvas de los primeros instares en el follaje es poco evidente.

El promedio de vida de la etapa larval de *H. puera* es de 15 días en condiciones de campo, durante este periodo los árboles pueden ser defoliados completamente; para prevenir el daño se tiene que detectar a las larvas de los primeros instares y ejercer medidas de control sobre estas, por lo tanto, la mejor opción de manejo es la detección de los adultos que provocan estos primeros ataques. Mohanadas (1995) identificó tres fases de ataque en *H. puera* en la India, la primera se caracteriza por pequeños brotes de infestación separados entre sí hasta por varios kilómetros de distancia y distribuíos erráticamente en las plantaciones llamada población epicéntrica; la segunda fase consiste en infestaciones severas y distribuidas por grandes áreas de las plantaciones y que provoca defoliaciones masivas, en la tercera fase la población declina y las infestaciones vuelven a ser erráticas. Desde el punto de vista de manejo, la detección y el control de estas poblaciones epicéntricas evitaría la formación de poblaciones epidémicas.

Esta necesidad de detectar a las poblaciones epicéntricas ya había sido planteada por Nair *et al.* (1985) y la considera como la única manera para poder manejar exitosamente a *H. puera*, por esta razón el objetivo de este trabajo fue diseñar un sistema de detección temprana basado en trampas de luz automatizadas que permitiera detectar el arribo de la población epicéntrica en plantaciones de teca.

4.2. MATERIALES Y MÉTODOS

4.2.1 Respuesta al tipo de luz

Para determinar el tipo de luz que atraía a una mayor cantidad de adultos de *H. puera*, se probaron tres tipos de focos fluorescentes: luz blanca, luz UV con filtro y luz UV sin filtro, conectados a igual número de trampas tipo Pennsylvania, este tipo de trampa se caracteriza por tener cuatro paneles montados a 90° entre uno y otro, la fuente de luz va en el centro de estos y tiene un recipiente de captura en la base (Heidinger, 1971).

La fuente de energía fueron tres baterías de automóvil de 12 V, cada batería alimentaba a una trampa. Las trampas se colocaron a mediados de junio de 2012 durante 3 días en una plantación de teca de 8 años de edad ubicada en el Valle de Edzná, en el estado de Campeche (19° 33'49.31" N y 90° 04'37.50" O; 105 msnm). El sitio en donde se colocaron las trampas de luz había sido atacado de manera muy severa por el defoliador de la teca y había presencia de una gran cantidad de pupas con adultos a punto de emerger. Las trampas se colocaron a 50 m de distancia una de otra y a una altura de 130 cm sobre el suelo. Diariamente, durante 3 días se colectaron las palomillas que fueron capturadas en la noche anterior y se contabilizaron.

4.2.2 Diseño de trampas automatizadas

Se diseñó una trampa automatizada para la captura de adultos de *Hyblaea puera* para utilizarla en una red de monitoreo que permitiera monitorear en grandes extensiones. El sistema consiste en dos componentes siguientes: 1) La unidad de captura está conformada por una trampa del tipo Pennsylvania de cuatro paneles y 2) El sistema eléctrico de la trampa de luz. Este sistema funciona de la manera siguiente: la energía eléctrica proviene de una celda solar de 15W (ENESOL modelo DS-A1-15) que alimenta una batería recargable de litio de 12v (ENESOL 12) por medio de un circuito que controla la carga y controla el encendido y apagado de la luz. El circuito desconecta un apagador durante el día, manteniendo la luz de la trampa apagada y al oscurecer el apagador se conecta y la luz se prende y viceversa cuando amanece (circuito diseñado por iTrap S.A. de C.V., Naucalpan, Edo. de México). La luz utilizada fue luz ultravioleta sin filtro de 350 nm (Figura 4.1).

4.2.3 Instalación de la red de monitoreo.

Se instalaron 10 trampas de luz automatizadas en mayo del 2013 en una plantación de teca de 3 años de edad de 1,000 ha. en Balancán, Tabasco (Figura 2), las trampas se colocaron sobre postes de madera de 2.30 m de largo, a una altura de 130 cm sobre el suelo y a una densidad de 1 trampa cada 100 ha. La revisión y recolecta de las trampas se realizó una vez a la semana, trampeo que abarcó del 01 de junio al 30 de septiembre de 2013 y el mismo periodo en 2014, en el recipiente de captura de cada trampa se

utilizaron 2 L de anticongelante de automóvil como conservante. En Balancán, Tabasco, el clima es cálido, húmedo con lluvias todo el año, con temperatura promedio anual de 27 °C, precipitación promedio anual de 2,600 mm y un periodo corto de sequía de febrero a finales de mayo y el periodo de canícula se presenta del 15 de julio al 15 de agosto.



Figura 4.1. Trampa de luz automatizada diseñada específicamente para el monitoreo de *H. puera* en plantaciones de teca.

En el estado de Campeche se instaló otro sistema de monitoreo con 5 trampas de luz automatizadas, en una plantación de teca de 7 años de edad ubicada en el Valle de Edzná, municipio de Campeche (Figura 4.2) a finales de abril de 2013. La densidad de trampas por hectárea, el periodo de monitoreo y la recolecta de las muestras fue el mismo que en las plantaciones de Balancán durante el 2013, solo que en el 2014, el sistema de trampeo se instaló el 01 de junio y se retiró el 30 de junio, debido al extravío de varias trampas en la plantación. En esta localidad del Valle de Edzná, el clima es cálido, subhúmedo, temperatura promedio anual de 26 °C, precipitación promedio anual de 1,100 mm con seis meses de sequía de diciembre a mayo, la canícula o sequía

interestival ocurre entre el 15 de julio y el 15 de agosto. Todos los insectos capturados en las trampas se conservaron en alcohol al 70° para su posterior conteo.

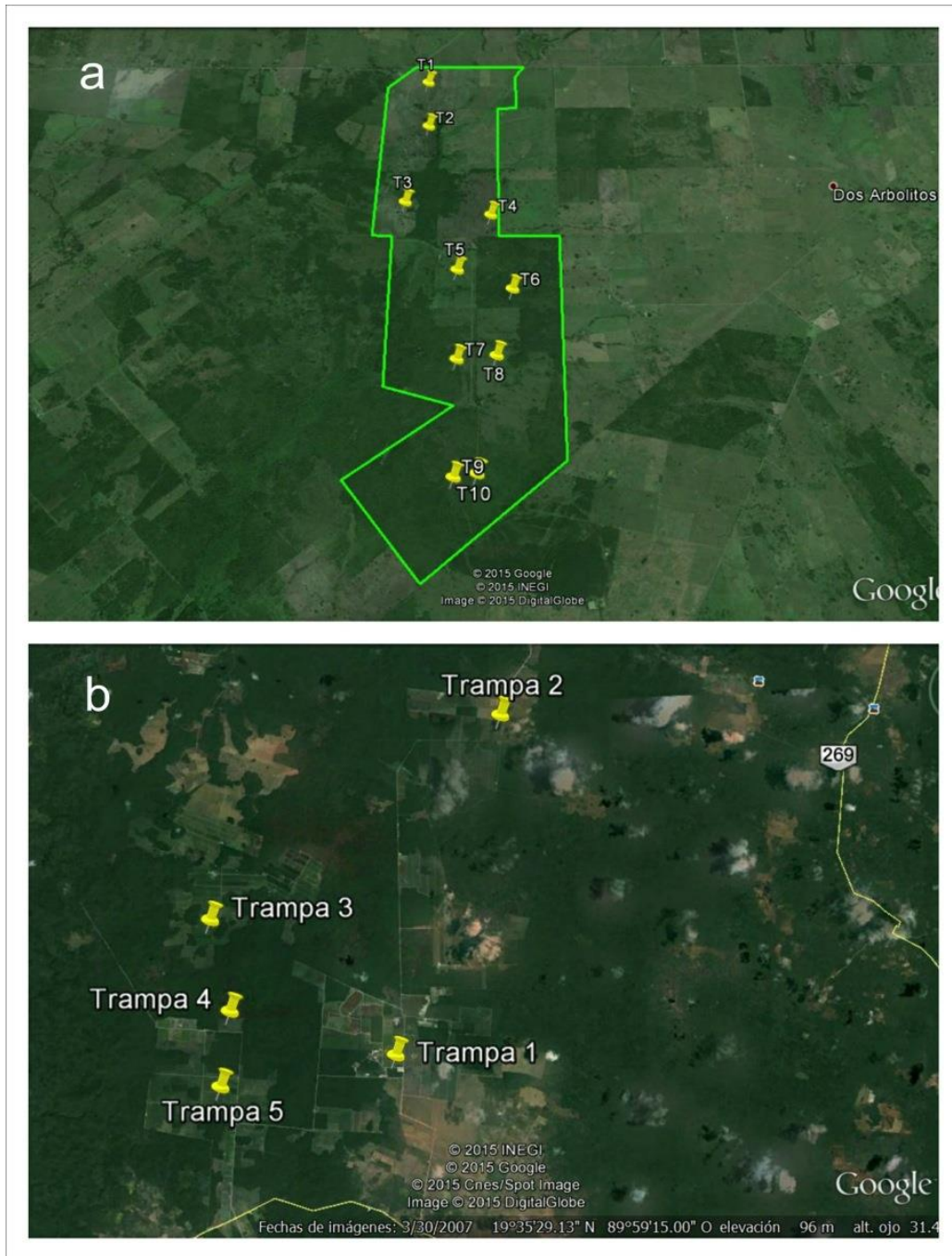


Figura 4.2. Sitios de monitoreo con trampas de luz para la captura de *H. puera*, a) Balancán, Tabasco y b) Valle de Edzná, Campeche.

Si en las trampas había captura de adultos de *H. puera*, se buscaban signos de defoliación por larvas de primero y segundo instar (Figura 4.3), en el área de influencia de la trampa (100 ha) para verificar la presencia de un brote de esta plaga y se determinó el instar larvario.

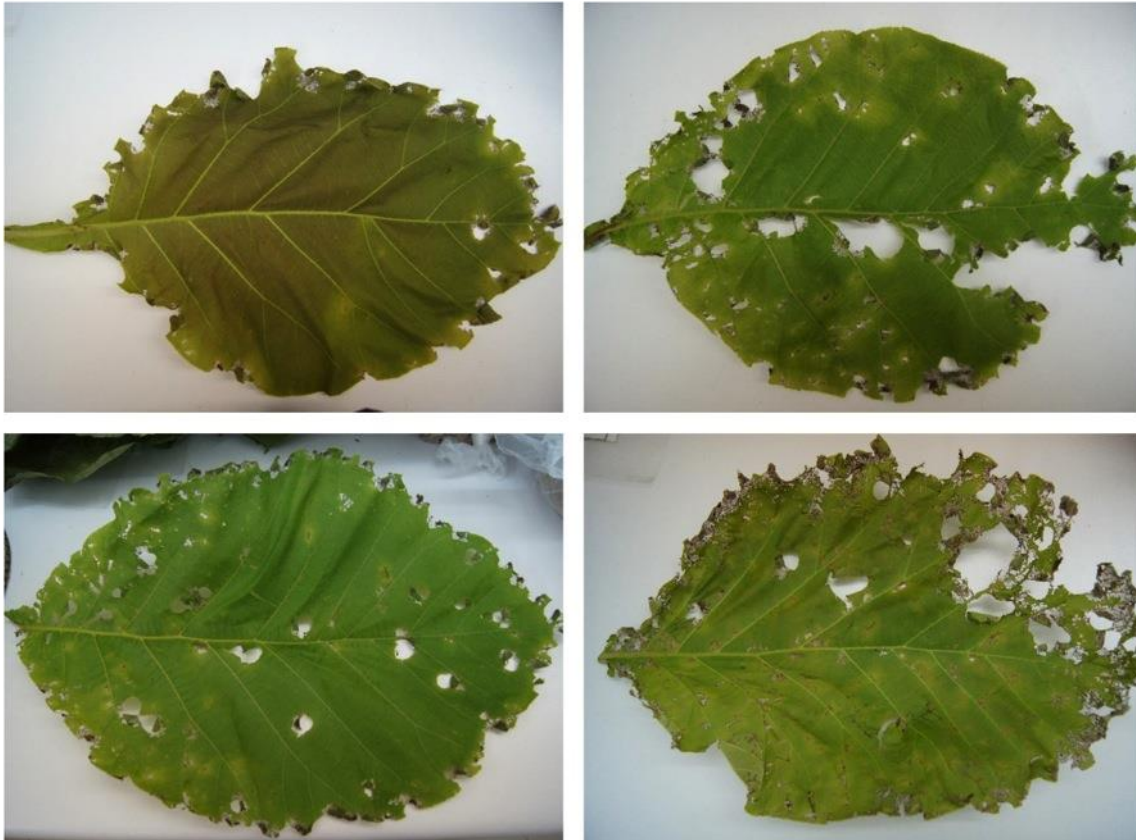


Figura 4.3. Hojas de teca defoliadas por larvas de primer y segundo estadio de *H. puera*, el patrón de defoliación ocurre desde los bordes al centro de la hoja.

4.2.4. Dinámica poblacional y detección temprana de brotes epicéntricos

Con el número total de individuos colectados por semana en todas las trampas, se determinó la dinámica poblacional en las dos regiones evaluadas durante 2013 y 2014. Se realizó un análisis de correlación entre los factores ambientales (precipitación y temperatura) y los datos de trapeo por cada región estudiada. Los datos climáticos se obtuvieron de las estaciones remotas de Edzná en Campeche y de San Pedro en

Tabasco, estas estaciones automáticas se encuentran a pocos kilómetros de ambas plantaciones.

4.3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.3.1 Respuesta al tipo de luz

La trampa con luz UV sin filtro fue la que más adultos de *H. puera* capturó en los 3 días que estuvo instalada (n=133), seguida de la trampa con luz UV con filtro (n=34) y finalmente la trampa con luz blanca (n=8), existieron diferencias significativas en el número de adultos capturados según el tipo de luz ($P=0.0003$, $\alpha=0.05$) (Figura 4.4). Por lo que se decidió utilizar focos fluorescentes de luz UV sin filtro de 350 nm en las trampas de luz automatizadas para los estudios de detección temprana y dinámica poblacional.

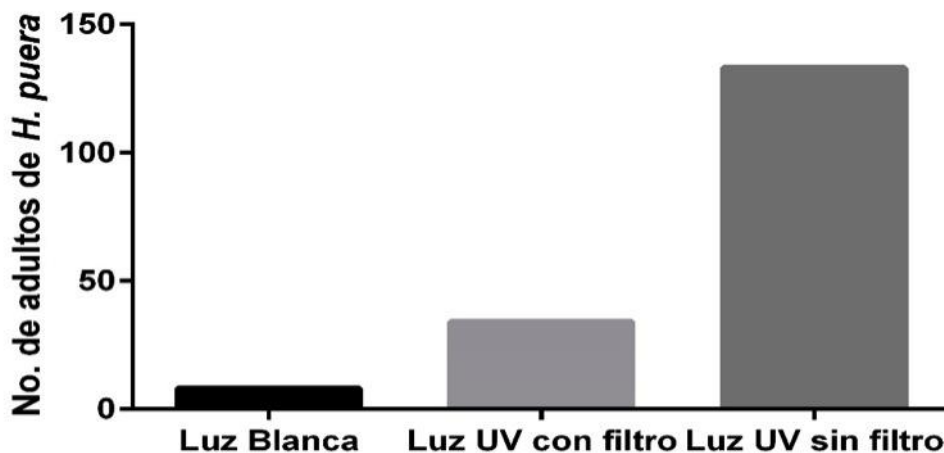


Figura 4.4. Total de adultos de *H. puera* capturados durante tres noches en trampas con diferentes tipos de luz en una plantación de tecla en Campeche.

4.3.2 Dinámica poblacional

4.3.2.1 Aumento de las poblaciones de *H. puera*

En la plantación de tecla ubicada en Balancán, Tabasco, en el año 2013 se detectaron dos picos poblacionales de *H. puera*, el primero de mayor densidad y más importante se

detectó entre la primera y tercera semana de julio (n= 248) y el segundo pico entre la última semana de agosto y la segunda semana de septiembre (n= 43) (Figura 4.5).

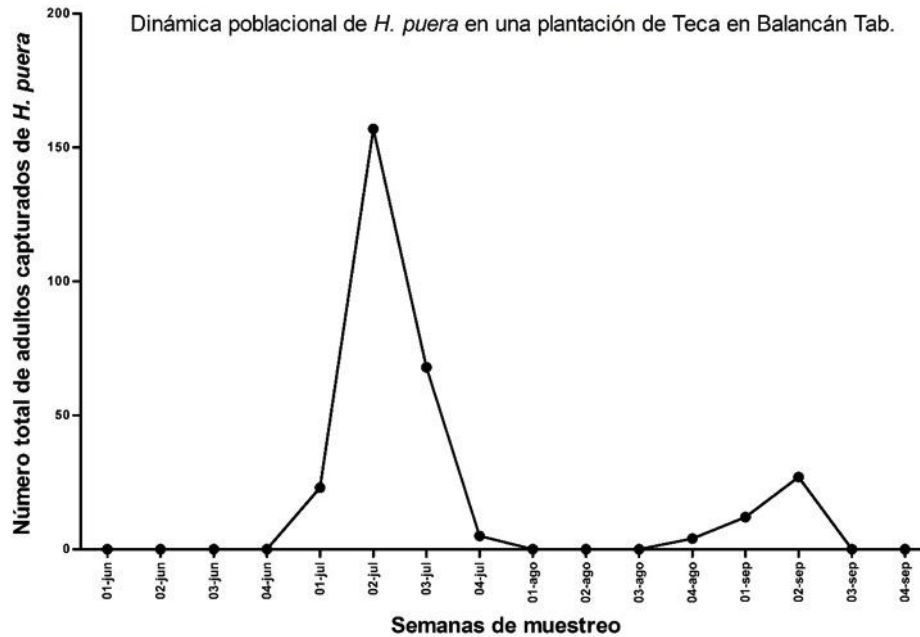


Figura 4.5. Dinámica poblacional de *H. puera* en plantaciones de teca en Balancán, Tabasco. 2013.

En la misma plantación de Balancán, Tabasco durante el año 2014, las primeras capturas de *H. puera* ocurrieron durante la segunda semana de junio, tres semanas antes que en el 2013, nuevamente este primer arribo de palomillas ocurrió dos semanas después de la emisión del nuevo follaje de la teca, que en esta ocasión se presentó entre la última semana de mayo y la primera de junio. En ese año de 2014, se presentaron dos picos poblacionales, el primero entre la segunda semana de junio y la tercera semana de julio (n= 139) y el segundo entre la cuarta semana de agosto y la tercera semana de septiembre (n= 29) (Figura 4.6).

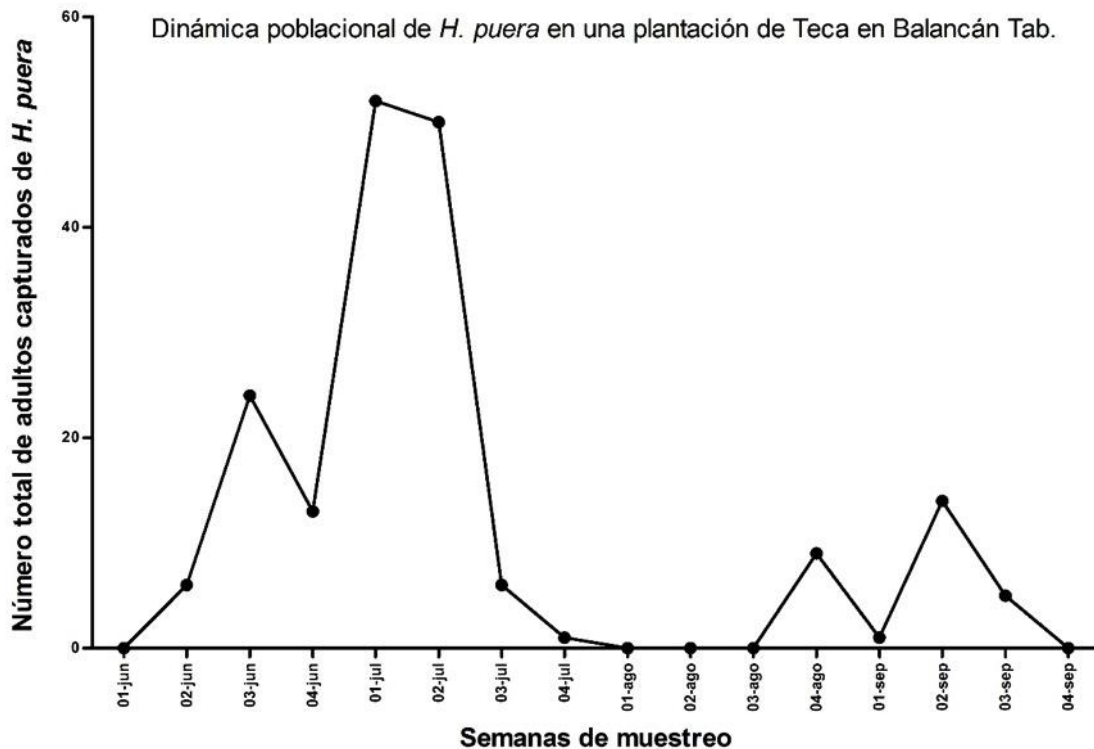


Figura 4.6. Capturas de adultos de *H. puera* durante en Balancán, Tabasco. 2014.

En la plantación ubicada en el Valle de Edzná en Campeche también se presentaron dos picos poblacionales durante el 2013. El primero entre la primera y tercera semana de junio con el mayor número de capturas ($n= 482$) y el siguiente en la primera semana de septiembre ($n= 249$) (Figura 4.7). Estos picos poblacionales estuvieron relacionados con la emisión de nuevo follaje.

En el 2014, la red de monitoreo ubicada en Valle de Edzná, Campeche, se retiró a un mes de haberse instalado debido al hurto de las trampas, por lo que solo se tuvieron datos del mes de junio, sin embargo, durante este periodo se logró identificar el arribo de los primeros brotes de *H. puera* durante la primera semana de junio, alcanzando su máximo pico en la segunda semana de ese mismo mes ($n= 215$) (Figura 4.8). Este comportamiento de la población fue igual que el 2013,

nuevamente el periodo de arribo de los adultos de *H. puera* ocurrió entre una y dos semanas después de la re-brotación del follaje de los árboles.

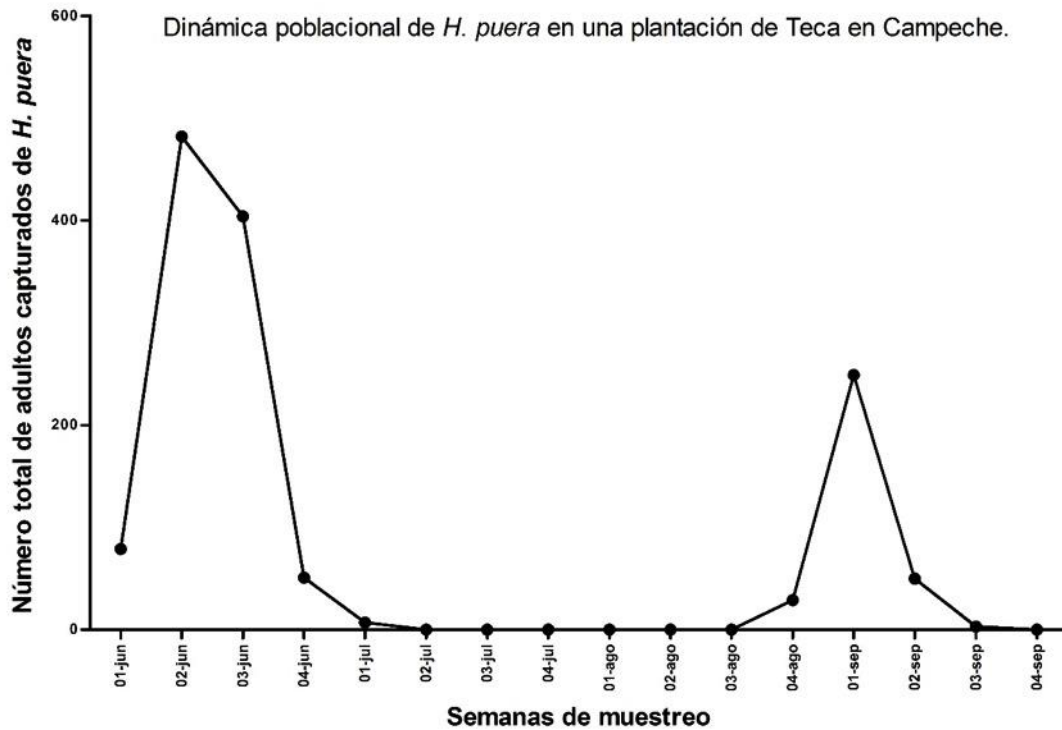


Figura 4.7. Dinámica poblacional de *H. puera* en Valle de Edzná, Campeche. 2013.

De manera general, se observa que el número de adultos capturados por semana fue mayor en la plantación de teca de Valle de Edzná, Campeche, sitio donde las infestaciones por *H. puera* han sido recurrentes desde el 2010 y han aumentado su intensidad desde ese año, lo que se ve reflejado en el mayor número de adultos capturados, en comparación con la plantación de Balancán, Tabasco, en la que de acuerdo con observaciones en el campo se detectó la presencia de este defoliador de la teca *H. puera* por primera vez en el año 2012.

En la figura 4.9, se muestran los promedios de captura de 2013 y 2014 de todas las trampas instaladas en ambas localidades. Sin embargo, en la plantación del Valle de

Edzná, Campeche hubo un mayor número de palomillas capturadas, lo que se asoció con infestaciones más severas que lo ocurrido en la plantación de Balancán, Tabasco.



Figura 4.8. Monitoreo de *H. puera* en Valle de Edzná, Campeche. Junio de 2014.

En ambas plantaciones y en los 2 años del estudio, la aparición de *H. puera* coincidió con la emisión del nuevo follaje por parte de los árboles de teca. Por ejemplo, en Balancán, Tabasco, ocurrió entre la tercera y cuarta semana de junio y en el Valle de Edzná en Campeche, entre la tercera y cuarta semana de mayo, habiendo una diferencia de un mes entre ambas regiones. Estos resultados concuerdan con los reportados por Vaishampayan *et al.* (1987) y Sajeev (1999) en estudios realizados en la India, donde ambos autores encontraron que los primeros ataques del defoliador ocurren entre una y dos semanas después de la emisión de las nuevas hojas de la teca, además, también identifican entre dos y tres picos poblacionales separados entre sí y que están relacionados con la emisión del follaje de los árboles de teca.

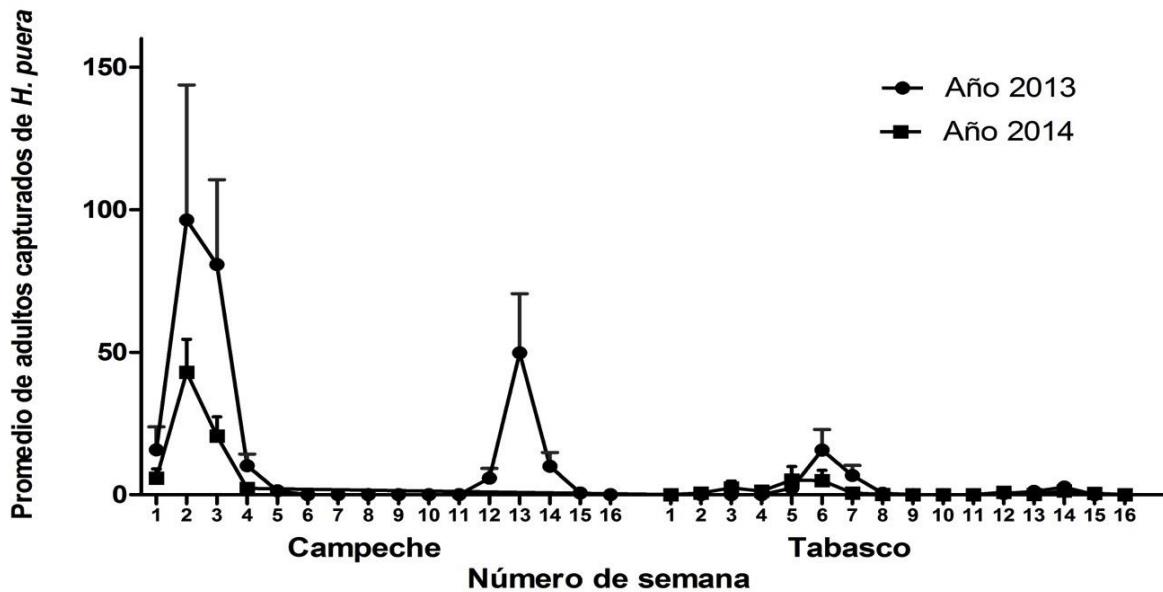


Figura 4.9. Dinámica poblacional de *H. puera* entre los meses de junio a septiembre de los años 2013 y 2014 en plantaciones de teca en el Valle de Edzná, Campeche y en Balancán, Tabasco. En ambos estados, la semana 1 corresponde a la primera semana de junio y la 16 a la cuarta semana de septiembre de cada año.

4.3.2.2. Reducción de las poblaciones de *H. puera*

Las capturas de *H. puera* durante el 2013 en Balancán, Tabasco, disminuyeron en la última semana de julio y no se registraron capturas hasta la última semana de agosto. En ese mismo año, en Valle de Edzná, Campeche, los ataques comenzaron a reducirse en la segunda semana de julio y volvieron a presentarse en la última semana de agosto, en donde se presenta un segundo pico de actividad de la población en la primera semana de septiembre que concluye la cuarta semana de ese mismo mes.

En 2014 la presencia de *H. puera* disminuyó en Balancán, Tabasco, a partir de la última semana de julio y comenzó nuevamente en la última semana de agosto, presentándose un segundo pico poblacional que disminuyó en la tercera semana de septiembre. En este mismo año se observó la reducción de las capturas de *H. puera* en Valle de Edzná,

Campeche, a partir de la tercera semana de junio, sin embargo, debido a que se retiraron las trampas no se pudo comprobar la existencia de un segundo pico poblacional.

La disminución en la población de *H. puera* en las plantaciones de teca de ambas regiones, está relacionada con la sequía interestival o canícula, que se presenta de manera regular entre el 15 de julio y el 15 de agosto, tanto en Valle de Edzná, Campeche, como en Balancán, Tabasco. En la plantación ubicada en Campeche, en esa época los árboles de teca sufren defoliaciones parciales. En cambio, en Balancán, Tabasco, dado que las condiciones de humedad son mayores que en Campeche, los árboles no pierden el follaje pero no hay emisión de nuevos brotes y las hojas que se mantienen presentan una consistencia rugosa en las cuales las larvas de *H. puera* no pueden alimentarse, sobre todo en los primeros instares.

Después de la canícula ocurre una segunda brotación o flujo foliar en los árboles de teca, en este periodo se da el segundo pico poblacional del defoliador *H. puera*, sin embargo, en ambos sitios de estudio el segundo pico de la plaga es de menor severidad que en el primero.

No se encontró una correlación significativa ($p= 0.05$) entre las capturas de adultos de *H. puera* (Cuadro 4.1) y las variables climáticas temperatura promedio y precipitación en las dos regiones estudiadas (Cuadro 4.2).

Cuadro 4.1. Correlación entre las capturas de adultos de *H. puera* con trampas de luz y los parámetros ambientales durante 2013 y 2014 en una plantación de teca en Balancán, Tabasco.

Parámetro ambiental	Coeficiente de correlación (r)	
	2013	2014
Precipitación (mm)	-0.5805	-0.2806
Temperatura promedio (°C)	-0.0868	0.1214

Cuadro 4.2. Correlación entre las capturas de adultos de *H. puera* con trampas de luz y los parámetros ambientales durante 2013 en una plantación de teca en el Valle de Edzná, Campeche.

Parámetro ambiental	Coeficiente de correlación (r) 2013
Precipitación (mm)	0.046
Temperatura promedio (°C)	0.1046

Javerowouda y Krishna-Naik (2007) realizaron estudios de dinámica poblacional de *H. puera* en bosques naturales de teca en la región de Uttara Kannada en la India, utilizando trampas con luz de vapor mercurial en los años 2003-2004 y 2004-2005 y correlacionaron las capturas de adultos con datos climáticos como precipitación, temperatura y humedad relativa y encontraron una correlación positiva significativa con la precipitación.

En esta región de la India, se presenta el fenómeno del monzón, que consiste en lluvias intensas de manera ininterrumpida durante seis meses (tercera semana de marzo y primera semana de agosto), seguida de un periodo intenso de sequía de otros seis meses. Por el contrario Tanaka y colaboradores (2011), en un estudio realizado en una plantación de teca en Tailandia, determinaron que la presencia del defoliador de la teca *H. puera* está relacionada con el periodo de emisión y crecimiento de nuevos brotes de hojas, que en esa región ocurre dos veces al año, el primero de finales de marzo a principios de mayo y el segundo en julio, cabe señalar que las precipitaciones en este sitio son continuas durante este periodo y no hay presencia de sequía interestival. Estos resultados son semejantes a los obtenidos en las plantaciones de Balancán, Tab. y las del el Valle de Edzná, Camp.

Vaishampayan y colaboradores (1987) realizaron un estudio de 8 años de la dinámica poblacional y migraciones del defoliador de la teca y su relación con la presencia del monzón en el estado de Madhya Pradesh en la India, las capturas las realizaron

mediante dos tipos de trampas: luz con focos de vapor de mercurio y tubos fluorescentes UV, sin embargo, utilizaron solamente una trampa por cada tipo de foco.

4.3.2.3 Detección temprana de brotes epicéntricos de *Hyblaea puera*

En la plantación de teca situada en Balancán, Tabasco, se detectó, en cuatro de las 10 trampas instaladas, el primer ataque de poblaciones epicéntricas en el mes de julio de 2013. En el segundo pico poblacional, entre la segunda semana de agosto y la segunda de septiembre, se capturaron adultos en cinco trampas (Figura 4.10). Durante 2014, los brotes de las palomillas del primer pico poblacional se detectaron entre la segunda semana de junio y la tercera semana de julio en las trampas 2, 4 y 6 y durante el segundo pico poblacional en las trampas 7 y 8 (Figura 4.11). Las capturas de adultos en diferentes trampas indican que los ataques epicéntricos no siguen un patrón establecido y que las palomillas pueden arribar a cualquier punto de la plantación.

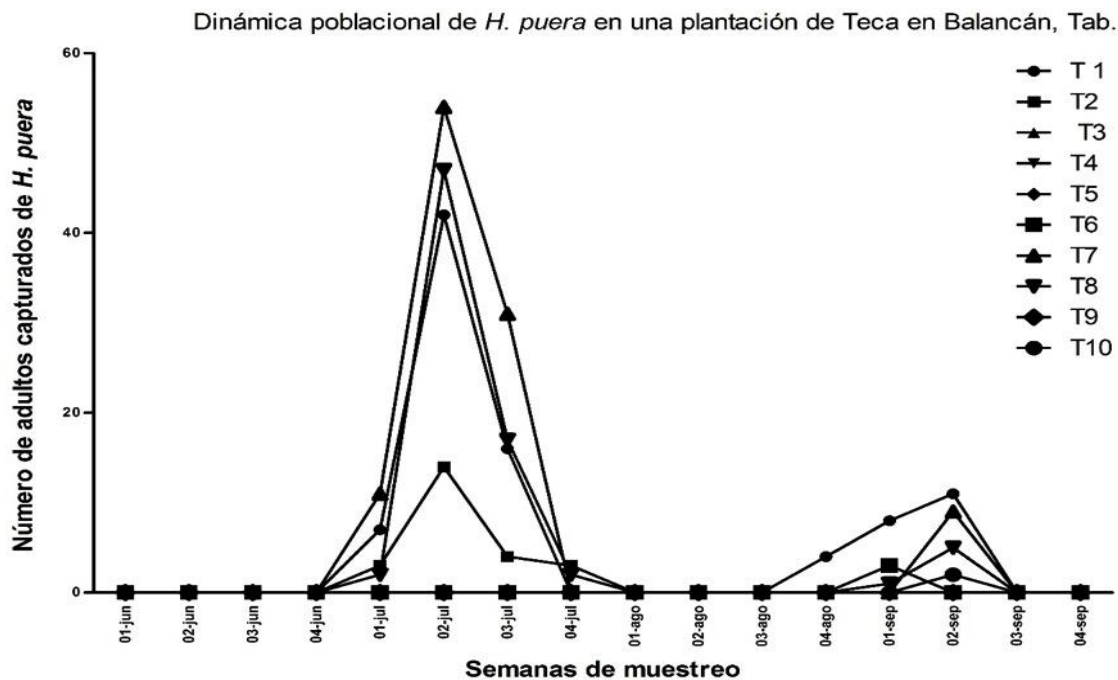


Figura 4.10. Captura de adultos por trampa en 2013 en Balancán, Tab., las capturas correspondieron a las trampas 1, 2, 7 y 8.

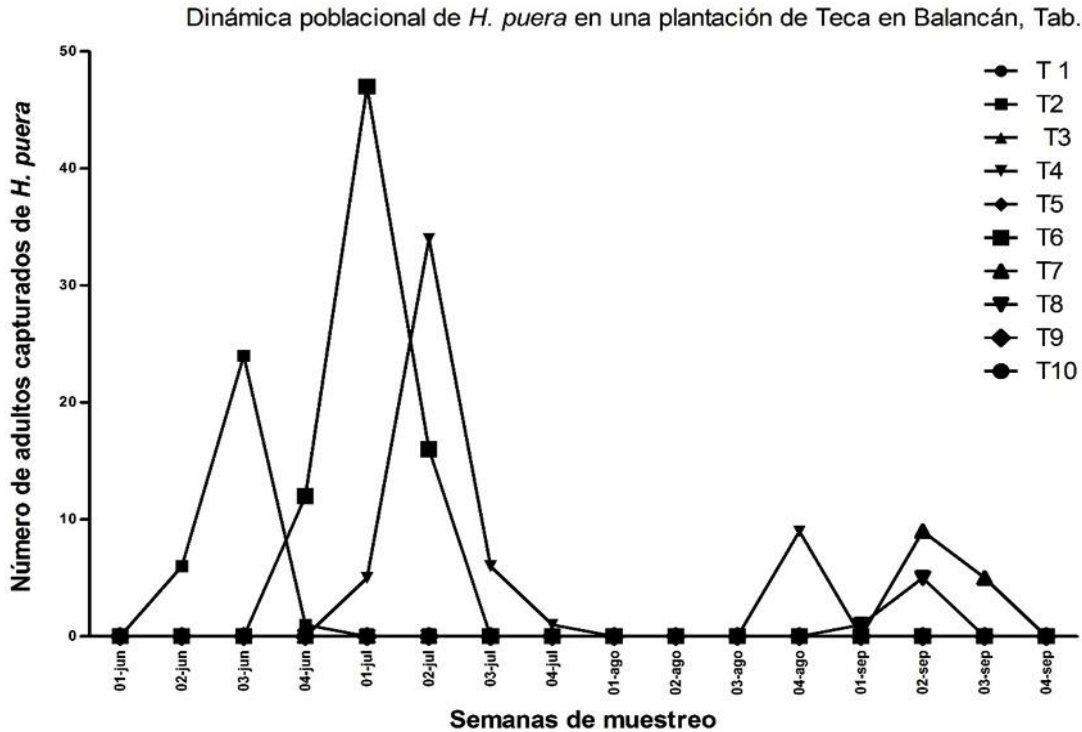


Figura 4.11. Captura de adultos de *H. puera* por trampa en 2014 en Balancán, Tabasco, las capturas correspondieron a las trampas 2, 4, 6, 7 y 8.

En la plantación de teca ubicada en el Valle de Edzná, Campeche, la llegada de la población epicéntrica se detectó desde la primera hasta la cuarta semana de junio de 2013, en cada una de las cinco trampas colocadas durante el primero y segundo pico poblacional (Figura 4.12). En el mes de junio de 2014 se registraron capturas de *H. puera* en cuatro de las cinco trampas (Figura 4.13).

En los dos sitios de estudio se buscaron signos de defoliación (Figura 4.14) en el área de influencia de la trampas con captura y se encontraron larvas de primer y segundo instar. El número promedio de larvas por hoja en la plantación ubicada en el Valle de Edzná en Campeche fue de 27.86 larvas por hoja y en la plantación de Balancán, Tabasco fue de 5 larvas por hoja.

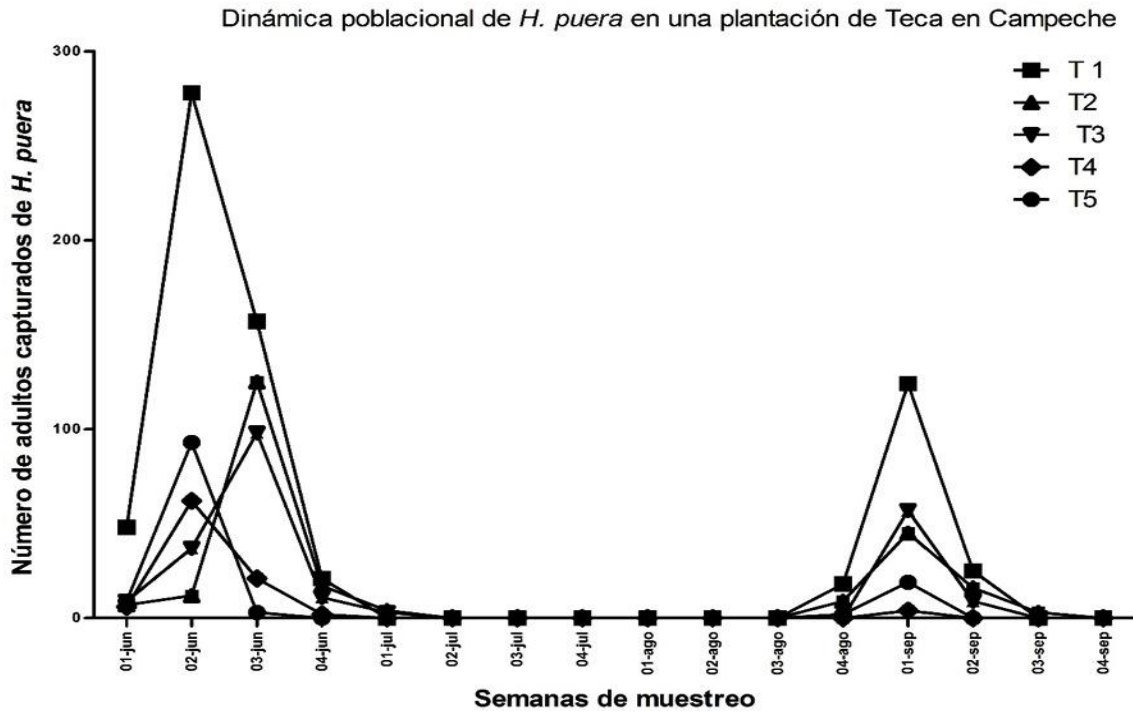


Figura 4.12. Captura de adultos por trampa en 2013 en el Valle de Edzná en Campeche, Campeche.

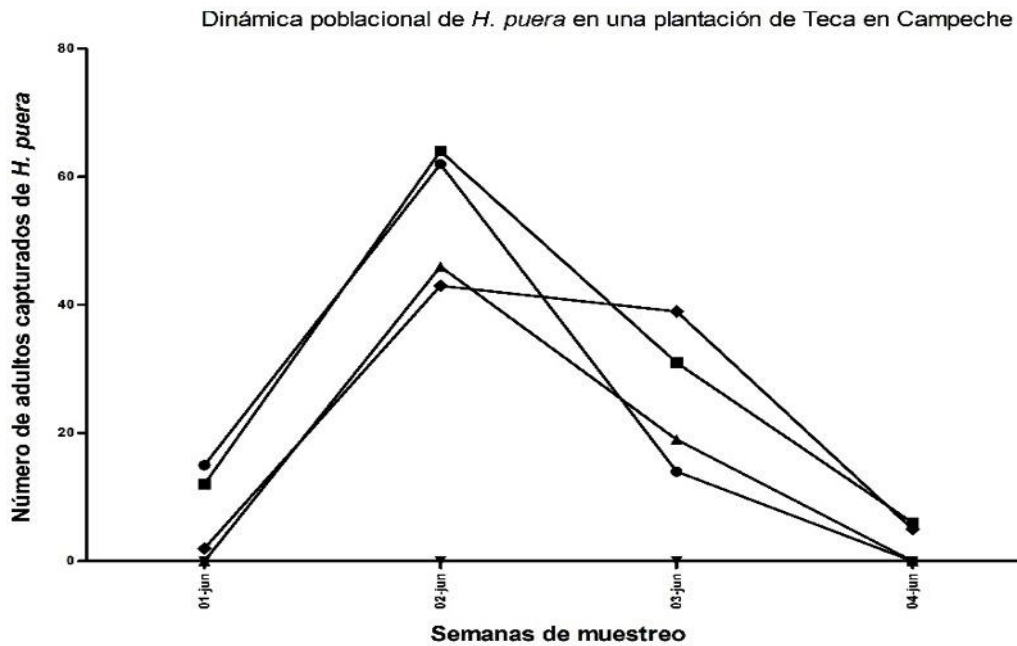


Figura 4.13. Captura de adultos por trampa en 2013 en el Valle de Edzná,



Figura 4.14. Signos de defoliación una semana después de un ataque epicéntrico de *H. puera* en una plantación de teca en Balancán, Tabasco.

En las plantaciones de teca de Tabasco y Campeche se encontró que las trampas capturaron a los adultos que forman las poblaciones epicéntricas una semana antes de encontrar los primeros signos de defoliación. Estos resultados permitieron a los encargados de ambas plantaciones de teca realizar aplicaciones de spinetoram sobre larvas de primero, segundo y tercer instar de *H. puera* en el 2013 y en el 2014, con lo que se evitó el surgimiento de la población epidémica de *H. puera*.

El patrón de los ataques epicéntricos de *H. puera* es de forma agregada, formando manchones de diferente tamaño. En la plantación ubicada en el Valle de Edzná, Campeche, se registraron brotes epicéntricos de hasta 5 ha; mientras que en Balancán, Tabasco, el brote más grande ocurrió en una superficie de 2.5 ha, estos brotes dentro

de las plantaciones pueden estar separados varios kilómetros entre uno y otro. La diferencia entre el tamaño de los brotes entre las dos plantaciones está relacionado con la densidad de la plaga en las dos regiones.

Estudios basados en la distribución espacio/temporal de *H. puera* en Nilambur, India (Chandrasekhar, 2005), indican que la presencia de poblaciones epicéntricas no es una constante en el número y tamaño de éstos en todos los años, aun cuando las condiciones ambientales sean muy similares entre un año y otro.

La tendencia de agregación de las poblaciones es una característica que se ha reconocido en varias especies de insectos que se presentan en forma de brotes de la plaga (Cappuccino, 1995). En el caso de *H. puera*, la aparición de infestaciones severas, de varios miles de larvas por árbol, ocurre de manera repentina, sin existir una población que se desarrolle de menor a mayor número en el sitio de ataque. Esta característica indica que las infestaciones del defoliador de la teca son iniciadas por adultos que migran desde el exterior al interior de las plantaciones.

Vaishampayan *et al.* (1987) registró migraciones de *H. puera* hasta 30 km en bosques naturales de teca en Madhya Pradesh, India. Nair y Sudheendrakumar (1986) demostraron la evidencia de desplazamientos de las palomillas de *H. puera* en distancias de entre 1 y 5 km dentro de las plantaciones de teca en Kerala, India.

Estas poblaciones que inician los ataques epicéntricos están conformadas por machos y hembras de la palomilla (Sajeev, 1999). Sin embargo, en las capturas de realizadas en las plantaciones de teca de Tabasco y Campeche, se detectó que las palomillas colectadas en las trampas y que forman el brote epicéntrico, el porcentaje de hembras fue mayor (68%) que el de los machos (32%), aun cuando la proporción sexual registrada en pupas colectadas en campo llevadas al laboratorio es cercana a 1:1 (ver capítulo 2).

Mediante disecciones en laboratorio del material colectado en trampas, se comprobó que la mayoría de las hembras se encontraban fecundadas, lo que indica que el

apareamiento ocurrió antes de que arribaran a las plantaciones. Esta característica es la primera vez que se reporta en la literatura para *H. puera*.

La instalación de la red de monitoreo permitió identificar los sitios donde hubo ataques de poblaciones epicéntricas que llegaban desde fuera de las plantaciones.

La elección de un sistema de trapeo automatizado podrá permitir realizar colectas con baja intervención humana, salvo las ocasiones en que se revisa y toma el registro de capturas, además el uso del panel solar como fuente de energía permite la instalación del sistema de trapeo en áreas sin ninguna infraestructura.

El monitoreo con trampas de luz en sitios permanentes, también ha sido utilizado para realizar evaluaciones en periodos largos, en relación con el surgimiento de brotes de plagas, sobre todo de palomillas defoliadoras en bosques en Europa, ya que al comparar las capturas con datos climáticos, se han podido detectar cambios en la respuesta de las especies, conforme aumenta la temperatura y disminuye la precipitación (Szentkirályi *et al.*, 1998).

En el campo de la entomología forestal se tienen que monitorear regiones completas y no hay infraestructura de ningún tipo, el abanico de posibilidades de uso de estas trampas automatizadas es muy grande, ya que se adaptan perfectamente a las necesidades de monitoreo en diversos ambientes, desde bosque templado-frío, áreas desérticas y zonas tropicales. La diversidad de especies de plagas que pueden ser capturadas con luz, abarca desde escarabajos ambrosiales, barrenadores de madera seca y verde; defoliadores, barrenadores de conos y semillas; así como barrenadores de brotes en bosques de coníferas; en bosques de hoja ancha contra gusanos de bolsa y barrenadores de madera; en áreas tropicales contra barrenadores de yemas y defoliadores. Leskó y colaboradores (1997) realizaron análisis simultáneos de capturas con trampas de luz y daño por plagas en bosques de Europa central y concluyeron que las capturas indican el surgimiento de brotes severos de insectos un año antes de que éstos ocurran.

4.4. CONCLUSIONES

-La mayor atracción de adultos de *H. puera* se logró con trampas de luz provistas de focos fluorescentes de luz UV sin filtro de 350 nm.

-Se diseñó una trampa con luz automatizada con panel solar que permitió la detección de las poblaciones epicéntricas de *H. puera*, una semana antes de encontrar los primeros signos de defoliación en campo y permitió que los encargados de las plantaciones de teca realizaran acciones de manejo y que evitaron el surgimiento de la población epicéntrica de la plaga.

-Existen dos picos poblacionales de *H. puera* en Balancán, Tabasco y en el Valle de Edzná, Campeche. El primero ocurre después del inicio de lluvias y la emisión del primer brote de hojas de los árboles de teca y el segundo después de la canícula.

-El primer pico poblacional de *H. puera* es más severo en los daños que provoca a la teca que el segundo pico.

-Las poblaciones epicéntricas de *H. puera* están conformadas por un mayor número de hembras (68%) que de machos (32%).

4.5. LITERATURA CITADA

Cappuccino, N. 1995. Novel approaches in the study of population dynamics. *In*: Population dynamics: new approaches and synthesis. Cappuccino, N., and P. Price (eds.). Academic Press Inc. London.

Chandrasekhar N., T. V. Sajeev, V. V. Sudheendrakumar, and M. Banerjee. 2005. Population dynamics of the Teak defoliator (*Hyblaea puera* Cramer) in Nilambur teak plantations using randomly amplified gene encoding primers (RAGEP). *BMC Ecology*. 5:1.

- Javaredowda, and L. Krishna-Naik. 2007. Rain fall-major contributing factor for outbreak of teak defoliator, *Hyblaea puera* Cramer. Karnataka J. Agric. Sci. 20(2): 238-240.
- Kovács, L. 1971. Data to the knowledge of Hungarian macrolepidopterans VI. Data with respect to migrating and spreading species. Anns. Hist. Nat. Mus. Nat. Hung. 63: 239-260.
- Leskó, K., F. Szentkirályi, and F. Kádár. 1997. Long-term fluctuation patterns (1962-1996) of lackey moth (*Malacosoma neustria* L.) populations in Hungary. Erdészeti Kutatások. 86-87: 207-220.
- Mohanadas, K. 1995. Population trend of *Hyblaea puera* Cramer (Lepidoptera: Hyblaeidae) in teak plantations and the factors influencing it. PhD. Thesis. Cochin University of Science and Technology, 159 p.
- Nair, K. S. S., V. V. Sudheendrakumar, R. V. Varma, and K. C. Chacko. 1985. Studies of the seasonal incidence of defoliators and the effect of defoliation on volume increment of teak. KFRI Research Report. 30 1-78.
- Nair, K. S. S., and K. Mohanadas. 1996. Early events in the outbreak of teak Caterpillar, *Hyblaea puera*. International Journal of Ecology and Environmental Sciences. 22: 271-279.
- Shimoda M., and K. Honda. 2013. Insect reactions to light and its applications to pest management. Appl. Entomol. Zool. 48: 413-421.
- Sajeev, T. V. 1999. Spatial dynamics of teak defoliator (*Hyblaea puera* Cramer) outbreaks: patterns and causes. PhD Thesis, Kerala Forest Research Institute, India. 97 p.
- Szentkirályi, F. 2002. Fifty-year-long survey in Hungary: T. Jermy's contributions to light-trapping. Act. Zool. Acad. Sci. Hung. 48: 85-105.

- Tanaka, K., C. Tantasirin, and M. Suzuki. 2011. Interannual variation in leaf expansion and outbreak of a teak defoliator at a teak stand in northern Thailand. *Ecol Appl.* 21(5): 1792-1801.
- Toth, J. 1973. Coleopteran species from forestry light trap network. *Erdészeti Kutatások.* 698: 155-160.
- Vaishampayan, S. M., Verma, R., and Bhowmick, A. K. 1987. Possible migration of teak defoliator *Hyblaea puera* Cramer (Lepidoptera: Hyblaeidae) in relation to the movement of the southwest monsoon as indicated by light trap catches. *Indian Journal of Agricultural Sciences.* 57: 41-46.

ANEXO 1. Proc Probit Spineteram

Sistema SAS

Procedimiento Probit

Historia de iteración para el estimador del parámetro

Iteración	Contracción	Loglikelihood	Intercept	Log10(DOSIS)
0	0	-232.89745	0	0
1	0	-107.10366	22.251272847	2.983378978
2	0	-90.161411	33.805006606	4.5383109545
3	0	-88.133816	39.456465604	5.3005340344
4	0	-88.078164	40.599632126	5.4546931564
5	0	-88.078111	40.636765701	5.4596967528
6	0	-88.078111	40.636765701	5.4596967528

Información modelo

Data Set	WORK.UNO
Variable eventos	MORT
Variable pruebas	N
Número de observaciones	7
Número de eventos	150
Núm. de pruebas	336
Nombre de la distribución	Normal
Log Likelihood	-88.07811085

Información del parámetro

Parámetro	Efecto
Intercept	Intercept
DOSIS	DOSIS

Última evaluación del negativo del gradiente

Intercept	Log10(DOSIS)
9.9289736E-6	-0.000094897

Última evaluación del negativo del hessiana

Intercept	Log10(DOSIS)
Intercept	89.362535272 -665.6812386
Log10(DOSIS)	-665.6812386 4963.010959

Sistema SAS

Procedimiento Probit

Algorithm converged.

Goodness-of-Fit Tests

Estadístico	Valor	DF	Pr > ChiSq
Chi-cuadrado de Pear	3.1236	5	0.6809
L.R. Chi-cuadrado	3.5807	5	0.6112

Perfil de covariable de respuesta

Niveles de respuesta	2
Número de valores de covariable	7

Since the chi-square is small ($p > 0.1000$), fiducial limits will be calculated using a t value of 1.96.

Tipo III Análisis de efectos

Efecto	DF	Chi-cuadrado de Wald	Pr > ChiSq
Log10(DOSIS)	1	125.3308	<.0001

Análisis del estimador del parámetro

Parámetro	DF	Estimación	Error estándar	95% Límite de confianza	Chi-cuadrado	Pr > ChiSq
Intercept	1	40.6368	3.6344	33.5134 47.7601	125.02	<.0001
Log10(DOSIS)	1	5.4597	0.4877	4.5039 6.4155	125.33	<.0001

Matriz de covarianza estimada

	Intercept	Log10(DOSIS)
Intercept	13.208967	1.771699
Log10(DOSIS)	1.771699	0.237837

Modelo Probit en términos de distribución de la tolerancia

MU	SIGMA
-7.4430445	0.18316036

Procedimiento Probit

Matriz de covarianza estimada para los parámetros de tolerancia

	MU	SIGMA
MU	0.000376	0.000009
SIGMA	0.000009	0.000268

Procedimiento Probit

Análisis Probit en Log10(DOSIS)

Probability	Log10(DOSIS)	95% Límites fiduciales	
0.01	-7.86914	-7.96750	-7.79733
0.02	-7.81921	-7.90806	-7.75375
0.03	-7.78753	-7.87049	-7.72597
0.04	-7.76370	-7.84230	-7.70499
0.05	-7.74432	-7.81944	-7.68786
0.06	-7.72782	-7.80003	-7.67323
0.07	-7.71335	-7.78305	-7.66036
0.08	-7.70040	-7.76789	-7.64879
0.09	-7.68862	-7.75413	-7.63825
0.10	-7.67777	-7.74150	-7.62851
0.15	-7.63288	-7.68956	-7.58781
0.20	-7.59720	-7.64880	-7.55495
0.25	-7.56658	-7.61431	-7.52628
0.30	-7.53909	-7.58378	-7.50009
0.35	-7.51362	-7.55594	-7.47537
0.40	-7.48945	-7.52997	-7.45147
0.45	-7.46606	-7.50528	-7.42790
0.50	-7.44304	-7.48144	-7.40426
0.55	-7.42003	-7.45803	-7.38018
0.60	-7.39664	-7.43470	-7.35526
0.65	-7.37247	-7.41103	-7.32906
0.70	-7.34700	-7.38652	-7.30100
0.75	-7.31950	-7.36053	-7.27027
0.80	-7.28889	-7.33205	-7.23559
0.85	-7.25321	-7.29937	-7.19466
0.90	-7.20832	-7.25884	-7.14255
0.91	-7.19747	-7.24914	-7.12989
0.92	-7.18569	-7.23862	-7.11610
0.93	-7.17274	-7.22709	-7.10090
0.94	-7.15827	-7.21426	-7.08389
0.95	-7.14177	-7.19966	-7.06444
0.96	-7.12239	-7.18257	-7.04154
0.97	-7.09856	-7.16162	-7.01332
0.98	-7.06688	-7.13389	-6.97569
0.99	-7.01695	-7.09036	-6.91620

Sistema SAS

Procedimiento Probit

Análisis Probit en DOSIS

Probability	DOSIS	95% Límites fiduciales	
0.01	1.35164E-8	1.0777E-8	1.59466E-8
0.02	1.51632E-8	1.23576E-8	1.76298E-8
0.03	1.63106E-8	1.34745E-8	1.87944E-8
0.04	1.72306E-8	1.4378E-8	1.97248E-8
0.05	1.8017E-8	1.51552E-8	2.05183E-8
0.06	1.87147E-8	1.5848E-8	2.12214E-8
0.07	1.93486E-8	1.64798E-8	2.18597E-8
0.08	1.99344E-8	1.70653E-8	2.24494E-8
0.09	2.04825E-8	1.76145E-8	2.30014E-8
0.10	2.10003E-8	1.81345E-8	2.35231E-8
0.15	2.32875E-8	2.04382E-8	2.58337E-8
0.20	2.52816E-8	2.24491E-8	2.78644E-8
0.25	2.71279E-8	2.43049E-8	2.97657E-8
0.30	2.89006E-8	2.60746E-8	3.16164E-8
0.35	3.06464E-8	2.78008E-8	3.3468E-8
0.40	3.24006E-8	2.95142E-8	3.53614E-8
0.45	3.41932E-8	3.12404E-8	3.73334E-8
0.50	3.60542E-8	3.30038E-8	3.94219E-8
0.55	3.80165E-8	3.48309E-8	4.16701E-8
0.60	4.01198E-8	3.67535E-8	4.4131E-8
0.65	4.24161E-8	3.88125E-8	4.68753E-8
0.70	4.49785E-8	4.10653E-8	5.00034E-8
0.75	4.79176E-8	4.35982E-8	5.36692E-8
0.80	5.14171E-8	4.65528E-8	5.8131E-8
0.85	5.58199E-8	5.01918E-8	6.38765E-8
0.90	6.18992E-8	5.51008E-8	7.2019E-8
0.91	6.34642E-8	5.63462E-8	7.41504E-8
0.92	6.52092E-8	5.7727E-8	7.65428E-8
0.93	6.71834E-8	5.92799E-8	7.92686E-8
0.94	6.9459E-8	6.10582E-8	8.24352E-8
0.95	7.21485E-8	6.3145E-8	8.62102E-8
0.96	7.54418E-8	6.568E-8	9.08781E-8
0.97	7.96971E-8	6.8925E-8	9.69804E-8
0.98	8.57276E-8	7.34707E-8	1.05756E-7
0.99	9.61724E-8	8.12154E-8	1.21283E-7

ANEXO 2. Pro probar Bt. var. aizawai

Procedimiento Probit

Historia de iteración para el estimador del parámetro

Iteración	Contracción	Loglikelihood	Intercept	Log10(DOSIS)
0	0	-232.89745	0	0
1	0	-118.53918	18.768242409	2.8744306482
2	0	-105.96346	27.485592241	4.2036480281
3	0	-104.96686	30.791767618	4.705612974
4	0	-104.95353	31.228902267	4.7718107075
5	0	-104.95353	31.235677312	4.7728352829
6	0	-104.95353	31.235677312	4.7728352829

Información modelo

Data Set	WORK.UNO
Variable eventos	MORT
Variable pruebas	N
Número de observaciones	7
Número de eventos	178
Núm. de pruebas	336
Nombre de la distribución	Normal
Log Likelihood	-104.9535312

Información del
parámetro

Parámetro	Efecto
Intercept	Intercept
DOSIS	DOSIS

Última evaluación del negativo del gradiente

Intercept	Log10(DOSIS)
-1.612418E-6	9.2089989E-6

Última evaluación del negativo del hessiana

	Intercept	Log10(DOSIS)
Intercept	104.9883557	-688.1608167
Log10(DOSIS)	-688.1608167	4516.2347393

Sistema SAS

Procedimiento Probit

Algorithm converged.

Goodness-of-Fit Tests

Estadístico	Valor	DF	Pr > ChiSq
Chi-cuadrado de Pear	5.4308	5	0.3656
L.R. Chi-cuadrado	7.0062	5	0.2202

Perfil de covariable de respuesta

Niveles de respuesta	2
Número de valores de covariable	7

Since the chi-square is small ($p > 0.1000$), fiducial limits will be calculated using a t value of 1.96.

Tipo III Análisis de efectos

Efecto	DF	Chi-cuadrado de Wald	Pr > ChiSq
Log10(DOSIS)	1	127.3106	<.0001

Análisis del estimador del parámetro

Parámetro	DF	Estimación	Error estándar	95% Límite de confianza	Chi-cuadrado	Pr > ChiSq
Intercept	1	31.2357	2.7744	25.7980 36.6733	126.76	<.0001
Log10(DOSIS)	1	4.7728	0.4230	3.9438 5.6019	127.31	<.0001

Matriz de covarianza estimada

	Intercept	Log10(DOSIS)
Intercept	7.697039	1.172836
Log10(DOSIS)	1.172836	0.178932

Modelo Probit en términos de distribución de la tolerancia

MU	SIGMA
-6.54447	0.20951907

Sistema SAS

Procedimiento Probit

Matriz de covarianza estimada para
los parámetros de tolerancia

	MU	SIGMA
MU	0.000419	0.000017
SIGMA	0.000017	0.000345

Sistema SAS

Procedimiento Probit

Análisis Probit en Log10(DOSIS)

Probability	Log10(DOSIS)	95% Límites fiduciales	
0.01	-7.03188	-7.14141	-6.95206
0.02	-6.97477	-7.07339	-6.90229
0.03	-6.93853	-7.03038	-6.87058
0.04	-6.91127	-6.99811	-6.84663
0.05	-6.88910	-6.97193	-6.82708
0.06	-6.87022	-6.94969	-6.81039
0.07	-6.85368	-6.93025	-6.79571
0.08	-6.83886	-6.91288	-6.78253
0.09	-6.82538	-6.89711	-6.77050
0.10	-6.81298	-6.88264	-6.75940
0.15	-6.76162	-6.82311	-6.71301
0.20	-6.72081	-6.77639	-6.67556
0.25	-6.68579	-6.73686	-6.64288
0.30	-6.65434	-6.70189	-6.61300
0.35	-6.62520	-6.67001	-6.58478
0.40	-6.59755	-6.64030	-6.55747
0.45	-6.57080	-6.61210	-6.53050
0.50	-6.54447	-6.58489	-6.50342
0.55	-6.51814	-6.55822	-6.47579
0.60	-6.49139	-6.53166	-6.44718
0.65	-6.46374	-6.50474	-6.41708
0.70	-6.43460	-6.47689	-6.38484
0.75	-6.40315	-6.44735	-6.34953
0.80	-6.36813	-6.41498	-6.30968
0.85	-6.32732	-6.37781	-6.26268
0.90	-6.27596	-6.33169	-6.20289
0.91	-6.26356	-6.32064	-6.18836
0.92	-6.25008	-6.30866	-6.17255
0.93	-6.23526	-6.29553	-6.15512
0.94	-6.21872	-6.28090	-6.13563
0.95	-6.19984	-6.26427	-6.11334
0.96	-6.17767	-6.24478	-6.08710
0.97	-6.15041	-6.22089	-6.05478
0.98	-6.11417	-6.18924	-6.01170
0.99	-6.05706	-6.13955	-5.94360

Sistema SAS

Procedimiento Probit

Análisis Probit en DOSIS

Probability	DOSIS	95% Límites fiduciales	
0.01	9.29214E-8	7.22095E-8	1.11671E-7
0.02	1.05982E-7	8.44519E-8	1.2523E-7
0.03	1.15204E-7	9.32446E-8	1.34718E-7
0.04	1.22667E-7	1.00437E-7	1.42355E-7
0.05	1.29093E-7	1.06678E-7	1.48908E-7
0.06	1.34827E-7	1.12281E-7	1.54742E-7
0.07	1.40063E-7	1.17423E-7	1.60062E-7
0.08	1.44924E-7	1.22215E-7	1.64996E-7
0.09	1.49491E-7	1.26732E-7	1.69629E-7
0.10	1.53823E-7	1.31027E-7	1.74022E-7
0.15	1.73132E-7	1.50275E-7	1.93637E-7
0.20	1.90193E-7	1.67343E-7	2.11078E-7
0.25	2.06163E-7	1.83291E-7	2.27573E-7
0.30	2.21645E-7	1.98662E-7	2.4378E-7
0.35	2.37027E-7	2.13791E-7	2.60145E-7
0.40	2.52609E-7	2.28928E-7	2.77032E-7
0.45	2.68659E-7	2.44287E-7	2.9478E-7
0.50	2.8545E-7	2.60081E-7	3.1375E-7
0.55	3.0329E-7	2.76552E-7	3.34358E-7
0.60	3.2256E-7	2.93992E-7	3.57127E-7
0.65	3.43765E-7	3.12794E-7	3.82756E-7
0.70	3.67622E-7	3.33511E-7	4.12253E-7
0.75	3.95229E-7	3.56985E-7	4.47171E-7
0.80	4.28416E-7	3.84608E-7	4.90139E-7
0.85	4.70633E-7	4.18975E-7	5.46163E-7
0.90	5.29712E-7	4.65916E-7	6.26776E-7
0.91	5.45059E-7	4.77927E-7	6.48096E-7
0.92	5.62237E-7	4.91289E-7	6.72129E-7
0.93	5.8175E-7	5.06373E-7	6.99642E-7
0.94	6.04345E-7	5.23718E-7	7.3177E-7
0.95	6.31187E-7	5.4417E-7	7.70299E-7
0.96	6.64251E-7	5.69148E-7	8.1827E-7
0.97	7.07281E-7	6.0133E-7	8.81505E-7
0.98	7.68829E-7	6.46789E-7	9.7343E-7
0.99	8.76888E-7	7.25188E-7	1.13868E-6