

Cría de *Spalangia endius* (Pteromalidae) haciendo uso de un hospedero alternativo y evaluación de su parasitismo bajo condiciones de campo sobre *Stomoxys calcitrans* (Muscidae) en Costa Rica

Andres Zuñiga Orozco ¹, Rigoberto Romero Rojas².

1. Docente e Investigador. Carrera de Ingeniería Agronómica. UNED. San Pedro, San José, Costa Rica; azunigao@uned.ac.cr. (<https://orcid.org/0000-0001-8214-4435>)
2. Investigador. Servicio Fitosanitario del Estado (SFE), San José, Costa Rica; rromero@sfe.go.cr

ABSTRACT

The poor management of stubble in pineapple cultivation, together with the process of its destruction, favors the enhancement of the stable fly (*Stomoxys calcitrans*), since it serves as a means to lay their eggs in these stubble and thus complete their cycle. biological. On the other hand, the fly attacks the cattle of nearby farms, resulting in economic losses. The parasitoid wasp *Spalangia endius* is a biological controller that has been reported as efficient for the control of the stable fly, these parasitoids also feed on the pupae of the fly. Due to the above and the potential of *S. endius* as a biocontroller, a massive rearing method was carried out with an alternate host (*Ceratitis capitata*) and subsequently a controlled release of the parasitoid wasp was made in the field under variable proportions of female: pupa and under two pupal laying depths in order to evaluate its potential as a biological control method. An artificial breeding trial of *S. endius* was carried out on *C. capitata* pupae as alternate host and under laboratory conditions. In entomological cages, the pupae were exposed to the wasp for 4 weeks to increase the breeding stock. On the other hand, at the field level, artificial cages were built, cotton with a 10% sugar solution was added to them for feeding adults, females were released in proportions 1:10, 1:15 and 1:20 (female: pupae) as treatments and *S. calcitrans* pupae were intentionally placed at 5 and 15 cm depth to see oviposition and parasitism under two laying depths. Regarding the results obtained in laboratory, an increased percentage of parasitism was recorded as the weeks of exposure passed, going from 12.8% to 69.0% in the last week of exposure. For its part, in the release of the parasitoid in the field, it was obtained that the best female:pupa ratio was 1:10 regardless of depth ($p < 0.05$), an average of 94.4% parasitism was reached with this dose. On the other hand, analyzing the depth of oviposition there were no significant differences ($p > 0.05$), the female oviposits both at 5 cm and at 15 cm, for which it is concluded that the parasitoid has a penetration capacity in the stubble. A natural mortality of the pest of 50% was identified, so it is recommended to take this factor into account when conducting field monitoring and making control decisions. It is concluded that the parasitoid is a successful biological control alternative to implement in Costa Rica, since

pineapple is one of the most important crops for the country and in which the environment and livestock activity have been affected.

Key words: parasitism, pineapple, stubble, *Spalangia*, *Ceratitis*, *Stomoxys*

RESUMEN

El mal manejo del rastrojo en el cultivo de piña junto con el proceso de descomposición de la misma, favorece la proliferación de la mosca del establo (*Stomoxys calcitrans*), ya que sirve como medio para ovipositar sus huevos en estos rastrojos y así completar su ciclo biológico. Por otra parte, mosca ataca el ganado de fincas cercanas generando pérdidas económicas. La avispa parasitoide *Spalangia endius* es un controlador biológico que se ha reportado como eficiente para el control de la mosca del establo, estos parasitoides además se alimentan de la pupa de la mosca. Debido a lo anterior y al potencial de *S. endius* como biocontrolador, se realizó un método de crianza masivo con un hospedero alterno (*Ceratitis capitata*) y posteriormente se hizo una liberación controlada en campo de la avispa parasitoide bajo proporciones variables de hembra:pupa y bajo dos profundidades de postura de pupas con el fin de evaluar su potencial como método de control biológico.

Se realizó un ensayo de cría artificial de *S. endius* sobre pupas de *C. capitata* como hospedero alterno y bajo condiciones de laboratorio. En jaulas entomológicas se expusieron las pupas a la avispa durante 4 semanas para incrementar el pie de cría. Por su parte a nivel de campo se construyeron jaulas artificiales, se les añadió un algodón con una solución azucarada al 10% para el alimento de los adultos, se liberaron hembras en proporciones 1:10, 1:15 y 1:20 (hembra:pupas) como tratamientos y se pusieron intencionalmente pupas de *S. calcitrans* a 5 y 15 cm de profundidad para ver oviposición y parasitismo bajo dos profundidades de postura.

En cuanto a resultados obtenidos en laboratorio se registró un porcentaje de parasitismo aumentado conforme transcurrieron las semanas de exposición, pasando de 12.8% a 69.0% en la última semana de exposición. Por su parte, en la liberación del parasitoide en campo, se obtuvo que, la mejor relación hembra:pupa fue de 1:10 independientemente de la profundidad ($p < 0.05$), se alcanzó un promedio de 94.4% de parasitismo con esta dosis. Por su parte, analizando la profundidad de oviposición no hubo diferencias significativas ($p > 0.05$), la hembra oviposita tanto a los 5 cm como a los 15 cm, por lo cual se concluye que el parasitoide tiene una capacidad de penetración en los rastrojos. Se identificó una mortalidad natural de la plaga del 50% por lo cual se recomienda tomar en cuenta este factor al momento de realizar monitoreos de campo y tomar decisiones de control. Se concluye que el parasitoide es una alternativa de control biológico exitosa para implementar en Costa Rica, dado que, la piña es uno de los cultivos más importantes para el país y en el que se ha registrado afectación del medio ambiente y la actividad pecuaria.

Palabras clave: parasitismo, piña, rastrojo, *Spalangia*, *Ceratitis*, *Stomoxys*

INTRODUCCION

En Costa Rica la producción de piña (*Ananas comosus*), ha aumentado significativamente, por su buena aceptación en el mercado nacional e internacional (PROCOMER 2012). En el país, el área de siembra se estima en 43 000 hectáreas cultivadas que han provisto de desarrollo social y económico a través de la generación de 30 000 empleos vinculados con más de 550 productores cuyo principal mercado de comercialización está encabezado por Estados Unidos con un 53% y la Unión Europea con un 47% (CANAPEP 2016). No obstante, conforme aumenta el número de hectáreas sembradas, el volumen de desechos generados en la plantación y los procesos incrementa también, condiciones que no son beneficiosas para los productores ni para el medio ambiente (Alpízar 2007).

De acuerdo con Viquez (2008) y Gonzáles (2012) las plantaciones de piña son renovadas cada dos años para iniciar un nuevo ciclo de producción, actividad en la cual se genera una gran cantidad de rastrojo después de terminar el ciclo y queda como un desecho en el campo. Se ha determinado que, por hectárea de piña cultivada, se generan cerca de 26 ton/ha de desecho. Así mismo, el manejo inadecuado del rastrojo, aunado al proceso de descomposición favorece la proliferación de la mosca de los establos (*Stomoxys calcitrans*: Muscidae) ya que le sirve de medio nutritivo al insecto para ovipositar sus huevecillos sobre estos rastrojos y así completar su ciclo biológico o etapas morfológicas, produciéndose muy fácilmente la plaga sobre estos residuos (Rojas *et al.* 2006).

Para Taylor y Berkebile (2006), la mosca *S. calcitrans*, es considerada como la plaga cosmopolita más importante de la ganadería a nivel mundial. Se estima que en Estados Unidos se presentan pérdidas por más de 2 mil millones de dólares anuales debido a esta mosca (Taylor *et al.* 2012) y Costa Rica no es la excepción, ya que desde el año 1987 se han reportado daños económicos en ganadería debidos a esta plaga (Herrera 2012). La cantidad de desechos orgánicos producidos por los plantíos de piña han permitido el desarrollo de poblaciones de difícil manejo, por lo que este problema ha llevado a los ganaderos colindantes a las empresas piñeras a manifestarse por su preocupación por los brotes de mosca del establo.

Cambell y Duane (2006), estiman que un umbral de 25 moscas al día atacando un bovino ocasiona una pérdida de peso de un 1 kg diario y en el caso de bovinos de leche, la producción se reduce hasta en un 50%, debido a que disminuye el consumo de alimento por el constante movimiento de los animales para defenderse de las moscas. En Costa Rica este umbral es superado en condiciones de alta reproducción de esta plaga (Gilles 2012). En la ganadería costarricense, los animales afectados pueden presentar cantidades superiores a 700 moscas por animal/día, lo que ocasiona estrés en los animales (Herrero *et al.* 1991).

La mosca del establo no causa daños directos al cultivo de piña, el aumento excesivo de la plaga origina impacto económico negativo a los productores, debido al incremento en los costos de control de la mosca en sus plantaciones, los que se consideran en \$ 2000/ha aproximadamente. Al mismo tiempo les ocasiona cierres de sus propiedades por parte de las autoridades nacionales por espacio de hasta tres meses en caso de que los brotes de mosca no logren ser controlados y afecten ganaderías cercanas (Solórzano 2016). Para el control de esta plaga, se ha hecho uso de diferentes estrategias de control que incluyen procesos químicos (aplicación de plaguicidas), control cultural (prácticas intensivas de mecanización para incorporar los rastrojos de cosecha y recolección de tallos de plantas de piña sin incorporar) y control etológico (trampeo masivo de adultos). Lo anterior, tampoco ha traído consigo los resultados esperados sino situaciones complejas de manejo, esto debido a la generación de resistencia a los insecticidas utilizados, el deterioro del suelo por el excesivo laboreo y que las bolsas plásticas con pegamento usadas como trampas se convierten en residuos de difícil eliminación. Sin embargo, para lograr un manejo de esta plaga de forma más integral es necesario incluir como estrategia el uso de controladores biológicos, entre estos agentes se encuentran los parasitoides, insectos que interrumpen el ciclo de vida de las moscas en la fase de pupa eliminándolos (Navas *et al.* 2000).

El uso de control biológico para el control de moscas trae una serie de ventajas que permite obtener una considerable reducción en el uso de los plaguicidas sintéticos. Este método de Control Biológico es ampliamente utilizado en numerosos países del mundo, posee un desarrollo creciente en América Latina (Van Lenteren 2003). A nivel mundial, se utilizan 230 especies de enemigos naturales en el manejo de plagas. En América Latina existen programas de Control Biológico en ejecución principalmente en México, Colombia, Brasil y Chile. La avispa parasitoide *Spalangia endius* Walker (Hymenoptera: Pteromalidae) es una alternativa de control biológico que se está usando en países desarrollados como Estados Unidos, ha sido reportado como uno de los principales enemigos naturales de pupas de *S. calcitrans*, así como la mosca doméstica (Greene *et al.* 1989). Este género de parasitoides exhibe una amplia distribución en el Continente Americano, habiendo sido reportada su presencia desde Estados Unidos hasta Uruguay (Rueda y Axtell 1985).

Los parasitoides son insectos que en su estado inmaduro son parásitos (seres que obtienen su sustento a costa de otros) y complementan al menos una parte de la vida en un hospedero. Se alimentan de sus fluidos corporales, ocasionándoles la muerte a la plaga. Según Bedoya (2007) los parasitoides de moscas comúnmente asociados a los sistemas de producción ganadera y aviar son pequeñas avispas. Estos parasitoides suelen depositar un huevo en la pupa de la mosca tras haber perforado la envoltura pupal (pupario) con el

ovipositor. El huevo parasitoide se desarrolla pasando por tres estadíos larvarios a la vez que se alimenta de la pupa de la mosca y la destruye. El parasitoide pupa en el interior del pupario de la mosca y después hace un agujero para emerger emergiendo otro parasitoide. El género *Spalangia* ha sido destacado como un parasitoide de pupas, de diferentes familias de Diptera (Calliphoridae, Sarcophagidae, Drosophilidae, Chloropidae), en especial de la familia Muscidae (Hernández *et al.* 2004). Aspectos sobre diversidad y biología de algunas especies de *Spalangia* sp han sido suficientemente estudiados (Marchiori *et al.* 2002), especies de este género son consideradas como alternativas en programas de control biológico de moscas perjudiciales al hombre y a la producción animal y vegetal (Weinzierl y Jones 1998).

El *S. endius* ha sido usado en EEUU, también ha sido reportado como uno de los principales enemigos naturales de pupas de *S. calcitrans*, así como la mosca doméstica (Greene *et al.* 1989). Este género de parasitoides exhibe una amplia distribución en el Continente Americano, habiendo sido reportada su presencia desde EEUU hasta Uruguay (Rueda y Axtell 1985). Romero (2010), hace mención de algunos parasitoides empleados mundialmente para el manejo de *S. calcitrans*. Su efectividad fue comprobada con relación a otros parasitoides y determinó que *S. endius*, *S. cameroni* y *S. nigronea* lograban naturalmente parasitismo tanto de *Musca domestica* como de *Stomoxys calcitrans* en valores de 27, 41 y 25% respectivamente y superando a otros parasitoides como *Muscidifurax* sp. y *Pachycrepoides vindemiae* con porcentajes de 4 y 0% en lecherías del estado de la Florida en EEUU. La ventaja de *S. endius* es que no es hiperparasitoide como si lo es el parasitoide *P. vindemiae* (Cave *et al.* 1995).

Este tipo de investigación tiene como fin, orientar el diseño de estrategias racionales de un manejo integrado de la mosca *S. calcitrans*, reduciendo el impacto que genera los rastros de la piña sobre las actividades ganaderas, mejorar la sostenibilidad e incrementar la rentabilidad de estos sistemas de explotación agropecuaria, ya que el uso de químicos para el control de moscas hematófagas no es sostenible. Desde esa perspectiva, el enfoque que se da a esta investigación es evaluar una alternativa de control sobre esta plaga de forma sostenible y viable ambientalmente reproduciendo en laboratorio al parasitoide *S. endius* y evaluando en campo.

MATERIALES Y METODOS

Reproducción del hospedante: Se llevó a cabo en el Laboratorio del Programa Nacional de Moscas de las Frutas, del Servicio Fitosanitario del Estado (SFE) ubicado en San José, Costa Rica. En este laboratorio se generó el hospedero reproductivo para la cría masiva del

parasitoide, que fueron las pupas de la Mosca del Mediterráneo (*C. capitata*) irradiadas con una dosis de 50 Gy durante 15 minutos, esto para que no emerjan adultos del díptero de estas pupas antes de ser parasitadas.

Reproducción del parasitoide: Se desarrolló en el laboratorio de la Estación Experimental los Diamantes, del INTA ubicado en la provincia de Limón, cantón de Pococí y distrito Guápiles, donde se expusieron a parasitar las prepupas mencionadas anteriormente, con el parasitoide (*S. endius*). Este parasitoide o controlador biológico fue importado del Servicio de Investigación Agrícola del Departamento de Agricultura de EEUU (ARS-USDA), Universidad de Gainesville, Florida.

En todos los tratamientos se emplearon parasitoides de *Spalangia endius* inexpertos, es decir, que no habían tenido contacto previo con su hospedero, debido a que estos venían en pupas de *Stomoxys calcitrans* como hospedero y en Costa Rica se les expuso a pupas de *C. capitata*.

Producción de la cría masiva de *S. endius*: En el laboratorio de la Estación Experimental los Diamantes de Guápiles del INTA, se desarrolló la etapa de la reproducción de la colonia del parasitoide en un cubículo de 4 m por 4 m, con una temperatura de 25 a 27° C, fotoperiodo de 12/12 (día/noche) y una humedad relativa en el rango de 60-70% para darle las condiciones requeridas de reproducción y emergencia al parasitoide, así como a su hospedero de pupas (*C. capitata*). Se dispuso de un humidificador de consola Essick Air H 12-300-3, un aire acondicionado portátil Shinco® de 18000 BTU, un deshumidificador Frigidaire® FAD504DWD de descarga continua y un calentador de cerámica Optimus H 7004. La temperatura y humedad relativa se registró con un Graficador de temperatura y humedad Dickson® TH622 en cual realizó mediciones cada hora y se graficó en papel para mantener los registros.

La cría de este parasitoide se produjo en jaulas de aluminio de forma cuadrada de 45 cm de lado, con una abertura lateral protegida con una manga de tela de que permitió la manipulación dentro de la jaula, estas jaulas fueron forradas con tela tergal que evita el escape de los parasitoides y en la parte superior una puerta de plástico para ingresar los materiales. En la tela tergal se le frotó con miel de abeja para la alimentación de los parasitoides adultos (diluida en proporción 2:1, agua:miel), en el interior se colocaron dos bebederos con agua con una porción de tela de gaza en forma de mechero para el consumo de agua, así como una placa Petri con azúcar.

Dentro de las jaulas se colocaron los parasitoides maduros sexualmente y listos para parasitar las pupas de *C. capitata*. Se colocaron internamente 5 placas Petri (100 x 15mm)

con 100 pupas cada una (500 en total) por semana, por un periodo de tiempo de 4 semanas. Luego se sacaron los platos Petri con las pupas que ya fueron expuestas a los parasitoides por un periodo de 48 horas.

Para poder evitar posibles errores en el manejo de estas pupas (que ya vienen parasitadas de las jaulas), se anotaron en la parte frontal de las placas petri las fechas de exposición y de recolección de las mismas, a fin de conocer la fecha en que se expusieron a parasitar y la posible fecha en que volvería a nacer otra generación de estos individuos y así seguir exponiéndoles cada semana hasta lograr obtener una cría masiva en el laboratorio.

Los parasitoides adultos, machos y hembras, a los pocos minutos de emerger ya están capacitados para copular nuevamente, inmediatamente se les alimentó con miel de abeja sin diluir para continuar con el ciclo reproductivo, por lo cual se les volvió a exponer reiteradamente pupas frescas para parasitar y así continuamente hasta lograr producir la cría masiva del *S.endius*, luego se destinó un 75% de este material biológico para seguir manteniendo el pie de cría en el laboratorio del Instituto Nacional de Innovación y Transferencia en Tecnología Agropecuaria (INTA) y un 25% se aplicó en el campo.

Evaluación en campo: se empleó el protocolo de cría de mosca del establo elaborado en Costa Rica por el INTA (Vargas y Solórzano 2015). A nivel de campo se utilizó la metodología de Skovgard y Nachman (2015), se usaron 8 tratamientos: 1:10 a 5cm, 1:10 a 15 cm, 1:15 a 5 cm, 1:15 a 15 cm, 1:20 a 5 cm. 1:20 a 15 cm, 1 testigo sin parasitoides a 5 cm y 1 testigo sin parasitoides a 5 cm con un total de 5 repeticiones por tratamiento. Se evaluó cada 7 días por un periodo de 2 meses. Se utilizó un diseño experimental de bloques completos al azar (BCA) en jaulas artificiales de 60 x 60 cm. Para la evaluación se midió las pupas parasitadas y el porcentaje de las mismas a través de la fórmula de Abbott (Eficacia= $[1-(Nt/N't)]*100$), donde: Nt=Número de individuos de los tratamientos con parasitoide al final de experimento y N't= número de individuos del tratamiento testigo. Los resultados de las diferentes evaluaciones tanto en laboratorio como en campo fueron analizados por medio de un ANOVA. Los datos fueron sometidos a la fórmula de Abbot, los análisis se realizaron con el paquete estadístico INFOSTAT® y se realizó una prueba de significancia de medias, Tukey. Se estableció un nivel de significancia de $p= 0.05$.

RESULTADOS

Producción de la cría masiva de *Spalangia endius*

Los datos se recolectaron mediante conteos de pupas parasitadas en platos petri plásticos después de aplicados los tratamientos para observar el porcentaje de parasitismo por exposición hasta obtener el pie de cría masiva. Durante las 4 semanas de exposición se

observó el incremento en el pie de cría del parasitoide como se muestra en la figura 1.

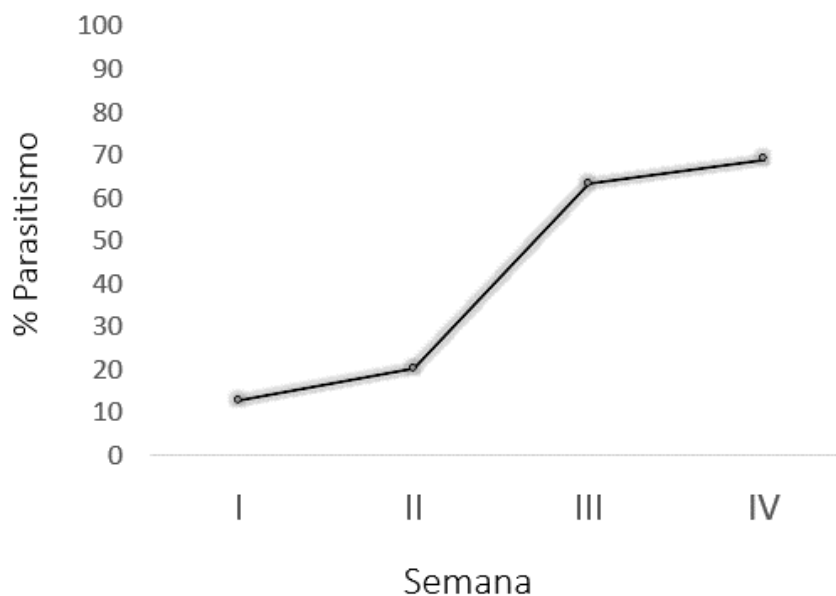


Fig 1. Porcentaje de parasitismo de *S. endius* durante 4 semanas de exposición para el levantamiento de pie de cría, sobre pupas de *C. capitata*. Finca Diamantes, Guápiles, Costa Rica. 2017.

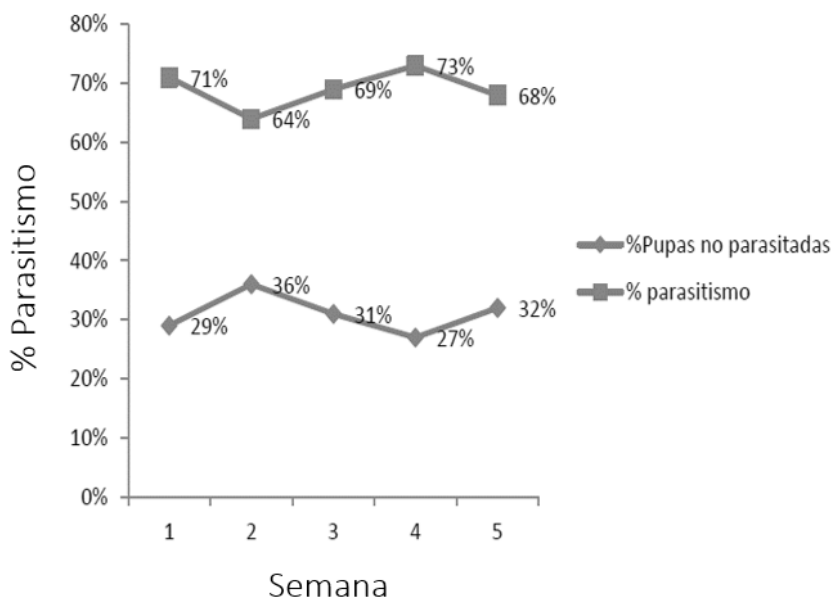


Fig 2. Porcentaje de parasitismo y pupas no parasitadas durante las semanas de exposición para el levantamiento de pie de cría, sobre pupas de *C. capitata*. Finca Diamantes, Guápiles, Costa Rica. 2017.

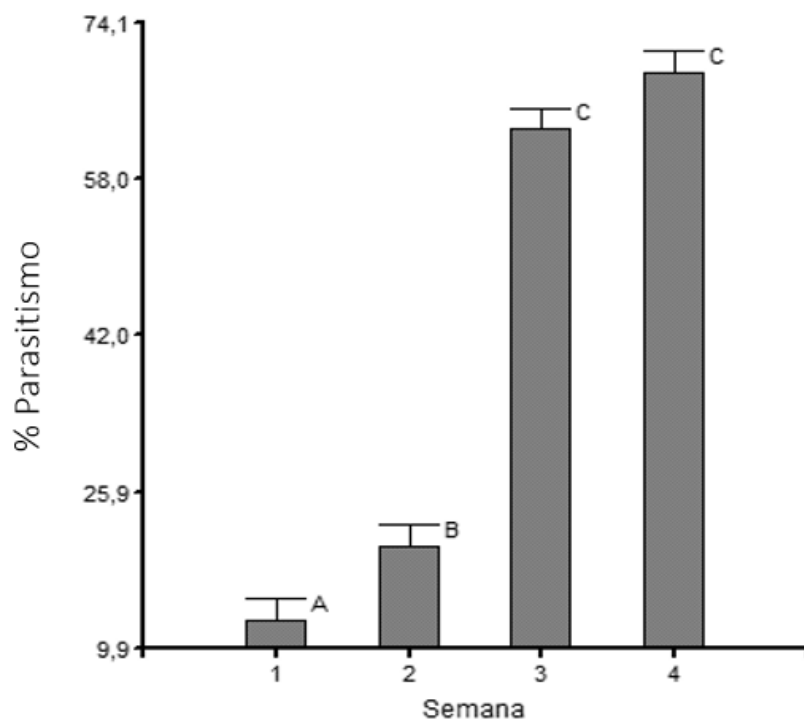


Fig 3. Porcentaje de parasitismo de *S. endius* durante 4 semanas de exposición para el levantamiento de pie de cría sobre pupas de *C. capitata*. Finca Diamantes, Guápiles, Costa Rica. 2017.

En la primera exposición se obtuvo únicamente un 12,8 % de pupas parasitadas como lo indican las figuras 1 y 3. Se debe indicar que en lo que respecta al bajo porcentaje de parasitismo logrado en esta primera exposición, es muy posible que hay tres factores principales que pueden haber influido en la respuesta, siendo la temperatura, la biología de búsqueda del hospedero y la humedad relativa los de mayor peso. Sin embargo, con forme pasaron las semanas el porcentaje de parasitismo fue incrementando hasta 69% (Figura 1, 2 y 3).

Evaluación en campo

En la figura 4 se muestra como se presentó el porcentaje de parasitismo efectivo combinando los factores dosis y profundidad, siendo los tratamientos 1 (1:10), 2 (1:15) y 3 (1:20) las dosis y las profundidades 5 y 15 cm. Se observa como la mayor disminución de moscas se presentó en la dosis 1 (1:10, hembra:pupas), independientemente de la profundidad y en la que se obtuvo un promedio de 94,4% de control.

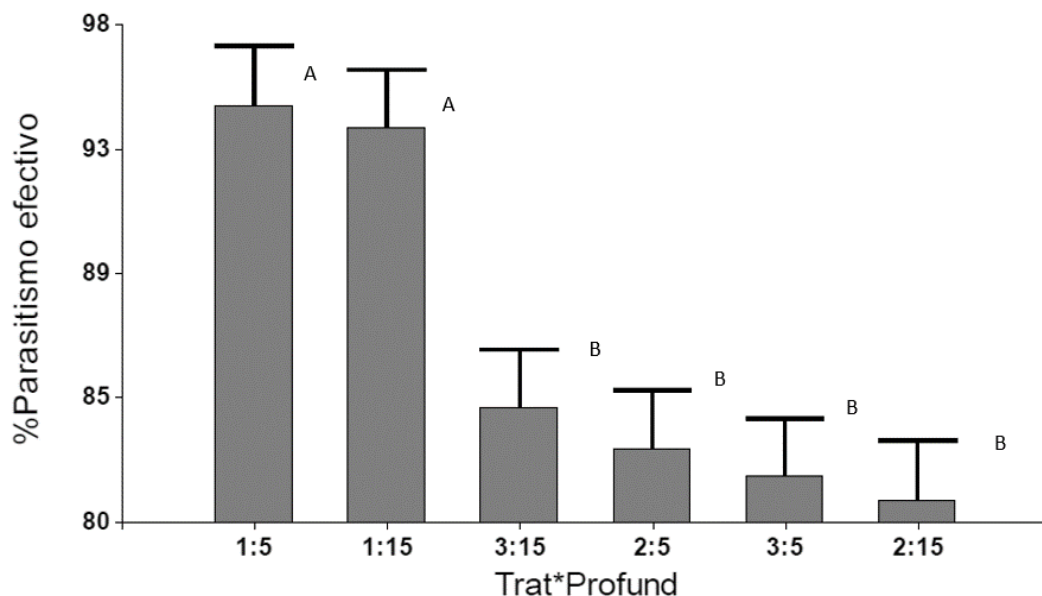


Fig 4. Porcentaje de parasitismo de adultos de *S. endius* bajo diferentes dosis de hembra:pupas (1 (1:10), 2 (1:15) y 3 (1:20)) y profundidad en el rastrojo (5 y 15 cm). Primer número corresponde a la dosis: el segundo a la profundidad.

En la figura 5 y 6 se observa el parasitismo efectivo analizando los factores por separado, primeramente en la figura 5 se confirma que la mejor dosis es la del tratamiento 1, es decir una relación hembra:pupa de 1:10 obteniendo un 94.4% de control. Seguidamente en la figura 6 se observa como no hubo diferencia significativa en cuanto al parasitismo que ejerce la avispa sobre la mosca, por lo cual puede parasitar en la misma magnitud tanto a 5 como a 15 cm. Se obtuvo un parasitismo promedio de 44.2% a los 5 cm y 36.1% a los 15 cm.

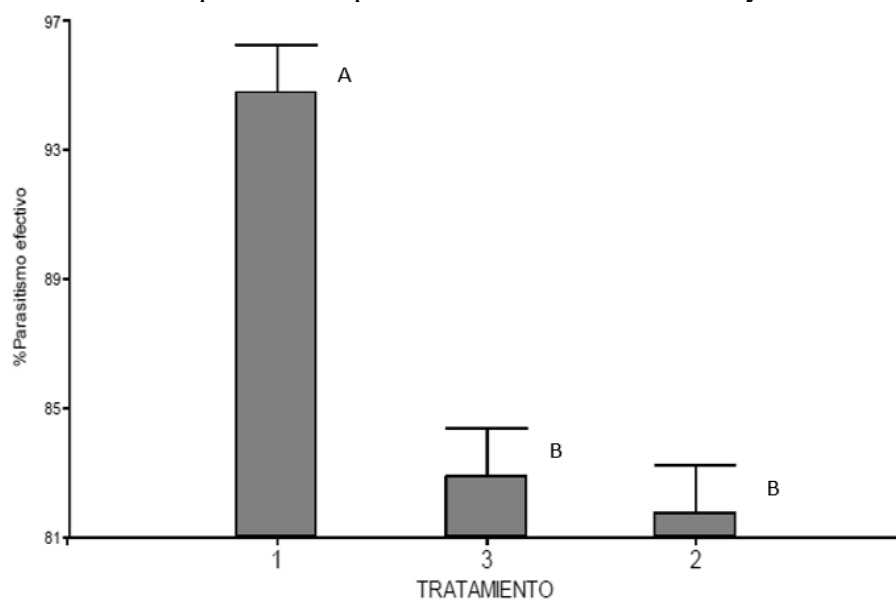


Fig 5. Porcentaje de parasitismo de adultos de *S. endius* sobre *S. calcitrans* bajo diferentes dosis de hembra:pupas (1 (1:10), 2 (1:15) y 3 (1:20))

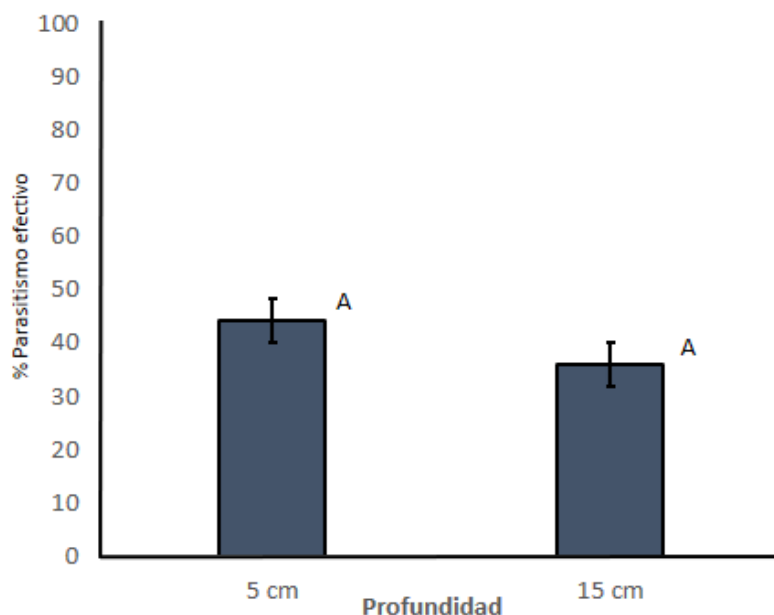


Fig 6. Porcentaje de parasitismo de adultos de *S. endius* sobre *S. calcitrans* en dos profundidades de rastreo, 5 y 15 cm.

En la siguiente figura se muestran la combinación entre los dos factores: dosis y profundidad en las evaluaciones de campo, pero en esta ocasión se presentan los datos en términos de emergencia de moscas no en términos de parasitismo de la avispa, bajo este enfoque, los tratamientos con menor emergencia fueron los más positivos confirmando lo que se presentó en la figura 4 y 5 donde la mejor dosis fue la 1, es decir 1:10. También en la figura 7 se observa que no hubo diferencias en cuanto al factor profundidad por lo cual la avispa puede parasitar de igual manera tanto a 5 como a 15 cm apoyando lo que se presentó en la figura 6. Además, se observa que no todas las moscas que se ponen a criar son viables, hay una alta mortalidad aparente puesto que en los controles no emergieron el 100% (Figura 7). Se obtuvo en los controles una emergencia de mosca del 57.5 % a 5 cm y de un 43.0% a 15 cm, promedio 50.25%.

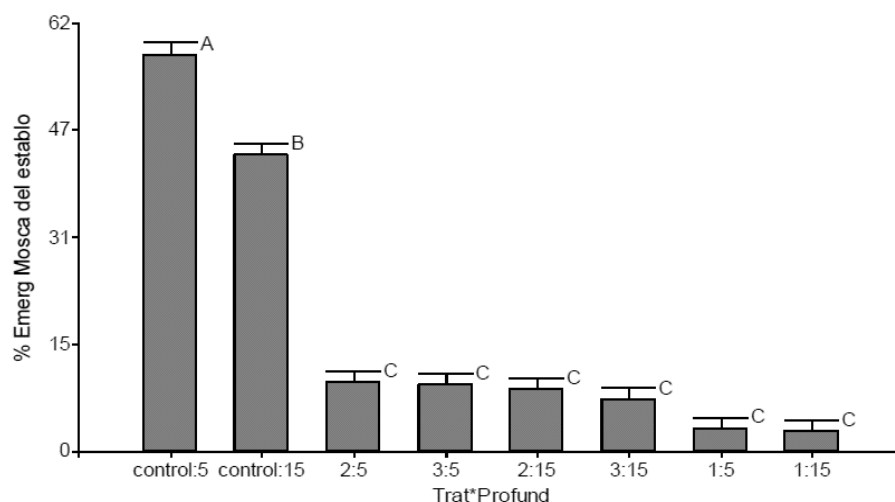


Fig 7. Porcentaje de emergencia de adultos de *S. calcitrans* bajo diferentes dosis de hembra:pupas (1= 1:10, 2= 1:15, 3= 1:20) y dos profundidades, 5 y 15 cm después de ser expuestas a *S. endius*.

DISCUSIÓN

Los resultados indican que hubo un bajo porcentaje de parasitismo en la primera y segunda exposición de la avispa a las pupas de *C. capitata*, lo cual puede haberse debido a altas temperaturas en ese periodo, las cuales rondaron los 31 °C promedio. Según Hance, Baaren y Vernon (2006), el comportamiento del parasitoide en lo que respecta a la búsqueda y selección del hospedero puede verse afectado por la presencia de temperaturas extremas. En el distrito de Guápiles, lugar donde se llevó a cabo este ensayo, se registró temperaturas de 30 y 32°C durante el experimento, lo cual es muy posible que afectara el porcentaje de parasitismo inicialmente. Según Bell (1990) el comportamiento de búsqueda y selección de hospedero de un parasitoide puede estar influenciado por factores internos, los cuales son parte de la biología de la hembra, y por factores externos bióticos (e. g. disponibilidad de hospedero) y abióticos (e. g. temperatura, humedad relativa, precipitación).

La selección de hospedero en parasitoides es el resultado de una secuencia de comportamientos que guían a la hembra hacia un individuo adecuado. El comportamiento de forrajeo no siempre es consistente, tiende a variar entre especies, entre hembras de la misma especie y en una misma hembra con respecto al tiempo. Se asume que este comportamiento varía de manera dinámica con las circunstancias, incluyendo estados variables como la edad de la hembra, la condición fisiológica y la experiencia (Godfray, 1994). Por lo anterior es muy posible que el porcentaje de pupas parasitadas tuviera una tendencia al aumento conforme el parasitoide se acostumbraba al nuevo hospedero. La necesidad del parasitoide por suplir sus requerimientos fisiológicos hace que la hembra se enfrente a la disyuntiva de buscar hospederos para su progenie o satisfacer sus necesidades. Uno de los factores fisiológicos que influye en las decisiones de forrajeo de una hembra, y probablemente el más importante, es la necesidad de obtener alimento (Barbosa y Benrey 1998). Finalmente, la edad y el estado reproductivo de las hembras son otros factores importantes cuyo efecto influye sobre el comportamiento de búsqueda de hospedero (Kugimiya *et al.* 2010).

Otro de los factores que pudieron haber afectado el parasitismo durante las primeras semanas fue la humedad relativa, ya que, en el laboratorio donde se realizó el pie de cría se registró entre 90-100% de humedad. Spight, Hunter y Watt (1999) mencionan que humedades relativas muy altas, especialmente arriba de 80%, les ocasiona a los insectos (sobre todo a los insectos pequeños) dificultades para moverse lo cual les impide buscar el hospedero.

Los mayores porcentajes de parasitismo causados por el *S. endius* en laboratorio sobre pupas de *C. capitata* se registraron en la tercera y cuarta exposición, logrando así hasta un 68.5%, resultado similar al obtenido en Colombia por SYED (1994) y por Meyer *et al.* (1991), las pequeñas diferencias entre estudios pueden ser explicadas por ciertas variaciones en las condiciones de la crianza de los parasitoides, tales como humedad y temperatura (Moreno 1980).

Por otra parte, en todos los tratamientos se emplearon parasitoides de *S. endius* inexpertos, es decir, que no habían tenido contacto previo con su hospedero para la cría masiva en el laboratorio, debido a que éstos venían en un hospedero alterno al natural. La

avispa naturalmente parasita pupas de *S. calcitrans* pero se expusieron a pupas de *C. capitata* irradiadas como hospedero alterno, esto por cuanto en ocasiones no se tiene el hospedero natural y existe la necesidad de encontrar otro hospedero donde reproducir. Con los resultados obtenidos se logra reproducir exitosamente un pie de cría del parasitoide usando *C. capitata* y se logró una producción semanal de 60.000 insectos benéficos, ésta producción sirvió también para aplicaciones (liberaciones) en campo posteriores.

Para poder desarrollar la cría masiva de este parasitoide se debió conocer los atributos de la especie, según (Van Alphen y Jervis, 1996) es muy importante conocer el potencial del parasitoide y la manera adecuada de emplearlos en el control biológico de una plaga. La definición de los atributos de los parasitoides es un paso necesario en el caso de una cría masiva. Esto significa que hay condiciones particulares de cada especie en donde su desarrollo y desempeño es mejorado. Estas condiciones deben favorecer la búsqueda del parasitoide hacia el hospedero en este caso a las pupas de *C. capitata* y mantener en altos los niveles y propiedades del insecto, como la supervivencia y fecundidad (Hajek 2004).

En cuanto a los resultados obtenidos en campo se obtuvo que el mayor control (94.4%) se encontró aplicando una dosis de liberación en campo de 1:10 (hembra:pupas) (figuras 4, 5 y 7). El porcentaje de parasitismo efectivo encontrado en esta investigación fue mayor a los niveles de parasitismo encontrados en California (USA), los cuales variaron del 17.7% al 25.6% (Meyer *et al.* 1991), en Illinois (USA) van del 10.6% al 13.0% (Jones y Weinzierl 1997) y en Nebraska del 13.7 a 18.3% (Seymour y Campbell 1993); mientras que en Hungría se reportan valores de parasitismo del 21.1% al 39.7% (Hogsette *et al.* 1994, Hogsette *et al.* 2001) y en Dinamarca éstos fluctúan del 5.1 a 13.1% (Skovgard y Jespersen 2000). Es importante rescatar que, aunque no se midió en este experimento y es difícil de cuantificar, está reportado que la avispa no solo destruye pupas parasitándolas sino también alimentándose de ellas (Wickremashinge y van Emden 2008). De acuerdo a las dosis de pupas brindadas al parasitoide parece que la hembra puede parasitar mejor 10 pupas que 15 o 20 de ellas.

Al obtener un 94.4% de control efectivo se puede decir que la avispa es un agente de control biológico altamente eficaz. Según Cancino (2010) un parasitoide eficaz debe contar con los siguientes atributos para que sea un buen controlador biológico: primeramente la capacidad de búsqueda, éste es muy importante en la biología de estos organismos para localizar sus huéspedes aun cuando sean escasos, siendo el atributo más importante para un enemigo natural efectivo, así mismo, la capacidad de búsqueda depende en gran medida de la movilidad que tenga el himenóptero, habilidad para dispersarse rápidamente, longevidad durante la etapa de búsqueda de huéspedes, habilidad para utilizar su ovipositor, la deposición de huevecillos y el rápido desarrollo en comparación con su huésped.

En cuanto a la variable profundidad de oviposición en éste experimento se logró identificar que la avispa no solo puede parasitar pupas superficiales, sino que también puede llegar hasta los 15 cm con los mismos resultados (Figura 4, 6 y 7). Cave (1995) hace mención de que la hembra de *S. endius* se especializa en parasitar pupas que se encuentran enterradas a más de 10 cm en el sustrato. En cuanto a esta investigación se demostró que no solo a 10 cm sino hasta 15 cm tiene habilidad este parasitoide para parasitar pupas de mosca del establo en rastrojos de piña, lo cual es una gran ventaja para poderlo trabajar en el control de esta plaga y es la primera vez que se hace un reporte cuantitativo a los 15 cm de profundidad.

Por otra parte, se observa en la figura 7 como no todas las moscas tienen la capacidad de emerger, en ésta investigación se obtuvo un promedio de emergencia de un 50%, por lo cual de cada 2 pupas emerge 1, lo que quiere decir que hay otros factores bióticos o abióticos

que están involucrados en la mortalidad de la mosca y es importante tomar esto en cuenta al momento de hacer un monitoreo de pupas para tomar decisión de control, puesto que, se podría estar sobreestimando un conteo de campo. Las pupas que no emergen se convierten en pupas vanas o momificadas. Aluja *et al.* (2005) indica que un alto porcentaje de mortalidad natural se da con las pupas en el campo y que esto se puede dar por condiciones climáticas principalmente extremos de temperatura, ya sea muy altas o muy bajas, lo cual no son tolerables para esta plaga. Tomando como base éste resultado es importante que los programas de liberación de parasitoides, basados en monitoreo previo, tomen este factor de mortalidad natural (50%) para que busquen establecer un equilibrio entre las poblaciones de la mosca *S. calcitrans* y del parasitoide *S. endius*.

Si se libera una cantidad adecuada de parasitoides inicialmente, más pronto se alcanza el equilibrio poblacional para un buen control. El nivel de parasitismo inicial va depender de la densidad de hospedero que se encuentre sobre el rastrojo de la piña en el campo y conocer esta variable permite un mejor aprovechamiento de los parasitoides. En algunas ocasiones cuando el monitoreo de pupas sea muy alto, aun tomando en cuenta el factor de mortalidad natural reportado en este experimento (50%) se deberán hacer liberaciones inundativas de este parasitoide, lo cual es una práctica eficiente también para producir una reducción de las poblaciones de estas moscas rápidamente. Inciso y Castro (2007) y Geden y Hogsette (2006), hacen mención sobre algunos estudios con liberaciones masivas de parasitoides en campo para el manejo de mosca del establo en EEUU, Dinamarca y Noruega.

Otro resultado importante es que, si se aplica el parasitoide, solo emerge en promedio el 6.6% de moscas, pero si no se aplica puede emerger hasta un 50.3% (Figura 7), lo cual indica que la medida de control es efectiva y según lo observado en este estudio la mejor dosis es la de 1:10 (hembra:pupa).

Según Romero (2010), el parasitoide *Spalangia* sp, es uno de los géneros más empleados mundialmente para el manejo de *S. calcitrans*. Su efectividad ha sido comprobada con relación a otros parasitoides, se ha determinado que *S. endius*, logra naturalmente parasitismo sobre *S. calcitrans* con valores que van desde 25-41%, lo cual supera a otros parasitoides como *Muscidifurax* sp y *Pachycrepoides vindemiae* con porcentajes de 4 y 0% en lecherías en el estado de Florida de los EEUU. Bajo las condiciones de ésta investigación se logró obtener un control mayor.

Finalmente, un buen manejo integrado de moscas con énfasis en su control biológico permite aumentar el confort de los animales de la explotación bovina, reducir pérdidas en la producción de leche, disminuye la pérdida de la ganancia de peso, reduce los costos en producción, incrementa la calidad e inocuidad de la leche y sus derivados; además reduce la contaminación ambiental evitando el uso de agroquímicos en la producción y en la eliminación del rastrojo de la piña.

Con los resultados obtenidos y bajo las condiciones de esta investigación se concluye que el control biológico de la mosca del establo haciendo uso del parasitoide *S. endius* es factible y altamente eficiente. En general el control de las poblaciones de *S. calcitrans*, representa un elemento que requiere reforzarse con control biológico, ya que cada vez más los mercados y la población en general exigen técnicas de control de plagas de bajo impacto ambiental, de tal forma que nos oriente hacia una agricultura sostenible con el medio ambiente.

AGRADECIMIENTOS

Se le agradece a la Estación Experimental Los Diamantes del Instituto Nacional de Innovación y Transferencia en Tecnología Agropecuaria (INTA) en Pococí, Limón y a los diversos colaboradores del INTA involucrados en el proyecto.

REFERENCIAS

- Aluja, M., Guillen, J., Liedo, P., Cabrera, M., Ríos, E., de la Rosa, G., Celedonio, H. y Mota, D. (1990). Fruit infesting tephritids (Diptera: Tephritidae) and associated parasitoids in Chiapas, México. *Entomophaga*. 35 (1): 39-48.
- Alpizar, J. (2007). Utilización de la biomasa residual del cultivo de piña (*Ananas comosus*) para la desproteínización enzimática de los desechos de la actividad camaronera. Tesis, Universidad Nacional, Heredia, Costa Rica. Pág.: 15-20.
- Barbosa P & Benrey B. (1998). The influence of plants on insect parasitoids: implications for conservation biological control. In: Barbosa P (ed). Conservation biological control. Academic Press, 55-82 p.
- Bedoya, J.R. (2007). Manejo integrado de la mosca de los establos (*Stomoxys calcitrans*) en el Palmar Del Oriente SA. *Palmas*. 28: 383-388.
- Bell, W.J. (1990). Searching behaviour patterns in insects. *Annual Review of Entomology*, 35: 447-467
- CANAPEP. (2016). Estadísticas de la Cámara Nacional de Exportadores de Piña de Costa Rica. Recuperado de: <https://canapep.com/estadisticas/>
- Campbell, J. y Duane, R. (2006). Sanitation for fly and disease management at confined livestock facilities. In: Neb Guide. Publisher by University of Nebraska- Lincoln. Extension. *Institute of Agriculture and Natural Resources*. 18 p.
- Cave, R. (1995). Manual para el reconocimiento de parasitoides de plagas agrícolas en América Central. Tegucigalpa, Honduras. Zamorano. 202 p.
- Gilles, J. (2012). Informe de Mision: Mission report to launch the National TC project COS 5030 —Use of parasitoids for the biological control of Stable Fly *Stomoxys calcitrans*” Julio 10-20 2012. Agencia Internacional de Energía Atómica 14 p.
- Geden, C.J. Y Hogsette, J.A. (2006). Suppression of house flies (Diptera: Muscidae) in Florida poultry houses by sustained releases of *Muscidifurax raptorellus* and *Spalangia cameroni* (Hymenoptera: Pteromalidae). *Environmental Entomology*, 35 (1): 75-8
- Godfray HCJ. (1994). Parasitoids. Behavioral and evolutionary ecology. Princeton University Press. NJ, 473 pp.
- González, L. A. (2012). Manual técnico para el manejo de rastrojos en el cultivo de piña. San José, CR. MAG/SFE. 18 p.
- Greene, G. L., Hogsette, J.A. y Patterson, R.S. (1989). Parasites that attack stable fly and house fly (Diptera: Muscidae) puparia during winter on dairies in Northwestern Florida. *J. Econ. Entomol.*, 82(2): 412-415
- Hance, T., Baaren, J.v. y Vernon, P. (2006). Impact of extreme temperature on parasitoids in a climate change perspective. *Annual Review of Entomology*, 52:107-126
- Hajek, A.E. (2004) Natural enemies: an introduction to biological control. Cambridge University Press, Cambridge. 378 p.
- Hernández, B. (2004). Parasitoides de pupas (Hymenoptera: Pteromalidae) de moscas (Diptera: Muscidae) asociadas al estiércol de ganado lechero en Aguas Calientes, México. *Folia Entomol. Mex.*, 43(1):9-15.

- Herrera, E. (2012). Informe de brotes de mosca del establo en la Región Norte de Costa Rica. Presentación Taller Manejo de rastrojos del cultivo de piña y plagas que afectan la competitividad. 30, 31 Oct y 01 Nov. Hotel Tilajari, Muelle de San Carlos. PITTA PIÑA.
- Herrero, M., Montes, L. y Hernández, R. (1991). Abundancia relativa de *Stomoxys calcitrans* (L.) (Diptera: Muscidae) en seis localidades del Pacífico Sur de Costa Rica. *Biología Tropical*, 39 (2): 309-310.
- Inciso, E., Castro, J. 2007. Evaluación de *Spalangia endius* y *Muscidifurax* sp. (Hymenoptera, Pteromalidae) como controladores de *Musca doméstica* en el Perú. *Revista Peruana de Biología*, 13: 237-241.
- Kugimiya, S., Shimoda, T., Tabata, J. y Takabayashi, J. (2010). Present or past herbivory: A screening of volatiles released from *Brassica rapa* under caterpillar attacks as attractants for the solitary parasitoid, *Cotesia vestalis*. *Journal of Chemical Ecology*, 36:620-628.
- Marchiori, C.H., Caldas, E.R. y Almeida, K.G.S. (2002). Parasitoides de Díptera coletados en fezes bovinas em varios tempos de exposição em Itumbiara, Goiás, Brazil. *Arq. Inst. Biol., São Paulo*, 69 (2): 37-42.
- Meyer, J. A., Shultz, T. A. , Collar, C. y Mullens, B. A. (1991). Relative abundance of stable fly and house fly (Diptera: Muscidae) pupal parasites (Hymenoptera: Pteromalidae; Coleoptera: Staphylinidae) on confinement dairies in California. *Environ. Entomol.* 20: 915-921.
- Moreno, E. (1980). Biología comparada de *Muscidifurax* sp. y *Spalangia endius* (Hymenoptera: Pteromalidae) ectoparásitos pupales de la mosca doméstica (*Musca domestica*). Tesis de Pre grado. Universidad Particular Ricardo Palma. Lima. Perú. 98 p.
- Navas, U., Gómez, M. y Ramírez, M. (2000). Determinación de parasitoides como agentes de control biológico de moscas de establo en Bermejillo, Durango. México. *Revista Chapingo, serie zonas áridas*, 85-92 p.
- PROCOMER. (2012). Estadísticas de Exportación totales por tipo de producto. San José, Costa Rica. 1-11 p
- Rojas, T., Calvo, B., Porras, S. y Chavarría, A. (2003). Problemática de la mosca del establo, *Stomoxys calcitrans*, originada por los desechos del cultivo de la piña (*Ananas comosus*) en la Región Huetar Atlántica de Costa Rica. I Parte. Boletín de parasitología, 4(3): 3-4.
- Rueda, L. M. y Axtell, R. C. (1985). Guide to common species of pupal parasites (Hymenoptera: Pteromalidae) of the house fly and other muscoid flies associated with poultry and livestock manure (Technical bulletin). Raleigh, N.C., USA: *North Carolina Agricultural Research Service, North Carolina State University*.
- Romero, A., Hogsette, J. A. y Coronado, A. (2010). Distribution and abundance of natural parasitoid (Hymenoptera: Pteromalidae) populations of house flies and stable flies (Diptera: Muscidae) at the University of Florida Dairy Research Unit. *Neotrop. Entomol.*, 39(3): 424-429.
- Seymour, C. R. y Campbell, J. B. (1993). Predators and parasitoids of house flies and stable flies (Diptera: Muscidae) in cattle confinements in west central Nebraska. *Environ. Entomol.* 22: 212-219
- Skovgard, H. y Jespersen, J. B. (2000). Seasonal and spatial activity of hymenopterous pupal parasitoids (Pteromalidae and Ichneumonidae) of the house fly (Diptera: Muscidae)

- on Danish pig and cattle farms. *Environ. Entomol.* 29: 630-637
- Skovgard, H. y Nachman, G. (2015). Effect of mutual interference on the ability of *Spalangia cameroni* (Hymenoptera: Pteromalidae) to attack and parasitize pupae of *Stomoxys calcitrans* (Diptera: Muscidae). *Environmental Entomology*, 44 (4): 1076-1084.
- Solórzano, A. (2016). Biología y cría de la mosca del establo *Stomoxys calcitrans* L. *Alcances Tecnológicos*. 11 (1): 1-16.
- Solórzano, J.A. (2014). Manejo integrado de la mosca del establo *Stomoxys calcitrans* en Costa Rica. INTA, 16p.
- Speight, M.R., Hunter, M.D. y Watt, A.D. (1999). Ecology of insects: concepts and applications. University of Oxford, United Kingdom. Blackwell Science, UK. 350 p.
- Taylor, D.B. y Berkebile, D. (2006). Comparative efficiency of six stable fly (Diptera: Muscidae) traps. *USA Journal of Economic Entomology*, 90(4): 1414-1419.
- Taylor, D., Moon, R. y Marck, D. (2012). Economic impact of Stable Fly (Diptera: Muscidae) on beef cattle production. *Journal Medical Entomology*, 49(1):198-209.
- Van Alphen, J.J.M. y Jervis, M.A. (1996). Foraging behavior. In “Insect Natural Enemies” (M. A. Jervis, and N. A. C. Kidd, Eds.). Chapman & Hall, London. 62 p.
- Van Lenteren, J.C. (2011). The state of commercial augmentative biological control: plenty of natural enemies, but a frustrating lack of uptake. *BioControl*. Forum paper.
- Van Lenteren, J.C. (2003). Augmentative biological control of arthropods in Latin America. *BioControl*, 48: 123-139.
- Viquez, M. (2008). Obtención de madera plástica con rastrojo de piña (Annanas comusos) del desecho agroindustrial y poliolefinas postconsumo. Universidad Nacional, Heredia, Costa Rica. Tesis de posgrado en Lic. Química Industrial. 98 p.
- Weinzierl, R. y Jones, C. (1998). Releases of *Spalangia nigroaenea* and *Muscidifurax zaraptor* (Hymenoptera: Pteromalidae) increase of parasitism and total mortality of stable fly and house fly (Diptera: Muscidae) pupae in Illinois cattle feedlots. *J. Econ. Entomol.*, 91(5): 1114-1121.
- Wickremashinge, M.G.V. y Van Emden, H.F. (2008). Reactions of adult female parasitoids, particularly *Aphidius rhopalosiphi*, to volatile chemical cues from the host plants of their aphid prey. *Physiological Entomology*, 17(3): 297-304.