



# COLEGIO DE POSTGRADUADOS

INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS AGRÍCOLAS

CAMPUS MONTECILLO

POSGRADO EN FITOSANIDAD

ENTOMOLOGÍA Y ACAROLOGÍA

## **POTENCIAL DE PARASITOIDES PARA CONTROL DE PICUDO DEL CHILE *Anthonomus eugenii* (COLEOPTERA: CURCULIONIDAE)**

JUAN EDUARDO MURILLO HERNÁNDEZ

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

DOCTOR EN CIENCIAS

MONTECILLO, TEXCOCO, ESTADO DE MÉXICO

2018

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

En adición al beneficio ético, moral y académico que he obtenido durante mis estudios en el Colegio de Postgraduados, el que suscribe Juan Eduardo Murillo Hernández, Alumno (a) de esta Institución, estoy de acuerdo en ser participe de las regalías económicas y/o académicas, de procedencia nacional e internacional, que se deriven del trabajo de investigación que realicé en esta institución, bajo la dirección del Profesor J. Refugio Lomeli Flores, por lo que otorgo los derechos de autor de mi tesis Potencial de parasitoides para control de picudo del chile Anthonomus eugenii (Coleoptera:Curculionidae)

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

Montecillo, Mpio. de Texcoco, Edo. de México, a 23 de noviembre de 2018



Firma del  
Alumno (a)



Dr. J. Refugio Lomeli Flores  
Vo. Bo. del Consejero o Director de Tesis

La presente tesis titulada: **Potencial de parasitoides para control de picudo del chile *Anthonomus eugenii* (Coleoptera: Curculionidae)** realizada por el alumno: **Juan Eduardo Murillo Hernández** 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. J. REFUGIO LOMELI FLORES

ASESOR

DR. ESTEBAN RODRÍGUEZ LEYVA

ASESOR

DR. ALFONSO TORRES RUIZ

ASESOR

DRA. MA. TERESA SANTILLAN GALICIA

ASESOR

DRA. ERICA MUÑOZ REYES

Montecillo, Texcoco, Estado de México, 22 de noviembre de 2018.

# POTENCIAL DE PARASITOIDES PARA CONTROL DE PICUDO DEL CHILE

## *Anthonomus eugenii* (COLEOPTERA: CURCULIONIDAE)

Juan Eduardo Murillo Hernández, Dr.

Colegio de Postgraduados, 2018

### RESUMEN

Este trabajo tuvo como objetivo contribuir al inventario y distribución de las especies de parasitoides de *A. eugenii*, y determinar su potencial como agentes de control. Se realizaron 26 recolectas de frutos de chile infestados con *A. eugenii* en 14 estados de la República Mexicana. En estos frutos se determinó la posición y profundidad de las larvas de *A. eugenii*; también se estimó el parasitismo potencial de cuatro especies de parasitoides sobre *A. eugenii*, en cinco variedades de chile, considerando la longitud del ovipositor y la profundidad donde se desarrollan las larvas del huésped dentro de los frutos. De las recolectas de frutos se recuperaron 15,014 adultos de *A. eugenii* y 1,650 parasitoides de ocho especies: tres de Braconidae (*Bracon* sp., *Triaspis eugenii*, *Urosigalphus* nr. *mexicanus*), dos de Eulophidae (*Ceratoneura petiolata* y *Baryscapus* sp.), uno de Pteromalidae (*Jaliscoa hunteri*), Eupelmidae (*Eupelmus cushmani*), y Eurytomidae (*Eurytoma tylodermatis*). Las especies con mayor distribución fueron *J. hunteri* y *E. cushmani*. El porcentaje de parasitismo más elevado en campo se registró con *Triaspis eugenii* (40 %), *J. hunteri* (12.9 %), y *U. nr mexicanus* (10.7 %). También, se encontró que las larvas de *A. eugenii* están a menor profundidad en chile de árbol ( $1.42 \pm 0.05$  mm) y habanero ( $1.72 \pm 0.17$  mm), y a mayor en jalapeño ( $4.91 \pm 0.19$  mm), pimiento ( $4.89 \pm 0.35$  mm) y serrano ( $3.89 \pm 0.18$  mm). El parasitoide *Bracon* sp. 2 tuvo los porcentajes de parasitismo potencial más elevados en todas las variedades, seguido de *E. cushmani*, *Bracon* sp. 1 y *J. hunteri*. Para corroborar lo anterior se evaluó, bajo condiciones de laboratorio, el porcentaje de parasitismo de *J. hunteri* y *Bracon* sp. 2 sobre *A. eugenii* en chile de árbol, pimiento y jalapeño. El parasitismo obtenido en chile de árbol fue mayor, y *J. hunteri* logró parasitar 8.5% más larvas que *Bracon* sp. 2. En pimiento y jalapeño, *Bracon* sp. 2 obtuvo 10% y 7% más parasitismo en contraste con *J. hunteri*. Con este trabajo se demostró la influencia del tamaño del ovipositor y la talla de frutos en la accesibilidad de los huéspedes. No obstante, se deben considerar otros factores como capacidad de búsqueda, fecundidad, fertilidad, y longevidad de cada especie para la selección del mejor enemigo natural de *A. eugenii* para realizar ensayos en invernadero y campo.

**Palabras clave:** *Capsicum annuum*, plagas, enemigos naturales, control biológico.

# POTENTIAL OF PARASITOIDS FOR CONTROL OF PEPPER WEEVIL

## *Anthonomus eugenii* (COLEOPTERA: CURCULIONIDAE)

Juan Eduardo Murillo Hernández, Dr.

Colegio de Postgraduados, 2018

### ABSTRACT

The objective of this study was to contribute with information on the diversity and distribution of parasitoids of the pepper weevil and its potential as control agents. Twenty-six collections of infested chile fruits with pepper weevil larvae were carried out in 14 states of the Mexican Republic. A total of 15,014 pepper weevils emerged and 1,650 weevil parasitoids represented in eight species: three of Braconidae (*Bracon* sp., *Triaspis eugenii*, and *Urosigalphus* nr. *mexicanus*), two of Eulophidae (*Ceratoneura petiolata* and *Baryscapus* sp.), one of Pteromalidae (*Jaliscoa hunteri*), Eupelmidae (*Eupelmus cushmani*), and Eurytomidae (*Eurytoma tylodermatis*). The species with the greatest distribution were *J. hunteri* and *E. cushmani*. The highest percentage of parasitism in the field was obtained with *Triaspis eugenii* (40 %), *J. hunteri* (12.9 %), and *Urosigalphus* nr. *mexicanus* (10.7 %). Considering the length of the parasitoid ovipositor and the depth of the larvae of the chile weevil, in laboratory studies, the percentage of potential parasitism of four species of parasitoids on *A. eugenii* was estimated on five varieties of chili. *Bracon* sp. 2 showed the higher potential parasitism in all varieties, followed by *E. cushmani*, *Bracon* sp. 1 and *J. hunteri*. The larvae of *A. eugenii* were found at shallower depth in fruits of chile de arbol ( $1.42 \pm 0.05$  mm) and habanero ( $1.72 \pm 0.17$  mm), and a greater in jalapeño ( $4.91 \pm 0.19$  mm), pimienta ( $4.89 \pm 0.35$  mm) and serrano ( $3.89 \pm 0.18$  mm). To corroborate the above, the percentage of parasitism of *J. hunteri* and *Bracon* sp. 2 on *A. eugenii* in chile de árbol, pimienta and jalapeño was evaluated under laboratory conditions. The percentage of parasitisms of the two parasitoids in chile de arbol was higher, and *J. hunteri* managed to control 8.5% more larvae than *Bracon* sp. 2. In pimienta and jalapeño, *Bracon* sp. 2 obtained 10% and 7% more control in contrast to *J. hunteri*. This study provides evidence on the influence of the size of the ovipositor and the size of the fruits in the accessibility of the hosts. However, it is necessary to conduct more studies on host localization capacity, fecundity, fertility and longevity, to choose the best parasitoid for pepper weevil control.

**Key words:** *Capsicum annuum*, natural enemies, pests, biological control.

## **DEDICATORIA**

**A MI ESPOSA:** Guadalupe Astrid López Zavala, por todo el apoyo, cariño, amor y comprensión que me ha brindado en los momentos difíciles de esta etapa y en la vida. Gracias por ser y estar, a tu lado sin duda todo es más sencillo.

**A MIS HIJOS:** Eduardo Alejandro Murillo Michel y Luís Gerardo Murillo López, por ser mi mayor inspiración y motivación, ustedes me alientan a seguir adelante y dar lo mejor de mí. Espero algún día se sientan orgullosos de su padre, pero sobre todo deseo que me superen en todos los aspectos. Nunca se den por vencidos, siempre estaré para apoyarlos, los amo.

**A MÍ MADRE:** Bertha Alicia Hernández Cisneros, por la educación y las enseñanzas que me brindó, en gran medida ella es la responsable de que hoy sea quien soy.

**A MIS HERMANOS:** Rosa María Murillo H., Rubén Murillo H., Lucero Murillo H. y Ricardo Murillo H. porque siempre he contado con el apoyo, cariño y amistad de todos.

**A MIS SOBRINAS:** Vanesa, Gema, Ximena, M. Fernanda, María José, Valentina, Romina y Victoria.

**A TODA MI FAMILIA EN GENERAL.**

## AGRADECIMIENTOS

**Al Colegio de Postgraduados Campus Montecillo** por aceptarme como estudiante y darme la oportunidad de superarme personal y profesionalmente.

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

**A Koppert México** por proporcionar material biológico y por las facilidades brindadas para este estudio.

**A mi consejero el Dr. J. Refugio Lomeli Flores** por el apoyo brindado en la presente investigación; así como por el conocimiento transmitido y sobre todo por la confianza que me brindó desde la maestría.

**Al Dr. Esteban Rodríguez Leyva** por el todo su apoyo, por todo el conocimiento transmitido y sobre todo la confianza que me brindó desde la maestría.

**Al Dr. Alfonso Torres Ruiz** por aceptar participar en mi comité, por las facilidades proporcionadas para realizar parte de la investigación, así como por los excelentes comentarios realizados para el mejoramiento de este trabajo.

**A la Dra. Ma. Teresa Santillán Galicia** por aceptar participar en mi comité, por las facilidades proporcionadas para realizar parte de la investigación, así como por los excelentes comentarios realizados para el mejoramiento de este trabajo.

**A la Dra. Erica Muñoz Reyes** por aceptar participar en mi comité, por las facilidades proporcionadas para realizar parte de la investigación, así como por los excelentes comentarios realizados para el mejoramiento de este trabajo.

**Al M.C. Jorge M. Valdez Carrasco** por todos los consejos, asesoría y facilidades que me brindó en la investigación.

**A la Familia Zavala Miranda, en especial a María Guadalupe y Sandy Graciela** por todo el cariño y apoyo brindado.

**A todas las personas y amigos** que me apoyaron para realizar las colectas en campo.

**A María Trinidad Lomeli Flores** por todo el apoyo brindado en mi investigación.

**Al Dr. Rubén Darío Guevara Gutiérrez** de la UDG (CUCSUR) por ser en gran medida responsable de que haya decidido continuar con mis estudios.

**A MIS AMIGOS:** Oscar Arturo Barreto G., Víctor Manuel Almaraz, Cesar Trejo e Isis A. Jaimez por su apoyo y amistad dentro y fuera del laboratorio.

**Y a todas las personas que me brindaron su apoyo, cariño y confianza...**

## CONTENIDO

RESUMEN .....	iv
ABSTRACT.....	v
DEDICATORIA .....	vi
AGRADECIMIENTOS .....	vii
CONTENIDO.....	ix
LISTA DE CUADROS .....	xi
LISTA DE FIGURAS .....	xii
INTRODUCCIÓN GENERAL.....	1
OBJETIVOS.....	4
Objetivo general.....	4
Objetivos específicos .....	4
REVISIÓN DE LITERATURA.....	4
Descripción de <i>Anthonomus eugenii</i> .....	4
Ciclo de vida .....	6
Distribución geográfica .....	7
Daños y pérdidas económicas.....	8
Umbral de acción y control químico .....	9
CAPÍTULO 1. PARASITOIDES DEL PICUDO DEL CHILE EN MÉXICO .....	10
1.1 RESUMEN .....	10
1.2 ABSTRACT.....	11
1.3 INTRODUCCIÓN.....	12
1.4 MATERIALES Y MÉTODOS .....	13
1.4.1 Búsqueda de parasitoides del picudo del chile.....	13
1.5 RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	14
1.5.1 Búsqueda de parasitoides del picudo del chile.....	14
CAPÍTULO 2. PARASITISMO POTENCIAL DE CUATRO ESPECIES DE PARASITOIDES SOBRE <i>Anthonomus eugenii</i> EN CINCO VARIEDADES DE CHILE .....	30
2.1 RESUMEN .....	30
2.2 ABSTRACT.....	31
2.3 INTRODUCCIÓN.....	32
2.4 MATERIALES Y MÉTODOS .....	34
2.4.1 Parasitoides y frutos de chiles .....	34

2.4.2 Longitud de ovipositores.....	35
2.4.3 Profundidad y distribución de larvas de <i>A. eugenii</i> en frutos de chiles.....	36
2.4.4 Porcentaje de parasitismo potencial de parasitoides sobre <i>A. eugenii</i> y análisis estadístico .....	38
2.5 RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	39
2.5.1 Longitud de ovipositores.....	39
2.5.2 Profundidad y distribución de larvas de <i>A. eugenii</i> en frutos de chiles.....	40
2.5.3 Porcentaje de parasitismo potencial de parasitoides sobre <i>Anthonomus eugenii</i> .....	44
CAPÍTULO 3. PARASITISMO REAL DE DOS ESPECIES DE PARASITOIDES SOBRE <i>Anthonomus eugenii</i> (COLEOPTERA: CURCULIONIDAE) EN TRES VARIEDADES DE CHILE .....	47
3.1 RESUMEN .....	47
3.1 ABSTRACT.....	48
3.3 INTRODUCCIÓN.....	49
3.4 MATERIALES Y MÉTODOS .....	51
3.4.1 Insectos .....	51
3.4.2 Frutos de chile.....	51
3.4.3 Parasitismo y alimentación sobre el huésped de dos especies de parasitoides de larva de <i>A. eugenii</i> en tres variedades de chile. ....	52
3.4.4 Análisis estadístico .....	52
3.5 RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	53
3.5.1 Parasitismo y alimentación sobre el huésped de dos especies de parasitoides de larvas sobre <i>A. eugenii</i> en tres variedades de chile. ....	53
CONCLUSIONES GENERALES .....	57
LITERATURA CITADA .....	58

## LISTA DE CUADROS

<b>Cuadro 1.</b> <i>Anthonomus eugenii</i> y parasitoides que emergieron de frutos de chile recolectado en diferentes ambientes y regiones en México.....	27
<b>Cuadro 2.</b> Longitud de oviposidores de parasitoides de larva de <i>Anthonomus eugenii</i> .....	39
<b>Cuadro 3.</b> Profundidad a la que se localizaron las larvas de <i>Anthonomus eugenii</i> en frutos de chile de diferentes variedades. ....	43
<b>Cuadro 4.</b> Tamaños de frutos de chiles y distribución de larvas de <i>Anthonomus eugenii</i> en ellos. ....	43
<b>Cuadro 5.</b> Porcentaje de control de dos parasitoides sobre <i>Anthonomus eugenii</i> en tres variedades de chile. ....	54

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Vista lateral de los mucrones de la tibia posterior de <i>Anthonomus eugenii</i> (señalados con las flechas), macho (A) y hembra (B) (fotos tomadas de Eller 1995). .....	5
<b>Figura 2.</b> <i>Anthonomus eugenii</i> (♀) poniendo huevos en fruto de chile Jalapeño. ....	6
<b>Figura 3.</b> Ciclo de vida de <i>Anthonomus eugenii</i> (Torres-Ruiz y Rodríguez-Leyva 2012). ....	7
<b>Figura 4.</b> <i>Jaliscoa hunteri</i> , A) ♀, B) ♂. ....	17
<b>Figura 5.</b> <i>Eupelmus cushmani</i> ♀. ....	18
<b>Figura 6.</b> A) <i>Bracon</i> sp. ♀, B) Alas (anterior arriba y posterior abajo). ....	19
<b>Figura 7.</b> <i>Triaspis eugenii</i> , A) ♀, B) ♂. ....	20
<b>Figura 8.</b> <i>Urosigalphus</i> <i>U. nr. mexicanus</i> ; A) ♂, B) ♀ a la cual se le quitaron las alas para ver algunas estructuras del torax, C) abdomen ♀ vista dorsal, D) ala anterior ♀. ....	22
<b>Figura 9.</b> <i>Eurytoma tylodermais</i> A) ♀, B) ♂. ....	24
<b>Figura 10.</b> <i>Ceratoneura petiolata</i> ♀. ....	25
<b>Figura 11.</b> <i>Baryscapus hunteri</i> . A) ♀, B) ♂. ....	26
<b>Figura 12.</b> Ichneumonidae emergido de frutos de chile, A) ♀, B) ♂. ....	27
<b>Figura 13.</b> A) <i>Bracon</i> sp.1 y B) <i>Bracon</i> sp. 2. ....	35
<b>Figura 14.</b> Ovipositor de <i>Bracon</i> sp. 2, la línea roja ejemplifica la longitud que se consideró en cada medición. ....	36
<b>Figura 15.</b> Fruto de pimiento infestado con <i>A. eugenii</i> , disectado de manera vertical. ....	37
<b>Figura 16.</b> Fruto de pimiento infestado con <i>A. eugenii</i> , la línea roja ejemplifica la longitud que se consideró para determinar la profundidad de las larvas en cada variedad. ....	38
<b>Figura 17.</b> Porcentajes de parasitismo potencial sobre <i>Anthonomus eugenii</i> en cinco variedades de chile. Medias con letras iguales no difieren estadísticamente (Tukey $P \leq 0.05$ ). ....	46

## INTRODUCCIÓN GENERAL

*Anthonomus eugenii* Cano (Coleoptera: Curculionidae), el picudo del chile, es considerado como la plaga principal de cualquier variedad de chile cultivada, *Capsicum* spp. (Elmore *et al.* 1934; Bujanos 1993; Rodríguez-Leyva *et al.* 2007, 2012). Los daños que causa son provocados principalmente cuando los adultos se alimentan y ovipositan en yemas florales o frutos inmaduros, así como por el desarrollo de las larvas dentro de los frutos, lo que causa la abscisión de los mismos (Elmore *et al.* 1934; Seal y Schuster 1995; Toapanta *et al.* 2005). Esto ocasiona la disminución en producción, que puede ser del 30 al 90% si no se implementan medidas de control (Campbell 1924; Elmore *et al.* 1934; Goff y Wilson 1937; Velasco 1969; Riley y Sparks 1995).

El principal método de control de esta plaga son los insecticidas organosintéticos dirigidos a los adultos que se encuentran expuestos (Seal y Schuster 1995; Servín-Villegas *et al.* 2008), mientras que los estados inmaduros están protegidos dentro de los frutos y se dificulta su control. Algunos autores señalan que la integración de más herramientas de combate, específicamente, parasitoides de inmaduros dentro de un programa de manejo integrado de plagas (MIP), podría reducir las aplicaciones de insecticidas e incrementar los niveles de control (Mariscal *et al.* 1998; Rodríguez-Leyva *et al.* 2007, 2012).

La diversidad de parasitoides del picudo del chile en México incluye 11 especies pertenecientes a cinco familias de himenópteros (Pteromalidae, Eupelmidae, Eulophidae, Braconidae, Eurytomidae) (Mariscal *et al.* 1998; Rodríguez-Leyva *et al.* 2007, 2012); además, hace un par de años se descubrieron otros dos braconidos (*Bracon* spp.) que también pueden desarrollarse sobre *A. eugenii* (Julio César Velázquez González, Koppert México, comunicación personal), con los que se suma un total de 13 especies.

En varios de los trabajos de exploración que se realizaron en México para la búsqueda de enemigos naturales de *A. eugenii* anteriores al presente estudio, esta acción se limitó a unas regiones específicas con condiciones ambientales que no son generalizadas para todas las zonas productoras en el país; por ejemplo, Nayarit (Mariscal *et al.* 1998), Sinaloa (Cortez *et al.* 2005; Pérez-Pérez *et al.* 2013), y en otros la búsqueda fue más extensa (Rodríguez-Leyva *et al.* 2007, 2012). A pesar de ello, se puede señalar que no se ha explorado la diversidad de ambientes en la República Mexicana donde posiblemente se podrían encontrar otros enemigos naturales con potencial para el control biológico de esta plaga. Por otro lado, recientemente en Canadá se realizó un trabajo de este tipo y se reportaron siete especies de parasitoides sobre picudo, algunos de ellos no encontrados en México como son: *Nealiolus* sp. y *Eupelmus pulchriceps* (Labbé *et al.* 2018). Por lo tanto, se considera que la diversidad de enemigos naturales de *A. eugenii* podría aumentar conforme se exploren nuevas regiones.

Del total de especies de parasitoides del picudo del chile *Jaliscoa hunteri*, (Crawford) (Hymenoptera: Pteromalidae), es el parasitoide que se encuentra con mayor frecuencia y abundancia atacando a *A. eugenii* de manera natural en EE.UU. (Riley y Schuster 1992) y México (Rodríguez-Leyva *et al.* 2007, 2012). El parasitismo reportado en campo va de 2 a 50% en frutos de chile jalapeño y 20% en frutos de pimiento recolectados del suelo (Schuster *et al.* 1988; Cortez *et al.* 2005). Además, Riley y Schuster (1992) no reportaron parasitismo en frutos de chile con diámetros mayores a 2.5 cm. Estas diferencias en los porcentajes de parasitismo de *J. hunteri* en campo han generado interés por conocer la razón de esa variación, así como por tratar de entender por qué todas las especies de parasitoides presentan baja eficiencia para controlar a *A. eugenii*. Se ha considerado que esto podría estar relacionado principalmente con dos variables, el tamaño del ovipositor y el espesor de la pared del fruto.

La primera, el tamaño del ovipositor de los parasitoides, porque se ha comprobado que en otras especies, como en parasitoides de moscas de la fruta, existe una correlación positiva entre la longitud del ovipositor y el parasitismo (Sivinski *et al.* 2001 y Sivinski y Aluja 2012). La segunda tiene que ver con el tamaño y espesor de las estructuras de fructificación. Con la domesticación de los cultivos, y las prácticas milenarias de selección, siempre se ha buscado el incremento del tamaño de estructuras de plantas como los frutos y semillas, que puede inferir negativamente en la accesibilidad que tienen los enemigos naturales sobre sus huéspedes (Chen y Welter 2005; Wang *et al.* 2009; Chen *et al.* 2015). Además, estas variables no solo podrían estar condicionando el porcentaje de parasitismo como tal, sino también el porcentaje de control en su conjunto (parasitismo + alimentación sobre el huésped). Este último caso se refiere en particular a las especies de parasitoides sinovigénicas, como es el caso de *J. hunteri*, pues se podrían estar influyendo directamente sobre la posibilidad de eliminar el huésped mediante alimentación (Rodríguez Leyva *et al.* 2000); por ejemplo, algunas especies sinovigénicas pueden eliminar más del 20% de sus huéspedes por alimentación y más del 50% por parasitismo (Chien *et al.* 1991; Cerón-González *et al.* 2014). A pesar de todas estas interrogantes, se carece de información que contribuya a entender como estas dos variables afectan el desempeño de los parasitoides para controlar a *A. eugenii*. En este trabajo se abordaron aspectos teóricos y prácticos para buscar más diversidad de especies de parasitoides de *A. eugenii* en México, y para entender el potencial y las limitantes ecológicas para considerar cuál es el enemigo natural que se pudiera potencialmente formar parte de la táctica de control biológico de *A. eugenii*.

## **OBJETIVOS**

### **Objetivo general**

Mejorar el conocimiento de la diversidad de especies de parasitoides del picudo del chile, su distribución en México y su potencial como agentes de control.

### **Objetivos específicos**

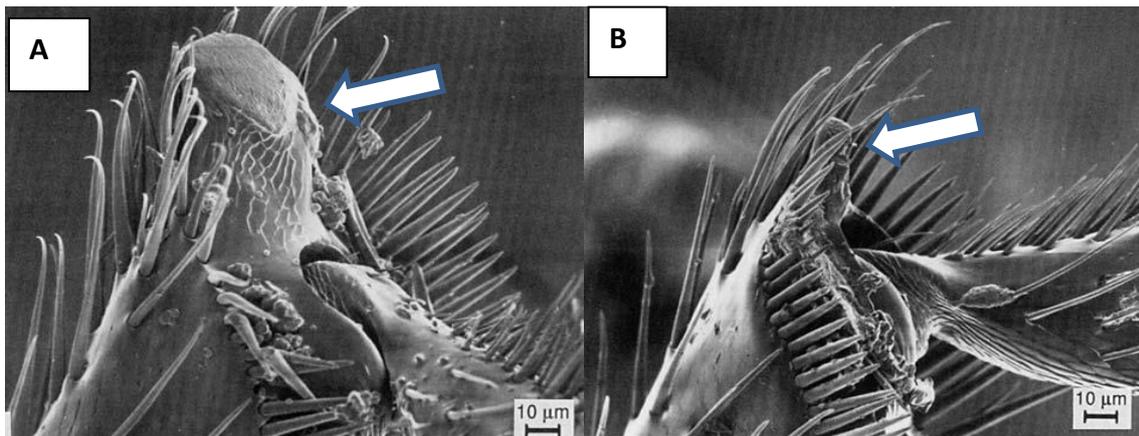
- 1.- Contribuir al conocimiento de la diversidad de especies de parasitoides del picudo del chile en México.
- 2.- Estimar el porcentaje de parasitismo potencial de cuatro especies de parasitoides de larva sobre *A. eugenii* en cinco variedades de chile.
- 3.- Determinar el porcentaje de control (parasitismo + alimentación sobre el huésped) de dos especies de parasitoides de larvas sobre *A. eugenii* en tres variedades de chile.

## **REVISIÓN DE LITERATURA**

### **Descripción de *Anthonomus eugenii***

Los adultos de *Anthonomus eugenii* Cano (Coleoptera: Curculionidae) (Figura 2) miden aproximadamente 3 mm de largo y 1.5 a 1.8 mm ancho. El tamaño varía según el alimento que las larvas hayan tenido disponible para su desarrollo. Es de color negro, con escamas pequeñas amarillentas o blanquecinas. Cabeza gruesa, convexa, con punciones escasas y poco profundas. Sus ojos son redondos y convexos; las antenas son relativamente largas, acodadas, delgadas, con la clava oblonga. Su rostro o pico mide aproximadamente la mitad de la longitud de su cuerpo, con mandíbulas ubicadas en su extremo distal. Protórax no muy convexo, fuerte y densamente punteado; un tercio más ancho que largo, ligeramente estrecho detrás, base truncada; ápice truncado, dos tercios tan ancho como la base. Escutelo pequeño,

oblongo-ovalado. Élitros fuertemente punteados-estriados, ovales y convexos (Elmore *et al.* 1934; Goff y Wilson 1937; Capinera 2005). Se pueden diferenciar sexualmente mediante algunas características, por ejemplo: el rostro de la hembra es más delgado y un poco más largo que el del macho, pero suele ser menos perforado y más brillante. Las antenas se insertan un poco más lejos de la punta en el macho. El abdomen del macho muestra ocho segmentos tergaes, el pygidium no está completamente cubierto por propygidium como en la hembra. Sin embargo, la característica más útil para la diferenciación es el mucrón de las tibias de las patas posteriores, en los machos es de mayor tamaño en relación con el de las hembras (Figura 1) (Elmore *et al.* 1934; Eller 1995).



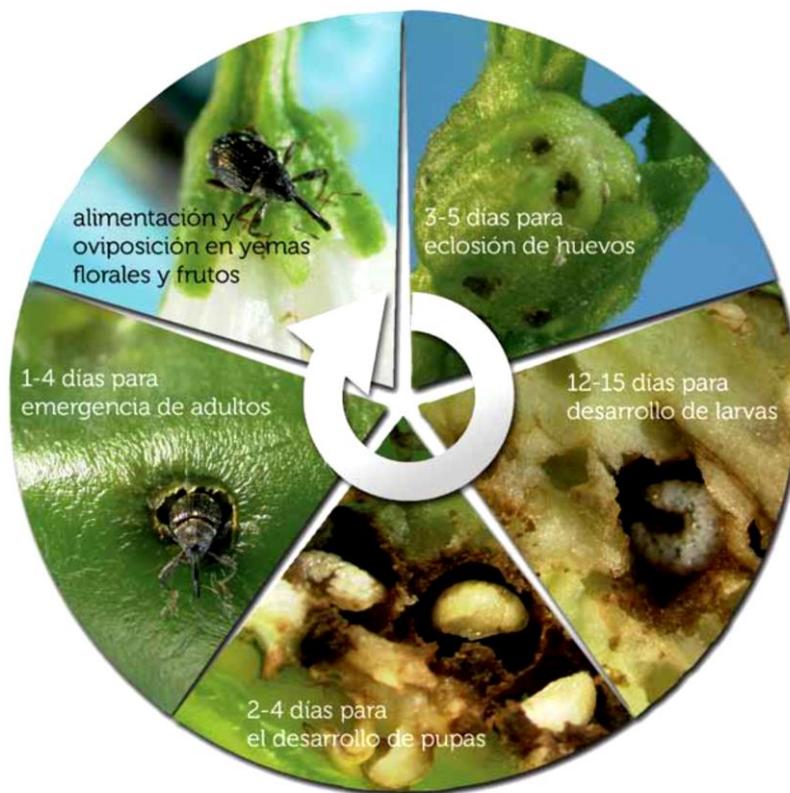
**Figura 1.** Vista lateral de los mucrones de la tibia posterior de *Anthonomus eugenii* (señalados con las flechas), macho (A) y hembra (B) (fotos tomadas de Eller 1995).



**Figura 2.** *Anthonomus eugenii* (♀) poniendo huevos en fruto de chile Jalapeño.

### **Ciclo de vida**

Los picudos son insectos de metamorfosis completa, esto quiere decir que pasan por los estadios de desarrollo de huevo, larva, pupa y adulto (Figura 3). El ciclo completo de este insecto puede durar de 12 hasta 41 días, dependiendo de la temperatura en la que se desarrolle (Elmore *et al.* 1934; Toapanta *et al.* 2005). Las hembras de *A. eugenii* colocan en promedio 341 huevos, a una tasa de 4.7 huevos/hembra/día según Elmore *et al.* (1934), y hasta 7.1 huevos por día según Wilson (1986). A una temperatura constante de 27 °C el periodo de incubación dura  $2.9 \pm 0.1$  d, el total de duración de los tres instares larvales por los que atraviesa es de  $7.5 \pm 0.3$  d (L1= $1.7 \pm 0.1$ , L2=  $1.7 \pm 0.1$ , L3=  $4.1 \pm 0.2$ ); la pupa dura  $3.6 \pm 0.1$  d (Toapanta *et al.* 2005); la longevidad puede ser de hasta 78.7 d (Elmore *et al.* 1934; Rodríguez-Leyva 2006).



**Figura 3.** Ciclo de vida de *Anthonomus eugenii* (Torres-Ruiz y Rodríguez-Leyva 2012).

### **Distribución geográfica**

*Anthonomus eugenii* Cano, el picudo del chile, fue descrito por primera vez en Guanajuato, México, por Cano y Alcacio (1894). Actualmente se encuentra distribuido en América desde el sur de Ontario, Canadá (Fernández *et al.* 2017), sur de Estados Unidos (Elmore *et al.* 1934; Riley y King 1994; Toapanta *et al.* 2005), México (Laborde y Pozo 1984; Quiñonez 1986), Centroamérica y algunas islas del Caribe (Andrews *et al.* 1986; Abreu y Cruz 1985); en Oceanía y en Francia polinesia (Hammes y Putoa 1986). También, recientemente se detectó y erradicó de invernaderos en Países Bajos (Van Der Gaag y Loomans 2013) y en 2013 se reportó por primera vez en Lazio, Italia, infestando plantas de chile dulce en campo e invernaderos, de donde también se erradicó (Speranza *et al.* 2014).

Debe considerarse que hay un riesgo latente de que este insecto se extienda en otras partes del mundo donde se cultivan chiles; por ejemplo, la región del mediterráneo, particularmente el sur de España, Italia y Turquía; quizá el último país sea de menor riesgo porque hay menos intercambio comercial de chiles pimientos entre países de América del norte y esa región (Van Der Gaag y Loomans 2013).

### **Daños y pérdidas económicas**

Este insecto es considerado como la plaga principal de cualquier variedad de chile cultivada, *Capsicum* spp. (Elmore *et al.* 1934; Bujanos 1993; Rodríguez-Leyva *et al.* 2007, 2012). Los daños que causa son provocados principalmente cuando los adultos se alimentan y colocan huevos en yemas florales o frutos inmaduros, así como por el desarrollo de las larvas dentro de los frutos, lo que causa la abscisión de los mismos (Elmore *et al.* 1934; Seal y Schuster 1995; Toapanta *et al.* 2005). Esto ocasiona la disminución en producción, que puede ser del 30 al 90% si no se implementan medidas de control (Campbell 1924; Elmore *et al.* 1934; Goff y Wilson 1937; Velasco 1969; Riley y Sparks 1995). En Estados Unidos durante 1994 se estimaron en \$23 millones de dólares las pérdidas económicas que podía estar causando este insecto (Riley y King 1994). En México, durante el 2011 se tenía una superficie sembrada de 150,000 ha de chile y las pérdidas directas estimadas pudieron haber sido de \$70 a 80 millones, eso sin considerar los gastos para la prevención (Rodríguez-Leyva *et al.* 2012). Es probable que actualmente estos montos de pérdidas directas sean mayores, esto sería atribuible por supuesto al incremento en el valor de la producción, de las exportaciones y un ligero incremento en la superficie de cultivo, sobre todo en agricultura protegida (SIAP 2018).

### **Umbral de acción y control químico**

El método de control más utilizado para esta plaga son los insecticidas organosintéticos, dirigidos específicamente a los adultos que se encuentran expuestos (Seal y Schuster 1995; Servín-Villegas *et al.* 2008); principalmente, porque los estados inmaduros se encuentran protegidos dentro de los frutos y esto dificulta su control. Los umbrales de acción que se han reportado para el picudo son 1 adulto/100 terminales (Andrews *et al.* 1986); 5% de daño en yemas terminales (Cartwright *et al.* 1990); 1 adulto/400 terminales (dos terminales por planta) (Riley *et al.* 1992). Los insecticidas que más se emplean en su combate son oxamil, clorpirifós, malation y thiametoxam (Servín *et al.* 2002; Rodríguez-Leyva 2006 Servín-Villegas *et al.* 2008). A pesar de que los insecticidas son el principal método de control de esta plaga, es importante buscar alternativas de combate, pues no es suficiente el porcentaje de control y se incrementan los riesgos a la salud y los daños ambientales, además del riesgo de seleccionar resistencia (Servín *et al.* 2002; Servín-Villegas *et al.* 2008). Además, está comprobado que resultan perjudiciales para parasitoides (como *J. hunteri*) asociados a esta plaga (Schuster y Thompson 2011). Algunos autores (Mariscal *et al.* 1998; Rodríguez-Leyva *et al.* 2007, 2012) señalan que la integración de más herramientas de control, específicamente parasitoides de estados inmaduros del picudo, dentro de un programa de manejo integrado de plagas (MIP), podría incrementar los niveles de control.

## CAPÍTULO 1. PARASITOIDES DEL PICUDO DEL CHILE EN MÉXICO

### 1.1 RESUMEN

En México se han registrado 11 himenópteros que parasitan a *A. eugenii*, los cuales pertenecen a las familias Pteromalidae, Eupelmidae, Eulophidae, Braconidae y Eurytomidae. No obstante, la exploración ha sido limitada y sólo se ha concentrado en algunas regiones que no incluyen la diversidad ambiental del país. El objetivo de este trabajo fue contribuir en el conocimiento de la diversidad y distribución de enemigos naturales del picudo del chile en el país del probable origen de la plaga. De 2015 a 2017 se realizaron 26 exploraciones en un total de 20 localidades pertenecientes a 14 estados de la República Mexicana. En cada sitio se recolectó la mayor cantidad posible de frutos de chile infestados por la plaga, estos presentaban el cáliz amarillo o que exhibían daños de alimentación y ovoposición. Se recolectaron 10 variedades de chiles, nueve de *Capsicum annuum* y una de *C. chinense*. En total emergieron 16,695 insectos de los frutos; de estos, 15,014 fueron picudos del chile y 1,650 parasitoides de éste. Todos pertenecieron a ocho géneros en seis familias: tres de Braconidae (*Bracon* sp., *Triaspis eugenii*, *Urosigalphus nr mexicanus*), dos de Eulophidae (*Ceratoneura petiolata* y *Baryscapus* sp.), uno de Pteromalidae (*Jaliscoa hunteri*), Eupelmidae (*Eupelmus cushmani*), y Eurytomidae (*Eurytoma tylodermatis*). Las especies con mayor distribución fueron *J. hunteri* y *E. cushmani*. El porcentaje de parasitismo natural más elevado fue 40% de *Triaspis eugenii*, 12% de *J. hunteri*, y 10.7% de *Urosigalphus nr mexicanus*. Por el momento podrían considerarse los mejores prospectos para ser evaluados como agentes de control biológico del picudo del chile, pues *J. hunteri* parasita larvas y las otras dos son parasitoides de huevo-larva.

**Palabras clave:** *Anthonomus eugenii*, *Jaliscoa hunteri*, *Triaspis eugenii*, control biológico.

## 1.2 ABSTRACT

In Mexico, 11 species of *A. eugenii* parasitoids have been reported, encompassed in five families of Hymenoptera (Pteromalidae, Eupelmidae, Eulophidae, Braconidae and Eurytomidae). In the country, exploration studies has conducted in order to find natural enemies of this pest that could provide effective control to replace the use of chemical control. However, most of the work has focused on certain regions; so much of the national territory still needs to be explored for this purpose. Therefore, the objective of this work was to expand the exploration area to contribute with information on the diversity and distribution of parasitoids species of the pepper weevil. During the years 2015 to 2017, 26 explorations were carried out in a total of 20 locations belonging to 14 states of the Mexican Republic. At each site, as many pepper fruits as possible (presenting the yellow calyx or exhibiting food damage and oviposition) were collected. Ten varieties of chili peppers were collected (nine from *Capsicum annuum* and one from *C. chinense*). In total, 16,695 insects emerged from the fruits; of these, 15,014 were pepper weevil and 1,650 pepper weevil parasitoids represented in eight genera: three from Braconidae (*Bracon* sp., *Triaspis eugenii*, *Urosigalphus* nr *mexicanus*), two of Eulophidae (*Ceratoneura petiolata* and *Baryscapus* sp.), one of Pteromalidae (*Jaliscoa hunteri*), Eupelmidae (*Eupelmus cushmani*), and Eurytomidae (*Eurytoma tylodermatis*). The most widely distributed species were *J. hunteri* y *E. cushmani*. The highest percentage of parasitism was obtained with *Triaspis eugenii* (40%), *J. hunteri* (12.9%), and *Urosigalphus* nr *mexicanus* (10.7%). With none of these parasitoid species has been reported more than 50% parasitism; however, the best prospects to be evaluated as agents of biological control of the Chilean boll weevil could be considered, either individually or collectively, since *J. hunteri* parasitizes larvae and the other two are egg-larva parasitoids.

**Keywords:** *Anthonomus eugenii*, *Jaliscoa hunteri*, *Triaspis eugenii*, biological control.

### 1.3 INTRODUCCIÓN

*Jaliscoa hunteri* (Crawford) (Gibson 2013) (Hymenoptera: Pteromalidae), anteriormente conocido como *Catolaccus hunteri*, es el parasitoide que se encuentra con mayor frecuencia y abundancia atacando de manera natural al picudo del chile, *Anthonomus eugenii* Cano (Coleoptera: Curculionidae) en EE.UU. (Riley y Schuster 1992) y México (Rodríguez-Leyva *et al.* 2007, 2012). El parasitismo reportado en campo va del 2 al 50% en frutos de chile jalapeño y 20% en pimientos recolectados del suelo (Schuster *et al.* 1988; Cortez *et al.* 2005). Algunos autores han evaluado a este parasitoide mediante liberaciones inundativas y reportan resultados contrastantes. Por un lado, liberaciones de 1,050 adultos de *J. hunteri*/ha no proporcionaron un control eficiente en pimiento morrón (Corrales 2002); mientras que con liberaciones semanales equivalentes a 8,000 adultos de *J. hunteri*/ha se reporta una disminución del 50% en frutos dañados por picudo del chile y un incremento de 150% en el número de frutos no dañados (Schuster 2007).

A pesar de que *J. hunteri* ha demostrado disminuir en alguna medida poblaciones del picudo en pimiento morrón bajo invernaderos y campo (Schuster 2007; Torres-Ruiz y Rodríguez-Leyva 2012), hasta el momento, no es suficientemente para disminuir los daños de esta plaga. En México se han realizado algunos trabajos para conocer la diversidad de especies de parasitoides que pudieran ser de utilidad para combatir esta plaga, pero en la mayoría de los casos las exploraciones se han realizado en un número limitado de localidades que no han incluido a todos los ambientes del país, probablemente también centro de origen de la plaga (Mariscal *et al.* 1998; Cortez *et al.* 2005; Rodríguez-Leyva *et al.* 2007, 2012). De esos trabajos se han reportado 11 especies de parasitoides de *A. eugenii*, las cuales se distribuyen en cinco familias de himenópteros (Pteromalidae, Eupelmidae, Eulophidae, Braconidae y Eurytomidae) (Mariscal *et al.* 1998; Cortez *et al.* 2005; Rodríguez-Leyva *et al.* 2007, 2012). Además, se han estudiado al menos otras dos especies de braconidos (*Bracon* spp.) que

también pueden desarrollarse sobre *A. eugenii* utilizando las larvas como un huésped facticio (Julio César Velázquez González, Koppert México, comunicación personal). A esta lista de enemigos naturales se sumó *Nealiolus* sp. y *Eupelmus pulchriceps* de una exploración en Canadá, particularmente del sur de Ontario (Labbé *et al.* 2018).

A pesar de la importancia de *A. eugenii* como plaga del cultivo de chile, se han desarrollado búsquedas limitadas de enemigos naturales en su posible lugar de origen (México) (Mariscal *et al.* 1998; Cortez *et al.* 2005; Rodríguez-Leyva *et al.* 2007, 2012; Pérez-Pérez *et al.* 2013). Estas exploraciones no han incluido la variedad de ambientes y condiciones donde se presenta *A. eugenii*, por lo tanto, se considera que la diversidad de enemigos naturales de *A. eugenii* podría aumentar conforme se exploren nuevos ambientes. Por lo anterior, el objetivo de este trabajo fue contribuir con el conocimiento de la diversidad de especies de parasitoides del picudo del chile y su distribución en México.

## **1.4 MATERIALES Y MÉTODOS**

### **1.4.1 Búsqueda de parasitoides del picudo del chile**

La búsqueda de parasitoides se realizó durante el periodo del 22 de abril de 2015 al 26 de agosto de 2017. La exploración incluyó 14 estados de México: Aguascalientes, Campeche, Coahuila, Guanajuato, Hidalgo, Jalisco, Nayarit, Oaxaca, Puebla, San Luis Potosí, Sinaloa, Tamaulipas, Yucatán, Zacatecas.

Las colectas se realizaron en sitios donde los cultivos de chile estaban abandonados para tratar de asegurar que ya no se estaban aplicando insecticidas, y de esta manera incrementar la posibilidad de encontrar parasitoides. Los frutos recolectados fueron de 10 variedades de *Capsicum* spp.; de los cuales nueve pertenecieron a *Capsicum annuum* y una a *C. chinense*.

Se colectaron los frutos que presentaban el cáliz amarillo o que exhibían daños causados por el picudo del chile, tanto de alimentación y ovoposición, sin importar que estuvieran aún en las plantas o tirados en el suelo. Todos los frutos recolectados se transportaron al Colegio de Postgraduados, en Texcoco, Estado de México, donde se colocaron en jaulas rectangulares de alambón (50x30x30cm) recubiertas con tela de organza y se mantuvieron por 30 d a temperatura ambiente, hasta que emergieron todos los picudos o parasitoides. Diariamente se colectaban todos los insectos que emergían y se conservaban en alcohol al 70%. Los parasitoides se deshidrataron en alcoholes graduales (80, 90 y 96%), posteriormente se dejaron al menos un día en acetato de amilo, y finalmente se realizó el montaje de los ejemplares en triángulo de papel. Para la identificación taxonómica se utilizó la siguiente literatura: Gibson *et al.* (1997) para Chalcidoidea, Wharton y López-Martínez (2000) para Braconidae, Rodríguez-Leyva *et al.* (2012) para las especies ya conocidas de parasitoides del picudo del chile. La identidad se corroboró con material depositado en la colección de insectos entomófagos del Colegio de Posgraduados (Campus Montecillo) y por el Dr. J. Refugio Lomeli Flores. Además, se calculó el porcentaje de parasitismo de cada especie mediante la siguiente fórmula:

$$\% \text{ de parasitismo} = \frac{\text{Parasitoides emergidos}}{\text{Parasitoides emergidos} + \text{Picudos emergidos}}$$

## **1.5 RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

### **1.5.1 Búsqueda de parasitoides del picudo del chile**

Se realizaron 26 recolectas de frutos de chile en 20 localidades pertenecientes a 14 estados de la República Mexicana. Se recolectaron 10 variedades de chiles, de los cuales, nueve pertenecen a *Capsicum annuum* L y uno a *C. chinense* (Cuadro 1). En total emergieron

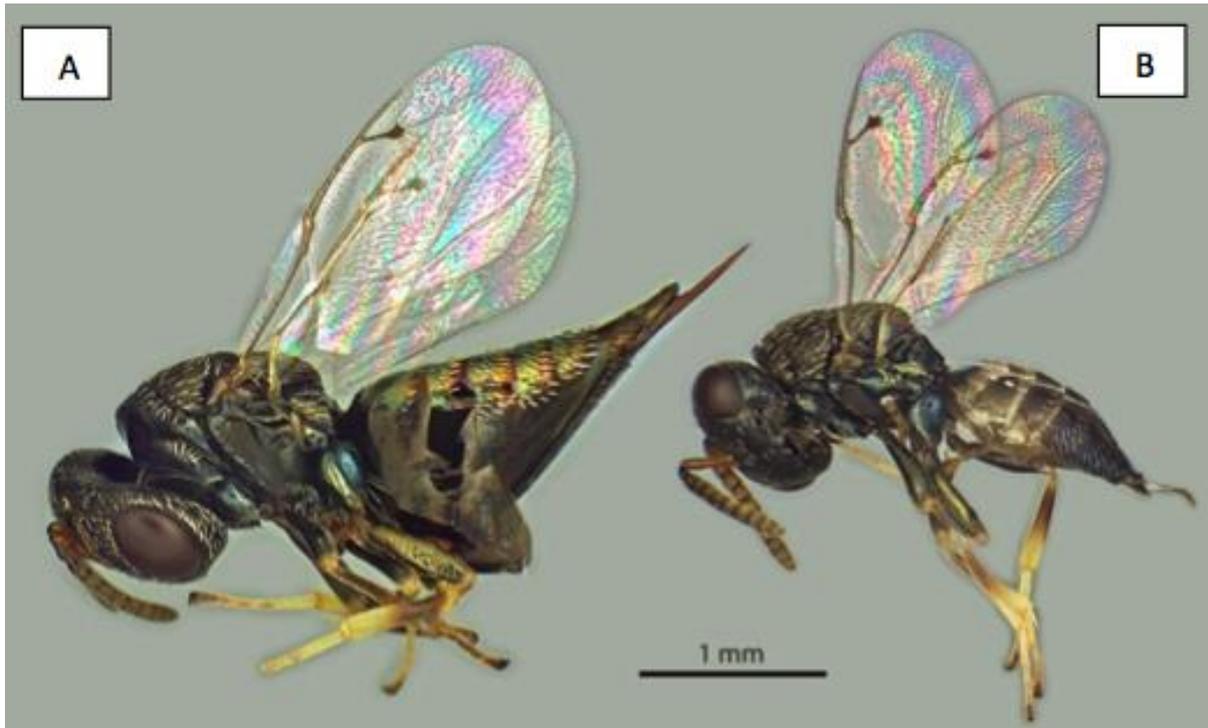
16,695 insectos de los frutos. De estos, 15,014 fueron picudos del chile y 1,681 parasitoides. A momento de la identificación, los parasitoides se separaron en dos grupos: parasitoides que probablemente no se desarrollen sobre picudo y de los cuales se obtuvieron 31 ejemplares, pertenecientes a seis familias (Braconidae, Pteromalidae, Eulophidae, Sphecidae, Torimidae e Ichneumonidae); y parasitoides que sí se desarrollan sobre picudo (1,650 ejemplares) representados en ocho géneros que a continuación se describen: tres de Braconidae (*Bracon* sp., *Triaspis eugenii*, *Urosigalphus* nr *mexicanus*), dos de Eulophidae (*Ceratoneura petiolata* y *Baryscapus* sp.), uno de Pteromalidae (*Jaliscoa hunteri*), Eupelmidae (*Eupelmus cushmani*), y Eurytomidae (*Eurytoma tylodermatis*) (Cuadro 1).

En las próximas líneas se reliza una discusión breve de cada una de las especies encontradas incluyendo el porcentaje de parasitismo observado, los nuevos registros en algunos estados y, en caso de haber estudios sobre ellos, el papel que probablemente desempeñan sobre el picudo del chile.

#### Pteromalidae

*Jaliscoa hunteri* (Crawford) fue el parasitoide más abundante y con mayor distribución, se obtuvieron 949 individuos. Se recolectó en 10 de los 14 estados en los que se realizaron colectas de frutos (Cuadro 1). Se consideran nuevos registros en los estados de Aguascalientes, Campeche, Coahuila, Hidalgo, Jalisco, Puebla y San Luis Potosí. Esta información confirma lo que algunos autores ya habían documentado como el parasitoide mejor distribuido y probablemente el más abundante en México, y en EE.UU. (Riley y Schuster 1992; Cortez *et al.* 2005; Rodríguez-Leyva *et al.* 2007, 2012). Se sabe que es un ectoparasitoide, solitario, sinovigénico y generalista que explota al menos 17 especies de Curculionidae y dos de Bruchidae (Cross y Chesnut 1971; Rodríguez-Leyva *et al.* 2000). El parasitismo sobre *A. eugenii* varió del 1 hasta casi 13%, aunque otros autores reportan de 2 -

50% (Schuster *et al.* 1988; Cortez *et al.* 2005). La probabilidad para explorar la eficiencia de este parasitoide para el control de esta plaga ha proporcionado resultados contrastantes, de malos a regulares. Por un lado, Corrales (2002) reportó que liberaciones de 1,050 *J. hunteri*/ha no proporcionaron un control eficiente en pimiento morrón; aunque la baja eficiencia reportada es probable que no se deba al mal desempeño del parasitoide, sino a que su desempeño se ve limitado en variedades de chile con frutos de gran tamaño (diámetro) como pimiento y jalapeño, en donde las larvas están a una mayor profundidad en los frutos y la mayoría de estas resulta inaccesibles para el parasitoide. Es decir, no alcanza a las larvas ni para poner huevos ni para alimentarse. Riley y Schuster (1992) aportaron algunos elementos para sustentar esto, pues no encontraron parasitismo en frutos de diámetros mayores a 2.5 cm. Además, Schuster (2007) reportó disminución del 50% de fruta dañada, cuando se realizaron liberaciones semanales equivalentes a 8,000 *J. hunteri*/ha en temporada baja de producción, cuando presumiblemente el picudo se reproducía en hospederos alternos de frutos pequeños (*Solanum* spp.), donde las larvas probablemente estaban más accesibles. Por lo tanto, es probable que este parasitoide pudiera potencialmente atacar el insecto problema en variedades de frutos con diámetros pequeños, como chile de árbol o en variedades en donde las larvas de picudo se desarrollen con mayor frecuencia en el pericarpio de los frutos como en chile habanero (capítulos 2 y 3 de esta tesis). Además de *J. hunteri* se obtuvieron otras dos especies de Pteromalidae (dos ejemplares de cada una) de Puebla; sin embargo, la relación con el picudo del chile no se logró establecer claramente. Ninguno de ellos pareció pertenecer a géneros que hayan sido reportados como parasitoides de otras especies de *Anthonomus* (Cross y Chestnut 1971; Rodríguez-Leyva *et al.* 2007, 2012).



**Figura 4.** *Jaliscoa hunteri*, A) ♀, B) ♂.

#### Eupelmidae

Todos los especímenes de Eupelmidae que se recuperaron pertenecen a la especie *Eupelmus cushmani* (Crawford) (Gibson 2016). Este parasitoide fue el segundo más abundante y con mayor distribución, se obtuvieron 81 ejemplares en 7 de los 14 estados en los que se realizaron recolectas de frutos (Cuadro 1). Se consideran nuevos registros para los estados de Aguascalientes, Campeche, Coahuila, Jalisco, y Puebla. Recientemente en el sur de Ontario, Canadá, se reportó a la especie *Eupelmus pulchriceps* sobre *A. eugenii* (Labbé *et al.* 2018). De acuerdo con Noyes (2010) *E. cushmani* es una especie con amplia distribución en el nuevo mundo, desde Canadá hasta Sudamérica. Se sabe que este insecto es hiperparasitoide y parasitoide primario de 34 especies de insectos, entre ellas algunas especies del género *Anthonomus* (Gibson 2011). De las colectas se registró un parasitismo bajo (0.1-1.9 %). La condición de hiperparasitoide puede no ser una característica favorable para que sea

candidato en programas de control biológico, pues puede atacar a otras especies de parasitoides del picudo; no obstante, se tiene registro de que se ha utilizado con este fin; por ejemplo, en Hawaii durante 1934-1937 se realizaron liberaciones en un programa de control biológico clásico contra esta plaga (Clausen 1978). Es probable que la condición de hiperparasitoide fuese desconocida para ese entonces; ahora se sabe que puede ser hiperparasitoide de *J. hunteri* (Mar-González 2017).

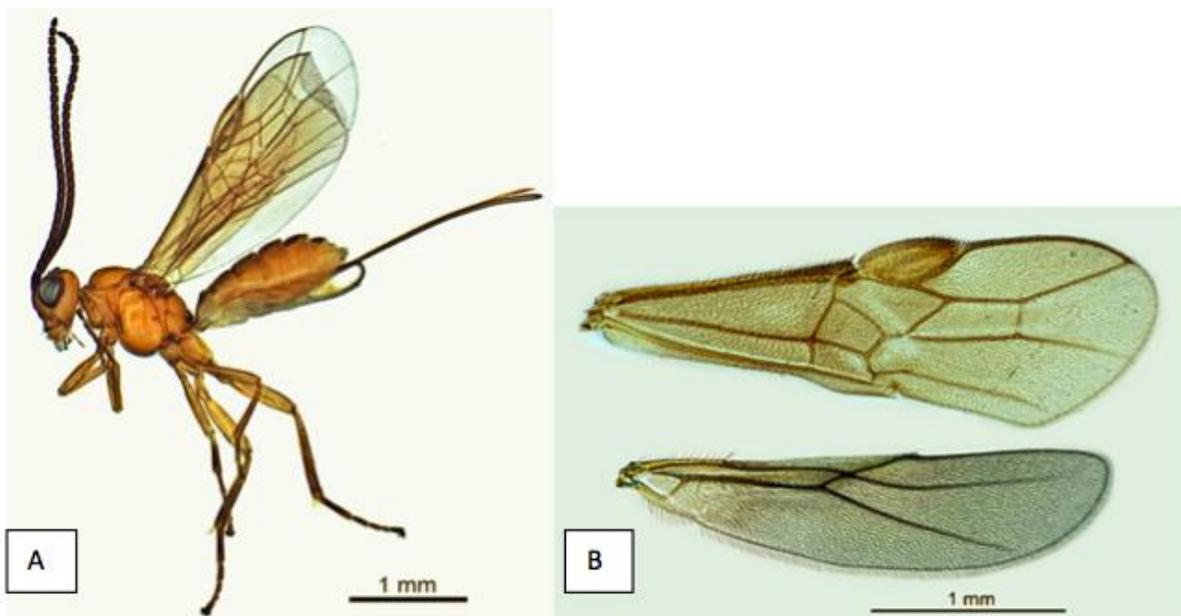


**Figura 5.** *Eupelmus cushmani* ♀.

Braconidae.

*Bracon* sp. Emergieron 30 ejemplares de este género, al parecer solo se trata de una especie. Se consideran nuevos registros en los estados de Coahuila, Jalisco, Puebla y San Luís Potosí

(Cuadro 1). Es uno de los géneros que se han recuperado con menor frecuencia y abundancia en las colectas de este tipo (Rodríguez-Leyva *et al.* 2007). Se obtuvo un porcentaje de parasitismo del 0.3 al 3.7%. A pesar de que no se identificó a especie, se tiene la certeza de que no es la especie *Bracon mellitor* Say, la cual tiene reporte sobre picudo del chile en Nuevo León, México (Barajas 1986). Adicionalmente, en Estados Unidos y probablemente el norte de México *B. mellitor* se reporta como el parasitoide más abundante del picudo del algodón *A. grandis* (Cross y Chesnut 1971). También, se recolectó un ejemplar de esta familia que no pertenece a géneros reportados en otros trabajos similares (Cross y Chestnut 1971; Rodríguez-Leyva *et al.* 2007, 2012); por lo tanto, su relación con el picudo del chile no está bien definida. Además, se obtuvo un ejemplar de la subfamilia Microgastrinae, del estado de Oaxaca. Estas avispas son endoparasitoides koinobiontes de larvas de lepidópteros (Shaw y Huddleston 1991; Pérez-Rodríguez *et al.* 2013), por lo tanto, es prácticamente improbable que tenga relación con el picudo del chile y más bien, haya emergido de algún lepidóptero asociado a este cultivo.



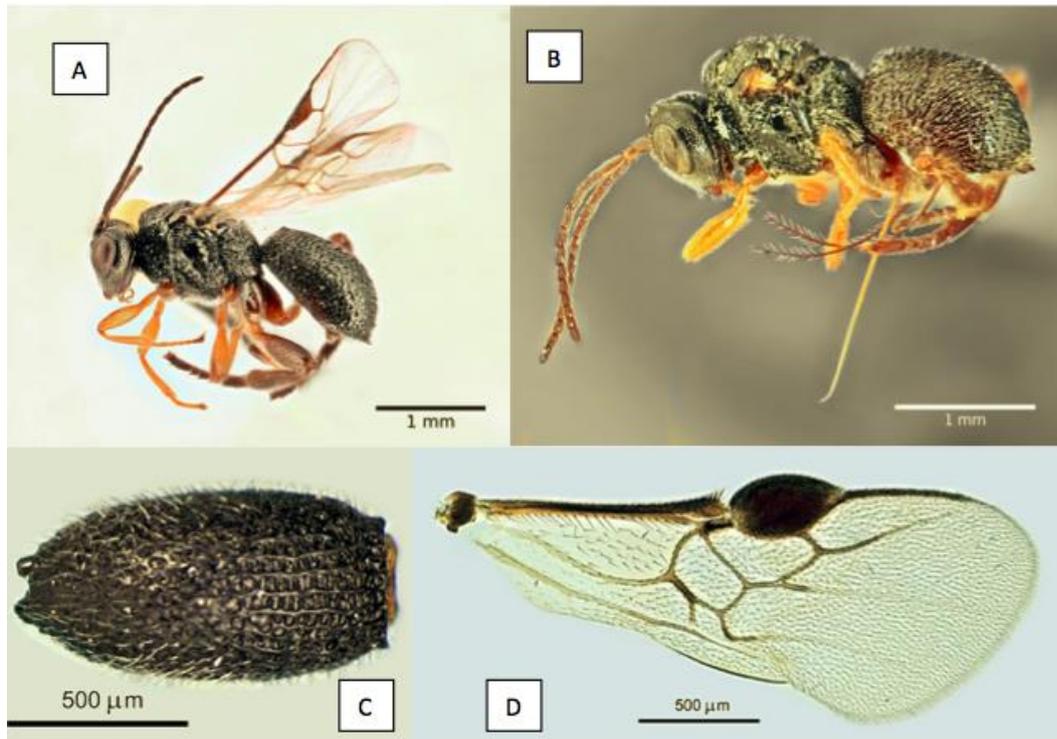
**Figura 6.** A) *Bracon* sp. ♀, B) Alas (anterior arriba y posterior abajo).

*Triaspis eugenii* Wharton y López-Martínez (Hymenoptera: Braconidae) resultó la segunda especie más abundante. De las recolectas se recuperaron 443 individuos provenientes de cuatro estados (Cuadro 1). Esta especie sólo se había recolectado de Nayarit, Morelos y Oaxaca por lo que representan nuevos registros para Guanajuato, Hidalgo y Puebla (Rodríguez-Leyva *et al.* 2007, 2012); en este caso emergieron individuos de las colectas de Oaxaca, pero no de Nayarit. Sin duda fue la especie que registró el mayor porcentaje de parasitismo, ya que se obtuvo desde 0.1 a 40%, lo que coincide con lo reportado por otros autores (18-40 %) (Mariscal *et al.* 1998; Toapanta 2001). Esta especie también se ha reportado atacando a otras especies de *Anthonomus*; por ejemplo, *A. sisyphus* plaga del nanche rojo (*Malpighia mexicana*) (Jarquín-López *et al.* 2011). Es una de las especies más promisorias para su uso en programas de control biológico por aumento por parasitar el huevo del picudo del chile que está mucho más expuesto que la larva y por lograr niveles de parasitismo natural del 40%. Sin embargo, aún no se tienen sistemas de cría que permitan su reproducción masiva.



**Figura 7.** *Triaspis eugenii*, A) ♀, B) ♂.

*Urosigalphus* sp. (Hymenoptera: Braconidae) se colectaron 51 ejemplares de los estados de Aguascalientes, Nayarit y Oaxaca (Cuadro 1). Rodríguez-Leyva *et al.* (2007, 2012) lo reportaron distribuido en los estados de Sinaloa, Morelos, Oaxaca, Nayarit y Yucatán; por lo tanto, representa un nuevo registro sólo para el estado de Aguascalientes. Se menciona que en Oaxaca el porcentaje de parasitismo de este parasitoide en parcelas de chile libres de insecticida era cercano al 30% (Rodríguez-Leyva *et al.* 2007); sin embargo, en este trabajo el porcentaje que se obtuvo fue de 0.1- 10.7%. Por otro lado, en Oaxaca se ha reportado a la especie *Urosigalphus femoratus* parasitando a *A. sisyphus* sobre nanche rojo (*Malpighia mexicana*) (Jarquín-López *et al.* 2011). En intentos realizados para identificar a la especie mediante las claves de Gibson (1972), se identificó como *Urosigalphus (Microurosigalphus) mexicanus*; sin embargo, la descripción de la especie no concuerda al 100% con las características morfológicas. Se realizaron estudios moleculares pero tampoco permitieron asegurar la identidad de la especie en el banco de genes; por lo tanto, en este estudio se identifica como una especie cercana a *U. mexicanus*.



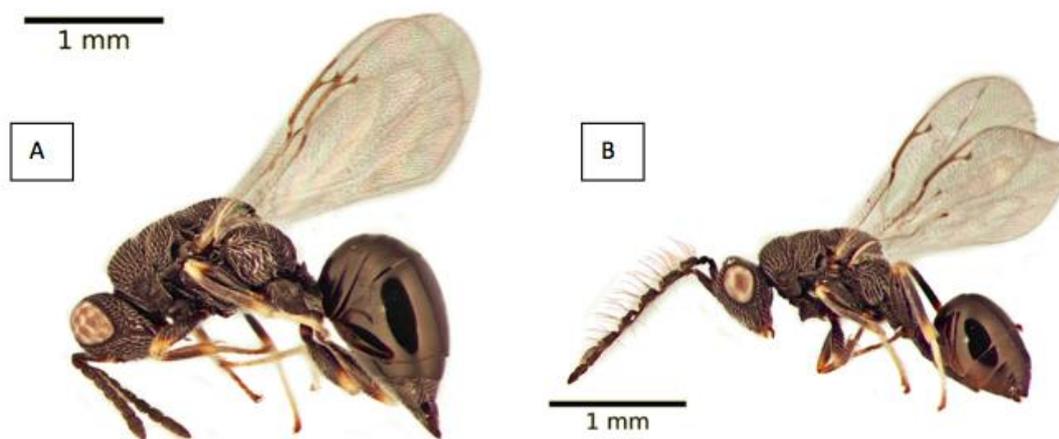
**Figura 8.** *Urosigalphus U. nr. mexicanus*; A) ♂, B) ♀ a la cual se le quitaron las alas para ver algunas estructuras del tórax, C) abdomen ♀ vista dorsal, D) ala anterior ♀.

Las especies de Braconidos *T. eugenii* y *Urosigalphus* sp. cercano a *U. mexicanus* se describen como parasitoides de huevo-larva, cenobiontes, solitarios, con una fase endoparasítica en los primeros instares larvales y una ectoparasítica al finalizar el último instar, en la que consume en su totalidad a su huésped a excepción de la capsula cefálica (Rodríguez-Leyva 2006). Según Rodríguez-Leyva *et al.* (2007) el estadio de huevo puede ser considerado el más susceptible a parasitismo pues se encuentra más cerca de la superficie de los frutos de chile, en comparación con los otros estadios de desarrollo que están dentro de los frutos. Además, estos autores reportan que estas dos especies de parasitoides junto con *J. hunteri* representaron el 96% de los parasitoides obtenidos en colectas; por lo tanto, podrían ser considerados candidatos para hacer evaluaciones como agentes de control biológico. *Urosigalphus* tiene el ovipositor más largo ( $2.23 \pm 0.03$  mm) que *T. eugenii* ( $1.17 \pm 0.01$  mm)

(datos no publicados), y esta condición podría tener influencia en la accesibilidad del huésped y verse reflejada en porcentaje de parasitismo, por lo que se sugiere más investigación para conocer el potencial de control estas especies.

#### Eurytomidae

Sólo se recolectó una especie de esta familia, *Eurytoma tylodermatis* Ashmead. En total se colectaron 64 ejemplares en tres estados (Cuadro 1). Se consideran nuevos registros para los estados de Campeche y Puebla. Este género se reportó como uno de los más abundantes en colectas de parasitoides de *A. eugenii* en Sinaloa (Cortez *et al.* 2005; Pérez-Pérez *et al.* 2013), pero no se señala la especie. Hasta el momento se han reportado por lo menos dos morfoespecies del género por Pérez-Pérez *et al.* (2013), pero no se tuvo acceso al material para corroborar si se trata de la especie aquí encontrada. En el presente trabajo, el porcentaje de parasitismo que se obtuvo fue de 0.2 hasta 1.7 %. DiGiulio (1997) describe este género como ectoparasitoides solitarios de Coleoptera, Diptera, Hymenoptera, Lepidoptera y Homoptera. Adicionalmente, se reporta como hiperparasitoide de *Zatropis* sp. (Hymenoptera: Pteromalidae) en el estado de Morelos (Pérez 1985). Rodríguez-Leyva *et al.* (2007) mencionaron que la característica de posible hiperparasitoide lo convierte en un candidato poco atractivo para su uso como agente de control biológico de esta plaga, pero no se han hecho estudios formales para determinar realmente cuál es su papel sobre el picudo del chile.



**Figura 9.** *Eurytoma tylodermatidis* A) ♀, B) ♂.

#### Eulophidae

En este trabajo solo se obtuvieron dos géneros de Eulophidae (*Ceratoneura* y *Baryscapus*) de los cuatro géneros que se han reportado sobre *A. eugenii* (Mariscal *et al.* 1998; Rodríguez-Leyva *et al.* 2007, 2012). Adicionalmente, se obtuvieron dos especies (un ejemplar de cada una, aún sin determinar) de San Luís Potosí. Sin embargo, se desconoce si son parasitoides del picudo del chile, pues se sabe que además pueden ser parasitoides de otros ordenes como: Lepidoptera, Hymenoptera y Diptera que también pueden convivir dentro de frutos de chile con el picudo (Rodríguez-Leyva *et al.* 2007).

*Ceratoneura petiolata*, solo se obtuvieron dos ejemplares de esta especie en el estado de Oaxaca. El porcentaje de parasitismo calculado fue de sólo 0.7%. Rodríguez-Leyva *et al.* (2007, 2012) ya habían reportado esta especie de Oaxaca. Noyes (2010) reportó como huéspedes primarios de este parasitoide a *Hypurus* sp. (Coleoptera: Curculionidae) y a *Contarinia sorghicola* (Diptera: Cecidomyiidae); además, se reportó como hiperparasitoide del eulófido *Aprostocetus diplosidis*. Hasta el momento no existen trabajos formales para

determinar que tipo de asociación presenta esta especie con el picudo del chile, por lo que no se debe asegurar que realmente es un parasitoide primario de esta plaga.



**Figura 10.** *Ceratoneura petiolata* ♀.

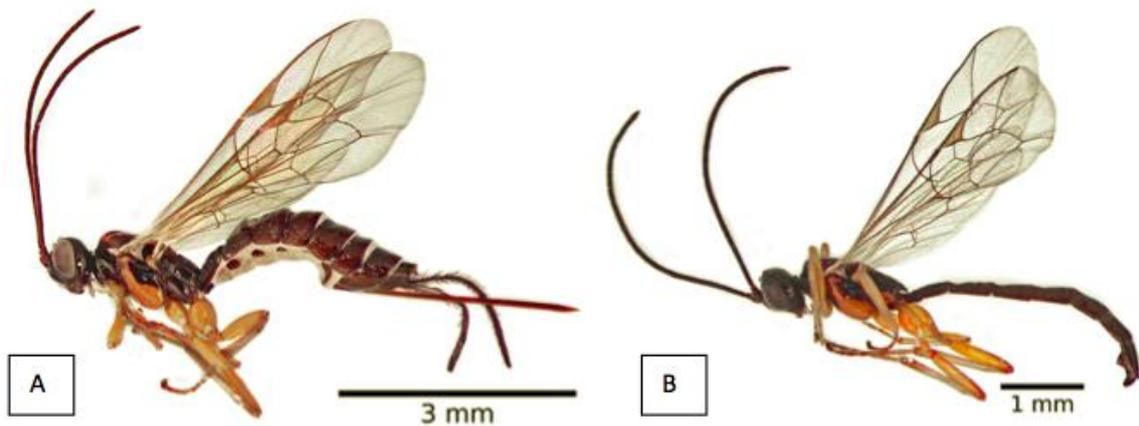
*Baryscapus hunteri*, se obtuvieron 30 ejemplares de los estados de Hidalgo, Oaxaca y Puebla y se consideran nuevos registros en estos sitios. El porcentaje de parasitismo obtenido fue del 0.2 al 0.7%. Rodríguez-Leyva *et al.* (2012) reportaron a esta especie en Rosamorada, Nayarit, sobre picudo del chile y sugieren que es un endoparasitoide gregario de larvas, además de que ya se había reportado como endoparasitoide de picudo del algodón *Anthonomus grandis* por Cross y Chestnut (1971).



**Figura 11.** *Baryscapus hunteri*. A) ♀, B) ♂.

Adicional a las especies arriba señaladas, de las cuales se tiene mayor certeza de estar asociadas al picudo del chile, también se obtuvieron ejemplares de otras cuatro familias de Hymenoptera. Estas especies muy probablemente estén asociadas a otros organismos que también conviven con el picudo del chile dentro de los frutos como son algunos lepidópteros y dípteros. De la familia Sphecidae se obtuvieron cuatro ejemplares del estado de Hidalgo, se considera que no son parasitoides de *A. eugenii*, pues se describen como depredadores solitarios de arácnidos, ortópteros, larvas de lepidópteros e himenópteros (Bohart y Menke 1976; Menke 1997). De la familia Torymidae sólo se obtuvo un ejemplar del estado de Nayarit, pero no se identificó el género. De esta familia se ha reportado a la especie *Microdontomerus anthonomi* (Crawford) como parasitoide de *A. grandis*, y de algunas otras especies de brúquidos, lepidópteros y como hiperparasitoide de *Bracon mellitor* (Cross y Chestnut 1971). La relación con el picudo del chile no está clara. De Ichneumonidae se obtuvieron seis ejemplares en frutos recolectados en el estado de Puebla. Cross y Chestnut (1971) reportaron dos géneros de Ichneumonidae (*Calliephialtes thurberiae* y *Pimpla* sp.)

parasitando a *A. grandis*. En este trabajo no se identificaron los ejemplares hasta género y no fue posible reproducirlos sobre inamduros de *A. eugenii*. Finalmente de la familia Figitidae se obtuvieron siete ejemplares del estado de Puebla y cico de San Luís Potosí. A la fecha no se han reportado especies de esta familia sobre alguna especie de *Anthonomus*. Se considera que no son parasitoides del picudo del chile y que pudieran ser parasitoides de otra plaga asociada al cultivo de chile, por ejemplo, algunos dípteros que frecuentemente emergieron de chiles en estado de descomposición.



**Figura 12.** Ichneumonidae emergido de frutos de chile, A) ♀, B) ♂.

**Cuadro 1.** *Anthonomus eugenii* y parasitoides que emergieron de frutos de chile recolectado en diferentes ambientes y regiones en México.

Estado *Municipio o Localidad (Fecha)	Variedades	Especies colectadas (# individuos)	% de parasitismo
<b>Aguascalientes</b>	Ancho Poblano	<i>Anthonomus eugenii</i> (383)	
*Rincón de Romos (18 julio 2016)		<i>Jaliscoa hunteri</i> (4♀)	1.0
*Pabellón de Arteaga (18 julio 2016)	Ancho Poblano	<i>Anthonomus eugenii</i> (12)	
*Jesús María (Posta zootécnica UAA) (18 julio 2016)	Ancho Poblano	<i>Anthonomus eugenii</i> (251)	
		<i>Jaliscoa hunteri</i> (6♀)	2.3
		<i>Eupelmus cushmani</i> (1♀)	0.4
		<i>Urosigalphus nr mexicanus</i> (1♀, 1♂)	0.8
<b>Campeche</b>	Habanero	<i>Anthonomus eugenii</i> (254)	
Hopelchén *Ich-Ek (11 marzo)		<i>Jaliscoa hunteri</i> (8♀, 11♂)	7.0

2016)				
Hopelchén *Crucero San Luis (11 marzo 2016)	Habanero	<i>Anthonomus eugenii</i> (2,003)		
		<i>Jaliscoa hunteri</i> (39♀, 17♂)		2.7
		<i>Eupelmus cushmani</i> (3♀)		0.1
		<i>Eurytoma tylodermatis</i> (2♀, 2♂)		0.2
<b>Coahuila</b>	Jalapeño	<i>Anthonomus eugenii</i> (232)		
Viesca *San Juan de Villanueva (14 diciembre 2016)	Serrano	<i>Jaliscoa hunteri</i> (11♀, 15♂)		9.6
		<i>Eupelmus cushmani</i> (2♀, 1♂)		1.1
		<i>Bracon</i> sp. (5♀, 5♂)		3.7
<b>Guanajuato</b>	Serrano	<i>Anthonomus eugenii</i> (104)		
Apaseo el Grande *Amexhe (10 diciembre 2016)		<i>Triaspis eugenii</i> (2♀, 1♂)		2.8
<b>Hidalgo</b>	Chile de árbol	<i>Anthonomus eugenii</i> (532)		
*Tezontepec de Aldama (01 agosto 2016)		<i>Jaliscoa hunteri</i> (8♀, 6♂)		1.5
		<i>Triaspis eugenii</i> (193♀, 173♂)		40.0
		<i>Baryscapus hunteri</i> . (2♀)		0.2
<b>Jalisco</b>	Chile de árbol	<i>Anthonomus eugenii</i> (192)		
Teocaltiche *Mechoacanejo (21 julio 2016)		<i>Jaliscoa hunteri</i> (2♀, 2♂)		2.0
		<i>Bracon</i> sp. (1♀, 2♂)		1.5
*Autlán de Navarro (16 septiembre 2016)	Jalapeño	<i>Anthonomus eugenii</i> (1,877)		
El limón *San Miguel Hidalgo (19 septiembre 2016)	Caloro Serrano	<i>Anthonomus eugenii</i> (211)		
		<i>Eupelmus cushmani</i> (4♂)		1.9
<b>Nayarit</b>	Chile de árbol	<i>Anthonomus eugenii</i> (1,275)		
*Rosamorada (25 abril 2016)	Serrano	<i>Jaliscoa hunteri</i> (78♀, 36♂)		8.1
		<i>Eupelmus cushmani</i> (11♀)		0.8
		<i>Eurytoma tylodermatis</i> (6♀, 8♂)		1.0
		<i>Urosigalphus nr mexicanus</i> (1♂)		0.1
<b>Oaxaca</b>	Chile de agua	<i>Anthonomus eugenii</i> (50)		
*Santa Lucía Ocotlán (18 agosto 2016)		<i>Urosigalphus nr mexicanus</i> (2♀, 4♂)		10.7
*Santa Lucía Ocotlán (10 octubre 2016)	Chile de agua	<i>Anthonomus eugenii</i> (426)		
		<i>Jaliscoa hunteri</i> (7♀, 6♂)		2.5
		<i>Triaspis eugenii</i> (21♀, 28♂)		9.5
		<i>Urosigalphus nr mexicanus</i> (9♀, 17♂)		5.1
*Santa Lucía Ocotlán (20 enero 2017)	Chile de agua	<i>Anthonomus eugenii</i> (183)		
		<i>Jaliscoa hunteri</i> (3♀, 5♂)		4.2
*Santa Lucía Ocotlán (07 febrero 2017)	Chile de agua	<i>Anthonomus eugenii</i> (243)		
		<i>Baryscapus hunteri</i> (1♂)		0.4
		<i>Ceratoneura petiolata</i> (2♂)		0.7
		<i>Triaspis eugenii</i> (12♀, 6♂)		6.4
		<i>Urosigalphus nr mexicanus</i> (6♀, 10♂)		5.7
<b>Puebla</b>	Chile de árbol	<i>Anthonomus eugenii</i> (3,533)		
*Tetela de Ocampo (29 julio 2016)		<i>Jaliscoa hunteri</i> (266♀, 237♂)		12.1
		<i>Eupelmus cushmani</i> (42♀, 3♂)		1.1
		<i>Eurytoma tylodermatis</i> (19♀, 7♂)		0.6
		<i>Bracon</i> sp. (2♀, 12♂)		0.3
		<i>Baryscapus hunteri</i> (23♀, 4♂)		0.7
		<i>Triaspis eugenii</i> (3♀, 2♂)		0.1
*Tetela de Ocampo (03 agosto 2017)	Chile de árbol	<i>Anthonomus eugenii</i> (991)		
		<i>Jaliscoa hunteri</i> (88♀, 64♂)		12.9
		<i>Eupelmus cushmani</i> (12♀, 1♂)		1.1
		<i>Eurytoma tylodermatis</i> (16♀, 4♂)		1.7
		<i>Triaspis eugenii</i> (2♀)		0.2
<b>San Luis Potosí</b>	Ancho Mulato	<i>Anthonomus eugenii</i> (147)		
*San Luis Potosí (15 octubre 2015)	Ancho Poblano	<i>Jaliscoa hunteri</i> (6♀, 2♂)		5.1
		<i>Bracon</i> sp. (2♀, 1♂)		1.9
<b>Sinaloa</b>	Jalapeño	<i>Anthonomus eugenii</i> (353)		

Ahome *Los Mochis (22 abril 2015)			
Ahome *Los Mochis (26 mayo 2015)	Jalapeño	<i>Anthonomus eugenii</i> (209)	
Ahome *Los Mochis (01 marzo 2017)	Jalapeño	<i>Anthonomus eugenii</i> (193)	
<b>Tamaulipas</b>	Serrano	<i>Anthonomus eugenii</i> (1,228)	
*Altamira (23 mayo 2015)	Habanero	<i>Jaliscoa hunteri</i> (20♀, 2♂) <i>Eupelmus cushmani</i> (1♀)	1.8 0.1
<b>Yucatán</b>	Minipimiento	<i>Anthonomus eugenii</i> (35)	
*Motul (26 agosto 2017)			
*Mocochá (26 agosto 2017)	Habanero	<i>Anthonomus eugenii</i> (97)	
<b>Zacatecas</b>	Chilaca	No emergieron insectos	
General Pánfilo Natera *San José El Saladillo (21 julio 2016)			

---

## **CAPÍTULO 2. PARASITISMO POTENCIAL DE CUATRO ESPECIES DE PARASITOIDES SOBRE *Anthonomus eugenii* EN CINCO VARIEDADES DE CHILE**

### **2.1 RESUMEN**

En este estudio se estimó el parasitismo potencial que tendrían cuatro especies de parasitoides de larvas (*Jaliscoa hunteri*, *Eupelmus cushmani*, *Bracon* sp. 1 y *Bracon* sp. 2) sobre *Anthonomus eugenii* en cinco variedades de chile. Este porcentaje se calculó comparando la longitud de los oviposidores de los parasitoides contra la distancia desde el pericarpio a donde se localizaron las larvas dentro de los frutos de chile (recolectados en campo). Las larvas de *A. eugenii* en frutos de chile de árbol y habanero se encontraron a menor profundidad,  $1.42\pm 0.05$  y  $1.72\pm 0.17$  mm respectivamente, y a mayor en jalapeño ( $4.91\pm 0.19$  mm), pimiento ( $4.89\pm 0.35$  mm) y serrano ( $3.89\pm 0.18$  mm). La especie *Bracon* sp. 2 presentó el ovipositor más largo  $4.28\pm 0.05$  mm y *J. hunteri* el más corto  $1.93\pm 0.03$  mm. En *Bracon* sp. 2 se encontró el potencial de parasitismo más alto en las cinco variedades de chile y *J. hunteri* los más bajos. Sin embargo, en chile habanero y de árbol con todos los parasitoides se esperarían parasitismo potencial mayor a 70 %. La longitud de ovipositor, y la profundidad donde se desarrollan las larvas de picudo en las variedades de chile, podría ser una herramienta útil para la preselección de parasitoides con potencial para el control del picudo del chile. Con este estudio se puede inferir que todos los parasitoides tendrían parasitismo potencial en chile habanero y de árbol. No obstante, estas suposiciones necesitan corroborarse experimentalmente en laboratorio y campo.

**Palabras clave:** Picudo del chile, parasitoides, *Capsicum annuum*, control biológico.

## 2.2 ABSTRACT

In this study, the potential parasitism of four species of larval parasitoids (*J. hunteri*, *Eupelmus cushmani*, *Bracon* sp. 1 and *Bracon* sp. 2) on *Anthonomus eugenii* in five pepper varieties was estimated. This percentage was calculated by comparing the lengths of the parasitoid ovipositors against the distance from the pericarp to where the larvae of this pest were located within the pepper fruits harvested in the field. Larvae of *A. eugenii* in arbol and habanero pepper were found at a lower depth,  $1.42 \pm 0.05$  and  $1.72 \pm 0.17$  mm respectively and higher in jalapeño ( $4.91 \pm 0.19$  mm), pimiento ( $4.89 \pm 0.35$  mm) and serrano ( $3.89 \pm 0.18$  mm). The species *Bracon* sp. 2 presented the longest ovipositor  $4.28 \pm 0.05$  mm and *J. hunteri* the shortest  $1.93 \pm 0.03$  mm. In *Bracon* sp. 2 the highest potential parasitism were found in the five varieties of pepper and *J. hunteri* offered the lowest. However, in habanero and arbol pepper with all the parasitoids, the potential parasitism would be expected greater than 70%. The length of ovipositor, and the depth where weevil larvae develop in the pepper varieties, could be a useful tool for the preselection of parasitoids with potential for the control of the pepper weevil. With this study it can be inferred that all the parasitoids would have considerable potential for parasiting the weevil in habanero and arbol pepper. However, these assumptions need to be corroborated experimentally in laboratory and field.

**Key words:** Pepper weevil, parasitoids, *Capsicum annuum*, biological control.

## 2.3 INTRODUCCIÓN

*Anthonomus eugenii* Cano (Coleoptera: Curculionidae), el picudo del chile, es considerado como la plaga principal de cualquier variedad de chile (*Capsicum* spp.) cultivada (Bujanos 1993; Rodríguez-Leyva *et al.* 2007, 2012). Los daños que causa son provocados principalmente cuando los adultos se alimentan y ovipositan en yemas florales o frutos inmaduros, así como por el desarrollo de las larvas dentro de los frutos, lo que causa la abscisión de los mismos (Elmore *et al.* 1934; Seal y Schuster 1995; Toapanta *et al.* 2005). Esto ocasiona la disminución en producción, que puede ser del 30 al 90% si no se implementan medidas de control (Campbell 1924; Elmore *et al.* 1934; Goff y Wilson 1937; Velasco 1969; Riley y Sparks 1995).

El principal método de control de esta plaga son los insecticidas organosintéticos dirigidos a los adultos que se encuentran expuestos (Seal y Schuster 1995; Servín-Villegas *et al.* 2008), mientras que los estados inmaduros están protegidos dentro de los frutos. No obstante, algunos autores (Mariscal *et al.* 1998; Rodríguez-Leyva *et al.* 2007, 2012) señalan que la integración de más herramientas de combate, específicamente, parasitoides de inmaduros dentro de un programa de manejo integrado de plagas (MIP), podría reducir las aplicaciones de insecticidas e incrementar los niveles de control.

La diversidad de parasitoides del picudo del chile en México incluye 13 especies pertenecientes a cinco familias (Pteromalidae, Eupelmidae, Eulophidae, Braconidae, Eurytomidae) (Mariscal *et al.* 1998; Rodríguez-Leyva *et al.* 2007, 2012). De éstas, *Jaliscoa hunteri* (Crawford) (Hymenoptera: Pteromalidae) es la que se encuentra con mayor frecuencia y abundancia atacando a *A. eugenii* de manera natural en EE.UU. (Riley y Schuster 1992) y México (Rodríguez-Leyva *et al.* 2007, 2012). De esta especie se tienen reportes de parasitismo en campo, por ejemplo: Cortez *et al.* (2005) reportaron 2 % de parasitismo en jalapeño, Schuster *et al.* (1988) indicaron 50% de parasitismo en frutos de

jalapeño recolectados del suelo y 20% en pimiento. Por su parte, Riley y Schuster (1992) señalaron que no se detectó parasitismo en frutos en el suelo con diámetros mayores a 2.5 cm.

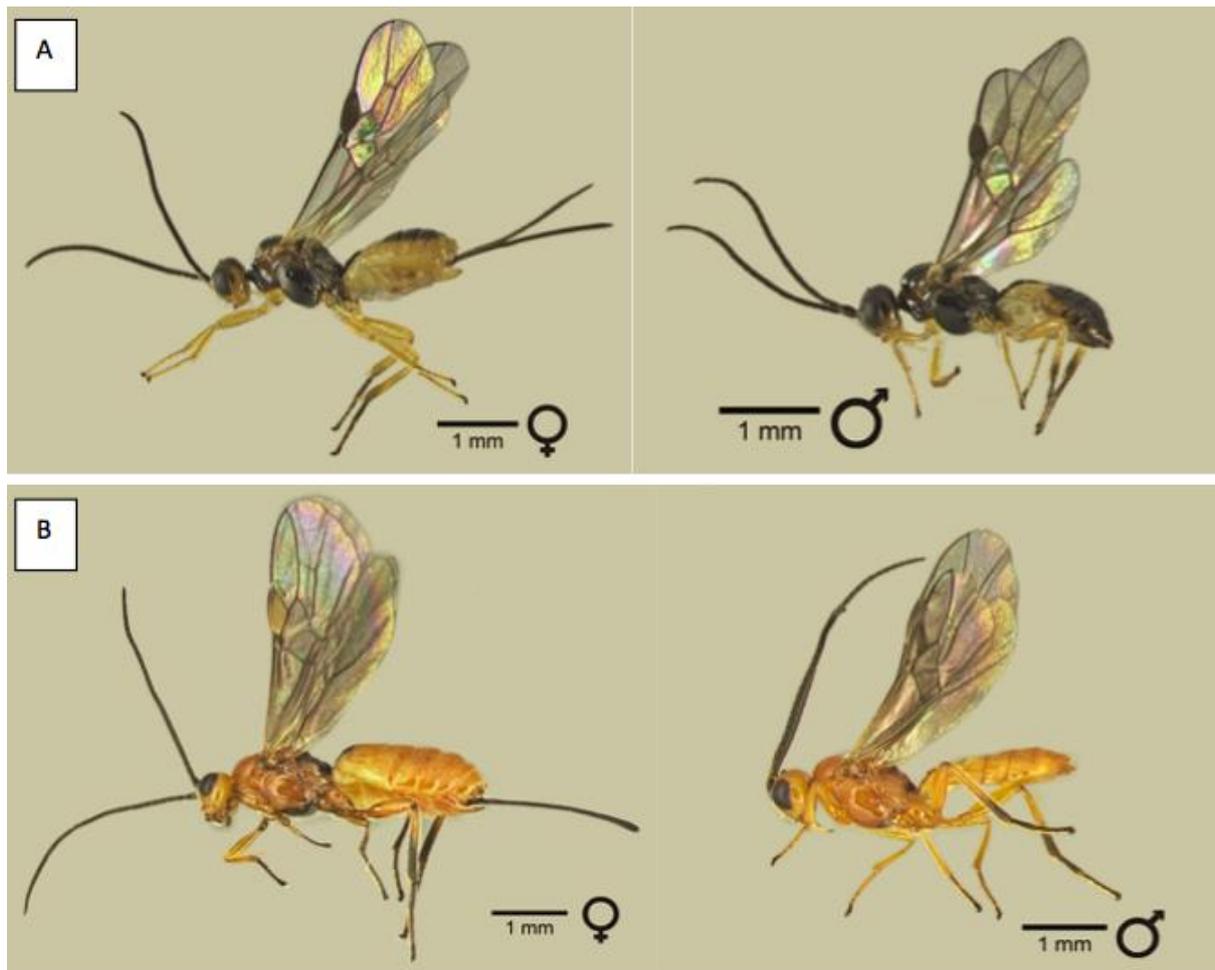
Estas diferencias en los porcentajes de parasitismo de *J. hunteri* en campo han generado interés por conocer la razón de esa variación, así como por tratar de entender por qué las especies de parasitoides presentan bajos porcentajes de parasitismo sobre *A. eugenii*. Se ha considerado que esto podría estar relacionado principalmente con dos variables. La primera, el tamaño del ovipositor de los parasitoides, pues se ha comprobado que en otras especies, como en parasitoides de moscas de la fruta, existe una relación positiva entre la longitud del ovipositor y el parasitismo (Sivinski *et al.* 2001, Sivinski y Aluja 2012). La segunda, es la domesticación de los cultivos, específicamente el agrandamiento de estructuras de plantas como los frutos y semillas, que puede inferir negativamente en la accesibilidad que tienen los enemigos naturales sobre sus huéspedes (Chen y Welter 2005; Wang *et al.* 2009; Chen *et al.* 2015). Además, estas variables no solo podrían estar condicionando el porcentaje de parasitismo como tal, sino, el porcentaje de control en su conjunto (parasitismo+alimentación sobre el huésped), pues en especies sinovigénicas, como es el caso de *J. hunteri* (Rodríguez Leyva *et al.* 2000), podrían también estar influyendo directamente sobre la eliminación del huésped mediante alimentación. Sin embargo, se carece de información que ayude a entender como estas dos variables afectan el desempeño de los parasitoides para controlar el picudo del chile. Por lo anterior, el objetivo de este trabajo fue estimar el porcentaje de parasitismo potencial de cuatro especies de parasitoides de larva sobre *A. eugenii* en cinco variedades de chile, con base en la longitud de sus ovipositores y la profundidad a la que las larvas de *A. eugenii* se encontraban dentro de los frutos en cada variedad de chile.

## 2.4 MATERIALES Y MÉTODOS

### 2.4.1 Parasitoides y frutos de chiles

En este trabajo se utilizaron cuatro especies de parasitoides de larvas: *Jaliscoa hunteri* (Hymenoptera: Pteromalidae), *Eupelmus cushmani* (Hymenoptera: Eupelmidae), *Bracon* sp.1 y *Bracon* sp. 2 (Hymenoptera: Braconidae). Todas parasitan preferentemente larvas de tercer ínstar del picudo del chile (datos sin publicar). Las dos primeras provinieron de crías de insectos del Colegio de Postgraduados (Campus Montecillo, Texcoco, Estado de México), las dos especies de braconidos fueron proporcionadas por la empresa Koppert México, estas últimas no se colectaron en picudo del chile, pero funciona como su huésped facticio y se consideró que podían tener potencial de parasitismo. Aunque se han hecho intentos de identificación de las especies de *Bracon*, un experto en el grupo (Dr. Alejandro Zaldívar Riverón del Instituto de Biología de la UNAM), señaló que no es posible su identificación, debido a que no existe una revisión reciente del grupo.

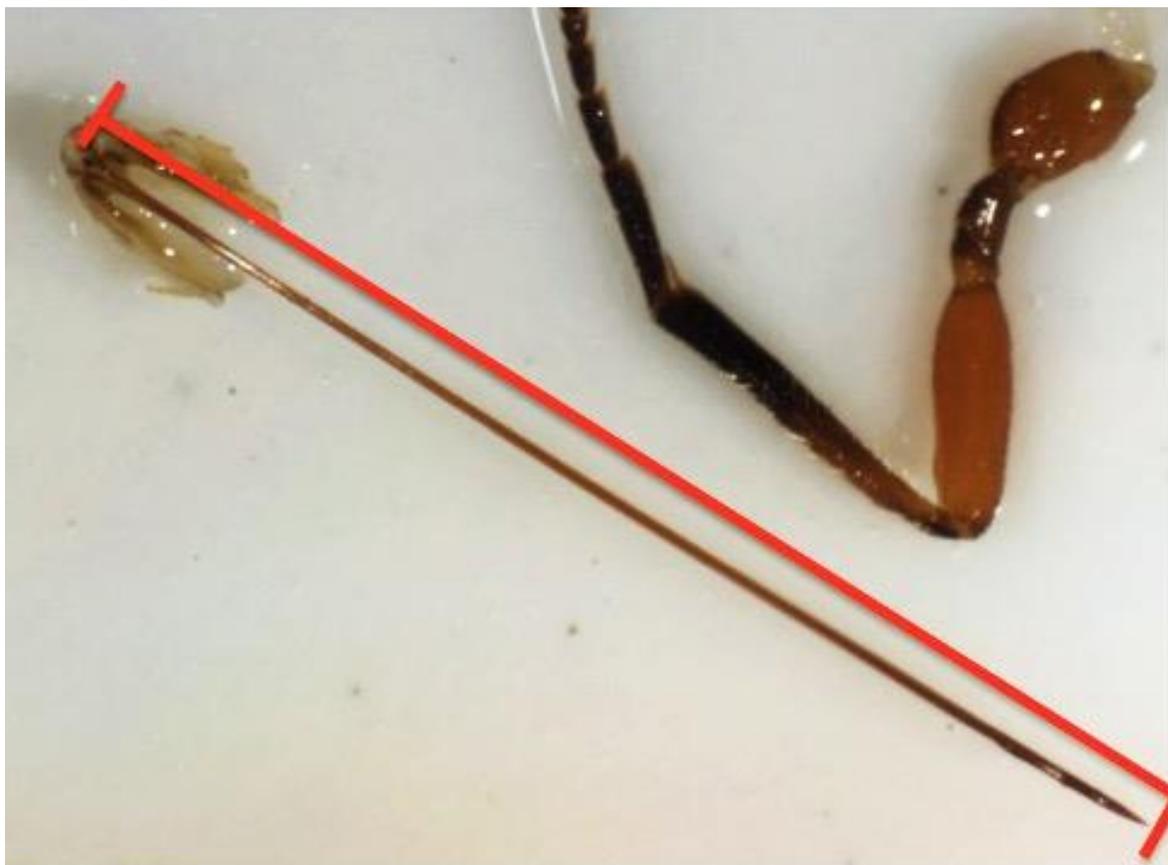
Los frutos de chile, infestados de manera natural con *A. eugenii*, se recolectaron en campo de parcelas comerciales durante 2016, de las cinco variedades que se utilizaron cuatro pertenecen a la especie *Capsicum annuum* L., estas fueron chile de árbol, jalapeño, serrano y pimiento. La otra variedad de habanero es de la especie *Capsicum chinense* Jacq.



**Figura 13.** A) *Bracon* sp.1 y B) *Bracon* sp. 2

#### 2.4.2 Longitud de ovipositores

Para medir los ovipositores de los parasitoides se utilizó la metodología descrita por Gómez-Domínguez *et al.* (2012) con algunas modificaciones. Se tomaron aleatoriamente 35 hembras de cada especie (*Bracon* sp.1, *Bracon* sp.2, *J. hunteri* y *E. cushmani*) y se colocaron en alcohol 70%. Después, utilizando pinzas entomológicas y aguja de disección se les extirpó el ovipositor. Estos se colocaron de manera individual en un portaobjeto y se les tomó una fotografía utilizando un microscopio de luz (Tessovar Carl Zeiss) equipado con una cámara digital (PaxCam 3). Posteriormente, se midió la longitud de cada ovipositor desde su base hasta la punta, mediante el programa ImageJ 1.48k.



**Figura 14.** Ovipositor de *Bracon* sp. 2, la línea roja ejemplifica la longitud que se consideró en cada medición.

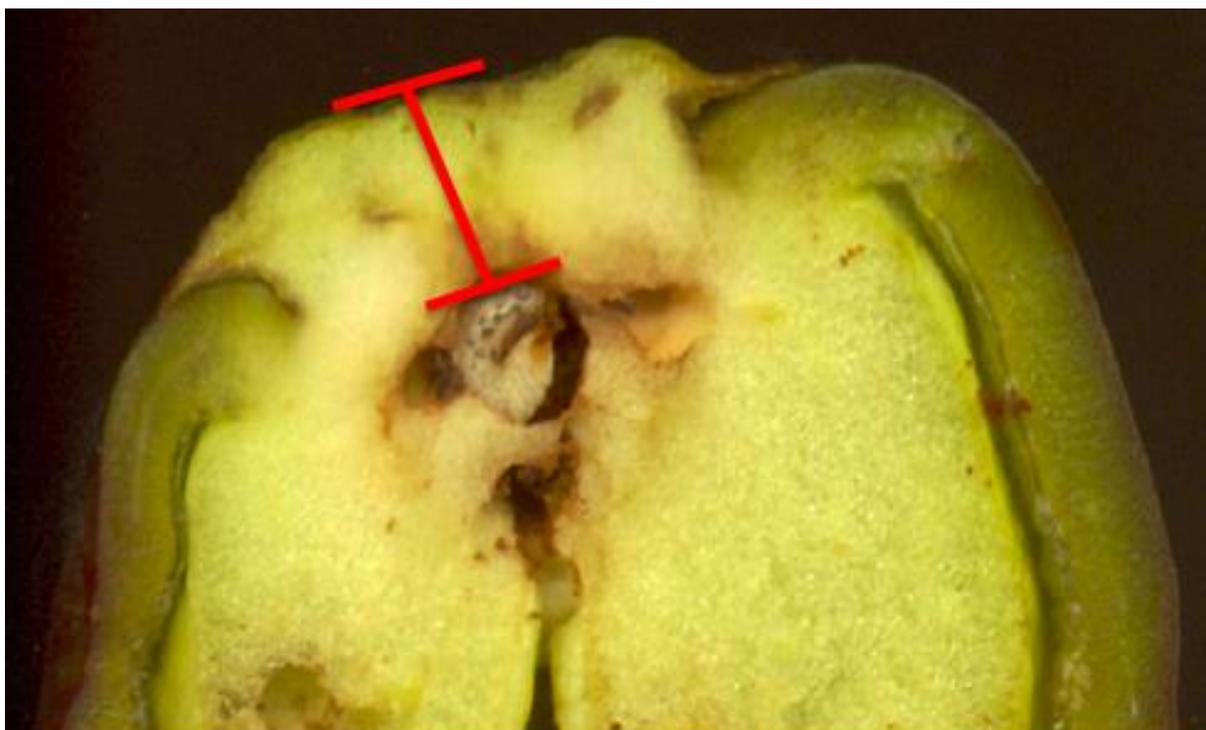
#### **2.4.3 Profundidad y distribución de larvas de *A. eugenii* en frutos de chiles**

De los chiles recolectados de campo se tomaron aleatoriamente al menos 100 frutos de cada variedad. A estos se les midió, individualmente, su longitud y diámetro utilizando un vernier digital, posteriormente se disectaron de manera vertical; los frutos con presencia de larvas, los cuales se manejaron cuidadosamente, para no mover la o las larvas de su posición original, y se escanearon utilizando un escáner (hp SCANJET 5590) a una resolución de 600 pixeles por pulgada; este procedimiento se repitió hasta obtener 100 imágenes de larvas por cada variedad de chile. La profundidad a las que se encontraban las larvas de tercer ínstar

dentro del fruto (=distancia desde pericarpio a la larva de *A. eugenii*) se midió con el programa ImageJ 1.48k. Adicionalmente, la longitud de cada fruto se dividió en tercios (basal, enseguida del cáliz; medio y apical) para describir su distribución.



**Figura 15.** Fruto de pimiento infestado con *A. eugenii*, disectado de manera vertical



**Figura 16.** Fruto de pimiento infestado con *A. eugenii*, la línea roja ejemplifica la longitud que se consideró para determinar la profundidad de las larvas en cada variedad.

#### **2.4.4 Porcentaje de parasitismo potencial de parasitoides sobre *A. eugenii* y análisis estadístico**

Para determinar el porcentaje de parasitismo potencial, se consideró que un parasitoide tendría la capacidad de parasitar o alimentarse de las larvas de *A. eugenii*, cuando la longitud de su ovipositor fuera igual o mayor al compararla contra la profundidad a la que se encontraban las larvas en los frutos de chiles. Los resultados se presentan como medias ( $\pm$ E.E); en todos los casos los resultados se analizaron mediante un análisis de varianza (ANOVA), y cuando se encontraron diferencias significativas se realizaron pruebas de separaciones múltiples de medias usando Tukey ( $P \leq 0.05$ ) con el programa Statistix 8.1.

## 2.5 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 2.5.1 Longitud de oviposidores

La longitud de los oviposidores de las cuatro especies de parasitoides fueron diferentes significativamente ( $F_{3, 136} = 462.37$ ;  $P < 0.0001$ ) (Cuadro 2). *Bracon* sp. 2 fue la especie con el ovipositor más largo ( $4.28 \pm 0.05$  mm). Le siguieron *E. cushmani* con  $3.33 \pm 0.06$  mm y *Bracon* sp. 1 con  $3.08 \pm 0.03$  mm, *J. hunteri* presentó el ovipositor de menor tamaño  $1.93 \pm 0.03$  mm. Sólo de este último se tenía registro anterior de la longitud de su ovipositor (Gómez-Domínguez *et al.* 2012) y las dimensiones reportadas en este trabajo fueron similares ( $1.91 \pm 0.17$  mm). Aunque no existen trabajos que describan la influencia de la longitud del ovipositor de parasitoides *A. eugenii* en el porcentaje de parasitismo, se ha especulado sobre ello y no se había presentado evidencia experimental. Por otro lado, los trabajos de Sivinski *et al.* (2001) y Sivinski y Aluja (2012), relacionados con la longitud del ovipositor de parasitoides que atacan a larvas de moscas de la fruta, señalan que la longitud del ovipositor es una limitante importante en el forrajeo de parasitoides de esas plagas, puesto que rara vez se encontraron parasitoides de ovipositor corto en frutos de gran tamaño, y se demostró que hay una correlación positiva entre la longitud del ovipositor y el tamaño de la fruta donde las larvas del huésped son atacadas.

**Cuadro 2.** Longitud de oviposidores de parasitoides de larva de *Anthonomus eugenii*

Parasitoide	n	Longitud de ovipositor (mm)		
		*Media±E.E.	Mínima	Máxima
<i>Bracon</i> sp. 1	35	3.08±0.03 C	2.53	3.35
<i>Bracon</i> sp. 2	35	4.28±0.05 A	3.54	4.80
<i>Jaliscoa hunteri</i>	35	1.93±0.03 D	1.43	2.50
<i>Eupelmus cushmani</i>	35	3.33±0.06 B	2.19	3.79

\*Medias con letras iguales no difieren estadísticamente (Tukey  $P \leq 0.05$ ).

### 2.5.2 Profundidad y distribución de larvas de *A. eugenii* en frutos de chiles

Las larvas de *A. eugenii* se localizaron a diferente profundidad en los frutos de chiles de las variedades ( $F_{4, 495} = 64.67$ ;  $P < 0.0001$ ) (Cuadro 3). En chile de árbol y habanero se encontraron a menor profundidad,  $1.42 \pm 0.05$  y  $1.72 \pm 0.17$  mm respectivamente, y no fueron diferentes entre sí. En serrano se registraron a  $3.89 \pm 0.18$  mm y difirieron con las demás variedades. Para jalapeño ( $4.91 \pm 0.19$  mm) y pimiento ( $4.89 \pm 0.35$  mm) las larvas se observaron a mayor profundidad, aunque no hubo diferencias entre sí (Cuadro 3).

En los frutos de chile de las cinco variedades se registraron diferencias en diámetro ( $F_{4, 495} = 549.68$ ;  $P < 0.0001$ ) y longitud ( $F_{4, 495} = 74.24$ ;  $P < 0.0001$ ) (Cuadro 4). La variedad con diámetro mayor fue pimiento  $4.04 \pm 0.10$  cm, le continuó habanero  $2.35 \pm 0.04$  cm, jalapeño  $2.02 \pm 0.03$  cm, serrano  $1.76 \pm 0.02$  y árbol con  $0.80 \pm 0.01$  cm. En cuanto a longitudes, serrano obtuvo la mayor  $5.12 \pm 0.10$  cm, seguida por jalapeño  $4.52 \pm 0.11$  cm, pimiento  $3.93 \pm 0.13$  cm, árbol  $3.84 \pm 0.13$  cm y habanero  $2.64 \pm 0.05$  cm (Cuadro 4).

En este trabajo se incluyeron las medidas de longitud y diámetro de los frutos de chile, pero se considera que sólo el diámetro es relevante en este caso, principalmente porque esto puede determinar la profundidad a la que se pueden encontrar las larvas de *A. eugenii*. La variedad con diámetro mayor fue pimiento, y en orden descendente le continuaron habanero, jalapeño, serrano y de árbol. Por lo tanto, se esperaba que la profundidad de las larvas en los frutos de chile se comportara en el mismo orden. Sin embargo, no fue así para todos los casos, en jalapeño, pimiento y serrano las larvas se observaron a mayor profundidad, lo cual significaría que están menos accesibles al ataque de parasitoides, y en chile de árbol y habanero las larvas de picudo se encontraron a menor profundidad y teóricamente serían más vulnerables. Los trabajos de Sivinski *et al.* (2001) y Wang *et al.* (2009) indicaron que en moscas de la fruta el porcentaje de parasitismo está influenciado por el tamaño de la fruta, y

que es mayor en frutos de tamaño pequeño y mediano, y menor en los de tamaño grande. La evidencia experimental de tamaño de ovipositor y variabilidad en la profundidad en la que se desarrollan las larvas de picudo del chile ayudaría a entender por qué se han reportado bajos niveles de parasitismo y poca efectividad de *J. hunteri* para controlar picudo en frutos mayores a 2.5 cm de diámetro (Riley y Schuster 1992), y en variedades como pimiento y jalapeño (Schuster *et al.* 1988; Corrales 2002; Cortez *et al.* 2005).

Las larvas de *A. eugenii* se distribuyeron de manera diferente en los frutos de cada variedad de chile (Cuadro 4). En chile de árbol las larvas se encontraron con mayor frecuencia en los tercios medio y basal  $47\pm 0.05$  y  $37\pm 0.05$  % respectivamente, y difirieron del tercio apical donde sólo se encontró un  $16\pm 0.04$  % de las larvas ( $F_{2, 297} = 12.06$ ;  $P < 0.0001$ ). En chile habanero los tercios apical ( $46\pm 0.05$  %) y basal ( $33\pm 0.05$  %) concentraron el mayor número de larvas, en el tercio medio sólo hubo un  $21\pm 0.04$  % y fue menor que el tercio apical ( $F_{2, 297} = 7.31$ ;  $P = 0.0008$ ). En el caso de jalapeño hubo más larvas en los tercios basal ( $46\pm 0.05$  %) y medio ( $43\pm 0.05$  %), y fueron diferentes al tercio apical ( $11\pm 0.03$  %) ( $F_{2, 297} = 18.90$ ;  $P < 0.0001$ ). En pimiento la mayor cantidad de larvas se encontró en el tercio basal ( $51\pm 0.05$  %) y fue diferente al tercio medio ( $28\pm 0.05$  %) y apical ( $21\pm 0.04$  %) ( $F_{2, 297} = 11.85$ ;  $P < 0.0001$ ). En serrano las larvas se distribuyeron de la misma manera que en pimiento, se encontró la mayor cantidad en el tercio basal ( $71\pm 0.05$  %), y también fue diferente de los tercios medio y apical donde sólo se encontraron  $15\pm 0.04$  % y  $14\pm 0.03$  %, respectivamente ( $F_{2, 297} = 69.66$ ;  $P < 0.0001$ ).

En general la distribución de las larvas de *A. eugenii* en los frutos de chile de cada variedad fue diferente. En jalapeño, pimiento y serrano la mayor cantidad de larvas se encontraron en el tercio basal y medio, y en menor cantidad en el tercio apical. Aunque se sabe que las hembras de *A. eugenii* prefieren ovipositar en el tercio basal (Toapanta *et al.* 2005; Seal y Martin 2016), las larvas al emerger del huevo se pueden desplazar a otro sitio para

alimentarse. Simonovska *et al.* (2014) reportaron mayor cantidad de proteína, azúcares reducidos, capsaicina y algunos elementos en la placenta en relación con las semillas y el pericarpio. En este trabajo no se cuantificó la cantidad de placenta y semillas en los frutos; no obstante, fue evidente que una mayor cantidad de estos tejidos se encontraba en el tercio basal, después en el medio y poco en el tercio apical, de la misma forma en que se encontraron distribuidas las larvas en estas tres variedades. Por lo tanto, se considera que la distribución de las larvas puede estar influenciada por la anatomía y fisiología del fruto (tejidos con valor nutricional diferente). En chile de árbol las larvas se encontraron mayormente distribuidas en el tercio medio y tercio basal. En el caso de chile habanero se encontraron más larvas en el tercio apical, seguido del tercio basal. Para estas dos variedades se considera que la distribución de las larvas podría estar influenciada por las mismas razones que se expusieron anteriormente. No obstante, en chile de árbol los frutos tienen una distribución de placenta y semillas más o menos homogénea en toda su longitud; sin embargo, en el tercio medio el diámetro de los frutos es aparentemente mayor en comparación con el basal y apical, esto podría ayudar a explicar la mayor abundancia de larvas en esa sección del fruto. En el caso particular del chile habanero los frutos tienen poca placenta y semillas, menos que cualquiera de las otras cuatro variedades, por esta razón las larvas se ven obligadas a alimentarse y desarrollarse con mucha frecuencia en el pericarpio; no obstante, en el tercio apical (con mayor número de larvas) la forma del fruto es frecuentemente irregular y el pericarpio aparentemente más grueso. Hasta ahora se trató de relacionar la distribución de las larvas con el contenido nutrimental del fruto; sin embargo, con el proceso de domesticación y mejoramiento de las variedades de chile también se ha incrementado el tamaño y espesor de los frutos. Esta condición, probablemente esté relacionada con la oportunidad de desarrollarse de las larvas en lugares menos vulnerables por sus enemigos naturales. Adicionalmente, es necesario señalar que la infestación de frutos

fue natural, y no se tiene registro de la densidad poblacional de picudo del chile en los sitios donde se colectaron los frutos; por lo tanto, se desconoce si la densidad podría estar interviniendo también en distribución de las larvas en cada variedad.

**Cuadro 3.** Profundidad a la que se localizaron las larvas de *Anthonomus eugenii* en frutos de chile de diferentes variedades.

Variedad	n	Distancia desde el pericarpio a las larvas de <i>A. eugenii</i> (mm)		
		*Media±E.E.	Mínima	Máxima
Árbol	100	1.42±0.05 A	0.23	3.89
Habanero	100	1.72±0.17 A	0.16	6.85
Jalapeño	100	4.91±0.19 C	1.20	9.16
Pimiento	100	4.89±0.35 C	0.32	16.63
Serrano	100	3.89±0.18 B	0.41	6.94

\*Medias con letras iguales no difieren estadísticamente (Tukey  $P \leq 0.05$ ).

**Cuadro 4.** Tamaños de frutos de chiles y distribución de larvas de *Anthonomus eugenii* en ellos.

Variedad	n	Longitud (cm) <sup>a</sup> Media±E.E	Diámetro (cm) <sup>a</sup> Media±E.E	Distribución de larvas de <i>A. eugenii</i> en frutos (%) <sup>b</sup>		
				1 basal	2 medio	3 apical
Árbol	100	3.84±0.13 C	0.80±0.01 E	37±0.05 a	47±0.05 a	16±0.04 b
Habanero	100	2.64±0.05 D	2.35±0.04 B	33±0.05 ab	21±0.04 b	46±0.05 a
Jalapeño	100	4.52±0.11 B	2.02±0.03 C	46±0.05 a	43±0.05 a	11±0.03 b
Pimiento	100	3.93±0.13 C	4.04±0.10 A	51±0.05 a	28±0.05 b	21±0.04 b
Serrano	100	5.12±0.10 A	1.76±0.02 D	71±0.05 a	15±0.04 b	14±0.03 b

<sup>a</sup>Medias con letras mayúsculas iguales entre columnas no difieren estadísticamente (Tukey  $P \leq 0.05$ ).

<sup>b</sup>Medias con letras minúsculas iguales entre filas no difieren estadísticamente (Tukey  $P \leq 0.05$ ).

### 2.5.3 Porcentaje de parasitismo potencial de parasitoides sobre *Anthonomus eugenii*

El porcentaje de parasitismo potencial de *Bracon* sp. 1 sobre *A. eugenii* en las cinco variedades de chile fue diferente ( $F_{4, 170} = 4,959.48$ ;  $P < 0.0001$ ). En chile de árbol y habanero podría alcanzar  $98.9 \pm 0.0$  % y  $83.6 \pm 0.3$  %, respectivamente. El porcentaje de parasitismo potencial disminuiría en pimiento ( $35.2 \pm 0.4$  %) y serrano ( $33.9 \pm 0.5$  %), y sería el más bajo en jalapeño con un  $25.7 \pm 0.8$  % (Fig. 17A).

En *Bracon* sp. 2 el porcentaje de parasitismo potencial también fue diferente ( $F_{4, 170} = 1,255.50$ ;  $P < 0.0001$ ), y fue el más elevado en todas las variedades. Los mayores porcentajes de parasitismo potencial los tendría en chile de árbol ( $99.8 \pm 0.1$  %) y habanero ( $89.6 \pm 0.2$  %), y sería menor en serrano ( $59.8 \pm 1.0$  %), pimiento ( $54.1 \pm 0.8$  %) y jalapeño ( $45.6 \pm 0.8$  %) (Fig. 17B).

En el caso de *E. cushmani* el porcentaje de parasitismo potencial tuvo diferencias entre variedades ( $F_{4, 170} = 1,423.97$ ;  $P < 0.0001$ ). Los mayores porcentajes de parasitismo se obtendrían en chile de árbol ( $98.8 \pm 0.1$ %) y habanero ( $84.4 \pm 0.5$ %). Disminuiría de manera semejante en serrano ( $38.9 \pm 10.4$ %) y pimiento ( $38.1 \pm 0.9$ %), pero el menor porcentaje se observaría en chile jalapeño ( $31.2 \pm 11.3$ %) (Fig. 17C).

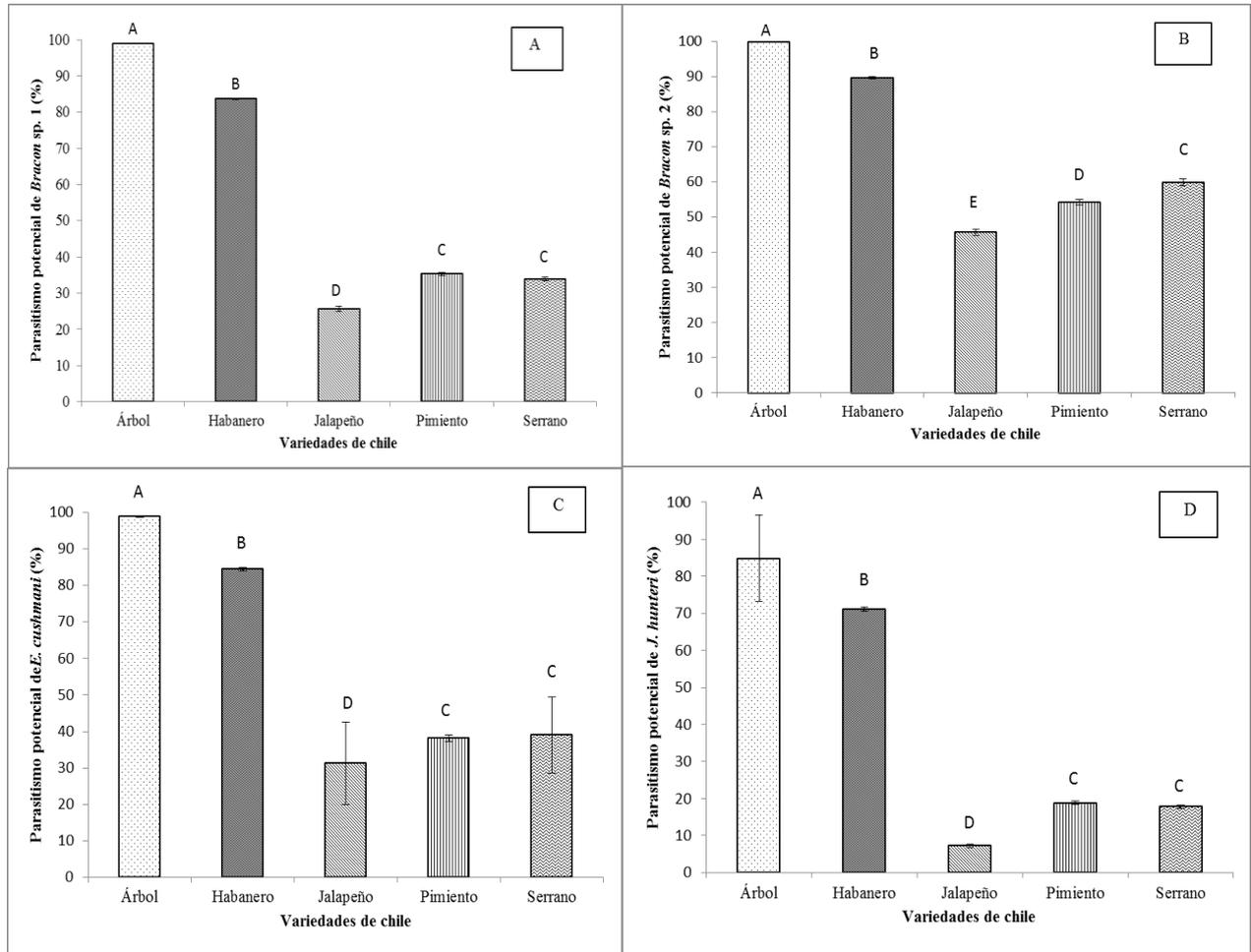
Con *J. hunteri* también se encontraron diferencias en el porcentaje de parasitismo potencial ( $F_{4, 170} = 2,806.24$ ;  $P < 0.0001$ ). En este parasitoide se registraron los menores porcentajes de parasitismo potencial en las cinco variedades de chile. Sin embargo, al igual que los demás parasitoides se esperarían los mayores porcentajes de parasitismo en chile de árbol ( $84.9 \pm 11.7$  %) y habanero ( $71.1 \pm 0.5$  %). En pimiento y serrano obtendría  $18.8 \pm 0.4$  % y  $17.8 \pm 0.5$  % y el más bajo sería jalapeño con  $7.2 \pm 0.5$  % (Fig. 17D).

A pesar de que con los resultados de este estudio se sugiere que *J. hunteri* sería el candidato menos idóneo para controlar al picudo del chile en las cinco variedades, es bien sabido que es

el parasitoide que se encuentra con mayor frecuencia y abundancia atacando en campo a *A. eugenii* de manera natural en EE.UU. (Riley y Schuster 1992) y México (Rodríguez-Leyva *et al.* 2000, 2007, 2012); por lo tanto, se considera no se debe subestimar el potencial de este parasitoide, pues parece estar mejor adaptado a las condiciones de campo y podría ser utilizado para atacar al picudo del chile en variedades de diámetros pequeños o en sus hospederas alternas de frutos pequeños como *Solanum americanum*, como lo indicó Schuster (2007). *Bracon* sp. 2 sería teóricamente el candidato más promisorio para controlar al picudo en invernadero, pues no es su huésped natural y se desconoce si en campo sea funcional su liberación para esta plaga. Las especies *E. cushmani* y *Bracon* sp. 1, al parecer obtendrían similares porcentajes de parasitismo potencial. Aunque en general, en este estudio, se podría inferir que las cuatro especies de parasitoides pudieran tener potencial para el control del picudo del chile en las variedades de árbol y habanero; no obstante, estas suposiciones necesitan corroborarse experimentalmente en invernadero y campo.

Por el momento, y aún con la limitada información que se cuenta, se considera que el porcentaje de parasitismo potencial obtenido a partir de la longitud de oviposidores y la profundidad de las larvas de picudo en las variedades de chile, puede ser una herramienta útil para la preselección de parasitoides con mayor potencial para acceder al huésped, lo que se podría traducir en mejores oportunidades para el control del picudo del chile. Además, sería recomendable que los parasitoides que resultaran aparentes candidatos con buen potencial para el control, se sometieran posteriormente a la evaluación de otros factores importantes como su capacidad de búsqueda y localización del huésped, biología (fecundidad, fertilidad, longevidad), así como su tolerancia o resistencia a las condiciones adversas donde se pretende liberar. Por lo tanto, se recomienda continuar con investigaciones de este tipo hasta comprobar cuál parasitoide representaría la mejor opción, que pudiera contribuir al manejo

del picudo en al menos algunas de las variedades de chile de importancia económica en el mundo.



**Figura 17.** Porcentajes de parasitismo potencial sobre *Anthonomus eugenii* en cinco variedades de chile. Medias con letras iguales no difieren estadísticamente (Tukey  $P \leq 0.05$ ).

### **CAPÍTULO 3. PARASITISMO REAL DE DOS ESPECIES DE PARASITOIDES SOBRE *Anthonomus eugenii* (COLEOPTERA: CURCULIONIDAE) EN TRES VARIEDADES DE CHILE**

#### **3.1 RESUMEN**

El picudo del chile es considerado una plaga clave en el cultivo de chile y, hasta el momento, ninguna de las 13 especies de parasitoides que lo atacan se han empleado como posibles agentes de control. En algunas especies de parasitoides se ha reportado que la longitud del ovipositor, así como las consecuencias de la domesticación de los cultivos, específicamente el agrandamiento de frutos y semillas, puede inferir negativamente en la accesibilidad que tienen sobre sus huéspedes. No obstante, en el caso de los parasitoides de picudo del chile no se ha presentado evidencia experimental. El objetivo de este trabajo fue determinar el porcentaje de parasitismo y alimentación real de dos especies de parasitoides de larva sobre *A. eugenii* en tres variedades de chile (chile de árbol, pimiento y jalapeño). Los parasitoides fueron *J. hunteri* y *Bracon* sp. 2, sus oviposidores midieron  $1.91 \pm 0.17$  mm y  $4.28 \pm 0.05$  mm, respectivamente. El porcentaje de parasitismo y alimentación de las dos especies fue mayor en chile de árbol, esta variedad fue la de menor diámetro ( $\leq 1.5$ cm). *J. hunteri* logró matar un 8.5% más de larvas que *Bracon* sp. 2. En las variedades de chile con diámetros mayores, pimiento ( $< 5$ cm) y jalapeño ( $< 2.5$ cm), *Bracon* sp. 2 obtuvo 10 % y 7% más mortalidad respectivamente, en contraste a *J. hunteri*. En este trabajo se aporta evidencia experimental sobre la influencia del tamaño del ovipositor de los parasitoides, y el lugar donde se desarrollan las larvas de sus huéspedes influenciado por la talla de los frutos. Además, en este estudio fue evidente que *J. hunteri* podría tener algunas ventajas sobre otros parasitoides a excepción de su ovipositor y en variedades de chile donde la profundidad de las larvas no sea un factor limitante.

**Palabras clave:** Picudo del chile, parasitismo, depredación, control biológico.

### 3.1 ABSTRACT

The pepper weevil is considered a key pest in pepper crops. So far, none of the 13 species of pepper weevil parasitoids have been effective in their control. It has been reported that in other species of parasitoids, the length of the ovipositor as well as the domestication of crops, specifically the enlargement of fruits and seeds, can negatively infer the accessibility they have on their hosts. However, in the case of the pepper weevil parasitoids, the question was whether these variables were also influencing its performance; therefore, the objective of this work was to determine the percentage of control of two species of larval parasitoids on *A. eugenii* in three varieties of pepper (chile de árbol, pimienta and jalapeño). The parasitoids evaluated were *J. hunteri* and *Bracon* sp. 2, their ovipositors measure  $1.91 \pm 0.17$  mm and  $(4.28 \pm 0.05)$  mm, respectively. The percentage of control of the two species of parasitoid in the variety of chile de árbol was greater, this variety had the smaller diameter ( $\leq 1.5$ cm), and the parasitoid *J. hunteri* managed to control 8.5 % more larvae than *Bracon* sp. 2. In pepper varieties with larger diameters, pimienta ( $< 5$ cm) and jalapeño ( $< 2.5$ cm), *Bracon* sp. 2 obtained 10% and 7% more control respectively, in contrast to *J. hunteri*. It is considered that this study provides more evidence on the influence of the size of the ovipositor of the parasitoids and the size of the fruits in the accessibility to their hosts. In addition, in this study it was evident that *J. hunteri* could have some advantages over other parasitoids with the exception of its ovipositor and in pepper varieties where the depth of the larvae is not a limiting factor (chile de árbol) could compete evenly or exceed in efficiency to other species.

**Keywords:** Pepper weevil, parasitism, predation, biological control.

### 3.3 INTRODUCCIÓN

*Anthonomus eugenii* Cano (Coleoptera: Curculionidae), el picudo del chile, es considerado como la plaga principal de cualquier variedad de chile cultivada, *Capsicum* spp. (Bujanos 1993; Rodríguez-Leyva *et al.* 2007, 2012). Los daños que causa son provocados principalmente cuando los adultos se alimentan y ovipositan en yemas florales o frutos inmaduros, así como por el desarrollo de las larvas dentro de los frutos, lo que causa la abscisión de los mismos (Elmore *et al.* 1934; Seal y Schuster 1995; Toapanta *et al.* 2005). Esto ocasiona la disminución en producción, que puede ser del 30 al 90% si no se implementan medidas de control (Campbell 1924; Elmore *et al.* 1934; Goff y Wilson 1937; Velasco 1969; Riley y Sparks 1995).

El principal método de control de esta plaga son los insecticidas dirigidos a los adultos que se encuentran expuestos (Seal y Schuster 1995; Servín-Villegas *et al.* 2008), mientras que los estados inmaduros están protegidos dentro de los frutos y se dificulta su control. Algunos autores (Mariscal *et al.* 1998; Rodríguez-Leyva *et al.* 2007, 2012) señalan que la integración de más herramientas de combate, específicamente, parasitoides de inmaduros dentro de un programa de manejo integrado de plagas (MIP), podría reducir las aplicaciones de insecticidas e incrementar los niveles de control.

La diversidad de parasitoides del picudo del chile reportados en Norteamérica, incluyendo a México, EE.UU. y Canadá, incluye 13 especies pertenecientes a cinco familias (Pteromalidae, Eupelmidae, Eulophidae, Braconidae, Eurytomidae) (Mariscal *et al.* 1998; Rodríguez-Leyva *et al.* 2007, 2012; Labbé *et al.* 2018). De todas estas especies *Jaliscoa hunteri* (Crawford), Hymenoptera: Pteromalidae, es la que se encuentra con mayor frecuencia y abundancia atacando a *A. eugenii* de manera natural en EE.UU. (Riley y Schuster 1992) y México (Rodríguez-Leyva *et al.* 2007, 2012). Esto podría sugerir que está mejor adaptada o que cuenta con alguna ventaja sobre las otras especies de parasitoides. No obstante, los

porcentajes de parasitismo en campo de esta especie son variables, de 2 a 50% en frutos de chile jalapeño y 20% en pimiento recolectados del suelo (Schuster *et al.* 1988; Cortez *et al.* 2005).

El parasitismo de esta y las demás especies de parasitoides sobre picudo del chile podría estar relacionada principalmente con dos variables. La primera, el tamaño del ovipositor, pues se ha comprobado que en otras especies, como en parasitoides de moscas de la fruta, existe una relación positiva entre la longitud del ovipositor y el parasitismo (Sivinski *et al.* 2001; Sivinski y Aluja 2012). La segunda, el lugar donde se desarrollan las larvas de tercer ínstar dentro de los frutos, pues el parasitismo en campo ha diferido entre las variedades, además de que en frutos de chile con diámetros mayores a 2.5 cm no se detectó parasitismo por *J. hunteri* (Riley y Schuster 1992).

En algunos estudios se ha propuesto que la domesticación de los cultivos, específicamente el agrandamiento de estructuras de plantas como los frutos y semillas, pudo haber influido negativamente en la accesibilidad que tienen los enemigos naturales sobre sus huéspedes (Sivinski *et al.* 2001; Chen y Welter 2005; Wang *et al.* 2009; Sivinski y Aluja 2012; Chen *et al.* 2015). Además del parasitismo, estas variables podrían haber condicionado también la capacidad para alcanzar y alimentarse de los huéspedes por parte de parasitoides sinovigénicos, como es el caso de *J. hunteri* (Rodríguez Leyva *et al.* 2000). La influencia de estas dos variables en el desempeño de parasitoides del picudo del chile no se ha probado, sólo se cuenta con el conocimiento previo de que los parasitoides con ovipositores más largos tendrían mayor cantidad de larvas de picudo del chile disponibles para explotar en variedades y frutos de diámetros pequeños o con reducida cantidad de placenta (que obligue a las larvas a desarrollarse en el pericarpio) (Capítulo 2 de esta tesis); por lo tanto, el objetivo de este trabajo fue determinar el porcentaje real de parasitismo y alimentación sobre el huésped de dos especies de parasitoides de larva de *A. eugenii* en tres variedades de chile.

### **3.4 MATERIALES Y MÉTODOS**

#### **3.4.1 Insectos**

En este trabajo se utilizaron adultos de *J. hunteri* (Hymenoptera: Pteromalidae) y *Bracon* sp. 2: (Hymenoptera: Braconidae) que son parasitoides de tercer ínstar de larvas del picudo del chile. Se emplearon hembras con 10 días de edad, previamente apareadas y con experiencia de oviposición, las cuales fueron proporcionadas por la empresa Koppert México. La especie *Bracon* sp. 2 no se colectó de picudo del chile, pero este puede funcionar como su huésped facticio y se consideró que podían tener potencial para su control pues es de mayor tamaño que *J. hunteri*. También, se utilizaron hembras adultas de *A. eugenii* de 10 días de edad, previamente apareadas y con experiencia de oviposición, que provenían de una colonia establecida en el Laboratorio de Control Biológico del Colegio de Postgraduados en Texcoco, Estado de México.

#### **3.4.2 Frutos de chile**

Se utilizaron tres variedades de chile de la especie *Capsicum annuum* L., estos se encontraban en etapa inmadura y eran de diámetros específicos: “Chile de árbol”  $\leq 1.5\text{cm}$ , “Jalapeño”  $< 2.5\text{cm}$  y “Pimiento”  $< 5\text{cm}$ . Estos se obtuvieron de plantas en un invernadero del Colegio de Postgraduados. Las plantas se desarrollaron en sustrato de arena de tezontle en bolsas de plástico de 30 cm de diámetro y 40 cm de altura. Como. Las plantas se regaban diariamente con solución nutritiva (Ultrasol® Desarrollo 18-6-18 a 1 g/l) mediante un sistema de riego por goteo automatizado.

### **3.4.3 Parasitismo y alimentación sobre el huésped de dos especies de parasitoides de larva de *A. eugenii* en tres variedades de chile.**

Los experimentos se llevaron a cabo en condiciones controladas  $27\pm 2$  °C,  $60\pm 10\%$  HR, 12:12 L:O. Para infestar los frutos de cada variedad de chile se empleó una jaula rectangular de plástico con capacidad de 3.8 litros (con ventanas de tela de organza). En ésta se colocaban juntos 15 frutos, de la misma variedad, y 30 hembras de picudo durante 24 h. Posteriormente, se retiraban los frutos y con un microscopio estereoscopio se contabilizaba el número de oviposturas en cada fruto. Después, en jaulas cuadradas de plástico transparente de 1 L de capacidad, con dos ventanas de tela de organza (6X5cm) a los costados, se confinaban frutos de la misma variedad de chile con diferentes cantidades de oviposturas (entre 15- 20 oviposturas por jaula), y estos permanecían así por 7d para que las larvas de picudo estuvieran en 3<sup>er</sup> ínstar considerando el tiempo de desarrollo a esa temperatura (Toapanta *et al.* 2005). Una vez transcurrido este periodo se introducían dos hembras de una especie de parasitoide a cada tratamiento, según correspondiera *J. hunteri* o *Bracon* sp. 2, y un testigo permanecía sin parasitoide. Los frutos y los parasitoides permanecían juntos por tres días y posteriormente se retiraban. Los frutos se disectaban y ayudándose de un microscopio estereoscopio se contabilizaba el número de larvas sanas, parasitadas o las que murieron por alimentación del parasitoide (colapsadas y/o con cicatrices de picaduras). En total se realizaron 30 repeticiones por tratamiento.

### **3.4.4 Análisis estadístico**

En los resultados se omitieron los valores del testigo pues sus valores fueron cero, no hubo mortalidad sin la presencia de parasitoides. Se realizaron análisis de varianza (ANOVA), y pruebas de separaciones múltiples de medias usando Tukey ( $P\leq 0.05$ ) con el programa Statistix 8.1. Los porcentajes se estimaron de la siguiente manera: alimentación sobre el

huésped = número de larvas con daño por alimentación / número total de larvas X 100.

Parasitismo = (número de larvas parasitadas / número total de larvas X 100). Control = (número de larvas parasitadas+dañadas por alimentación / número total de larvas X 100).

### 3.5 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 3.5.1 Parasitismo y alimentación sobre el huésped de dos especies de parasitoides de larvas sobre *A. eugenii* en tres variedades de chile.

Con el parasitoide *Jaliscoa hunteri* se obtuvieron diferencias en alimentación sobre el huésped ( $F_{2, 87} = 14.69$ ;  $P < 0.0001$ ), en la variedad de chile de árbol las larvas muertas por alimentación alcanzaron el  $41.85 \pm 3.86\%$  y éste sólo difirió de jalapeño ( $22.25 \pm 2.51\%$ ) y pimiento ( $21.95 \pm 2.32\%$ ). El parasitismo también fue diferente ( $F_{2, 87} = 21.66$ ;  $P < 0.0001$ ). El porcentaje de parasitismo fue mayor en chile de árbol ( $33.16 \pm 3.82\%$ ) que en pimiento ( $14.71 \pm 1.99$ ) y jalapeño ( $8.97 \pm 1.89$ ); entre los últimos dos valores no se observaron diferencias. Con respecto a la mortalidad provocada por la suma de parasitismo y depredación en larvas también se detectaron diferencias ( $F_{2, 87} = 46.78$ ;  $P < 0.0001$ ). El porcentaje de mortalidad fue mayor en chile de árbol ( $74.97 \pm 3.88$ ), y no se encontró diferencia entre la mortalidad en frutos de chile jalapeño ( $31.23 \pm 3.33$ ) y los de pimiento pimiento ( $36.65 \pm 3.21$ ) (Cuadro 5).

Para la especie *Bracon* sp. 2 también se encontraron diferencias en la alimentación sobre el huésped ( $F_{2, 87} = 4.03$ ;  $P = 0.0212$ ); El mayor porcentajes de larvas muertas por alimentación se registraron en chile de árbol ( $32.83 \pm 3.06$ ) y jalapeño ( $24.88 \pm 3.11$ ) y no fueron diferentes estadísticamente entre sí. En contraste, en pimiento el porcentaje de mortalidad por alimentación fue menor ( $21.85 \pm 2.21$ ) y fue diferente con el de chile de árbol. El parasitismo también fue diferente ( $F_{2, 87} = 12.48$ ;  $P < 0.0001$ ), en chile jalapeño se obtuvo el menor

porcentaje de parasitismo ( $13.92 \pm 2.63$ ) y fue diferente del porcentaje que se registró en chile de árbol ( $33.64 \pm 3.56$ ) y pimiento ( $24.48 \pm 1.96$ ). Como era de esperarse, la mortalidad total también presentó diferencias ( $F_{2, 87} = 21.06$ ;  $P < 0.0001$ ); la mortalidad total fue mayor en chile de árbol ( $66.47 \pm 3.31$ ) en comparación con pimiento ( $46.34 \pm 2.29$ ) y jalapeño ( $38.80 \pm 3.59$ ) (Cuadro 5).

**Cuadro 5.** Porcentaje de control de dos parasitoides sobre *Anthonomus eugenii* en tres variedades de chile.

Especie	Variedad	% de control (media $\pm$ E.E.)*		
		Alimentación sobre el huésped	Parasitismo	Control (Alimentación sobre el huésped+ Parasitismo)
<i>J. hunteri</i>	Árbol	41.85 $\pm$ 3.86A	33.16 $\pm$ 3.82A	74.97 $\pm$ 3.88A
	Pimiento	21.95 $\pm$ 2.32B	14.71 $\pm$ 1.99B	36.65 $\pm$ 3.21B
	Jalapeño	22.25 $\pm$ 2.51B	8.97 $\pm$ 1.89B	31.23 $\pm$ 3.33B
<i>Bracon</i> sp. 2	Árbol	32.83 $\pm$ 3.06a	33.64 $\pm$ 3.56a	66.47 $\pm$ 3.31a
	Pimiento	21.85 $\pm$ 2.21b	24.48 $\pm$ 1.96a	46.34 $\pm$ 2.29b
	Jalapeño	24.88 $\pm$ 3.11ab	13.92 $\pm$ 2.63b	38.80 $\pm$ 3.59b

\*Medias con letras mayúsculas iguales entre columnas no difieren estadísticamente (Tukey  $P \leq 0.05$ ).

\*Medias con letras minúsculas iguales entre columnas no difieren estadísticamente (Tukey  $P \leq 0.05$ ).

Con ambos parasitoides fue evidente que el parasitismo, alimentación sobre el huésped y mortalidad total fueron mayores en la variedad de chile de árbol en comparación con pimiento y jalapeño. La especie *Bracon* sp. 2 sólo en la variedad de chile jalapeño obtuvo mayor porcentaje de mortalidad por alimentación en comparación con el porcentaje de parasitismo. En el caso de *J. hunteri* los porcentajes de mortalidad por alimentación también fueron aparentemente mayores al parasitismo en las tres variedades de chile. Esto indica que en algunos casos estos parasitoides podrían estar eliminando un mayor número de larvas por alimentación que por parasitismo. Este dato de laboratorio, con material infestado de manera

natural puede ser valioso, desafortunadamente no se tiene información al respecto con datos de campo para los parasitoides sinovigénicos incluidos *J. hunteri* (Rodríguez Leyva *et al.* 2000) y *Bracon* sp. 2. Esta situación puede indicar que el parasitismo en campo puede subestimar la mortalidad potencial que pueden ocasionar cualquiera de estas dos especies de parasitoides.

El porcentaje de parasitismo en chile de árbol fue de 33% con las dos especies de parasitoides; no obstante, en las variedades de chile pimienta y jalapeño, el parasitoide *Bracon* sp. 2 obtuvo porcentajes aparentemente mayores que *J. hunteri* (Cuadro 5). Para el caso de *Bracon* sp. 2 no se cuenta con reportes formales de parasitismo, como en el caso de *J. hunteri* en las variedades de jalapeño (2-50%) y pimienta (20%) (Schuster *et al.* 1988; Cortez *et al.* 2005); estos reportes no están tan alejados de los resultados presentados en este trabajo. Por otro lado, en la variedad de chile de árbol no se cuenta con reportes previos sobre porcentajes de parasitismo; sin embargo, el porcentaje de 33% fue más de dos veces mayor al obtenido en chile pimienta y mayor de tres veces en jalapeño, aunque sigue siendo un valor cercano a lo reportado en estas dos variedades (Schuster *et al.* 1988; Cortez *et al.* 2005).

Respecto al porcentaje de mortalidad total, se encontraron algunas diferencias que pudieran relacionarse no sólo a la longitud del ovipositor o el espesor de las paredes de los frutos. Por ejemplo en chile de árbol, con diámetro  $\leq 1.5$  cm, *J. hunteri* que tiene un ovipositor de 1.91 mm (Gómez-Domínguez *et al.* 2012) logró una mortalidad total 8.5% mayor que *Bracon* sp. 2, a pesar de que este último tiene un ovipositor más largo ( $4.28 \pm 0.05$  mm). Es probable, que este resultado se deba a que en esta variedad de chile la cantidad de larvas de *A. eugenii* susceptibles al ataque de ambos parasitoides puede ser similar (Capítulo 2) y por lo tanto, la longitud de sus ovipositores no significó una ventaja en la accesibilidad al huésped; tal vez, el hecho de que *J. hunteri* resultó ser más efectivo en el control que *Bracon* sp. 2 se deba a que es un parasitoide más específico de esta plaga, pues es bien sabido que *J. hunteri* es el

parasitoide que se encuentra con mayor frecuencia y abundancia atacando a *A. eugenii* de manera natural en campo EE.UU. (Riley y Schuster 1992) y México (Rodríguez-Leyva *et al.* 2007, 2012).

En las variedades de chile con diámetros mayores, pimiento (<5.0 cm) y jalapeño (<2.5 cm), *Bracon* sp. 2 obtuvo 10 % y 7% más de mortalidad total respectivamente, en contraste con *J. hunteri*. Resulta evidente que en estas variedades la longitud de los oviposidores y el diámetro de los frutos tuvieron mayor influencia, y que la localización de las larvas potenciales de ser alcanzadas se redujo de manera significativa (Capítulo 2 de esta tesis). La influencia del tamaño del ovipositor y el tamaño de fruto en la mortalidad total no se había documentado para el caso de parasitoides de *A. eugenii*; sin embargo, ya se tenía el antecedente de la importancia de estas dos variables en algunos trabajos con otras especies de parasitoides (Sivinski *et al.* 2001; Chen y Welter 2005; Wang *et al.* 2009; Sivinski y Aluja 2012).

Aparentemente el proceso de domesticación de los cultivos, específicamente el agrandamiento de estructuras de plantas como los frutos y semillas, puede estar interfiriendo negativamente en la accesibilidad que tienen los enemigos naturales sobre sus huéspedes (Chen *et al.* 2015). Este fenómeno parece ayudar a entender lo que está sucediendo con el picudo del chile y los parasitoides que se han registrado hasta el momento. Por el ínstar que atacan *J. hunteri* y *Bracon* sp. 2 aparentemente podrían ser más efectivos en las variedades con frutos de diámetros pequeños como chile de árbol, o en hospederos alternos con frutos pequeños (*Solanum americanum*) como también se sugirió Schuster (2007). Aun así, falta determinar en campo si *J. hunteri* es un parasitoide con potencial para atacar en campo a su huésped en cualquiera de esas dos plantas. Hasta ahora no existen datos de parasitismo en *S. americanum* en campo.

## CONCLUSIONES GENERALES

De las exploraciones de campo se puede concluir que:

- Las especies *Eurytoma tylodermatis* y *Urosigalphus nr. mexicanus* son nuevos registros para México, ya que en estudios anteriores solo se reportaban a nivel de género.
- *Jaliscoa hunteri* fue el parasitoide más abundante y con mayor distribución.
- *Eupelmus cushmani* fue el segundo parasitoide con mayor distribución.
- *Triaspis eugenii* resultó la segunda especie más abundante.

Del porcentaje de parasitismo potencial de cuatro especies de parasitoides sobre *Anthonomus eugenii* en cinco variedades de Chile se concluye que:

- El parasitoide *Bracon* sp. 2 fue el que obtuvo los porcentajes de parasitismo potencial más elevados en las cinco variedades de Chile. Seguido por *E. cushmani* y *Bracon* sp. 1. Los menores porcentajes de parasitismo potencial se obtuvieron con *Jaliscoa hunteri*.
- Para las cuatro especies de parasitoides, el parasitismo potencial fue mayor en Chile de árbol y habanero, en donde los porcentajes mínimos obtenidos fueron de  $84.9 \pm 11.7\%$  y  $71.1 \pm 0.5\%$  respectivamente. En el caso de las otras tres variedades, los porcentajes de parasitismo potencial mínimos estimados fueron de  $18.8 \pm 0.4\%$  con pimiento,  $17.8 \pm 0.5\%$  en serrano y  $7.2 \pm 0.5\%$  con jalapeño.

Finalmente, de los trabajos de laboratorio donde se calculó el porcentaje de control de dos especies de parasitoides sobre *Anthonomus eugenii* (Coleoptera: Curculionidae) en tres variedades de Chile se encontró que:

- El porcentaje de control del parasitoide *J. hunteri* en chile de árbol fue mayor ( $74.97 \pm 3.88$ ) y fue menor en chile jalapeño ( $31.23 \pm 3.33$ ) y pimiento ( $36.65 \pm 3.21$ ).
- En la especie *Bracon* sp.2 el porcentaje de control en chile de árbol fue mayor ( $66.47 \pm 3.31$ ) y disminuyó en pimiento ( $46.34 \pm 2.29$ ) y jalapeño ( $38.80 \pm 3.59$ ).
- *J. hunteri* podrían estar eliminando un mayor número de larvas por alimentación que por parasitismo.
- En chile de árbol el parasitoide *J. hunteri* con su ovipositor de 1.91 mm logró controlar un 8.5% más de larvas que *Bracon* sp. 2, a pesar de que este tiene un ovipositor más largo ( $4.28 \pm 0.05$  mm).

#### LITERATURA CITADA

- Abreu, E., and C. Cruz. 1985. Occurrence of pepper weevil *Anthonomus eugenii* Cano (Coleoptera: Curculionidae) in Puerto Rico. *Journal of Agriculture of the University of Puerto Rico* 59: 223-224.
- Andrews, K., A. Rueda, G. Gandini, S. Evans, A. Arango, and M. Avedillo. 1986. A supervised control program for the pepper weevil, *Anthonomus eugenii* Cano, in Honduras, Central America. *Tropical Pest Management* 32: 1-4.
- Barajas, R. 1986. Aspectos biológicos del picudo del chile (*Anthonomus eugenii* Cano) y evaluación de tres insecticidas para su combate en Apodaca, Nuevo León. Tesis de Lic. ITESM, Monterrey, Nuevo León. México.
- Bohart, R. M. and A. S. Menke. 1976. Sphecid Wasps of the World. A generic revision. University of California Press, Berkeley. 695 pp.

- Bujanos, M. R. 1993. Manejo integrado del barrenillo del chile. MIFAP, Campo Experimental Norte de GuanajuatoBajio. Folleto técnico No. 1.6 p.
- Campbell, R. E. 1924. Injuries to pepper in California by *Anthonomus eugenii* Cano. Journal of Economic Entomology 17: 645-647.
- Cano and Alcacio, D. 1894. El barrenillo. La Naturaleza. 2: 377-379.
- Capinera, J. L. 2005. Pepper weevil, *Anthonomus eugenii* Cano (Insecta: Coleoptera: Curculionidae). University of Florida. IFAS Extension. EENY-278. 6 pp.
- Cartwright, B., T. G. Teague, L. D. Chandler, J. V. Edelson, and G. Bentsen. 1990. An action threshold for the management of pepper weevil (Coleoptera: Curculionidae) on peppers. Journal of Economic Entomology 83: 2001-2007.
- Cerón-González, C., J. R. Lomeli-Flores, E. Rodríguez-Leyva y A. Torres-Ruíz. 2014. Fecundidad y alimentación de *Tamarixia triozae* (Hymenoptera: Eulophidae) sobre el psílido de la papa *Bactericera cockerelli*. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas 5: 893-899.
- Chen Y. H. and S. C. Welter. 2005. Crop domestication disrupts a native tritrophic interaction associated with the sunflower, *Helianthus annuus* (Asterales: Asteraceae). Ecological Entomology 30: 673-83.
- Chen, Y. H., R. Gols, and B. Benrey. 2015. Crop domestication and its impact on naturally selected trophic interactions. Annual Review of Entomology 60: 35-58.
- Chien, C. C., Y. I. Chu, and H. C. Ku. 1991. Parasitic strategy, morphology and life history of *Tamarixia radiata* (Hymenoptera: Eulophidae). Chinese journal of entomology 11:264-281.

- Clausen, C. P. 1978. Curculionidae, pp. 259-276 *In* C. P. Clausen [ed.], Introduced Parasites and Predators of Arthropod Pests and Weeds. A World Review. USDA. Agriculture Handbook 480.
- Corrales, M. J. L. 2002. Estrategias Bioracionales para el Manejo de las Principales Plagas del Cultivo del Chile en la Cruz de Elota, Sinaloa. Tesis de Doctorado, Colegio de Postgraduados, Montecillo, Texcoco, México. 113 pp.
- Cortez M. E., D. E. Cabanillas, y B. D. Armenta. 2005. Parasitoides y parasitismo natural del picudo del chile *Anthonomus eugenii* en el norte de Sinaloa, México. *Southwestern Entomologist*. 30: 181-190.
- Cross, W. H., and T. L. Chesnut. 1971. Arthropod parasites of the boll weevil, *Anthonomus grandis*: 1. An annotated list. *Annals of the Entomological Society of America* 64: 516-527.
- DiGiulio, J. A. 1997. Eurytomidae, pp. 477-495 *In* G. A. P. Gibson, J. T. Huber, and J. B. Woolley [eds.], Annotated Keys to the Genera of Nearctic Chalcidoidea (Hymenoptera). National Research Council of Canada Monograph Publishing Program, Ontario, Canada.
- Eller, F. J. 1995. A previously unknown sexual character for the pepper weevil (Coleoptera: Curculionidae). *Florida Entomologist* 78: 180-183.
- Elmore, J. C., A. C. Davis, and R. E. Campbell. 1934. The pepper weevil. USDA. Technical Bulletins 447. 27 pp.
- Fernández, D. C., B. C. Sinclair, S. Van Laerhoven and R. Labbé. 2017. Biology and overwintering potential of the pepper weevil, *Anthonomus eugenii* (Coleoptera: Curculionidae). *IOBC-WPRS Bulletin*, 124: 224-229.

- Gibson, L. P. 1972. *Urosigalphus* of Mexico and Central America (Hymenoptera: Braconidae), Miscellaneous Publications of the Entomological Society of America, 8: 83–157.
- Gibson, G. A. P. 1997. Eupelmidae, pp. 430-476 In G. A. P. Gibson, J. T. Huber, and J. B. Woolley [eds.], Annotated Keys to the Genera of Nearctic Chalcidoidea (Hymenoptera). National Research Council of Canada Monograph Publishing Program, Ontario.
- Gibson, G. A. P. 2011. The species of *Eupelmus* (*Eupelmus*) Dalman and *Eupelmus* (*Episolindelia*) Girault (Hymenoptera: Eupelmidae) in North America north of Mexico. *Zootaxa* 2951: 1-97.
- Gibson, G. A. P. 2013. Revision of the species of *Jaliscoa* Bouček within a review of the identity, relationships and membership of *Jaliscoa*, *Catolaccus* Thomson, *Eurydinoteloides* Girault, *Lyrus* Walker and *Trimeromicrus* Gahan (Hymenoptera: Pteromalidae). *Zootaxa* 3612: 1–85.
- Gibson, G. A. P. 2016. Revision of the Neotropical genus *Macreupelmus* Ashmead (Hymenoptera: Chalcidoidea: Eupelmidae). *Zootaxa*, 4161: 81–115.
- Goff, C. C., and J. W. Wilson. 1937. The pepper weevil. University of Florida, Agricultural Experiment Stations Bulletin. 310: 3-11.
- Gómez-Domínguez, N. S., J. R. Lomeli-Flores, E. Rodríguez-Leyva, J. M. Valdez-Carrasco, and A. Torres-Ruiz. 2012. Ovipositor of *Catolaccus hunteri* Burks (Hymenoptera: Pteromalidae) and implications for its potential as biological control agent of pepper weevil. *Southwestern Entomologist* 37: 239-241.

- Hammes, C., y R. Putoa. 1986. Catalogue des insectes et acariens d'interet agricole de Polynesie Francaise. Notes et documents Entomologie Agricole 2, 24.
- Jarquín-López, R., L. Martínez-Martínez, J. A. Sánchez-García, y J. I. Figueroa. 2011. Parasitoides asociados a *Anthonomus sisyphus* Clark (Coleoptera: Curculionidae) en frutos de Nanche Rojo (*Malpighia mexicana*) en Oaxaca, México. Southwestern Entomologist 36: 351-361.
- Labbé, R. M., R. Hilker, D. Gagnier, C. McCreary, G. A. P. Gibson, J. Fernández-Triana, P. G. Mason and T. D. Gariepy. 2018. Natural enemies of *Anthonomus eugenii* (Coleoptera: Curculionidae) in Canada. The Canadian Entomologist 150: 404–411.
- Laborde, J. A., and A. Pozo. 1984. Presente y pasado del chile en México. Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas. Publicacion Especial No. 85. México. 80 pp.
- Mariscal, E., J. L. Leyva, y R. Bujanos. 1998. Parasitoides del picudo del chile, *Anthonomus eugenii* Cano (Coleoptera: Curculionidae) en Nayarit, México. Vedalia 5: 39-46.
- Mar-González, G. 2017. Biología de *Eupelmus cushmani* (Hymenoptera: Eupelmidae) y parasitismo facultativo sobre *Catolaccus hunteri* (Hymenoptera: Pteromalidae). Tesis de Maestría, Colegio de Postgraduados, Montecillo, Texcoco, México.
- Menke, A. S. 1997. Family-group names in Sphecidae (Hymenoptera: Apoidea). Journal of Hymenoptera Research 6: 243-255.
- Noyes, J. S. 2010. Universal Chalcidoidea Database. World Wide Web electronic publication.<http://www.nhm.ac.uk/chalcidoids>. Fecha de consulta: 13 de octubre de 2018.

- Pérez, L. G. 1985. Himenópteros parasitoids de *Apion* spp. (Coleoptera: Curculionoidea: Apionidae) en Tepoztlán, Morelos. *Folia Entomológica Mexicana* 63: 39-46.
- Pérez-Pérez, P., H. González-Hernández, A. González-Hernández, J. L. Corrales-Madrid y E. Cortez-Mondaca. 2013. Parasitoides del picudo del chile *Anthonomus eugenii* Cano (Coleoptera: Curculionidae) en la región centro de Sinaloa. *Vedalia* 14: 25-30.
- Pérez-Rodríguez, J., T. Oltra-Moscardó, F. J. Peris-Felipo, and R. Jiménez-Peydró. 2013. Microgastrinae (Hymenoptera: Braconidae) in the Forest State of Artikutza (Navarra: Spain): Diversity and Community Structure. *Insects* 4: 493-505.
- Quiñonez, P. F. 1986. Dinámica de poblaciones y daño de plagas del fruto y efecto de daño simulado en el rendimiento de chile Jalapeño, pp. 21-30. *In* M. M. Rivera and M. E. Montes (eds.). Primer día del horticultor. SARH, INIFAP, pub. Esp. 6.
- Riley, D. G., and A. N. Sparks, JR. 1995. The Pepper Weevil and its Management. Texas Agricultural Extension Service, Texas A&M University. College Station. L-5069.
- Riley, D. G., and E. G. King. 1994. Biology and management of pepper weevil *Anthonomus eugenii* Cano (Coleoptera: Curculionidae): a review. *Trends Agricultural Science* 2: 109-121.
- Riley, D. G., and D. J. Schuster. 1992. The occurrence of *Catolaccus hunteri*, a parasitoid of *Anthonomus eugenii*, in insecticide treated bell pepper. *Southwestern Entomologist* 17: 71-72.
- Riley, D. G., D. J. Schuster and C.S. Barfield. 1992. Refined action threshold for pepper weevil adults (Coleoptera: Curculionidae) in bell peppers. *Journal of Economic Entomology* 85: 1919-1925.

- Rodríguez-Leyva, E. 2006. Life history of *Triaspis eugenii* Wharton and López-Martínez (Hymenoptera: Braconidae) and evaluation of its potential for biological control of pepper weevil *Anthonomus eugenii* Cano (Coleoptera: Curculionidae). Ph.D. dissertation. University of Florida, Gainesville, Florida, United States of America.
- Rodríguez-Leyva, E., J. L. Leyva, V. Gómez, N. M. Bárcenas, and G. W. Elzen. 2000. Biology of *Catolaccus hunteri* (Hymenoptera: Pteromalidae), parasitoid of pepper weevil and boll weevil. *Annals of Entomological Society of America* 93:862-868.
- Rodríguez-Leyva, E., J. R. Lomelí-Flores, J. M. Valdez-Carrasco, R. W. Jones, and P. A. Stansly. 2012. New records and locations of parasitoids of the pepper weevil in México. *Southwestern Entomologist* 37: 73-83.
- Rodríguez-Leyva, E., P. A. Stansly, D. J. Schuster, and E. Bravo-Mosqueda. 2007. Diversity and distribution of parasitoids of *Anthonomus eugenii* (Coleoptera: Curculionidae) from México and prospects for biological control. *Florida Entomologist* 90: 693-702.
- Schuster, D. J. 2007. Suppression of *Anthonomus eugenii* (Coleoptera: Curculionidae) pepper fruit infestation with releases of *Catolaccus hunteri* (Hymenoptera: Pteromalidae). *Biocontrol Science and Technology* 17: 345-351.
- Schuster, D. J., D. G. Riley, J. F. Price and J. B. Kring. 1988. Pepper weevil and sweetpotato whitefly management on pepper. Univ. Fla., IFAS, Bradenton GCREC Res. Rpt. BRA1988-19.
- Schuster, D. J. and S. Thompson. 2011. Toxicity of Selected Insecticides to *Catolaccus hunteri* (Hymenoptera: Pteromalidae) in the Laboratory. *Florida Entomologist* 94: 1078-1080.

- Seal, D. R. and C. G. Martin. 2016. Pepper weevil (Coleoptera: Curculionidae) preferences for specific pepper cultivars, plant parts, fruit colors, fruit sizes, and timing. *Insects* 7: 1-19.
- Seal, D. R., and D. J. Schuster. 1995. Control of pepper weevil, *Anthonomus eugenii*, in west-central and south Florida. *Proceedings of the Florida State Horticultural Society* 108: 220-225.
- Servín, R., R. Aguilar, J. L. Martínez, E. Troyo and A. Ortega. 2002. Monitoring of resistance to three insecticides on pepper weevil (*Anthonomus eugenii*) in populations from Baja California Sur, Mexico. *Interciencia* 27: 691–694.
- Servín-Villegas R., J. L. García-Hernández, A. Tejas-Romero, J. L. Martínez-Carrillo and M. A. Toapanta. 2008. Susceptibility of pepper weevil (*Anthonomus eugenii* Cano) (Coleoptera: Curculionidae) to seven insecticides in rural areas of baja california sur, México. *Acta Zoológica Mexicana (n.s.)* 24: 45-54.
- Shaw, M. R. and T. Huddleston. 1991. Classification and biology of Braconidae wasps (Hymenoptera: Braconidae). *In Hand-Books for the Identification of British Insects; Royal Entomology Society of London: London, UK, 1991; Volume 7, pp. 1–126.*
- SIAP. 2018. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. Avance de Siembras y Cosechas Resumen nacional por estado. En línea. Fecha de consulta 16/10/18. [http://infosiap.siap.gob.mx:8080/agricola\\_siap\\_gobmx/AvanceNacionalCultivo.do](http://infosiap.siap.gob.mx:8080/agricola_siap_gobmx/AvanceNacionalCultivo.do)
- Simonovska, J., V. Rafajlovska, Z. Kavrakovski, and M. Srbinoska. 2014. Nutritional and bioactive compounds in hot fruits of *Capsicum annuum* L. from Macedonia. *Macedonian Journal of Chemistry and Chemical Engineering* 33: 97–104.

- Sivinski, J. and M. Aluja. 2012. The Roles of Parasitoid Foraging for Hosts, Food and Mates in the Augmentative Control of Tephritidae. *Insects* 3: 668-691.
- Sivinski, J., K. Vulinec, and M. Aluja. 2001. Ovipositor Length in a Guild of Parasitoids (Hymenoptera: Braconidae) Attacking *Anastrepha* spp. Fruit Flies (Diptera: Tephritidae) in Southern México. *Annals of the Entomological Society of America* 94: 886-895.
- Speranza, S., E. Colonnelli, A. P. Garonna and S. Laudonia. 2014. First record of *Anthonomus eugenii* (Coleoptera: Curculionidae) in Italy. *Florida Entomologist* 97: 844-845.
- Toapanta, M. A. 2001. Population Ecology, Life History, and Biological Control of the Pepper Weevil, *Anthonomus eugenii* Cano (Coleoptera: Curculionidae). Ph. D. Dissertation, University of Florida, Gainesville, FL. 151 pp.
- Toapanta, M. A., D. J. Schuster, and P. A. Stansly. 2005. Development and life history of *Anthonomus eugenii* (Coleoptera: Curculionidae) at constant temperatures. *Environmental Entomology* 34: 999-1008.
- Torres-Ruíz, A. y E. Rodríguez Leyva. 2012. Guía para el manejo integrado de plagas del pimiento bajo invernadero, con énfasis en el picudo del chile. Koppert México S.A. de C.V. 48 p.
- Van Der Gaag, D. J., and A. Loomans. 2013. Pest Risk Analysis for *Anthonomus eugenii*. Netherlands Food and Consumer Product Safety Authority Utrecht, the Netherlands. 1-64 p.
- Velasco, P. H. 1969. Evaluación de pérdidas, preferencia de oviposición del picudo o barrenillo del chile (*Anthonomus eugenii* Cano). Efectividad de varios insecticidas y

reacción de diferentes variedades a su ataque. *Agricultura Técnica en México* 499-507.

Wang, X. G., M. W. Johnson, K. M. Daane and V. Y. Yokoyama. 2009. Larger olive fruit size reduces the efficiency of *Psytalia concolor*, as a parasitoid of the olive fruit fly. *Biological Control* 49: 45–51.

Wharton, R. A., and V. López-Martínez. 2000. A new species of *Triaspis* Haliday (Hymenoptera: Braconidae) parasitic of the pepper weevil *Anthonomus eugeni* Cano (Coleoptera: Curculionidae). *Proceedings of the Entomological Society of Washington* 102: 794-801.

Wilson, R. J. 1986. Observations on the behavior and host relations of the pepper weevil *Anthonomus eugeni* Cano (Coleoptera: Curculionidae) in Florida. MS thesis, University of Florida, Gainesville, FL.