

UNIVERSIDAD NACIONAL
SISTEMA DE ESTUDIOS DE POSGRADO
MAESTRIA EN AGRICULTURA ALTERNATIVA con mención en AGRICULTURA
ECOLÓGICA

CONTROL BIOLÓGICO DE *STOMOXYS CALCITRANS* (LINNAEUS) (DIPTERA:
MUSCIDAE) EN RASTROJOS DE PIÑA, CON EL PARASITOIDE *SPALANGIA*
ENDIUS (WALKER) (HYMENOPTERA: PTEROMALIDAE) COMO PARTE DEL
MANEJO AGROECOLÓGICO DE PLAGAS, EN PITAL DE SAN CARLOS, COSTA
RICA.

Por: Jairo Treviño Villalobos

Profesor Tutor: José Arturo Solórzano Arroyo, M.Sc.

Heredia, Costa Rica, Marzo 2018

Hoja del tribunal examinador

Dr. Francisco San Lee Campos

Representante Presidencia Consejo Central de Postgrado

M.Sc. Maria Isabel Camacho Cascante

Directora Maestría en Agricultura Alternativa

M.Sc. José Arturo Solórzano Arroyo

Tutor de Tesis

M.Sc. Allan González Herrera

Lector de Tesis

Dr. Eduardo Salas Alvarado

Lector de Tesis

UNIVERSIDAD NACIONAL
SISTEMA DE ESTUDIOS DE POSGRADO
MAESTRIA EN AGRICULTURA ALTERNATIVA con mención en AGRICULTURA
ECOLÓGICA

CONTROL BIOLÓGICO DE *STOMOXYS CALCITRANS* (LINNAEUS) (DIPTERA:
MUSCIDAE) EN RASTROJOS DE PIÑA, CON EL PARASITOIDE *SPALANGIA*
ENDIUS (WALKER) (HYMENOPTERA: PTEROMALIDAE) COMO PARTE DEL
MANEJO AGROECOLÓGICO DE PLAGAS, EN PITAL DE SAN CARLOS, COSTA
RICA.

Por: Jairo Treviño Villalobos

Profesor Tutor: José Arturo Solórzano Arroyo, M.Sc.

Heredia, Costa Rica, Marzo 2018

CONTROL BIOLÓGICO DE *STOMOXYS CALCITRANS* (LINNAEUS) (DIPTERA:
MUSCIDAE) EN RASTROJOS DE PIÑA, CON EL PARASITOIDE *SPALANGIA*
ENDIUS (WALKER) (HYMENOPTERA: PTEROMALIDAE) COMO PARTE DEL
MANEJO AGROECOLÓGICO DE PLAGAS, EN PITAL DE SAN CARLOS, COSTA
RICA.

Por: Jairo Treviño Villalobos

Resumen

La piña, es una de las frutas tropicales de mayor importancia a nivel mundial. En Costa Rica su cultivo genera importantes beneficios. Pese a esto, existen cuestionamientos al cultivo, como la generación de brotes de mosca del establo (*Stomoxys calcitrans*). El manejo de *S. calcitrans* se basa en controles químico, cultural y etológico. Una opción para un manejo más sostenible de la mosca, es incorporar el control biológico dentro del manejo agroecológico de la plaga, siendo el uso de parasitoides una opción promisorio. *Spalangia endius* es un micro himenóptero, que parasita pupas de moscas enterradas en los desechos, característica fundamental para el control de la plaga en rastrojos de piña.

Esta investigación tuvo como objetivo evaluar la efectividad de *S. endius* como controlador biológico de *S. calcitrans* en rastrojos de piña dentro del manejo agroecológico de la plaga y estuvo compuesta por cuatro experimentos, desarrollados entre julio de 2016 y mayo de 2017 en la Finca Pital. El primer experimento consistió en evaluar la mortalidad de *S. endius* por efecto de los insecticidas utilizados para el manejo de *S. calcitrans*. El ensayo fue establecido con un diseño de tratamientos bifactorial, el factor A fue el insecticida aplicado al rastrojo de piña (novaluron o etoprop) y el factor B fue el tiempo entre la aplicación del insecticida y la liberación del parasitoide (0, 24, 48, 72, 96 y 144 horas). La mortalidad de *S. endius* provocada por etoprop, lo hace un insecticida no recomendable en rastrojos donde se utilice este parasitoide, mientras que por su nulo efecto tóxico sobre *S. endius*, novaluron podría ser usado en programas de manejo agroecológico de *S. calcitrans* donde se incluya este parasitoide. El segundo experimento se estableció con el objetivo de evaluar la profundidad a la cual *S. endius* parasita pupas de *S. calcitrans*. Este ensayo se estableció con un diseño de tratamientos bifactorial, donde el factor A consistió de la cantidad de adultos de *S. endius* liberados (0; 10; 20; 30; 40 y 50 por ciento de parasitoides por pupa de mosca presente dentro del rastrojo) y el factor B fue la profundidad de la superficie de la piña triturada donde se colocaron pupas de *S. calcitrans* (5, 10 y 15 cm). Debido a que en campo, las pupas de *S. calcitrans* se encuentran distribuidas en diferentes profundidades, se estableció un tercer ensayo, donde se liberaron diferentes porcentajes de adultos de *S. endius* en la superficie de piña triturada (0; 10; 20; 30; 40 y 50 por ciento de parasitoides por pupa de mosca presente dentro del material vegetal) pero evaluando el efecto del parasitoide en

mediciones repetidas a 5, 10 y 15 cm de profundidad. En ambos experimentos los resultados indican que la liberación de adultos de *S. endius* en rastrojos de piña, disminuye el porcentaje de pupas viables de mosca del establo. *S. endius* tuvo la capacidad de encontrar, parasitar y desarrollarse en pupas de *S. calcitrans* que se encontraban dentro del rastrojo de piña, aun hasta 15 cm de profundidad. El cuarto experimento tuvo como objetivo evaluar una metodología de uso de *S. endius* como control biológico de *S. calcitrans*, en condiciones de campo. Los tratamientos evaluados fueron liberación y no liberación de *S. endius*. El parasitoide disminuyó la producción de mosca del establo a la mitad. La investigación fue desarrollada bajo condiciones de alta temperatura y precipitación constante. *S. endius* logró parasitar y desarrollarse en pupas de *S. calcitrans*, bajo estas condiciones. Es recomendable desarrollar experiencias comerciales con el uso de *S. endius* como complemento al manejo agroecológico de *S. calcitrans* de Finca Pital y evaluar si *S. endius* tiene la capacidad de establecerse bajo las condiciones agroecológicas presentes en las fincas piñeras. Además, esta investigación debe extenderse a otros cultivos como banano, palma aceitera, café, cuyos rastrojos pueden producir poblaciones importantes de *S. calcitrans*.

Abstract

Pineapple is one of the most important tropical fruits worldwide. In Costa Rica, its cultivation generates important benefits. Despite this, there are questions to the crop, such as the generation of stable fly shoots (*Stomoxys calcitrans*). The management of *S. calcitrans* is based on chemical, cultural and ethological controls. An option for a more sustainable management of the fly, is to incorporate the biological control within the agroecological management of the plague, being the use of parasitoids a promising option. *Spalangia endius* is a micro wasp, which parasitizes pupae of flies buried in the waste, a fundamental characteristic for the control of the pest in pineapple stubble. The objective of this research was to evaluate the effectiveness of *S. endius* as a biological controller of *S. calcitrans* in pineapple stubble within the agroecological management of the pest and was composed of four experiments, developed between July 2016 and May 2017 at Pital Farm. The first experiment consisted in evaluating the *S. endius* mortality by the effect of the insecticides used for the *S. calcitrans* management. The trial was established with a bifactorial treatment design, factor A was the insecticide

applied to pineapple stubble (novaluron or etoprop) and factor B was the time between the application of the insecticide and the release of the parasitoid (0, 24, 48, 72, 96 and 144 hours). The *S. endius* mortality caused by etoprop, makes it an insecticide not recommended in stubbles where this parasitoid is used, while due to its no toxic effect on *S. endius*, novaluron could be used in agroecological management programs of *S. calcitrans* where this parasitoid is used. The second experiment was established with the objective of evaluating the depth at which *S. endius* parasitizes *S. calcitrans* pupae. This trial was established with a bifactorial treatment design where factor A consisted of the number of *S. endius* adults released (0, 10, 20, 30, 40 and 50 percent of parasitoids per fly pupa present within the stubble) and factor B was the depth of the surface of the crushed pineapple where *S. calcitrans* pupae (5, 10 and 15 cm) were placed. Because in the field, the *S. calcitrans* pupae are distributed in different depths, a third trial was established, where different percentages *S. endius* adults were released on the surface of crushed pineapple (0, 10, 20, 30, 40 and 50 percent of parasitoids per fly pupa present within the stubble) but evaluating the effect of the parasitoid on measurements repeated at 5, 10 and 15 cm of depth. In both experiments the results indicate that the release of *S. endius* adults in pineapple stubbles decreases the percentage of viable pupae of stable fly. *S. endius* had the ability to find and parasitize *S. calcitrans* pupae that were within the pineapple stubble, even up to 15 cm of depth. The objective of the fourth experiment was to evaluate a methodology for the use of *S. endius* as a biological control of *S. calcitrans*, under field conditions. The treatments evaluated were release and not release of *S. endius*. The parasitoid decreased the production of the stable fly by half. The research was developed under conditions of high temperature and constant precipitation. *S. endius* parasitized *S. calcitrans* pupae, under these conditions. It is advisable to develop commercial experiences with the use of *S. endius* as a complement to the agroecological management of *S. calcitrans* from Pital Farm and to evaluate whether *S. endius* has the capacity to establish itself under the agroecological conditions present in the pineapple farms. In addition, this research should be extended to other crops such as banana, oil palm, coffee, whose stubble can produce important populations of *S. calcitrans*.

Agradecimiento

A PINDECO que me permitió cursar la Maestría en Agricultura Alternativa y realizar el trabajo de tesis en la Finca Pital, apoyo sin el cual no hubiera logrado culminar con este posgrado.

Al ingeniero Arturo Solórzano, tutor de tesis, por su constante apoyo durante el desarrollo de esta investigación.

A los profesores Eduardo Salas y Allan González, por sus importantes aportes como lectores de este trabajo. Sus sugerencias y correcciones han sido invaluable para mejorar este documento.

A Hazel Mena, encargada de la reproducción de *Spalangia endius* en el laboratorio del INTA en la Estación Experimental Diamantes en Guápiles, que siempre estuvo dispuesta a colaborar en la logística necesaria para desarrollar los experimentos que componen esta tesis.

Al INTA, por su apoyo al suministrar los parasitoides requeridos para esta investigación.

A mi esposa, María Acuña, quién ha sido un gran apoyo durante el tiempo que me ha tomado finalizar esta tesis.

Al MICIT por el apoyo económico que me brindo para cursar este postgrado.

Dedicatoria

A Dios todopoderoso fuente de todas las bendiciones en mi vida y pilar en el que siempre me apoyo en los momentos difíciles.

A mi esposa e hijos que son mi inspiración y la razón por la cual trato de superarme a cada momento.

A mis padres que siempre me brindaron su apoyo incondicional y que espero corresponder a su esfuerzo haciéndolos sentir orgullosos.

Índice General

CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN.....	15
I.I OBJETIVO GENERAL.....	19
I.II OBJETIVOS ESPECÍFICOS	19
CAPÍTULO II: REVISIÓN DE LITERATURA.....	20
II.I CULTIVO DE PIÑA (<i>ANANAS COMOSUS</i>) EN COSTA RICA	20
II.I.I RENOVACIÓN DE PLANTACIONES DE PIÑA	21
II.II MOSCA DEL ESTABLO (<i>STOMOXYS CALCITRANS</i>)	22
II.II.I CICLO DE VIDA	24
II.II.II DINÁMICA POBLACIONAL	27
II.II.III MANEJO DE <i>STOMOXYS CALCITRANS</i>	28
II.II.III.I CONTROL CULTURAL.....	28
II.II.III.II CONTROL ETOLÓGICO.....	29
II.II.III.III CONTROL QUÍMICO	30
II.II.III.IV CONTROL BIOLÓGICO	30
II.II.III.IV.I <i>SPALANGIA ENDIUS</i>	31
CAPÍTULO III: MATERIALES Y MÉTODOS	34
III.I UBICACIÓN.....	34
III.II GENERALIDADES CLIMÁTICAS	34
III.III PRODUCCIÓN DE <i>SPALANGIA ENDIUS</i>	35
III.IV EVALUACIÓN DEL EFECTO DE LOS INSECTICIDAS USADOS EN EL MANEJO DE MOSCA DEL ESTABLO SOBRE <i>S. ENDIUS</i>	36
III.V PROFUNDIDAD EFECTIVA DE PARASITISMO DE <i>S. ENDIUS</i> SOBRE PUPAS DE <i>S. CALCITRANS</i> EN RASTROJO DE PIÑA.....	38
III.V.I EXPERIMENTO A	38
III.V.II EXPERIMENTO B	42
III.VI USO DE <i>SPALANGIA ENDIUS</i> DENTRO DEL MANEJO AGROECOLÓGICO DE <i>STOMOXYS CALCITRANS</i>	44
CAPITULO IV: RESULTADOS	48
IV.I CONDICIONES CLIMÁTICAS DURANTE LA INVESTIGACIÓN	48
IV.II EFECTO DE LOS INSECTICIDAS USADOS EN EL MANEJO DE MOSCA DEL ESTABLO SOBRE <i>S. ENDIUS</i>	49
IV.III PROFUNDIDAD EFECTIVA DE PARASITISMO DE <i>S. ENDIUS</i> SOBRE PUPAS DE <i>S. CALCITRANS</i> EN RASTROJO DE PIÑA.....	52
IV.III.I EXPERIMENTO A	52
IV.III.II EXPERIMENTO B	56
IV.IV METODOLOGÍA DE USO DE <i>SPALANGIA ENDIUS</i> DENTRO DEL MANEJO AGROECOLÓGICO DE <i>STOMOXYS CALCITRANS</i>	59
IV.V CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.	61
BIBLIOGRAFÍA.....	63
ANEXOS	69

Lista de cuadros

Cuadro 1: Datos meteorológicos, estación Finca Pital, San Carlos, Alajuela.....	35
Cuadro 2. Mortalidad de <i>S. endius</i> por la aplicación de insecticidas en el rastrojo de piña a diferentes momentos antes de la liberación del parasitoide.....	51
Cuadro 3. Efecto de la profundidad dentro del rastrojo donde se colocaron las pupas de <i>S. calcitrans</i> sobre el porcentaje de pupas parasitadas, viables y no viables.....	53
Cuadro 4. Efecto de la liberación de <i>S. endius</i> sobre la cantidad de adultos de <i>S. calcitrans</i> emergidos (moscas/m ²).	60
Cuadro 5. Efecto de la liberación de <i>S. endius</i> sobre el porcentaje de pupas viables. .	61

Lista de figuras

FIGURA 1. COSTA RICA: ÁREA DE SIEMBRA DE PIÑA PERIODO 1960-2013.	21
FIGURA 2. GANADO BOVINO AFECTADO POR <i>S. CALCITRANS</i>	23
FIGURA 3. CICLO DE VIDA DE <i>S. CALCITRANS</i>	24
FIGURA 4. HUEVOS DE <i>S. CALCITRANS</i>	25
FIGURA 5. ESTADÍOS LARVALES DE <i>S. CALCITRANS</i>	26
FIGURA 6. PUPAS DE <i>S. CALCITRANS</i>	26
FIGURA 7. DETALLE DE PROBOSIS DE LA MOSCA DEL ESTABLO.	27
FIGURA 8. TRAMPAS PARA CAPTURA DE ADULTOS DE MOSCA DEL ESTABLO.	29
FIGURA 9. ECLOSIÓN DE PARASITOIDES SEGÚN EDAD DE PUPAS DE CRÍA.	31
FIGURA 10. CICLO DE DESARROLLO DE <i>S. ENDIUS</i> EN PUPAS DE MOSCA DOMÉSTICA BAJO CONDICIONES DE LABORATORIO.	33
FIGURA 11. PROFUNDIDADES DENTRO DEL RASTROJO DE PIÑA DONDE SE COLOCARAN LAS BOLSAS CON PUPAS DE <i>S. CALCITRANS</i>	39
FIGURA 12. ESQUEMA DE LA VISTA SUPERIOR DEL CONTENEDOR PLÁSTICO (ESTAÑÓN) DONDE SE DEPOSITÓ EL RASTROJO DE PIÑA.	40
FIGURA 13. PUPAS DE <i>S. CALCITRANS</i> QUE FUERON PARASITADAS POR <i>S. ENDIUS</i>	41
FIGURA 14. PUPA VIABLE DE <i>S. CALCITRANS</i>	41
FIGURA 15. ESQUEMA DEL EXTREMO LATERAL DEL CONTENEDOR PLÁSTICO (ESTAÑÓN) DONDE SE DEPOSITÓ EL RASTROJO DE PIÑA.	43
FIGURA 16. TRAMPA DE MALLA PARA EVALUACIÓN DE EMERGENCIA DE ADULTOS DE <i>S.</i> <i>CALCITRANS</i>	46
FIGURA 17. PRECIPITACIÓN SEMANAL ACUMULADA Y PROMEDIO SEMANAL DE TEMPERATURAS, REGISTRADAS DURANTE EL DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN, FINCA PITAL, SAN CARLOS, ALAJUELA.	49
FIGURA 18. EFECTO DEL PORCENTAJE DE PARASITOIDE LIBERADO (N=9) SOBRE EL PORCENTAJE DE PUPAS PARASITADAS DE <i>S. CALCITRANS</i>	53
FIGURA 19. EFECTO DEL PORCENTAJE DE PARASITOIDE LIBERADO (N=9) SOBRE EL PORCENTAJE DE PUPAS VIABLES DE <i>S. CALCITRANS</i>	54
FIGURA 20. EFECTO DEL PORCENTAJE DE PARASITOIDE LIBERADO (N=9) SOBRE EL PORCENTAJE DE PUPAS NO VIABLES DE <i>S. CALCITRANS</i>	55

FIGURA 21. EFECTO DEL PORCENTAJE DE PARASITOIDE LIBERADO (N=9) SOBRE EL PORCENTAJE DE PUPAS PARASITADAS DE <i>S. CALCITRANS</i>	57
FIGURA 22. EFECTO DEL PORCENTAJE DE PARASITOIDE LIBERADO (N=9) SOBRE EL PORCENTAJE DE PUPAS VIABLES DE <i>S. CALCITRANS</i>	58
FIGURA 23. EFECTO DEL PORCENTAJE DE PARASITOIDE LIBERADO (N=9) SOBRE EL PORCENTAJE DE PUPAS NO VIABLES DE <i>S. CALCITRANS</i>	59
FIGURA 24. INSECTICIDAS APLICADOS CON UNA MOTOBOMBA Y AGUILÓN MODIFICADO, SIMULANDO EL VOLUMEN DE APLICACIÓN UTILIZADO COMERCIALMENTE.	69
FIGURA 25. BOLSA DE MALLA CON PUPAS DE <i>S. CALCITRANS</i>	70
FIGURA 26. ESTAÑONES DONDE SE COLOCARON LAS BOLSAS DE MALLA Y SE CUBRIERON CON RASTROJOS DE PLANTAS DE PIÑA. IZQUIERDA: ANTES DE CUBRIR EL ESTAÑÓN CON TELA TERGAL. DERECHA: DESPUÉS DE CUBRIR EL ESTAÑÓN CON TELA TERGAL.	70
FIGURA 27. TRAMPAS PARA CAPTURAS DE ADULTOS DE MOSCA DEL ESTABLO, UTILIZADAS EN EL ENSAYO DE USO DE <i>SPALANGIA ENDIUS</i> DENTRO DEL MANEJO AGROECOLÓGICO DE <i>S.</i> <i>CALCITRANS</i>	71

Lista de anexos

ANEXO 1. APLICACIÓN DE INSECTICIDAS EN RASTROJO DE PIÑA, PARA EL ENSAYO DE EVALUACIÓN DEL EFECTO DE LOS INSECTICIDAS USADOS EN EL MANEJO DE MOSCA DEL ESTABLO SOBRE <i>S. ENDIUS</i>	69
ANEXO 2. BOLSAS DE MALLA Y ESTAÑONES UTILIZADOS EN LOS ENSAYOS DE PROFUNDIDAD EFECTIVA DE PARASITISMO DE <i>S. ENDIUS</i> SOBRE PUPAS DE <i>S. CALCITRANS</i> EN RASTROJO DE PIÑA.....	70
ANEXO 3. TRAMPAS PARA CAPTURA DE ADULTOS DE <i>S. CALCITRANS</i> EN LAS PARCELAS DEL ENSAYO DE USO DE <i>SPALANGIA ENDIUS</i> DENTRO DEL MANEJO AGROECOLÓGICO DE <i>STOMOXYS CALCITRANS</i>	71

Lista de abreviaturas

ACB: Agente de control biológico.

CANAPEP: Cámara Nacional de Productores y Exportadores de Piña.

FAO: Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación.

INTA: Instituto Nacional de Innovación y Transferencia de Tecnología Agropecuaria.

MAP: Manejo agroecológico de plagas.

PINDECO: Pineapple Development Corporation.

SEPSA: Secretaría Ejecutiva de Planificación Sectorial Agropecuaria.

Capítulo I: Introducción

La piña (*Ananas comosus*) es una planta perenne de la familia de las bromeliáceas originaria de las zonas tropicales de Brasil (Jiménez, 1999, p. 17). Es una planta herbácea con una base compuesta por la unión compacta de varias hojas formando una roseta (Brenes, 2007, p. 28) y una inflorescencia terminal que da origen a un fruto múltiple (Coppens y Leal, 2003, p. 13) muy apreciado en gastronomía. Es un cultivo tropical, que para un adecuado crecimiento requiere una temperatura media anual que oscile entre 23 y 30°C (con un óptimo de 27°C) y un régimen de lluvias de entre los 1500 y 3500 mm anuales. La piña se siembra durante todo el año por medio de semilla asexual, usando principalmente los retoños que se desarrollan en el tallo de la planta (Coppens y Leal, 2003, p. 20). La variedad que se cultiva mayoritariamente en Costa Rica es la MD2, que se caracteriza por su alto potencial productivo y calidad de fruta (Brenes, 2007, p. 28). A nivel mundial, la piña es el segundo cultivo tropical de mayor importancia después del banano, aportando más del 20% del volumen de producción de este tipo de frutos, del cual el 70% se consume como fruta fresca en el país que la produce (Olmos, 2015, p. 3). Adicional al comercio de fruta fresca, la piña se usa para enlatados, jugos, jaleas, congelados y fruta deshidratada.

Las condiciones tropicales de Costa Rica son ideales para el cultivo de la piña. En la actualidad este país se ha convertido en el mayor exportador de piña fresca en el mundo. El 50% de sus exportaciones totales se colocan en el mercado de Estados Unidos, mientras que el segundo comprador es la Unión Europea a donde se exporta el 47% de la fruta (Fernández, 2014, p. 4). La producción de piña en Costa Rica desempeña un rol no sólo como fuente de empleos (32,000 directos y 120,000 indirectos) sino en su influencia en la liquidez de las cuentas nacionales, valor agregado, posicionamiento de marca, prestaciones sociales y beneficios para otras industrias del país. Cámara Nacional de Productores y Exportadores de Piña (CANAPEP, 2016).

El cultivo industrial de piña en Costa Rica ha presentado un importante crecimiento a partir de la introducción de la variedad MD2, cuadruplicando el área sembrada en menos de una década. Secretaría Ejecutiva de Planificación Sectorial Agropecuaria (SEPSA, 2009, p. 19). Para el año 2013, se mantenían alrededor de 45000 hectáreas dedicadas a la siembra y cosecha de piña, concentrado un 52% del área productora en la zona Norte del país, desde el río Sarapiquí hasta Upala, un 32% en la zona del Caribe,

desde el río Sarapiquí hasta Limón y el restante 17% se cultiva en la zona del Pacífico (Fernández, 2014, p. 3). Pese a los beneficios que el cultivo acarrea al país, también es cuestionado por ciertos sectores que aluden problemas como: contaminación de acuíferos, degradación de suelos y afectación a otras actividades (Acuña, 2006). Actualmente, la generación de vectores como la mosca del establo (*Stomoxys calcitrans*, Diptera: Muscidae) producto del inadecuado manejo de los rastrojos de la piña es uno de los mayores cuestionamientos al cultivo (Solórzano *et al.*, 2011, p. 5).

Desde el punto de vista de agricultura ecológica, la piña se convierte en un cultivo de interés, porque, por un lado, el país se beneficia de los ingresos de su exportación y por otro, su producción debe ser realmente sostenible con bajo impacto ambiental. Cualquier acción en este sentido cobra relevancia; por ejemplo, en lo referente a un manejo adecuado de vectores como la mosca del establo que se reproduce en los desechos de diferentes cultivos, entre ellos la piña (Solórzano *et al.*, 2011, p. 5). La mosca del establo no afecta directamente a la piña; sin embargo, a cierta densidad es una plaga muy perjudicial para la ganadería y su impacto económico es significativo. Las moscas causan perjuicios porque se alimentan de sangre, con ello provocan que disminuya el consumo de alimento y baje la producción de leche o la ganancia de peso, según el ganado que se trate. Además, hay una afectación en el bienestar de los animales ante la presencia de estos parásitos, pues los piquetes son muy dolorosos y provocan que los animales se estresen y aumenten sus movimientos defensivos para tratar de espantarse las moscas (Solórzano, 2014, p. 3). Se estima que en Estados Unidos se presentan pérdidas anuales debidas al insecto que ascienden a más de 2 mil millones de dólares (Taylor, Moon y Mark, 2012, p. 198).

El primer brote de ataque de mosca del establo al ganado bovino costarricense se registró en 1987, desde entonces su incidencia se incrementó, asociada a la ampliación de las áreas de producción de piña en las regiones Norte y Atlántica del país (Solórzano, 2014, p. 3). Con la introducción de la variedad de piña MD-2, el área de producción piñera a nivel nacional, pasó de 8000 ha en el 2000 a más de 45000 en el año 2008 (SEPSA, 2009, p. 19), consecuentemente, también se incrementó la población de mosca del establo, ocasionando impactos negativos en la ganadería nacional (Solórzano, 2014, p. 3).

Cambell *et al.*, (2001) estima que un umbral de 25 insectos al día atacando un bovino produce una pérdida de peso de un kilogramo diario y en el caso de bovinos de leche, la producción se reduce hasta en un 50%. En Costa Rica, este umbral es superado en condiciones de alta proliferación de esta plaga (Gilles, 2012, p. 2). En la ganadería costarricense, los animales afectados pueden presentar poblaciones superiores a 700 moscas por animal/día, lo que ocasiona estrés en los animales (Herrero, Montes y Hernández, 1991).

Aunque la mosca del establo no causa daños directos al cultivo de piña, el incremento desmedido de la plaga ocasiona impactos económicos negativos a los productores de esta fruta. Lo anterior porque si las entidades de gobierno demuestran incrementos de la población de moscas por los rastrojos de piña que sobrepasan el umbral para el ganado, las fincas piñeras pueden ser sancionadas con prohibición de nuevas derribas de plantaciones de piña por al menos 90 días. Así que las fincas piñeras deben realizar un adecuado manejo de los desechos para evitar el incremento de la población de moscas, lo que se convierte en un costo más de producción. Este costo en el control del insecto se ha estimado en \$2000/ha, además del perjuicio ocasionado por el cierre de la finca por espacio de hasta tres meses en caso de que los brotes de mosca no logren ser controlados y afecten ganaderías cercanas (Solórzano, 2014, p. 4). Por tanto, un mejor manejo de esta plaga tendrá impactos positivos tanto en las empresas piñeras como en la producción ganadera.

Existe cierta problemática en los métodos actuales de control de la mosca del establo en los rastrojos de piña. El manejo está basado en métodos químicos (aplicación de plaguicidas), control cultural (prácticas intensivas de mecanización para incorporar los rastrojos de cosecha, recolección de tallos de plantas de piña sin incorporar) y control etológico (trampeo masivo de adultos). Aunque bajo este esquema de manejo se logran reducciones importantes en la proliferación de moscas que podrían ir desde 80 adultos/m² a menos de 5 adultos/m², la cantidad de terreno en proceso de derriba hace que aún bajas proliferaciones de moscas se puedan convertir en un problema para las ganaderías (Solórzano, 2014, p. 13). Además, cuando las condiciones ambientales (principalmente por precipitación) no permiten implementar estas medidas de manejo en forma adecuada, el riesgo de que ocurra un brote de mosca es alto. Otro aspecto a tomar en cuenta es que este manejo de la plaga puede traer consecuencias ambientales

importantes, como la generación de resistencia a los insecticidas empleados, 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.

Una opción para buscar un manejo más sostenible de *Stomoxys calcitrans*, es incorporar el control biológico dentro del manejo agroecológico de la plaga, de tal forma que se podrían complementar los controles químico, cultural y etológico. Existen diferentes agentes de control biológico (ACB) de mosca del establo como parasitoides, hongos entomopatógenos, depredadores y nematodos entomopatógenos que podrían mejorar el manejo de esta mosca.

Uno de los ACB más promisorios es mediante el uso de parasitoides que son insectos que interrumpen el ciclo de vida de las moscas en la fase de pupa, eliminándolas (Nava, Gómez y Ramírez, 2000). El que los parasitoides ataquen el estadio de pupa sería importante dentro del manejo agroecológico de *S. calcitrans*, ya que las demás medidas de manejo tienen efecto únicamente sobre larvas o adultos.

Según Geden (2005) alrededor de una docena de pteromálidos y chalcidos se encuentran atacando pupas de mosca en todo el mundo. La mayoría de las especies son cosmopolitas en su distribución y casi todos son parasitoides solitarios; es decir, producen una sola descendencia de parasitoides por hospedero. Los parasitoides de moscas comúnmente asociados a los sistemas de producción ganadera y aviar son pequeñas avispas (Hymenoptera), esencialmente de los géneros *Muscidifurax*, *Spalangia* y *Pachycrepoides* de la familia Pteromalidae (Bedoya, 2007, p. 388).

El micro himenóptero exótico *Spalangia endius* es un reconocido controlador de pupas de moscas que se pueden asociar a especies de las familias Muscidae (Carvalho, d'Almeida, Mello, 2003), que ha sido reportado parasitando *S. calcitrans* en condiciones de clima tropical (Brasil) (Brandao, Carcamo, Costa y Ribeiro, 2011, p. 271) y subtropical (Florida) (Romero, Hogsette y Coronado, 2010, p. 426) y es usado para el control de estos insectos en sistemas confinados de producción animal (Crespo, Leucona y Hogsette, 1998). El uso de liberaciones inundativas de este parasitoide es una práctica eficiente para producir supresión de las poblaciones de moscas (Inciso y Castro, 2007), por lo que podría ser una opción viable para el manejo de *S. calcitrans* en rastrojos de piña.

Las escasas experiencias en el uso de *S. endius* como controlador biológico de *S. calcitrans*, están documentadas en explotaciones pecuarias, principalmente en ganadería bovina. Información relacionada con el uso del parasitoide en manejo de mosca del establo en rastrojos agrícolas es prácticamente nula, razón por lo que esta investigación es de suma importancia, ya que aporta datos científicos del comportamiento de este promisorio agente de control biológico en el manejo de la mosca del establo en rastrojos agrícolas del cultivo de piña, que actualmente es una de las problemáticas de mayor impacto sobre el sector agropecuario nacional, ya que afecta dos de las actividades de más importancia como son el sector piñero y el ganadero. El conflicto entre el sector ganadero y piñero por los problemas con mosca del establo, ha llegado hasta instancias judiciales (Peña, 2014), por lo que contar con opciones sostenibles para mejorar el manejo de esta plaga es una necesidad a nivel país e impactaría en forma positiva a ambas actividades. En adición, la mosca del establo no es exclusiva del cultivo de piña, por el contrario se reproduce en rastrojos de diferentes cultivos (Solórzano *et al.*, 2011, p. 5), entre los que se pueden mencionar café, banano y palma africana, por lo que los resultados de esta investigación sirve de base para iniciar experiencias en estas actividades, en busca de mejorar el manejo de la plaga.

1.1 Objetivo general

Determinar la efectividad de *Spalangia endius* como controlador biológico de *Stomoxys calcitrans* en rastrojos de piña dentro del manejo agroecológico de la plaga.

1.2 Objetivos específicos

- Determinar la mortalidad de *Spalangia endius* por efecto de los insecticidas utilizados para el manejo de *Stomoxys calcitrans* en el cultivo de piña.
- Examinar la profundidad efectiva a la cual *Spalangia endius* puede actuar como parasitoide de *Stomoxys calcitrans* en rastrojos de piña.
- Establecer una metodología de uso de *Spalangia endius* como control biológico sobre *Stomoxys calcitrans* en rastrojos de Piña, evaluando su efectividad.

Capítulo II: Revisión de literatura

2.1 Cultivo de piña (*Ananas comosus*) en Costa Rica

La piña es una planta herbácea, perenne, monocotiledónea, caracterizada por tener un tallo corto rodeado de hojas dispuestas en forma de roseta y una inflorescencia terminal que da origen a un fruto múltiple. Perteneció al orden de las Bromeliales, familia Bromeliaceae, subfamilia Bromelioideae (Coppens y Leal, 2003, p. 20).

Según Quirós (1993), en Costa Rica, la piña ha sido cultivada desde tiempos de la conquista española, posiblemente por haber sido traída desde su lugar de origen por indios de América del Sur, gracias a su comercio con el Centro y Norte de América (p. 1). Jiménez (1999) indica que inmigrantes italianos asentados en la zona sur del país iniciaron siembras de piña en Buenos Aires de Puntarenas en la década de los años 50 y para los siguientes dos décadas el empresario Rodolfo Robert prosiguió con el cultivo logrando exportar por medio de la empresa United Fruit Company. La tecnología de cultivo se mejoró al desarrollar la actividad en forma más intensiva a partir del año 1962, momento en que se establece en Buenos Aires de Puntarenas, la Compañía Piñera del Sur. Esta empresa estableció las primeras parcelas experimentales con piña de la variedad Cayena Lisa.

En el año 1979, la compañía PINDECO, subsidiaria de Del Monte Corporation, continúa con la tarea iniciada por la Compañía Piñera del Sur, e inicia actividades en el cultivo intensivo de la piña, logrando realizar sus primeras exportaciones en el año 1982 de la piña variedad Champaka que se desarrolló importando el material vegetativo desde Hawaii (Jiménez, 1999, p. 14). El éxito de PINDECO incentiva la siembra de piña en otras zonas, la producción para la exportación se introduce a la zona norte abarcando más de 2.500 hectáreas, sin embargo casi el 90% de la producción total estaba aún en la zona sur y el 10% en San Carlos, Sarapiquí y Grecia. La siembra de la variedad Champaka duraría alrededor de 15 años hasta que se incorpora una nueva variedad, la piña dorada o MD-2 que cambiaría tanto el mercado nacional como el internacional (Aravena, 2005, p. 6).

La introducción de la variedad MD2 causó una expansión fuerte y sostenida del cultivo de la piña en el país desde finales de la década de los años 90 (Figura 1). Para el año 2013, se alcanzaron 45000 hectáreas dedicadas a la siembra y cosecha de piña en Costa Rica. Las regiones productoras de piña se pueden dividir en zona Norte (desde

el río Sarapiquí hasta Upala) con un 52% del área sembrada, zona Caribe (desde el río Sarapiquí hasta Limón) con 32% y zona Pacífico con el restante 17% (Fernández, 2014, p. 3).

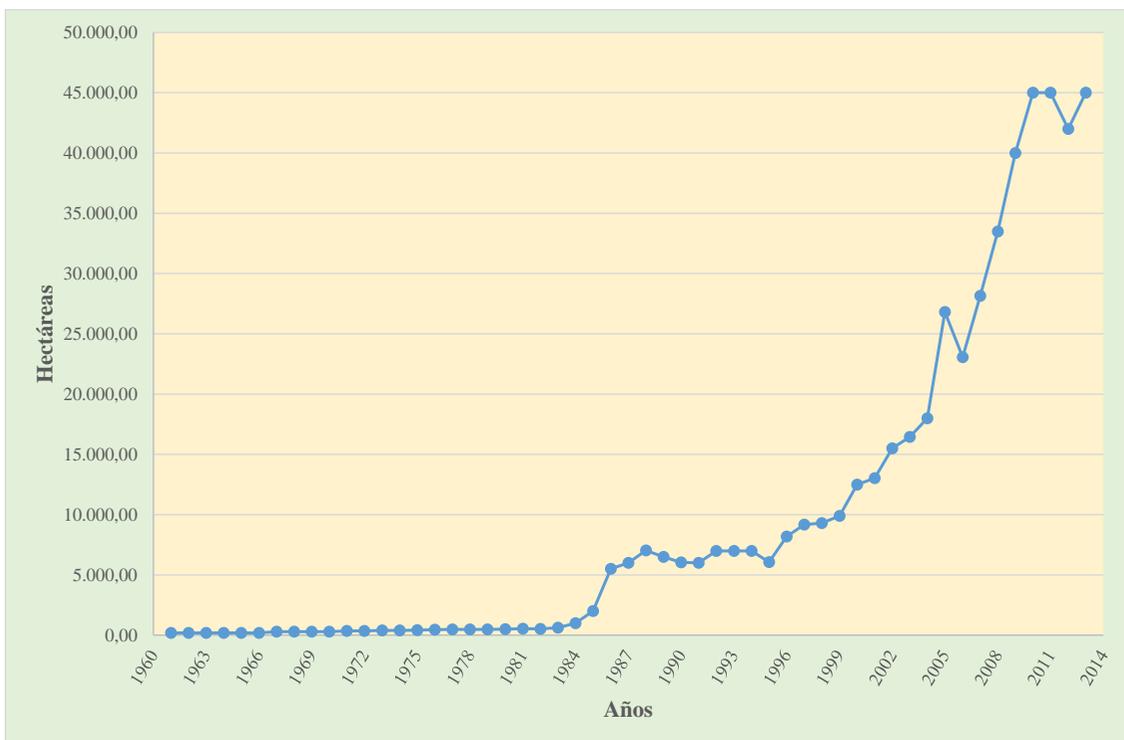


Figura 1. Costa Rica: Área de siembra de piña periodo 1961-2013.
Fuente: FAO.

Junto al monocultivo de piña, también han crecido los problemas con la mosca del establo (*Stomoxys calcitrans*), la cual aprovecha para reproducirse, entre otros, los desechos vegetales de piña en descomposición que se generan como producto de la renovación de áreas que han cumplido con su ciclo productivo a nivel comercial y por efecto de manejo inadecuado de estos rastrojos (González, 2012, p. 1).

2.1.1 Renovación de plantaciones de piña

Según González (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. Se ha determinado que, por hectárea de piña cultivada, se generan cerca de 250 TM de rastrojo, los cuales debido a su gran volumen y a la característica

de lenta degradación, cuando no son adecuadamente procesados e incorporados, sirven de medio a la mosca del establo para completar su ciclo biológico (p. 1).

En el proceso de renovación de plantaciones de piña, la etapa donde se elimina el cultivo, se conoce como derriba de plantación y puede tener un componente químico (uso de herbicida) y otro físico (mecanización). Según González (2012), existen dos técnicas o prácticas para la eliminación del rastrojo de piña: la primera es denominada derriba convencional, que incluye la aplicación de herbicida como desecante para disminuir la biomasa de la planta (quema con fuego en algunos casos) y después las labores agrícolas de mecanización e incorporación del rastrojo al suelo. La segunda se conoce como derriba en verde, que consiste en la eliminación del rastrojo de piña sin uso de herbicida, utilizando maquinaria agrícola para incorporar los rastrojos al suelo (p. 3). Este segundo método produce más materia orgánica por lo que hay mayores posibilidades de que se generen brotes de *S. calcitrans* (Solórzano, 2014, p.14).

2.2 Mosca del establo (*Stomoxys calcitrans*)

La mosca del establo (*Stomoxys calcitrans* Diptera: Muscidae) es una plaga cosmopolita que actualmente es considerada la más importante de la ganadería a nivel mundial (Taylor y Berkebile, 2006, p. 1415). Se estima que en Estados Unidos se presentan pérdidas anuales debidas al insecto que ascienden a más de 2 mil millones de dólares (Taylor *et al.*, 2012, p. 198).

En Costa Rica la mayor reproducción de mosca del establo se realiza en rastrojos de cultivos como la piña (Solórzano *et al.*, 2013, p. 5) y otros cultivos de exportación. Según Solórzano (2014) desde su aparición como plaga en 1987, su incidencia ha aumentado, asociada a diferentes cultivos, como es el caso de la ampliación de las áreas de producción de piña (*Ananas comosus*) en las regiones Norte y Atlántica del país (p. 3).

Los adultos de *S. calcitrans* son hematófagos, tanto hembras como machos se alimentan de la sangre (Taylor y Berkebile, 2006, p. 1415) del ganado vacuno y equino principalmente y cumplen su ciclo de vida en los desechos de origen vegetal o animal. En las regiones de mayor precipitación y humedad relativa 2500 – 3200 mm lluvia/año (Caribe y Norte), esta plaga se ha incrementado significativamente hasta 211 brotes por año (Herrera, 2012).

Según Cambell *et al.*, (2001) un umbral de daño estimado en 25 insectos al día atacando un bovino producen intranquilidad que se traduce en pérdida de peso de aproximadamente un kilogramo diario y en el caso de bovinos de leche, la producción se reduce hasta en un 50%. En Costa Rica, este umbral es superado en condiciones de alta proliferación de esta plaga (Gilles, 2012, p. 2), cuando los animales afectados pueden presentar poblaciones superiores a 700 moscas por animal/día (Herrero *et al.*, 1991, p. 309), ocasionando estrés en los animales y movimientos defensivos (Schole, Taylor, Brink y Hanford, 2011). Según Solórzano (2014) el ataque de la mosca es notable ya que los animales afectados se amontonan formando pateaderos en los potreros, aumentan sus movimientos defensivos, se tornan agresivos, no se alimentan con tranquilidad y se meten en los ríos, lagos y suamos para evadir las moscas, situaciones que traen como consecuencia la pérdida de peso y por ende la reducción en la producción de carne y leche (p. 3).



Figura 2. Ganado bovino afectado por *S. calcitrans*.

2.2.1 Ciclo de vida

Según Taylor y Berkebile (2006) la mosca del establo se reproduce en materia orgánica en descomposición entre ellos los rastrojos de cultivos y estiércol animal que son aptos para cumplir su ciclo de vida (p. 1415). Solórzano *et al.*, (2011) determinó que el ciclo de vida en condiciones tropicales de alta humedad y temperaturas se acorta significativamente oscilando entre 16 y 19 días (Figura 3). Los huevecillos (Figura 4) son pequeños de color blanco de apenas un par de milímetros y duran en promedio dos días después de la postura para eclosionar (p. 6).

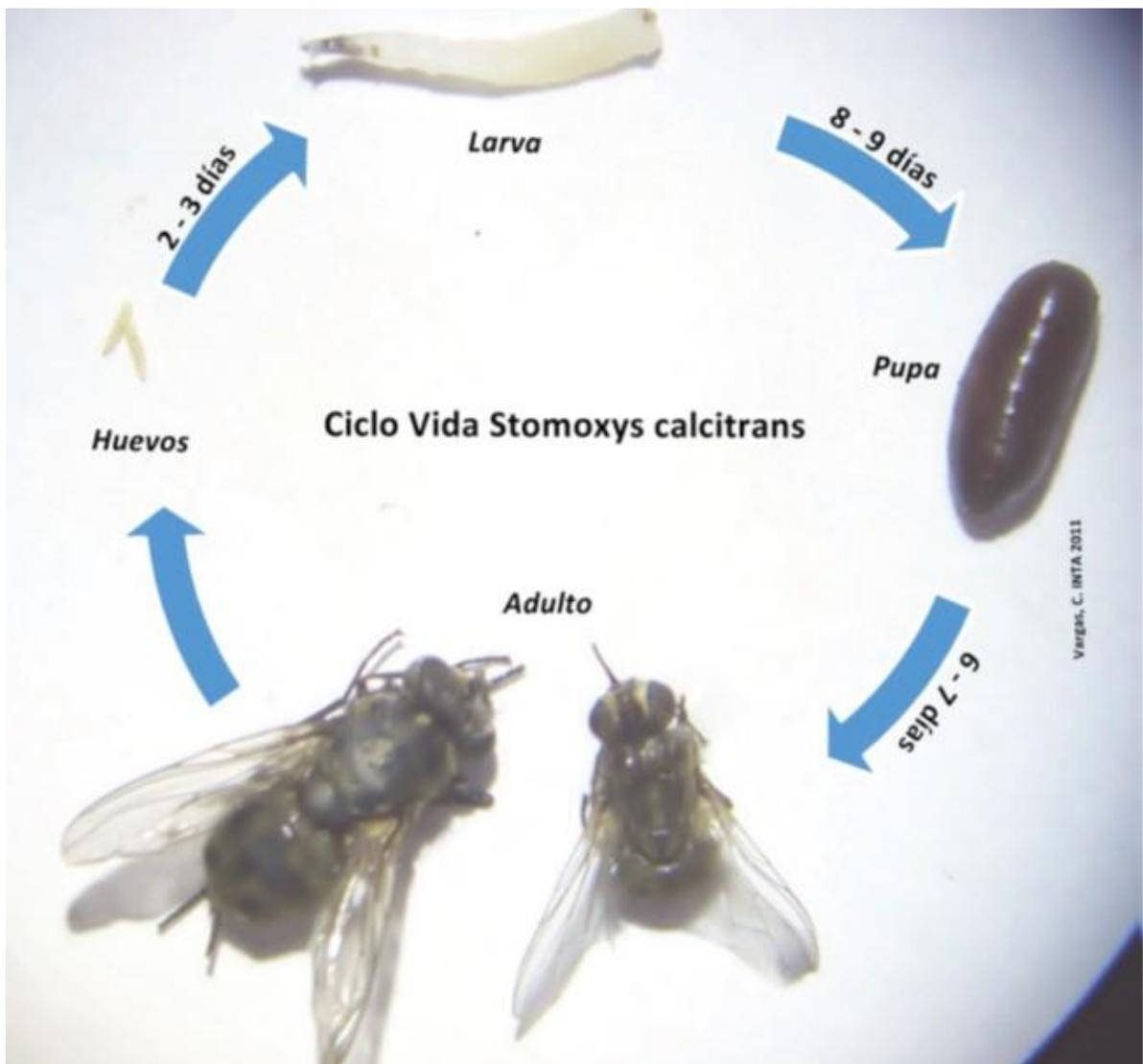


Figura 3. Ciclo de vida de *S. calcitrans*. INTA 2011.
Fuente: Solórzano *et al.*, 2011, p. 6.



Figura 4. Huevos de *S. calcitrans*. INTA 2011.
Fuente: Solórzano *et al.*, 2011, p. 7.

Según Solórzano *et al.*, (2011) la mosca del establo presenta cuatro estadios larvales (Figura 5). El primer estadio larval L1 es difícil de observar a simple vista, por lo que su identificación debe hacerse mediante un estereoscopio. Las larvas tienen muy poco desarrollado sus tejidos y su cuerpo es transparente. El estadio L1 comprende los primeros dos días después de la eclosión de los huevecillos. Las larvas L2, segundo estadio son de entre 2,5 y 5,2 mm de largo y presenta estructuras más diferenciadas. El estadio L2 se desarrolla entre los tres y cinco días. Las larvas son de color blanco cremoso y presentan bien formados los espiráculos posteriores. Las larvas L3 son de mayor tamaño entre 5,2 y 8,8 mm de longitud, ligeramente más oscuras con áreas de color café. Se desarrollan entre los cinco y siete días después de la emergencia de la larva. Las larvas L4 son las de mayor tamaño crecen desde un rango entre 8,8 hasta 11,1 mm de longitud, son aún más oscuras y cremosas que los estadios anteriores. Se desarrollan entre los ocho y once días después de la eclosión de los huevos.

Según Solórzano *et al.*, (2011) la pupa de la mosca del establo se desarrolla entre los 12 y 18 días de edad (Figura 6). No son móviles, de tamaño entre 5 y 7 mm de

longitud y 3-4 mm de ancho, de color café claro (en los primeros días) y luego café oscuro, de forma ovalada y ovoide en ambos extremos (p. 13).

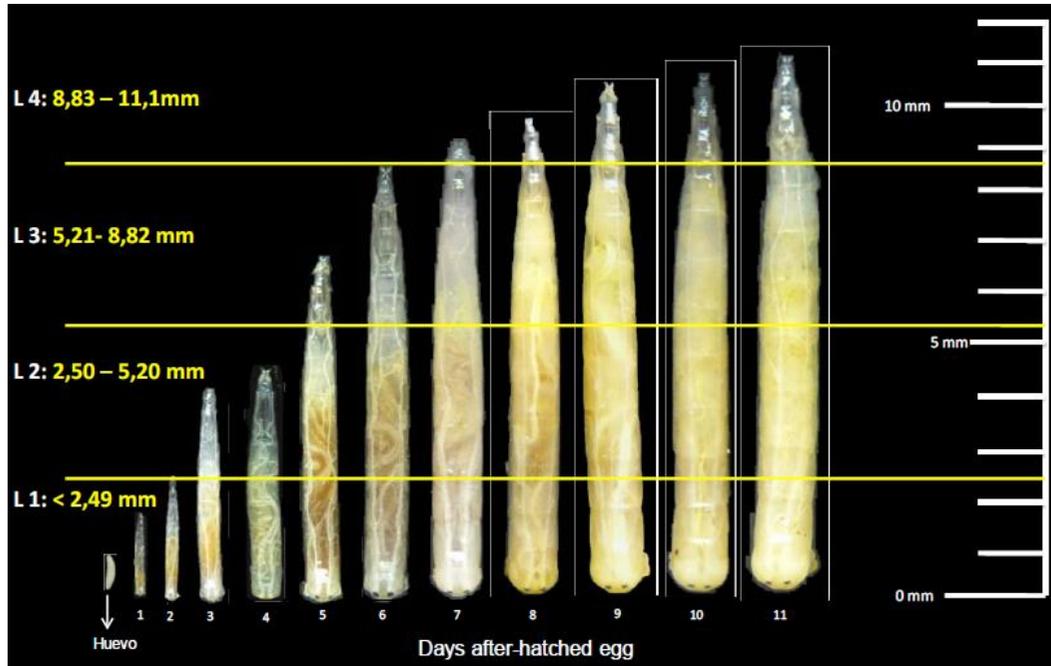


Figura 5. Estadíos larvales de *S. calcitrans*. PINDECO 2010.
Fuente: Solórzano *et al.*, 2011, p.12.



Figura 6. Pupas de *S. calcitrans*. INTA 2011.
Fuente: Solórzano *et al.*, 2011, p. 13.

El adulto de *S. calcitrans* (Figura 7) puede vivir durante 28 días (Vargas y Solórzano, 2016, p. 9). Es muy similar al de la mosca común, se diferencia por su aparato bucal (porque tiene una trompa picadora puntiaguda) o larga probosis, fuerte, esclerotizada, negra que se utiliza para perforar la piel y embeber la sangre (Solórzano *et al.*, 2011, p. 16).



Figura 7. Detalle de probosis de la mosca del establo. INTA 2011.
Fuente: Solórzano *et al.*, 2011, p. 16.

2.2.2 Dinámica poblacional

Según Solórzano *et al.*, (2013), cualquier método de derriba mecánica que se utilice en la renovación de plantaciones de piña, ya sea trituradoras o rastras, cuando el material se fracciona y queda sobre la superficie del suelo, genera olores que atraen a la mosca del establo a ovipositar, esta condición es única en el mundo, pues esta plaga siempre se consideró asociada a las actividades pecuarias. Desde las primeras horas después de la derriba mecánica y hasta el día 6 o 7, se incrementa la atracción (p. 12).

Los primeros adultos en llegar al rastrojo son hembras que inician su colocación de huevos, mientras que la proporción de machos es baja pero cuando han transcurrido casi tres semanas de iniciado la degradación del rastrojo la relación se vuelve 50:50 macho hembra, debido a la emergencia de los adultos que desarrollaron su ciclo en el rastrojo del cultivo (Solórzano *et al.*, 2013, p. 12). Solórzano *et al.*, (2015) establecieron que en los primeros cinco días se genera alrededor del 80% de la llegada de hembras grávidas atraídas por el olor emanado del corte de los tallos de piña.

Según Gómez (2013) los adultos de *S. calcitrans* son más activos durante las horas frescas de la mañana y la tarde. Entre las 8 – 11 am y de 3 a 6 pm se producen los picos de actividad. Una vez que las moscas se alimentan de los animales, reposan en diferentes lugares (hilos de alambre en las cercas, hojas del pasto) inclinando ligeramente el abdomen debido al peso de la sangre ingerida, la misma puede durar varias horas en ser digerida. Las hembras de *S. calcitrans* requieren tomar sangre diariamente para la colocación de huevos fértiles (Vargas y Solórzano, 2016, p. 10). Durante las horas de mayor temperatura generalmente la actividad de los adultos disminuye.

Solórzano (2014) indica que en condiciones lluviosas la actividad de la mosca del establo tiende a ser inferior respecto a días cálidos y húmedos. Durante los meses más secos la actividad es baja y la población disminuye. Con las primeras lluvias rápidamente se producen los primeros brotes. En los periodos de meses de transición verano – invierno o viceversa (mayo - junio y enero – febrero), generalmente se reporta el desarrollo de brotes importantes del insecto (p. 10).

2.2.3 Manejo de *Stomoxys calcitrans*

El manejo de la mosca del establo está basado en métodos químicos (aplicación de plaguicidas), control cultural (prácticas intensivas de mecanización para incorporar los rastrojos de cosecha) y control etológico (trampeo masivo de adultos).

2.2.3.1 Control cultural

Según González (2012) el productor de piña debe tener claro que en una plantación en renovación, no se debe derribar más área de la que se tenga capacidad de procesar e incorporar de acuerdo con la maquinaria agrícola que dispone y a las

condiciones climáticas. Una vez derribada el área, debe realizarse las labores de triturado y rastreado para la incorporación de los rastrojos del cultivo. Desde que se inicia la derriba de una plantación en un área en renovación, se debe incorporar totalmente el rastrojo en un lapso no mayor a 10-12 días. Una vez incorporado el rastrojo al suelo, en las etapas del proceso subsiguientes y previas al encamado, se deben recolectar los tallos que no fueron adecuadamente incorporados para su procesado, tratado y destrucción, con el fin de evitar futuros focos de proliferación y propagación de mosca del establo.

2.2.3.2 Control etológico

Según Solórzano (2014) las trampas con bolsas plástica blancas y adherente (Figura 8) se utilizan para capturar adultos y reducir la ovoposición en los rastrojos de piña (p. 11). Deben ser colocadas cada 10 – 20 m y cambiarlas por trampas nuevas cada vez que estén saturadas de adultos (Solórzano *et al.*, 2013, p. 15). Las trampas se colocan en hileras a la orilla y dentro de los lotes de piña en proceso de eliminación. En condiciones de alta infestación la distancia entre trampas debe disminuir al menos a 10 metros.



Figura 8. Trampas para captura de adultos de mosca del establo.
Fuente: Solórzano, 2014, p. 12.

2.2.3.3 Control químico

Según Solórzano (2014), los productores de piña utilizan diferentes tipos de insecticidas para el manejo de *S. calcitrans* (p.13). En general, los productos adulticidas y larvicidas de contacto, presentan escaso control de mosca del establo, mientras que los insecticidas que tienen como modo de acción la regulación del crecimiento (inhibidores de la formación de quitina) de los estadios de huevo, larvas y pupas del grupo Benzilurea como el triflumuron (1,5 l/ha), diflubenzuron (3 l/ha) y novaluron (1 l/ha), muestran eficacia biológica en el control de esta plaga (Solórzano *et al.*, 2013, p. 17). Las aplicaciones deben iniciarse 2 días antes de realizar la derriba física de la plantación.

2.2.3.4 Control biológico

Según el sistema de derriba de plantación que se emplee y las condiciones ambientales presentes en el momento de la renovación del cultivo, existe diferente potencial de riesgo de proliferación de *S. calcitrans*. Aun así, si se establecen buenas prácticas de manejo de rastrojos como el uso de trampas para captura de adultos, monitoreo de inmaduros en rastrojos, amontonamiento de tallos expuestos para su posterior trituración y pases de rastra o aplicación de insecticidas según los resultados del monitoreo de larvas, dicha proliferación de mosca puede disminuirse (Solórzano, 2014, p. 13).

Sin embargo para lograr un manejo de la plagas más integral, es necesario incluir el control biológico. Entre los agentes de control biológico de *S. calcitrans*, se encuentran los parasitoides. Estos insectos interrumpen el ciclo de vida de las moscas en la fase de pupa, eliminándolas (Nava *et al.*, 2000, p. 86).

Según Bedoya (2007) los parasitoides de moscas comúnmente asociados a los sistemas de producción ganadera y aviar son pequeñas avispa (Hymenoptera), de la familia Pteromalidae. 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 estadios 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 (p. 388).

Nava *et al.*, (2000) determinó la presencia de dos géneros de parasitoides en la región de Bermejillo, Durango, México, los cuales fueron *Spalangia sp* y *Muscidifurax sp*.

Se encontraron niveles de parasitismo de *Spalangia* que fluctuaron entre 70 a 90% en los meses de julio a octubre, mientras que *Muscidifurax* emergió de las pupas colectadas hasta el mes de noviembre. La aparición en diferentes épocas de los parasitoides se debió a las condiciones ambientales. Al género *Spalangia* le favorecen las condiciones de temperatura alta y *Muscidifurax* prefiere temperaturas más bajas.

Según Solórzano (2014) en Costa Rica algunas empresas reproducen géneros como *Muscidifurax* y *Pachicrepoides*, sin embargo se reportan problemas de calidad por alta mortalidad, baja y desuniforme emergencia y contaminación de varias especies (Figura 9), lo que ha limitado su aplicación en forma comercial (p. 12).

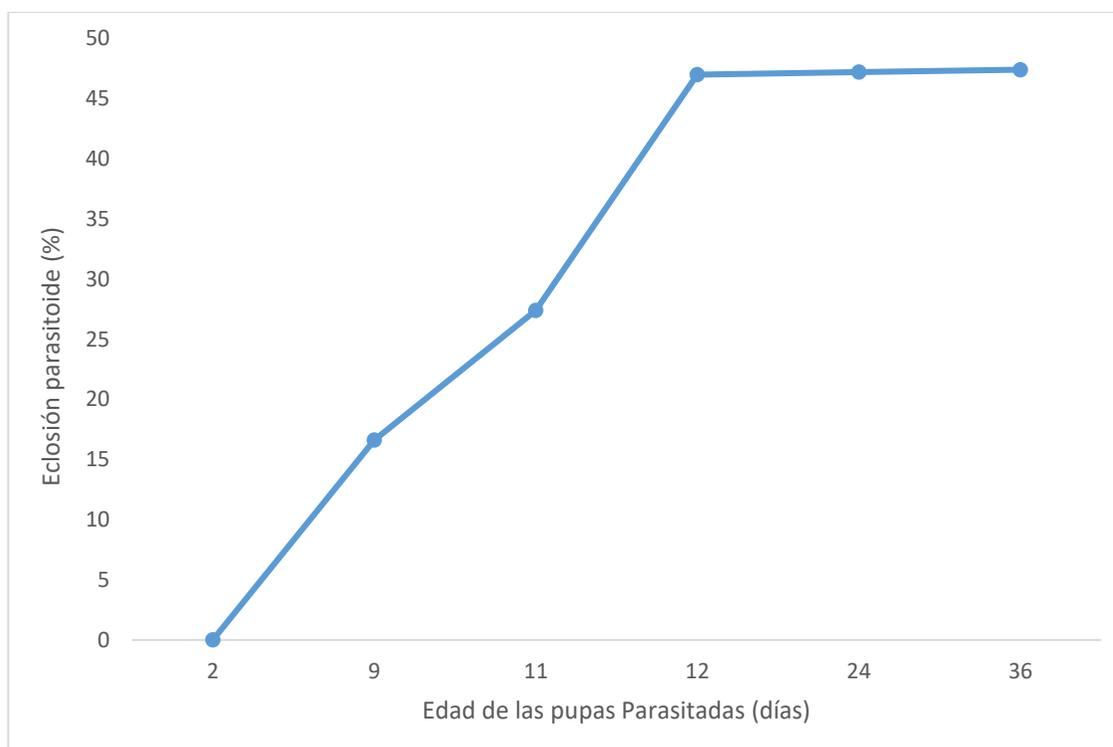


Figura 9. Eclosión de parasitoides según edad de pupas de cría. INTA 2011. Fuente: Solórzano, 2014, p. 12.

2.2.3.4.1 *Spalangia endius*

El micro himenóptero *Spalangia endius* es un parasitoide de la familia Pteromalidae, reportado como controlador de pupas de moscas. Entre sus hospederos se incluyen *Musca domestica* y *S. calcitrans* (Brandao *et al.*, 2011, p. 270).

En condiciones de clima tropical (Brasil) Brandao *et al.*, (2011) reporta parasitismo de *S. endius* del 7,6% en pupas de mosca del establo colectadas de estiércol bovino (p.

271), mientras que en condiciones de clima subtropical (Florida) Romero *et al.*, (2010) encontró un parasitismo del 27,3% en pupas de *S. calcitrans* recolectadas en silos, corrales de terneros y pastizales (p. 426).

En condiciones de laboratorio, De Araujo, Ferreira y Bretanha, (2012) determinaron que *S. endius* tiene un ciclo de desarrollo de 19 días, presentando las siguientes etapas:

- Un período de incubación de 24 horas en 26 °C, humedad 70% con un fotoperíodo de 12 horas.
- La etapa larval dura ocho días y se caracteriza por ser un período de intensa alimentación y movimiento.
- El período pre-pupal dura 24 horas, terminado en el décimo día de desarrollo.
- El estadio pupal dura ocho días, a partir del undécimo hasta el día 19 del tiempo total de desarrollo.

Geden, (2002), al evaluar cinco parasitoides, determinó que *S. endius* fue la especie con mayor potencial para parasitar pupas de mosca a mayor profundidad. Esta habilidad lo convierte en un parasitoide con gran potencial para el manejo de mosca del establo en rastrojos de piña.

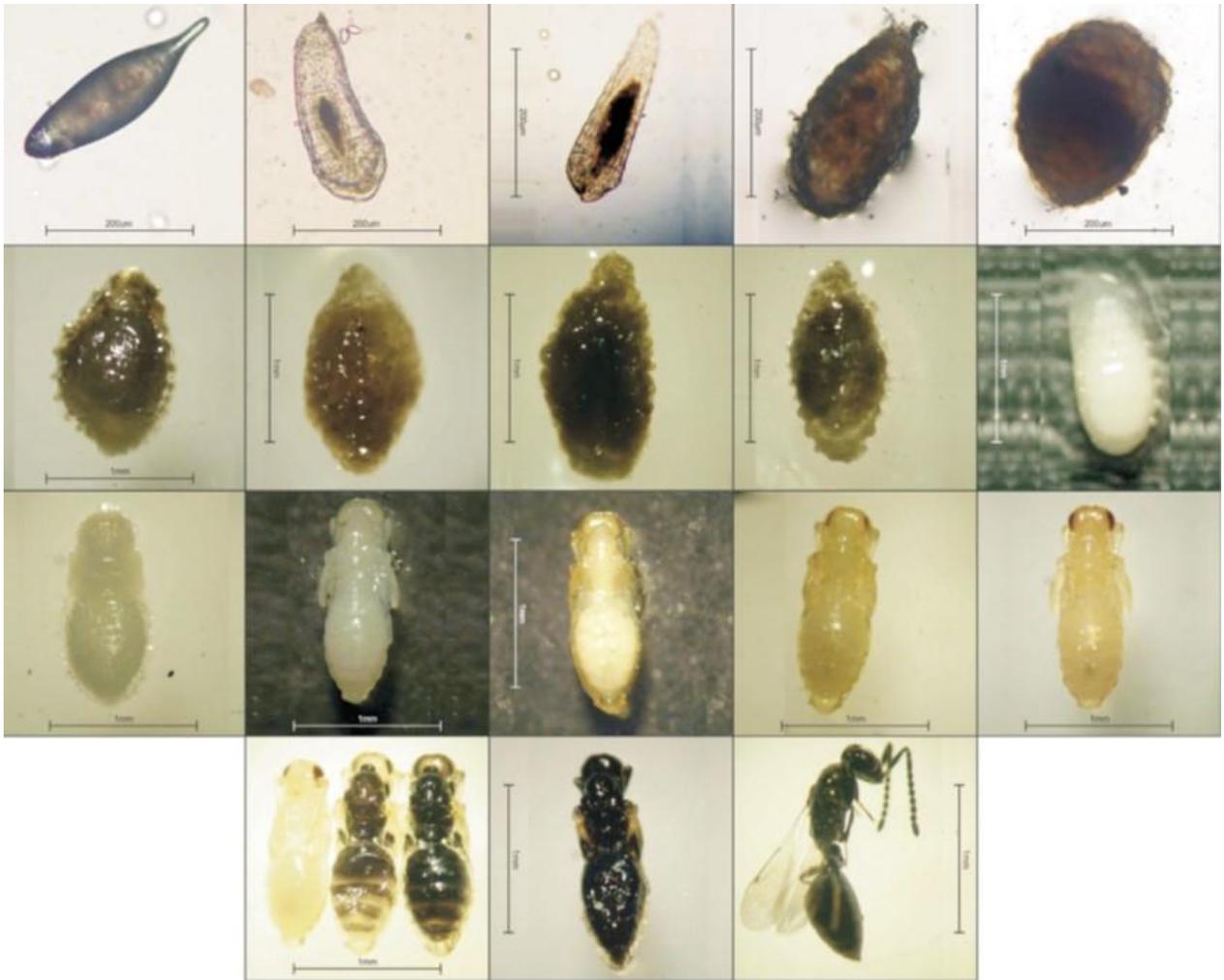


Figura 10. Ciclo de desarrollo de *S. endius* en pupas de mosca doméstica bajo condiciones de laboratorio. Fuente: De Araujo *et al.*, 2012, p. 506.

Capítulo III: Materiales y métodos

3.1 Ubicación

La investigación se realizó entre julio de 2016 a mayo de 2017 en la Finca Pital, que está ubicada en San Carlos, Alajuela, Costa Rica y pertenece a la empresa PINDECO. El inmueble tiene un área total de 705 hectáreas 8995 m². Cartográficamente se ubica en las hojas Aguas Zarcas (3347 II) y Río Cuarto (3347 II) del Instituto Geográfico Nacional (IGN), a escala 1:50.000, entre las coordenadas proyectadas CRTM05 1154670,7 y 1158761,5 Norte, y 470268,6 y 474247,1 Este. Cuenta con 596,94 ha dedicadas al cultivo de piña, 54,62 ha de bosque secundario, 42,34 ha en reforestación, 11,17 ha de infraestructura y 0,83 ha de zona verde.

3.2 Generalidades climáticas

La región en la que se ubica la Finca Pital pertenece al régimen de precipitación del Caribe, al cual se le identifica como lluvioso todo el año, con una disminución de las lluvias en los meses de febrero, marzo y octubre (Solano y Villalobos s.f., p. 22). A partir de noviembre se inicia el periodo más lluvioso que finaliza en febrero. Para esta zona, la precipitación anual promedio fluctúa entre los 2000 y 3000 milímetros por año y la temperatura promedio anual varía entre los 24°C y 26°C (Cuadro 1).

Según el Instituto Meteorológico Nacional (Heinrich, Pacheco, Solera y Alfaro, 2010, p. 11) en su mapa de isohelias en escala 1:50,000 indica que el área presenta entre 4 a 5 horas de brillo solar. La zona de vida, de acuerdo con la clasificación de Holdridge, corresponde a Bosque muy húmedo Premontano (Rojas, 2011, p. 309).

Las condiciones meteorológicas que se presentaron durante el desarrollo de esta investigación, fueron registradas por medio de una estación climática automática marca Davis Vantage Pro, ubicada en Finca Pital. Con esta información se graficó el comportamiento de la temperatura y precipitación durante las semanas en que se desarrollaron los diferentes experimentos que componen este trabajo.

Cuadro 1: Datos meteorológicos, estación Finca Pital, San Carlos, Alajuela
 Ubicación: 10°27'14.18" N, 84°15'54.94" O, Elevación: 169 msnm

Tipo: Estación climática automática Davis Vantage Pro, Vernon Hillis, Illinois, USA
 Fecha inicio: 01/01/2006, Fecha final: 31/12/2015

Mes	Temperatura media ° C			Precipitación
	Mínimo	Máximo	Promedio	total media (mm)
Enero	18,0	31,7	24,3	176,2
Febrero	17,4	32,8	24,6	136,1
Marzo	18,1	33,4	25,3	117,2
Abril	19,2	34,2	26,2	86,7
Mayo	19,8	34,0	26,1	277,0
Junio	21,0	33,6	26,1	312,2
Julio	20,4	33,5	25,7	344,0
Agosto	20,7	33,5	26,0	274,8
Setiembre	20,4	33,8	26,1	247,3
Octubre	20,4	33,8	25,8	244,0
Noviembre	19,1	32,3	24,7	306,3
Diciembre	18,5	31,8	24,3	265,7
Promedios/ Totales	19,4	33,2	25,4	2787,4

3.3 Producción de *Spalangia endius*

Los adultos de *S. endius* utilizados en esta investigación, fueron obtenidas del Instituto Nacional de Innovación y Transferencia en Tecnología Agropecuaria (INTA). El parasitoide fue reproducido en la Estación Experimental Diamantes según descripción de Mena (s.f.).

3.4 Evaluación del efecto de los insecticidas usados en el manejo de mosca del establo sobre *S. endius*

Este experimento fue establecido con un diseño de tratamientos bifactorial, donde el factor A es el tipo de insecticida aplicado al rastrojo de piña y cuenta con dos niveles: a) Rimon 10 EC (novaluron) a una dosis de 1 l/ha y b) Foragro etoprop 72 EC (etoprop) a una dosis de 3,5 l/ha. El factor B es el tiempo entre la aplicación del insecticida y la liberación del parasitoide, contando con seis niveles y estructura regresional: 0, 24, 48, 72, 96 y 144 horas antes de la liberación de parasitoide. Se incluyó un tratamiento adicional con liberación de parasitoide en rastrojo de piña sin aplicación de insecticida. En total se evaluaron 12 tratamientos y un tratamiento adicional, producto de la combinación $2 \times 6 + 1$.

Tratamientos:

1. Aplicación del insecticida Rimon 10 EC a 0 horas antes de la liberación de parasitoides.
2. Aplicación del insecticida Rimon 10 EC 24 horas antes de la liberación de parasitoides.
3. Aplicación del insecticida Rimon 10 EC 48 horas antes de la liberación de parasitoides.
4. Aplicación del insecticida Rimon 10 EC 72 horas antes de la liberación de parasitoides.
5. Aplicación del insecticida Rimon 10 EC 96 horas antes de la liberación de parasitoides.
6. Aplicación del insecticida Rimon 10 EC 144 horas antes de la liberación de parasitoides.
7. Aplicación del insecticida Foragro etoprop 72 EC a 0 horas antes de la liberación de parasitoides.
8. Aplicación del insecticida Foragro etoprop 72 EC 24 horas antes de la liberación de parasitoides.
9. Aplicación del insecticida Foragro etoprop 72 EC 48 horas antes de la liberación de parasitoides.
10. Aplicación del insecticida Foragro etoprop 72 EC 72 horas antes de la liberación de parasitoides.
11. Aplicación del insecticida Foragro etoprop 72 EC 96 horas antes de la liberación de parasitoides.
12. Aplicación del insecticida Foragro etoprop 72 EC 144 horas antes de la liberación de parasitoides.

13. Testigo sin insecticida y con liberación de parasitoides.

Los insecticidas fueron asperjados sobre plantas de piña trituradas (rastros) de áreas destinadas a renovación de plantación, en diferentes momentos (horas antes de la liberación de los parasitoides), por medio de una motobomba con aguilón de cuatro boquillas, simulando un volumen de aplicación de 1870 l/ha. La aplicación se realizó entre las 6 y 8 de la mañana. Para la trituración de las plantas de piña se usó una trituradora marca Ahwi remolcada por un tractor de 150 hp.

El experimento se estableció con un diseño completamente aleatorizado con 3 repeticiones. La unidad experimental fue un recipiente plástico circular de 18 cm de diámetro y 10 cm de alto con el material vegetal triturado en una capa de 2 cm y liberación de 12 parasitoides a los cuales se les suministró una dieta consistente de miel de abeja y agua. A la tapa del recipiente se le realizó una abertura que fue cubierta con tela tergal, para permitir la entrada de aire.

La liberación de parasitoides se realizó en el mismo momento para todos los tratamientos y los mismos permanecieron expuestos al rastrojo de piña asperjado con los insecticidas durante 48 horas. Luego de este período, se evaluó la mortalidad de los parasitoides, por medio de conteo de los adultos de *S. endius* vivos dentro de los recipientes.

El modelo estadístico fue:

$$Y_{ijk} = \mu + I_i + L_j + IL_{ij} + \varepsilon_{ijk}; \varepsilon_{ijk} \sim \text{NIID}(0, \sigma^2).$$

donde:

Y_{ijk} : variable respuesta del i-ésimo insecticida con el j-ésimo tiempo de liberación en la k-ésima repetición.

μ : media general.

I_i : efecto del i-ésimo insecticida.

L_j : efecto del j-ésimo tiempo de liberación.

IL_{ij} : interacción del i-ésimo insecticida con el j-ésimo tiempo de liberación.

ε_{ijk} : error del i-ésimo insecticida con el j-ésimo tiempo de liberación en la k-ésima repetición.

Para el análisis de los datos se utilizó un análisis de regresión logística en el programa INFOSTAT. La hipótesis de igualdad de medias de la variable respuesta, fue evaluada usando un nivel de confianza de 95% y una significancia de 0,05.

3.5 Profundidad efectiva de parasitismo de *S. endius* sobre pupas de *S. calcitrans* en rastrojo de piña

Para la evaluación de la profundidad efectiva de parasitismo de *S. endius*, fue necesario contar con pupas de *S. calcitrans*. Para obtener estas pupas se trituraron plantas de piña utilizando una trituradora marca Ahwi remolcada por un tractor de 150 hp y el material vegetal resultante se dejó en el campo sin aplicarle insecticida ni labranza. A los 12 días después de la trituración, se recolectaron las pupas de *S. calcitrans*.

La evaluación de la profundidad efectiva de parasitismo de *S. endius* se realizó utilizando dos metodologías:

3.5.1 Experimento A

Para realizar este experimento se modificó la metodología utilizada por Skovgard y Nachman (2015).

Tratamientos

El experimento se estableció con un diseño de tratamientos bifactorial, donde el factor A consistió de la cantidad de parasitoide *S. endius* liberado (colocado en la superficie de plantas de piña trituradas) a seis porcentajes: 0; 10; 20; 30; 40 y 50 por ciento de parasitoides por pupa de mosca presente dentro del material vegetal y el factor B fue la profundidad de la superficie de la piña triturada donde se colocaron pupas de *S. calcitrans*, con tres niveles 5, 10 y 15 cm de profundidad de la superficie de la piña triturada (Figura 11). En total se evaluaron 18 tratamientos producto de la combinación 6 x 3.

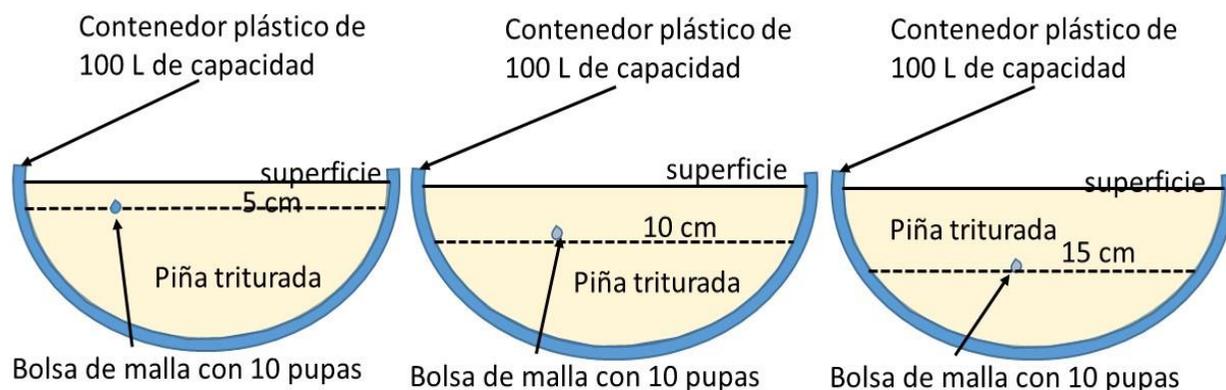


Figura 11. Profundidades dentro del rastrojo de piña donde se colocaran las bolsas con pupas de *S. calcitrans*.

Diseño experimental

Este experimento fue establecido con un diseño de bloques completos al azar con tres repeticiones por tratamiento. Los bloques correspondieron al tiempo en que fueron establecidos los tratamientos, ya que por el tamaño del experimento, no fue posible completarlo en el mismo momento, por lo que los 18 tratamientos fueron establecidos en semanas diferentes, hasta completar tres repeticiones en el tiempo. La unidad experimental correspondió a un recipiente plástico de 100 L de capacidad (la mitad de un estañón de 200 L cortado longitudinalmente) con rastrojo de piña recién triturado. Se colocaron en el campo a 50 m uno de otro para evitar que los parasitoides liberados en un recipiente llegaran a otro. En cada profundidad se colocaron bolsas de malla con 10 pupas de mosca del establo sin parasitar, ubicadas en una hilera de 6 bolsas, separadas a 10 cm entre bolsa (Figura 12). El diámetro de apertura de la malla evitó que las pupas salieran de la bolsa, sin ser un obstáculo para que, por su menor tamaño, los parasitoides liberados en la superficie de la piña triturada puedan ingresar a la bolsa y parasitar las pupas. Estas bolsas estaban sujetadas por un cordel de forma que se facilitó su recuperación.

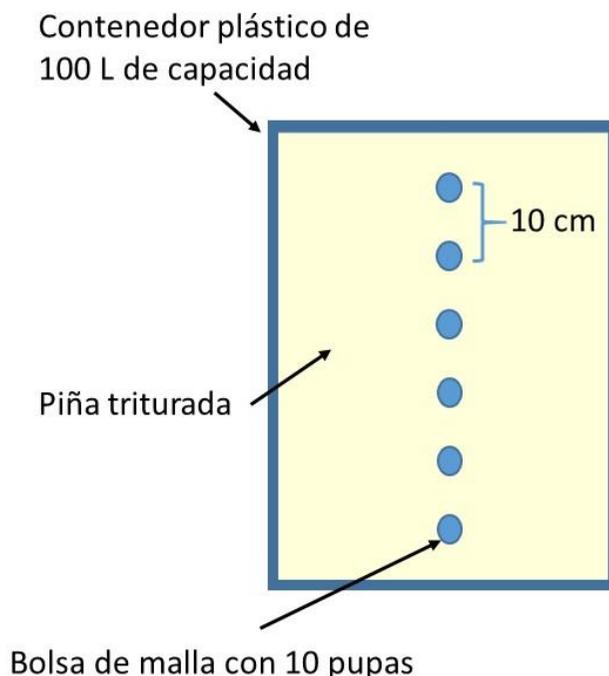


Figura 12. Esquema de la vista superior del contenedor plástico (estañón) donde se depositó el rastrojo de piña. En cada profundidad de la superficie del rastrojo (5, 10 y 15 cm), las bolsas con pupas de *S. calcitrans* se colocaron en una hilera de 6 bolsas.

Cinco días después de liberados los parasitoides en la superficie de los recipientes plásticos, se recolectaron las bolsas de pupas de *S. calcitrans*. Las pupas fueron extraídas de las bolsas e incubadas a temperatura ambiente (24-26°C) y a la sombra durante 30 días, al cabo de los cuales se evaluaron por medio de estereoscopio, contabilizando como variables respuesta:

- Pupas parasitadas: aquellas pupas en las que se observó un orificio por donde emergió un adulto de *S. endius* (Figura 13). También se contabilizaron la cantidad de parasitoides emergidos, valor que debía coincidir con las pupas parasitadas.
- Pupas viables: aquellas pupas en las que se observó un orificio por donde emergió un adulto de *S. calcitrans* (Figura 14). También se contabilizaron la cantidad de adultos de moscas emergidas, valor que debía coincidir con las pupas viables.
- Pupas no viables: aquellas pupas que permanecían intactas y no presentaban ningún tipo de orificio. Al abrirlas presentaban en su interior rastros de un organismo que no logró formarse por completo (momia) o por el contrario no presentaban ningún tipo de material en su interior (vana).



Figura 13. Pupas de *S. calcitrans* que fueron parasitadas por *S. endius*.



Figura 14. Pupa viable de *S. calcitrans*.

El modelo estadístico fue:

$$Y_{ijk} = \mu + B_i + T_j + P_k + TP_{jk} + \varepsilon_{ijk} ; \varepsilon_{ijk} \sim \text{NIID} (0, \sigma^2).$$

donde:

Y_{ijk} : variable respuesta de la j-ésima proporción de parasitoide con la k-ésima profundidad en el i-ésimo bloque.

μ : media general.

B_i : efecto del i-ésimo bloque.

T_j : efecto del j-ésimo porcentaje de parasitoide liberado.

P_k : efecto de la k-ésima profundidad.

TP_{jk} : interacción del j-ésimo porcentaje de parasitoide liberado con la k-ésima profundidad.

ε_{ijk} : error de la j-ésima proporción de parasitoide con la k-ésima profundidad en el i-ésimo bloque.

Para el análisis de los datos se utilizó modelos generales lineales y mixtos y análisis de regresión en el programa INFOSTAT. La hipótesis de igualdad de medias de la variable respuesta, fue evaluada usando un nivel de confianza de 95% y una significancia de 0,05.

3.5.2 Experimento B

Para realizar este experimento se tomó como base la metodología utilizada por Skovgard y Nachman (2015).

Tratamientos

Se evaluaron diferentes cantidades de parasitoide *S. endius* liberado, para lo cual se colocó diferentes porcentajes de adultos de *S. endius* en la superficie de piña triturada a razón de: 0; 10; 20; 30; 40 y 50 por ciento de parasitoides por pupa de mosca presente dentro del material vegetal. Estos tratamientos fueron evaluados según la profundidad donde se colocaron bolsas con pupas de moscas sin parasitar, en mediciones repetidas a 5, 10 y 15 cm de profundidad de la superficie de la piña triturada.

Diseño experimental

Este experimento fue establecido con un diseño de bloques completos al azar con tres repeticiones y medidas repetidas que consistieron en las tres profundidades. Los bloques correspondieron al tiempo en que fueron establecidos los tratamientos, ya que por el tamaño del experimento, no fue posible completarlo en el mismo momento, por lo que los 6 tratamientos fueron establecidos en semanas diferentes, hasta completar tres repeticiones en el tiempo. La unidad experimental correspondió a un recipiente plástico de 100 L de capacidad (la mitad de un estañon de 200 L cortado longitudinalmente) con piña triturada. Se colocaron en el campo a 50 m uno de otro para evitar que los parasitoides liberados en un recipiente llegaran a otro. Las mediciones repetidas se realizaron a 5, 10 y 15 cm de profundidad dentro del rastrojo de piña triturado. En cada profundidad se colocaron en hileras seis bolsas de malla, cada una con 10 pupas de mosca sin parasitar, separadas a 10 cm entre bolsa (Figura 15). El diámetro de apertura de la malla evitó que las pupas salieran de la bolsa, sin ser un obstáculo para que, por su menor tamaño, los parasitoides liberados en la superficie de la piña triturada pudieran ingresar a la bolsa y parasitar las pupas. Estas bolsas se sujetaron con un cordel de forma que se facilitó su recuperación.

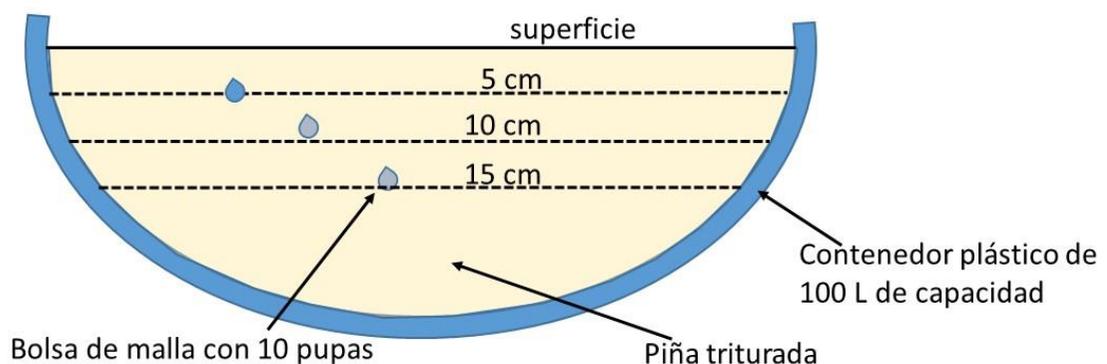


Figura 15. Esquema del extremo lateral del contenedor plástico (estañon) donde se depositó el rastrojo de piña. Las bolsas con pupas de *S. calcitrans* se colocaron a tres profundidades (0, 5 y 10 cm) de la superficie del rastrojo.

Cinco días después de liberados los parasitoides en la superficie de los recipientes plásticos, se recolectaron las bolsas de pupas de *S. calcitrans*. Las pupas fueron extraídas de las bolsas e incubadas a temperatura ambiente y a la sombra durante 30 días, al cabo de los cuales se evaluaron por medio de estereoscopio, contabilizando

como variables respuesta las pupas parasitadas, viables y no viables, según descripción detallada en el punto 3.5.1.

El modelo estadístico fue:

$$Y_{ijk} = \mu + B_i + T_j + P_k + TP_{jk} + \varepsilon_{ijk} ; \varepsilon_{ijk} \sim \text{NIID} (0, \sigma^2).$$

donde:

Y_{ijk} : variable respuesta de la j-ésima proporción de parasitoides con la k-ésima profundidad en el i-ésimo bloque.

μ : media general.

B_i : efecto de la i-ésimo bloque.

T_j : efecto del j-ésimo porcentaje de parasitoide liberado.

P_k : efecto de la k-ésima profundidad.

TP_{jk} : interacción del j-ésimo porcentaje de parasitoide liberado con la k-ésima profundidad.

ε_{ijk} : error de la j-ésima proporción de parasitoides con la k-ésima profundidad en la i-ésima repetición.

Para el análisis de los datos se utilizó modelos generales lineales y mixtos y análisis de regresión en el programa INFOSTAT. La hipótesis de igualdad de medias de la variable respuesta, fue evaluada usando un nivel de confianza de 95% y una significancia de 0,05.

3.6 Uso de *Spalangia endius* dentro del manejo agroecológico de *Stomoxys calcitrans*.

Con los resultados de los experimentos anteriores (puntos 3.4 y 3.5) se obtuvo una idea de la dosis y momento de liberación del parasitoide, información con la que se pudo evaluar una metodología de uso de *S. endius* que podría incluirse dentro del manejo agroecológico de mosca del establo que realiza la finca.

El experimento se estableció con un diseño de bloques completos al azar con dos tratamientos. Los bloques correspondieron al tiempo en que fueron establecidos los

tratamientos, ya que por el tamaño y complejidad del experimento, no fue posible completarlo en el mismo momento, por lo que los dos tratamientos fueron establecidos en semanas diferentes, hasta completar cinco repeticiones en el tiempo. La estructura de tratamientos fue unifactorial. Los tratamientos evaluados fueron liberación y no liberación de *S. endius*:

- Un día antes de la derriba de la plantación de piña por medio de trituración, se aplicó insecticida novaluron: Rimon 10 EC a una dosis de 1 l/ha con un volumen de aplicación de 1870 l/ha.

- Se realizó una trituración de plantas de piña en un área en renovación, de forma que se tuvieron parcelas de 200 m², alejadas entre sí en al menos 100 m.

- A partir del día 10 después de realizada la trituración de las plantas de piña, se realizaron muestreos diarios del material vegetal, para determinar el momento en que empezaran a aparecer pupas de *S. calcitrans*. Esto ocurrió entre el día 11 y 12 después de la trituración.

- Las liberaciones de *S. endius* se realizaron cuando se detectaron las primeras pupas de *S. calcitrans* en el material vegetal triturado. En cada par de parcelas trituradas, se establecían los tratamientos, de forma que se liberaba parasitoide en una parcela y otra se dejaba sin liberación del parasitoide. Esto se repitió en diferentes momentos hasta conseguir cinco repeticiones. La asignación de la parcela donde se liberaron parasitoides fue de forma aleatoria.

- En las parcelas donde se liberó *S. endius* se usó una proporción de 0,3 adultos (machos y hembras) del parasitoide por pupa de *S. calcitrans* presente en el rastrojo. La cantidad de parasitoides a liberar, fueron preparados en forma aproximada en el laboratorio de la Estación Experimental Diamantes del INTA en Guápiles, Limón, colocándolos en recipientes plásticos con tapa (con una abertura sellada con tela tergal para que entrara aire) y transportados a la finca donde fueron liberados en las parcelas correspondientes.

Como variables respuesta se evaluó la emergencia de adultos de *S. calcitrans* en campo y el porcentaje de pupas viables en el rastrojo del cultivo. La emergencia de adultos de *S. calcitrans* se midió utilizando trampas de malla de 1 m² (Figura 16) a razón de cuatro por parcela (Solórzano *et al.*, 2013, p. 9). En estas trampas, las moscas recién eclosionadas vuelan hacia la parte superior y quedan atrapadas en una botella, donde mueren y pueden ser contadas con facilidad.



Figura 16. Trampa de malla para evaluación de emergencia de adultos de *S. calcitrans*. Fuente: Solórzano *et al.*, 2013, p. 9.

El porcentaje de pupas viables de *S. calcitrans* en el rastrojo se evaluó por medio de un muestreo que abarcó un área de 3 m² por parcela, dividido en tres puntos de 1 m² ubicados entre las trampas de malla para captura de adultos. El muestreo consistió en recolectar todo el material vegetal de esa área y depositarlo en un recipiente plástico de 200 L de capacidad con agua para que las pupas de mosca floten y fueran extraídas utilizando un colador. Estas pupas fueron incubadas en temperatura ambiente y a la sombra durante 15 días, al cabo de los cuales se evaluaron por medio de estereoscopio, contabilizando como variables respuesta las pupas viables y no viables, según descripción detallada en el punto 3.5.1.

El modelo estadístico fue:

$$Y_{ij} = \mu + B_i + T_j + \varepsilon_{ij} ; \varepsilon_{ij} \sim \text{NIID} (0, \sigma^2).$$

donde:

Y_{ij} : variable respuesta del j-ésimo tratamiento en el i-ésimo bloque.

μ : media general.

B_i : efecto de la i -ésimo bloque.

T_j : efecto del j -ésimo tratamiento.

ε_{ij} : error del j -ésimo tratamiento en el i -ésimo bloque.

Para el análisis de los datos se utilizó análisis de varianza en INFOSTAT. La hipótesis de igualdad de medias de la variable respuesta, fue evaluada usando un nivel de confianza de 95% y una significancia de 0,05.

Capítulo IV: Resultados

A continuación se presentan y analizan los resultados obtenidos en los ensayos que componen esta investigación, las variables climáticas registradas durante el desarrollo de estos ensayos y las conclusiones obtenidas con la información de estos trabajos.

4.1 Condiciones climáticas durante la investigación

Los valores de precipitación semanal acumulada y promedio semanal de temperatura (mínima, promedio y máxima), registrados durante el desarrollo de los ensayos que conforman esta investigación, se presentan en la figura 17. En este gráfico, las semanas en las que se realizaron los experimentos están marcados con cuadros de colores.

El experimento donde se evaluó el efecto de los insecticidas usados en el manejo de mosca del establo sobre *S. endius*, fue realizado entre las semanas 29 y 30 del 2016, período en que se registró una precipitación de entre 30,5 y 47,0 mm semanales, el promedio semanal de temperatura mínima osciló entre 21,5 y 21,9°C, la promedio entre 24,8 y 25,2°C y la máxima entre 29,9 y 30,1°C. El ensayo A sobre profundidad efectiva de parasitismo de *S. endius* sobre pupas de *S. calcitrans* en rastrojos de piña, fue realizado entre las semanas 32 y 39 del 2016, período en que se registró una precipitación de entre 12,2 y 115,6 mm semanales, el promedio semanal de temperatura mínima osciló entre 21,5 y 22,8°C, la promedio entre 24,7 y 26,2°C y la máxima entre 28,8 y 32,3°C. El ensayo B sobre profundidad efectiva de parasitismo de *S. endius* sobre pupas de *S. calcitrans* en rastrojos de piña, fue realizado entre las semanas 37 y 50 del 2016, período en que se registró una precipitación de entre 18,0 y 182,8 mm semanales, el promedio semanal de temperatura mínima osciló entre 21,0 y 22,8°C, la promedio entre 23,7 y 25,8°C y la máxima entre 27,3 y 32,0°C. La evaluación del uso de *S. endius* dentro del manejo agroecológico *S. calcitrans*, fue realizado entre las semanas 8 y 18 del 2017, período en que se registró una precipitación de entre 2,0 y 84,6 mm semanales (exceptuando la semana 13 en la que no llovió), el promedio semanal de temperatura mínima osciló entre 19,9 y 22,3 °C, la promedio entre 24,6 y 27,0 °C y la máxima entre 30,9 y 33,4 °C. Los experimentos se desarrollaron bajo condiciones de alta temperatura y precipitaciones constantes, que son adecuadas para el desarrollo de *S. calcitrans*

(Solorzano *et al.*, 2013), pero podrían condicionar la efectividad del parasitoide, resultados positivos en las evaluaciones indicarían que *S. endius* puede parasitar y desarrollarse en este tipo de condiciones climáticas.

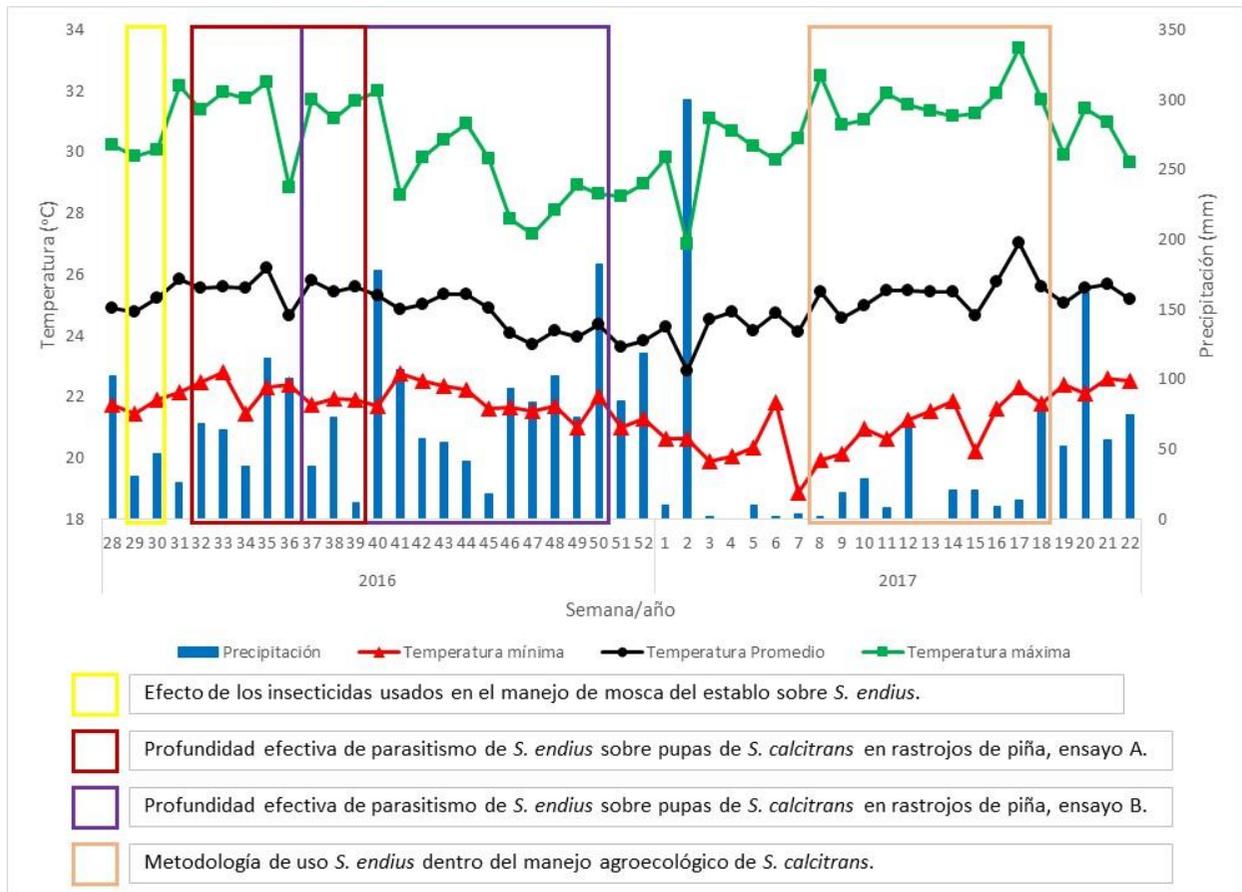


Figura 17. Precipitación semanal acumulada y promedio semanal de temperaturas, registradas durante el desarrollo de la investigación, Finca Pital, San Carlos, Alajuela.

4.2 Efecto de los insecticidas usados en el manejo de mosca del establo sobre *S. endius*

No se presentó interacción entre los factores (insecticida por momento de aplicación) para la mortalidad de *S. endius*. Mientras que hubo diferencias ($p < 0,001$) entre insecticidas para esta variable, donde etoprop causó en promedio una mortalidad del 96% y el novaluron un 11%. Por otro lado, no se presentó diferencias significativas entre los diferentes momentos de aplicación de los insecticidas ($p = 0,6022$). La diferencia de mortalidad de *S. endius* cuando se aplicó etoprop respecto al testigo (sin insecticida) fue de 85% ($p < 0,0001$), mientras que no se presentó diferencia estadística

de novaluron respecto al testigo ($p > 0,9384$), caso en que la diferencia de mortalidad fue apenas de 0,5%. Luego de las 48 horas de exposición al rastrojo de piña asperjado con los insecticidas, la toxicidad sobre *S. endius* provocada por etoprop y novaluron fue muy diferente ($p < 0,0001$). El etoprop a la dosis aplicada en este ensayo, generó una mortalidad del parasitoide de 95,8%, sin que se encontraran diferencias significativas entre los diferentes momentos de aplicación ($p = 0,488$) de este insecticida. Esta mortalidad es muy superior a la registrada en el testigo sin aplicación de insecticida (11,1%) la cual sería la mortalidad natural de *S. endius*. El novaluron a la dosis aplicada en este ensayo, generó una mortalidad del parasitoide de 10,6%, sin que se encontraran diferencias significativas entre los diferentes momentos de aplicación ($p = 0,747$) de este insecticida. Esta mortalidad es similar a la registrada en el testigo sin aplicación de insecticida, por lo que se puede concluir que el novaluron no afectó a *S. endius* (Cuadro 2).

Las evidentes diferencias en la mortalidad de *S. endius* provocadas por los insecticidas etoprop y novaluron se deben al modo de acción de estos productos. El etoprop es un insecticida que pertenece a la familia de los organofosforados y se caracteriza por ser una molécula de amplio espectro y muy residual. Su modo de acción es la inhibición de la acetilcolinesterasa presente en la anatomía de los insectos (Araya, 2003, p. 91), provoca un efecto de estimulación continua en los músculos y muerte por fallas respiratorias (Rocha y García, 2008, p. 52). Debido a su alta toxicidad aguda, los plaguicidas organofosforados causan mortalidad de especies benéficas como abejas y parasitoides que no constituyen el objetivo de la aplicación (Rivas y Sermeño, 2003, p. 13). El novaluron es una molécula que pertenece a la familia de los reguladores de crecimiento, su modo de acción es la interrupción de la formación de cutícula mediante la inhibición de la biosíntesis de quitina, por lo que previene la muda de las larvas causando así la muerte de las mismas (Hodgson, Pitts y Barbour, 2011), siendo un producto específico para el control de estos estadios, que no afectaría los insectos adultos.

Los resultados de este ensayo, concuerdan con los reportados por Araya, Sanhueza y Guerrero, (2005), donde novaluron presentó una baja toxicidad sobre el parasitoide *Apanteles glomeratus*, mientras que los adultos de este parasitoide expuestos a un insecticida organofosforados presentaron escasa supervivencia.

González, Bahena y Viñuela, (1998) concluyen que los insecticidas reguladores de crecimiento son compatibles con el parasitoide *Opius concolor* cuando este parasita larvas de *Ceratitis capitata* previamente tratadas con dosis subletales de dicho producto. Zapata, Medina, Viñuela y Budia (2005), determinaron que un insecticida regulador de crecimiento (triflumuron) resultó inocuo para el parasitoide *Psyttalia concolor* no afectando la longevidad ni la progenie, mientras que un producto organofosforado (malation) fue muy tóxico para el parasitoide.

Cuadro 2. Mortalidad de *S. endius* por la aplicación de insecticidas en el rastreo de piña a diferentes momentos antes de la liberación del parasitoide.

Insecticida	Tiempo (hal)*	Mortalidad (%)
Foragro etoprop 72 EC (etoprop)	0	100,0
	24	100,0
	48	100,0
	72	100,0
	96	100,0
	144	75,0
Media		95,8 a
Rimon 10 EC (novaluron)	0	8,3
	24	11,1
	48	11,1
	72	11,1
	96	11,1
	144	11,1
Media		10,6 b
Testigo	-	11,1 b

* hal = horas antes de la liberación.

Medias con letras iguales no son significativamente diferentes ($p>0,05$)

En conclusión la alta mortalidad de *S. endius* provocada por etoprop, lo hace un insecticida no recomendable en sistemas de manejo agroecológicos donde se utilice este parasitoide. Por su nulo efecto tóxico sobre *S. endius*, novaluron podría ser recomendado en programas de manejo agroecológico de mosca del establo donde se incluya este parasitoide, aplicando el insecticida sobre el rastrojo del cultivo al menos 1 hora antes de la liberación de *S. endius* y usando la dosis aplicada en este ensayo.

4.3 Profundidad efectiva de parasitismo de *S. endius* sobre pupas de *S. calcitrans* en rastrojo de piña

A continuación se presentan y analizan los resultados de parasitismo de *S. endius* sobre pupas de *S. calcitrans*, obtenidos en los dos ensayos establecidos.

4.3.1 Experimento A

Luego de la exposición de las pupas de *S. calcitrans* a diferentes porcentajes de *S. endius* y en diferentes profundidades, no se encontró interacción entre estos factores para las variables de pupas parasitadas ($p = 0,8484$), pupas viables ($p = 0,2714$) y pupas no viables ($p = 0,3818$). Tampoco se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre las profundidades dentro del rastrojo a las cuales se colocaron las pupas de *S. calcitrans* para ninguna de las variables evaluadas (Cuadro 3). Además según el análisis por medio de contrastes, la variable pupas parasitadas no presentó efecto lineal ($p = 0,1279$) o cuadrático ($p = 0,5923$) de las profundidades. *S. endius*, logró parasitar y desarrollarse en pupas de *S. calcitrans* a cualquiera de las profundidades en que fueron colocadas, lo que indica que este parasitoide tiene la capacidad de encontrar pupas dentro del rastrojo de piña, aun hasta 15 cm de profundidad, cualidad que es muy importante para un agente de control de *S. calcitrans* en rastrojos de este cultivo. Geden, (2002) comparó el parasitismo de cinco especies de parasitoides a diferentes profundidades encontrando que *S. endius* fue el más exitoso en parasitar pupas de mosca domestica a mayor profundidad.

Cuadro 3. Efecto de la profundidad dentro del rastrojo donde se colocaron las pupas de *S. calcitrans* sobre el porcentaje de pupas parasitadas, viables y no viables.

Profundidad (cm)	Pupas de <i>S. calcitrans</i> (%)		
	Parasitadas	Viables	No viables
5	7,1	25,3	67,6
10	6,6	28,8	64,6
15	4,4	27,9	67,8
Valor p	0,2693	0,5468	0,5890

Para las tres variables evaluadas, se encontraron efectos lineales o cuadráticos de los porcentajes de parasitoides liberados. El valor promedio de porcentaje de pupas de *S. calcitrans* parasitadas osciló entre 5 y 9,3%, presentando respuesta lineal del porcentaje de parasitoides liberado, aumentando el parasitismo con el incremento en la proporción de parasitoides, el tratamiento sin liberación de parasitoides no presentó pupas de *S. calcitrans* parasitadas. La ecuación de regresión lineal indica que por cada aumento de 1% en el porcentaje de parasitoides liberado, el porcentaje de pupas parasitadas aumenta en 0,15% (Figura 18).

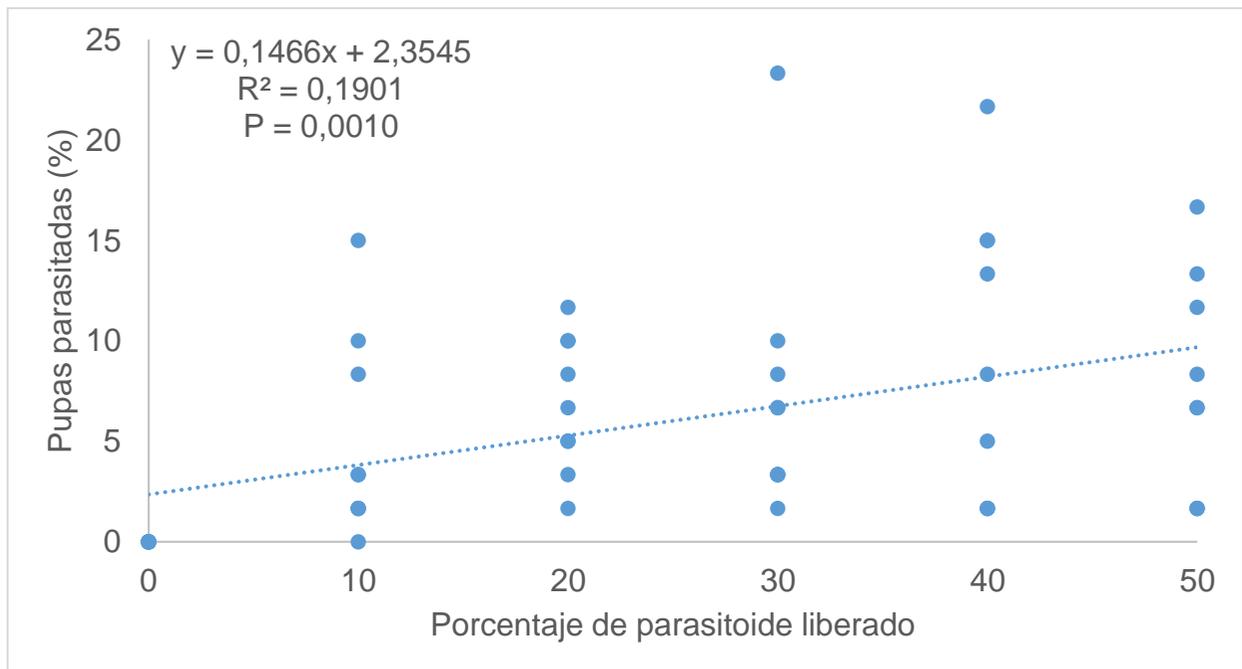


Figura 18. Efecto del porcentaje de parasitoides liberado (n=9) sobre el porcentaje de pupas parasitadas de *S. calcitrans*.

A pesar de que el porcentaje de pupas de *S. calcitrans* parasitadas osciló entre 5 y 9,3%, el porcentaje de pupas de *S. calcitrans* viables en los tratamientos que estuvieron expuestos al parasitoide, fue muy inferior respecto al testigo. Los porcentajes de parasitoides liberados presentaron promedios de porcentaje de pupas viables de entre 14,1 a 25,2%, mientras en el testigo sin liberación de parasitoide fue de 49,4%. El porcentaje de pupas de *S. calcitrans* viables, presentó respuesta cuadrática al porcentaje de parasitoide liberado, disminuyendo el porcentaje de pupas viables en los diferentes tratamientos, respecto al testigo sin liberación de parasitoide. Según este resultado, liberaciones de adultos de *S. endius* en rastrojos de piña con presencia de pupas de *S. calcitrans*, resultarían en importantes reducciones en la emergencia de adultos de mosca del establo, lo que sería una importante disminución de la población de esta plaga como parte de un programa de manejo agroecológico (Figura 19).

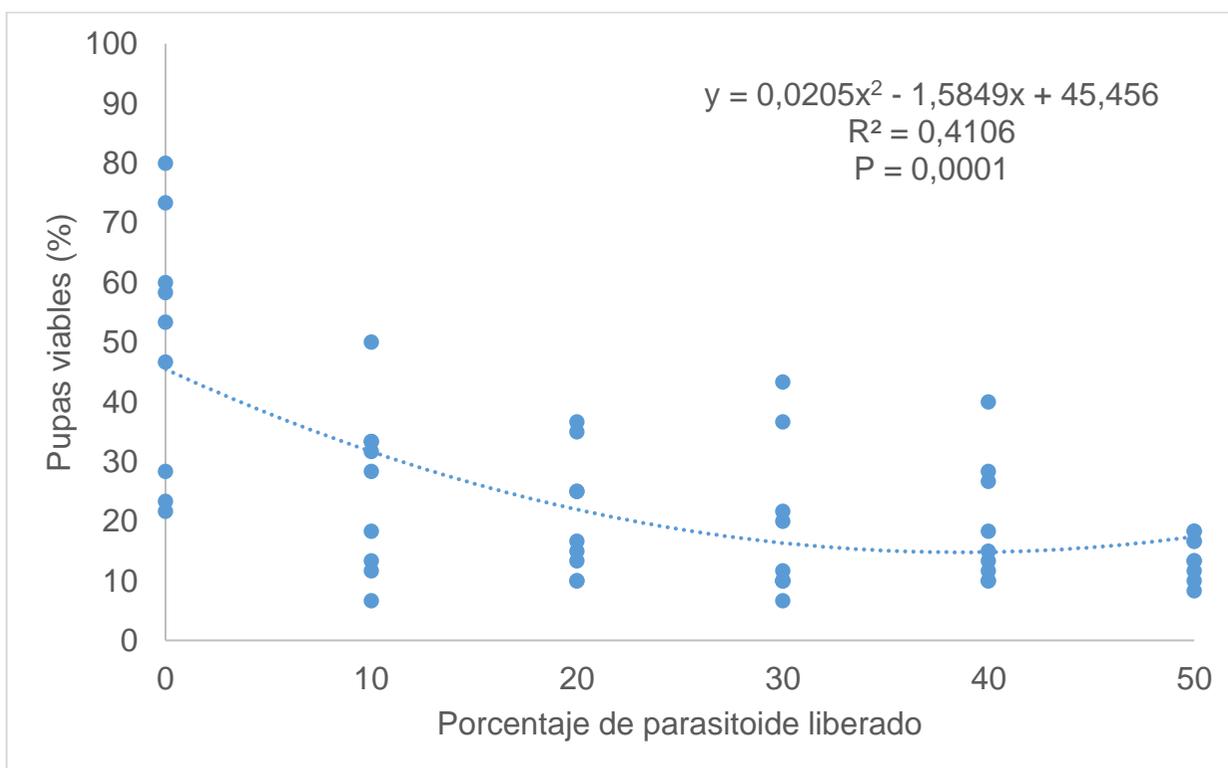


Figura 19. Efecto del porcentaje de parasitoide liberado (n=9) sobre el porcentaje de pupas viables de *S. calcitrans*.

El porcentaje de pupas de *S. calcitrans* no viable presentó respuesta lineal al porcentaje de parasitoide liberado, aumentando con el incremento en la proporción de parasitoide. El tratamiento sin liberación de parasitoide presentó el menor porcentaje de

pupas no viables. La ecuación de regresión lineal indica que por cada aumento de 1% en el porcentaje de parasitoide liberado, el porcentaje de pupas no viables aumenta en 0,41% (Figura 20).

La disminución en el porcentaje de pupas viables de *S. calcitrans* en los diferentes porcentajes de parasitoides liberados, se compone por un incremento en el porcentaje de pupas de *S. calcitrans* parasitadas y en el porcentaje de pupas no viables. Este hallazgo coincide con lo reportado por Weinzierl y Jones (1998), en donde la mortalidad total de pupas de mosca doméstica y mosca del establo se compone de dos factores; mortalidad por el parasitoide (11,6% por *Spalangia nigroaenea* y 1,1% por *Muscidifurax spp.*) y mortalidad inexplicable (48%), la presencia del parasitoide provoca un incremento en la mortalidad de las pupas de mosca, efecto que puede deberse tanto a parasitoides abortados como a mortalidad producida por el impacto de parasitoides adultos que pican y se alimentan de las pupas de mosca sin ovopositar (p. 1117).

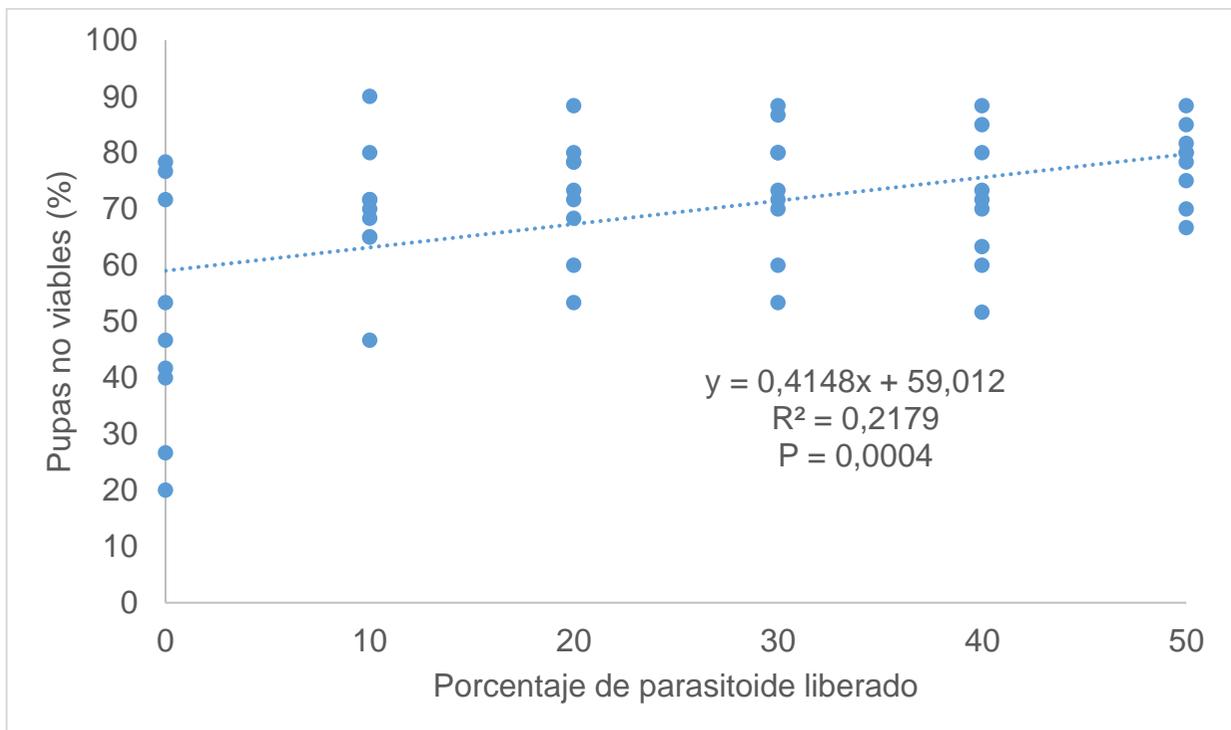


Figura 20. Efecto del porcentaje de parasitoide liberado (n=9) sobre el porcentaje de pupas no viables de *S. calcitrans*.

En conclusión, la liberación de *S. endius* disminuyó el porcentaje de pupas de *S. calcitrans* viables, debido al aumento en los porcentajes de pupas parasitadas y no

viables. Liberaciones de adultos de *S. endius* en rastrojos de piña con presencia de pupas de *S. calcitrans*, podría reducir significativamente el porcentaje de pupas viables de mosca del establo y por tanto la presencia de adultos de la plaga, siendo un importante complemento dentro del manejo agroecológico de *S. calcitrans* en el cultivo de piña.

4.3.2 Experimento B

Luego de la exposición de las pupas de *S. calcitrans* a diferentes porcentajes de *S. endius* con medidas repetidas que consistieron en las diferentes profundidades, no se encontró interacción entre estos factores para las variables de pupas parasitadas ($p = 0,3044$), pupas viables ($p = 0,3203$) y pupas no viables ($p = 0,4436$). Por lo que en el análisis de regresión no se consideró la profundidad.

Para las tres variables evaluadas, se encontraron efectos lineales de los porcentajes de parasitoides liberados. El valor promedio de porcentaje de pupas de *S. calcitrans* parasitadas osciló entre 3,9 y 10,2%, presentando respuesta lineal al porcentaje de parasitoide liberado, aumentando el parasitismo con el incremento en el porcentaje de parasitoide, el tratamiento sin liberación de parasitoide no presentó pupas de *S. calcitrans* parasitadas. La ecuación de regresión lineal indica que por cada aumento de 1% en el porcentaje de parasitoide liberado, el porcentaje de pupas parasitadas aumenta en 0,20% (Figura 21).

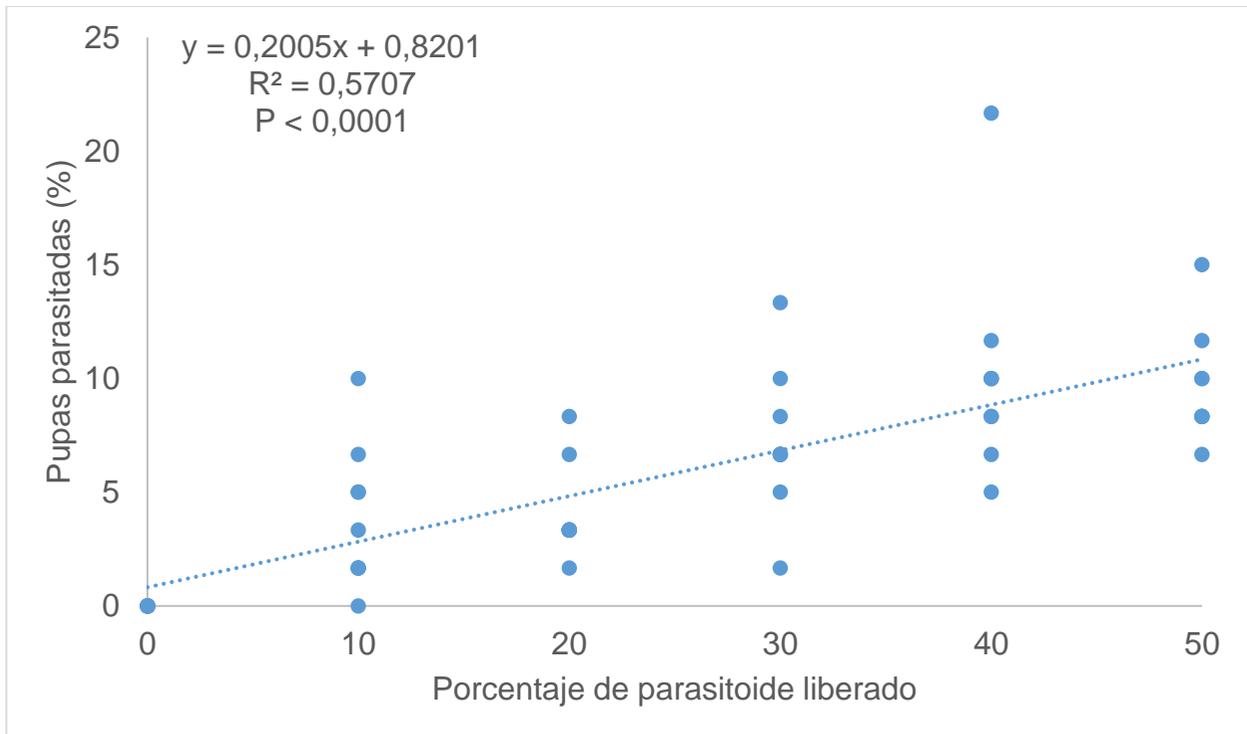


Figura 21. Efecto del porcentaje de parasitoide liberado (n=9) sobre el porcentaje de pupas parasitadas de *S. calcitrans*.

El porcentaje de pupas de *S. calcitrans* viables en los tratamientos que estuvieron expuestos al parasitoide, fue inferior respecto al testigo sin liberación de parasitoide. Los porcentajes de parasitoides liberados presentaron promedios de porcentaje de pupas viables de entre 27,4 a 47,2%, mientras en el testigo sin liberación de parasitoide fue de 60,4%. El porcentaje de pupas de *S. calcitrans* viables, presentó respuesta lineal al porcentaje de parasitoide liberado, disminuyendo el porcentaje de pupas viables con el aumento de la proporción del parasitoide. La ecuación de regresión lineal indica que por cada aumento de 1% en el porcentaje de parasitoide liberado, el porcentaje de pupas viables disminuye en 0,58%. Liberaciones de adultos de *S. endius* en rastrojos de piña con presencia de pupas de *S. calcitrans*, podría resultar en importantes reducciones en la emergencia de adultos de mosca del establo, convirtiéndose el uso de este parasitoide en un complemento potencialmente interesante para el manejo agroecológico de la mosca del establo en el cultivo de piña (Figura 22).

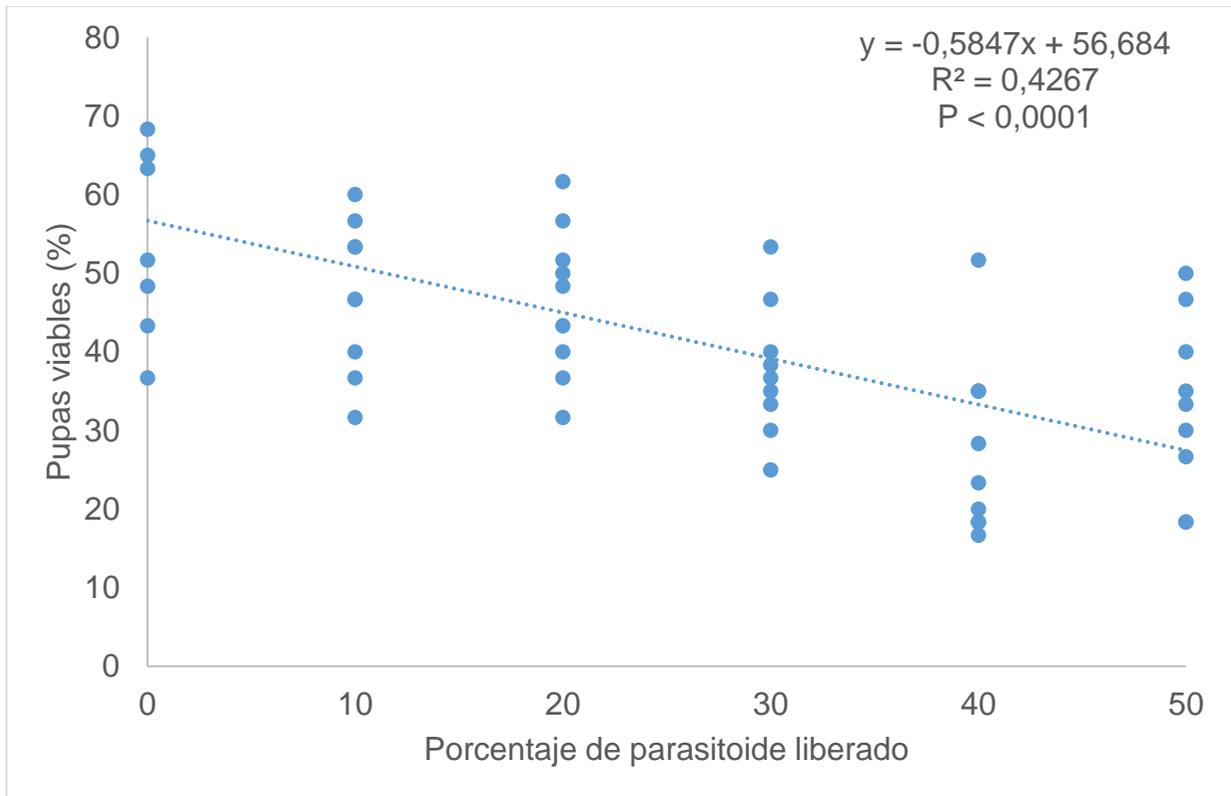


Figura 22. Efecto del porcentaje de parasitoide liberado (n=9) sobre el porcentaje de pupas viables de *S. calcitrans*.

El porcentaje de pupas de *S. calcitrans* no viable presentó respuesta lineal al porcentaje de parasitoide liberado, aumentando con el incremento en la proporción de parasitoide. El tratamiento sin liberación de parasitoide presentó el menor porcentaje de pupas no viables. La ecuación de regresión lineal indica que por cada aumento de 1% en el porcentaje de parasitoide liberado, el porcentaje de pupas no viables aumenta en 0,38% (Figura 23).

Al igual que en el experimento A, la disminución en el porcentaje de pupas viables de *S. calcitrans* en los diferentes porcentajes de parasitoides liberados, se explica por el porcentaje de pupas de *S. calcitrans* parasitadas y un incremento en el porcentaje de pupas no viables. En ambos casos el parasitoide influye, primero al producir mortalidad por parasitismo de pupas y segundo, su presencia provoca un incremento en la mortalidad de las pupas de mosca, efecto que puede deberse tanto a parasitoides abortados como a mortalidad producida por el impacto de parasitoides adultos que pican y se alimentan de las pupas de mosca sin ovopositar (Weinzierl y Jones, 1998, p. 1117).

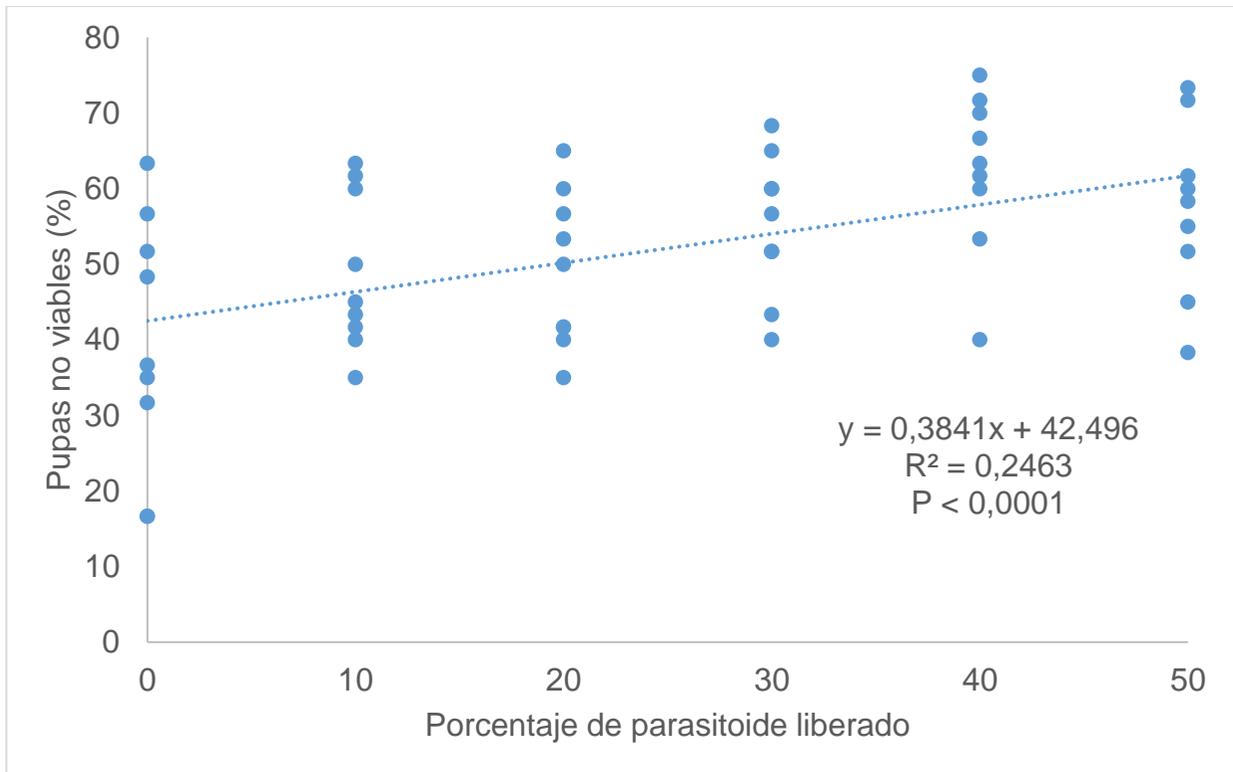


Figura 23. Efecto del porcentaje de parasitoide liberado (n=9) sobre el porcentaje de pupas no viables de *S. calcitrans*.

En conclusión, la liberación de *S. endius* disminuyó el porcentaje de pupas de *S. calcitrans* viables, debido al aumento en los porcentajes de pupas parasitadas y no viables. El uso de liberaciones de adultos de *S. endius*, podría reducir significativamente el porcentaje de pupas viables de mosca, siendo un importante complemento dentro del manejo agroecológico de la plaga en el cultivo de piña.

4.4 Metodología de uso de *Spalangia endius* dentro del manejo agroecológico de *Stomoxys calcitrans*.

El manejo agroecológico de *S. calcitrans* utilizado en finca Pital incluye dos aplicaciones calendarizadas de insecticida tipo regulador de crecimiento, aplicaciones de insecticida en base a muestreos en caso de que la incidencia de mosca del establo lo justifique y pases de rastra (entre 6 y 8) cada dos días para incorporar los rastrojos del cultivo. Cuando estas labores se realizan en forma adecuada, la aparición de *S. calcitrans* es muy baja, por lo que bajo estas condiciones no se logró evaluar el potencial de *S. endius*. Por esta razón, se redujeron las labores de manejo de la plaga a una

aplicación de insecticida y un pase de rastra (según se describe en el punto 3.6 de la metodología), simulando condiciones de campo en las que existen proliferaciones importantes de la plaga y que ocurren cuando factores como alta precipitación o falta de maquinaria no permiten realizar todas las prácticas de manejo del insecto (Solórzano *et al.*, 2013, p. 19). Bajo estas condiciones, en que se generan una importante cantidad de pupas de mosca del establo en los rastrojos del cultivo, es que la reducción de las pupas viables lograda con la liberación de adultos de *S. endius* se vuelve de mayor importancia, sin dejar de ser una opción viable para usar en áreas donde se logre realizar el manejo agroecológico completo.

Luego de la exposición de las pupas de *S. calcitrans* a los adultos de *S. endius*, se encontraron diferencias significativas entre tratamientos ($p = 0,0353$). La emergencia de adultos de *S. calcitrans* en las parcelas donde se liberaron parasitoides resultó un 49,8% menor que en las parcelas sin liberación del parasitoide, dicho en otra forma; sin la liberación del parasitoide, prácticamente se duplica la cantidad de adultos de *S. calcitrans* emergidos (Cuadro 4).

Cuadro 4. Efecto de la liberación de *S. endius* sobre la cantidad de adultos de *S. calcitrans* emergidos (moscas/m²).

Tratamiento	Moscas (n/m ²)
Con liberación de <i>S. endius</i>	205,5
Sin liberación de <i>S. endius</i>	409,6
Valor p	0,0353

El porcentaje de pupas viables de *S. calcitrans* presentó diferencias estadísticas significativas entre tratamientos ($p = 0,0124$), que explican la disminución en la emergencia de adultos de mosca del establo en las parcelas donde se liberaron adultos de *S. endius* (Cuadro 5). Las pupas de *S. calcitrans* recuperadas de las áreas donde se liberaron parasitoides presentaron un menor porcentaje de viabilidad (37,8%), con respecto a las recuperadas de áreas donde no hubo liberación del parasitoide (64,3%). La reducción en el porcentaje de pupas de *S. calcitrans* viables debido a la presencia de *S. endius* fue del 41,2%.

Cuadro 5. Efecto de la liberación de *S. endius* sobre el porcentaje de pupas viables.

Tratamiento	Pupas viables (%)
Con liberación de <i>S. endius</i>	37,8
Sin liberación de <i>S. endius</i>	64,3
Valor p	0,0124

En conclusión, la liberación de adultos de *S. endius* en rastrojos del cultivo de piña, redujo la producción de mosca del establo a la mitad, debido a que el parasitoide reduce significativamente el porcentaje de pupas viables de *S. calcitrans*, por lo que el uso de *S. endius* es un importante complemento a las diferentes medidas de manejo que se realizan dentro del manejo agroecológico de la plaga en el cultivo de piña en Finca Pital.

4.5 Conclusiones y recomendaciones.

La mortalidad de *S. endius* provocada por etoprop, lo hace un insecticida no recomendable en sistemas de manejo agroecológicos donde se utilice este parasitoide, mientras que por su nulo efecto tóxico sobre *S. endius*, novaluron podría ser usado en programas de manejo agroecológico de mosca del establo donde se incluya este parasitoide. *Spalangia endius* tiene la capacidad de encontrar, parasitar y desarrollarse en pupas de *S. calcitrans* que se encuentran dentro del rastrojo de piña, aun hasta 15 cm de profundidad, cualidad que es muy importante para un agente de control de mosca del establo en rastrojos de este cultivo.

Liberaciones de adultos de *S. endius* en rastrojos de piña con presencia de pupas de *S. calcitrans*, disminuyeron el porcentaje de pupas viables, reduciendo la emergencia de adultos de mosca del establo, lo que sería un importante complemento al programa de manejo agroecológico de la plaga de Finca Pital. La disminución en el porcentaje de pupas viables de *S. calcitrans* producido por *S. endius*, se explica por el porcentaje de pupas de *S. calcitrans* parasitadas y por un incremento en el porcentaje de pupas no viables, efectos que se deben a la presencia del parasitoide.

En condiciones de campo, la liberación de adultos de *S. endius* en rastrojos del cultivo de piña, disminuyó la producción de mosca del establo a la mitad, debido a que el parasitoide reduce significativamente el porcentaje de pupas viables de *S. calcitrans*, por lo que el uso de *S. endius* sería un importante complemento a las diferentes medidas de manejo que se realizan dentro del manejo agroecológico de la plaga en el cultivo de piña en Finca Pital.

Spalangia endius logro parasitar y desarrollarse en pupas de *S. calcitrans*, bajo condiciones de alta temperatura y precipitación constante. Es recomendable desarrollar experiencias comerciales con el uso de *S. endius* como complemento al manejo agroecológico de *S. calcitrans* que se realiza en Finca Pital, con el objetivo de validar los resultados obtenidos en esta investigación.

La presente investigación es un trabajo pionero en el uso de parasitoides del género *Spalangia endius* para el manejo de *S. calcitrans* en rastrojos agrícolas, desarrollado bajo condiciones de campo, lo que da un importante sustento para avanzar en el uso de *S. endius* dentro del manejo agroecológico de *S. calcitrans* de forma que se pueda lograr un control más sostenible de esta plaga, por ende también podría generar un impacto positivo tanto en las fincas piñeras como en las explotaciones ganaderas.

Se debe evaluar si *S. endius* tiene la capacidad de establecerse bajo las condiciones agroecológicas presentes en las fincas piñeras, de forma que logre una reducción constante de las poblaciones de *S. calcitrans*. Esta investigación debe realizarse en otros cultivos como banano, palma aceitera y café, cuyos rastrojos pueden producir poblaciones importantes de *S. calcitrans*, con el objetivo de determinar si *S. endius* pueda mejorar el manejo agroecológico de mosca del establo en estos cultivos.

Bibliografía

- Acuña, G. (2006). Producción de piña en Caribe y Pacífico Sur de Costa Rica. *Ambientico*, 158: 2-3.
- Aravena, J. (2005). La expansión piñera en Costa Rica: realidad de los perdedores de la agroindustria exportadora de la piña. *Comunidades Ecologistas La Ceiba*. Recuperado de <http://coecoceiba.org/wp-content/subidas/2010/03/pub11.pdf>.
- Araya, J.E., Sanhueza, A. y Guerrero, M.A. (2005). Efecto de varios insecticidas sobre adultos de *Apanteles glomeratus* (L.), parasitoide de larvas de la mariposa blanca de la col, *Pieris brassicae* L. *Bol. San. Veg. Plagas*, 31: 617-622.
- Araya, M. (agosto de 2003). Situación actual del manejo de nematodos en banano (*Musa AAA*) y Plátano (*Musa AAB*) en el Trópico Americano. *Actas del Taller "Manejo convencional y alternativo de sigatoka negra, nematodos y otras plagas asociadas al cultivo de Musáceas"*. INIBAP, Guayaquil, Colombia. INIBAP.
- Bedoya, J.R. (2007). Manejo integrado de la mosca de los establos (*Stomoxys calcitrans*) en el Palmar Del Oriente SA. *Palmas*, 28: 383-388.
- Berry, I.L., Stage, D.A. y Campbell, J.B. (1983). Populations and economic impacts of stable flies on cattle. *Trans. Am. Soc. Agric. Eng.*, 26: 873-877.
- Brandao, R.K., Carcamo, M.C., Costa, V.A. y Ribeiro, P.B. (2011). Ocorrência de *Spalangia endius* Walker, 1839 (Hymenoptera, Pteromalidae) em pupas de *Musca domestica* L. e *Stomoxys calcitrans* L. (Diptera, Muscidae) no sul do Rio Grande do Sul. *Arq. Bras. Med. Vet. Zootec.*, 63: 1.
- Brenes, S. (2007). Caracterización vegetativa y productiva del cultivar MD-2 de piña (*Ananas comosus*) bajo las condiciones climáticas de Turrialba. *Inter. Sedes*, 6(11): 27-34.
- Cambell, J.B., Skoda, S.R., Berkebile, D.R., Boxler, D.J., Thomas, G.D., Adams, D.C. y Davis, R. (2001). Effects of stable flies (Diptera: Muscidae) on weight gains of grazing yearling cattle. *Journal of Economic Entomology*, 94: 780-783.
- Cámara Nacional de Productores y Exportadores de Piña. (2016). *Impacto del sector piñero en Costa Rica*. San José, Costa Rica. Recuperado de <http://canapep.com/produccion-pina-costa-rica-sector-economia>.

- Carvalho, A.R., d'Almeida J.M. y Mello, R.P. (2003). Uma revisão sobre himenópteros parasitóides de moscas sinantrópicas, seus principais hospedeiros e habitats no Brasil. *Entomología y Vectores*, 10: 237–253.
- Cave, R. (1995). *Manual para el reconocimiento de parasitoides de plagas agrícolas en América Central*. Tegucigalpa, Honduras: Zamorano.
- Crespo, D., Lecuona, R. y Hogsette, J. (1998). Biological control: An important component in integrated management of *Musca domestica* (Diptera: Muscidae) in caged-layer poultry houses in Buenos Aires, Argentina. *Biological Control*, 13: 16-24.
- Coppens, G., y Leal, F. (2003). Morphology, anatomy and taxonomy. In Bartholomew, D.P., Paull, R.E. y Rohrbach, K.G. (Ed.) *The pineapple: botany, production and uses* (pp. 13 - 33). New York, USA: CABI Publishing.
- De Araujo, D., Ferreira, R. y Bretanha, P. (2012). Phenology of *Spalangia endius* Walker (Hymenoptera, Pteromalidae) in pupae of *Musca domestica* Linnaeus (Diptera, Muscidae) under laboratory conditions. *Revista Brasileira de Entomologia*, 56(4): 504–507.
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (2015). FAOSTAT. FAO. Recuperado de: <http://www.fao.org/statistics/databases/es>.
- Fernández, E. (2014). Exportaciones de piña crecieron 7% en el 2013, Costa Rica se mantiene como principal exportador mundial. *El Financiero*. Recuperado de http://www.elfinancierocr.com/economía_y_política/exportación_de_piña-canapep-procomer-exportaciones_Costa_Rica_0_460763957.html.
- Geden, C.J. (2005). Biological control of pests in livestock production. *DIAS report*, 119: 45-60.
- Geden, C.J. (2002). Effect of habitat depth on host location by five species of parasitoids (Hymenoptera: Pteromalidae, Chalcididae) of house flies (Diptera: Muscidae) in three types of substrates. *Environ. Entomol.*, 31(2): 411-417.
- Gilles, J. (2012). Informe de Misión: 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.

- Gómez, Y. (2013). Dinámica poblacional de mosca del establo (Diptera Muscidae *Stomoxys calcitrans*) en rastrojo de piña y ganadería en la zona norte de Costa Rica. *Resúmenes PCCMCA. Ceiba, Honduras*.
- González, L.A. (2012). *Manual técnico para el manejo de rastrojos en el cultivo de piña*. San José, Costa Rica: MAG/SFE.
- González, M., Bahena, F. y Viñuela, E. (1998). Efecto de distintos reguladores de crecimiento de insectos (RCI) sobre el parasitoide *Opius concolor* Szépligeti cuando son ingeridos por la larva huésped. *Bol. San. Veg. Plagas*, 24: 193-200.
- Heinrich, K., Pacheco, R., Solera, M. y Alfaro, M. (2010). Series de brillo solar en Costa Rica. San José, Costa Rica: MINAET/IMN.
- Herrera, E. (Octubre de 2012). Informe de brotes de mosca del establo en la Región Norte de Costa Rica. *Taller Manejo de rastrojos del cultivo de piña y plagas que afectan la competitividad*. PITTA PIÑA. Hotel Tilajari, Muelle de San Carlos.
- Herrero, M., MontesPico, 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): 309-315.
- Hodgson, E.W., Pitts, T.L. y Barbour, J. (2011). Effects of the insect growth regulator, novaluron on immature alfalfa leaf cutting bees, *Megachile rotundata*. *Journal of Insect Science*, 11(43): 1-10.
- Inciso, E. y Castro, J. (2007). Evaluación de *Spalangia endius* y *Muscidifurax* sp. (Hymenoptera, Pteromalidae) como controladores de *Musca domestica* en el Peru. *Revista Peruana de Biología*, 13: 237-241.
- Inciso, E. y Lannacone, J. (2008). Actividad parasitaria de *Spalangia endius* Walker y *Muscidifurax raptorellus* Kogan y Legner (Hymenoptera: Pteromalidae) sobre *Musca domestica* L. *Acta Zoológica Mexicana*, 24(2): 79-94.
- Jiménez, J.A. (1999). *Manual práctico para el cultivo de piña de exportación*. Cartago: Editorial Tecnológica de Costa Rica.
- Machtinger, E., Geden, C., Kaufman, P. y House, A. (2015). Use of pupal parasitoids as biological control agents of filth flies on equine facilities. *Journal of Integrated Pest Management*, 6(1): 1-10.
- Mena, H. (s.f). *Estudios en laboratorio del parasitismo de Spalangia endius (Hymenoptera, Pteromalidae) en pupas de mosca del establo Stomoxys calcitrans*

- (Diptera, Muscidae) como uso potencial en control biológico a partir de residuos en piña, Costa Rica (Tesis de pregrado). Universidad de Costa Rica. San José.
- Morgan, P.B., Patterson, R.S. y Labrecque, G.C. (1976). Host parasitoid relationship of the house fly, *Musca domestica* L. and the protoleean parasitoid *Spalangia endius* Walker. (Diptera: Muscidae and Hymenoptera: Pteromalidae). *J. Kansas Entomol. Soc.*, 49: 483-488.
- Nava, U; Gómez, M.Y. y Ramírez, M. (2000). Determinación de parasitoides como agentes de control biológico de moscas de establo en Bermejillo, Dgo. México. *Revista Chapinfo serie zonas áridas*, 85-92.
- Nichols, W., Cossé, A., Bartelt, R. y King, B. (2010). Methyl 6-methylsalicylate: A female-produced pheromone component of the parasitoid wasp *Spalangia endius* (Hymenoptera: Pteromalidae). *Journal of Chemical Ecology*, 36:1140-1147.
- Olmos, A. (2015). Cadena regional de piña departamento de Casanare. Colombia: Secretaria de Agricultura, Ganadería y Medio Ambiente.
- Peña, S. (2014). Plaga de moscas genera pérdidas a ganaderos de Limón y zona Norte. *Teletica.com*. Recuperado de https://www.teletica.com/69458_plaga-de-moscas-genera-perdidas-a-ganaderos-de-limon-y-la-zona-norte.
- Quirós, V. (Octubre de 1993). Situaciones y perspectivas de la piña en Costa Rica. *IX Congreso Nacional Agronómico y de Recursos Naturales*. San José Costa Rica.
- Rivas, A.W. y Sermeño, J.M. (2003). *Toxicología de plaguicidas*. Facultad de Ciencias Agronómicas: Universidad de El Salvador.
- Rocha, J.G. y García, F.L. (2008). Insecticidas clásicos y biopesticidas modernos: avances en el entendimiento de su mecanismo de acción. *Bio Tecnología*, 12(1): 50-62.
- 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.
- Rojas, N. (2011). *Cuenca del Río San Carlos*. In *Atlas de cuencas hidrográficas de Costa Rica*. San José, Costa Rica: PNUD-MINAET-IMN.
- Rojas, N. (1998). *Zonificación agroecológica para el cultivo de piña (Ananas comosus, Merr)*, en Costa Rica (Tesis de pregrado). Universidad de Costa Rica. 106 p.

- Salem, A. (2012). *Stomoxys calcitrans* (L. 1758): *morphologie, biologie, role vecteur et moyens de lutte* (Tesis de doctorado). Institut National Polytechnique de Toulouse, Francia.
- Secretaría Ejecutiva de Planificación Sectorial Agropecuaria. (2009). *Boletín Estadístico Agropecuario N°. 19. Serie Cronológica 2004-2008*. San José, Costa Rica. Disponible en www.infoagro.go.cr.
- Solano, J. y Villalobos, R. (s.f). *Regiones y subregiones climáticas de Costa Rica*. San José, Costa Rica: IMN.
- Schole, L.A., Taylor, D.B., Brink, D.R. y Hanford, K.J. (2011) Use of modified cages attached to growing calves to measure the effect of stable flies on dry matter intake and digestibility, and defensive movements. *Faculty Papers and Publications in Animal Science*. Paper 776. Recuperado de <http://digitalcommons.unl.edu/animalscifacpub/776>
- Solórzano, J.A., Taylor, D.B. y Gómez, J. (Setiembre de 2016). Biology of stable fly on tropical fruits (pineapple, banana and oil palm), its management strategies, and impact on national livestock. *XXV International Congress of Entomology*. Orlando, Florida, USA.
- Solórzano, J.A., Gilles, J., Bravo, O., Vargas, C., Gómez, Y., Bingham, G. y Taylor, D. (2015). Biology and trapping of stable flies (Diptera: Muscidae) developing in pineapple residues (*Ananas comosus*) in Costa Rica. *Journal of insect science*, 15(1): 145-149.
- Solórzano, J.A. (2014). *Manejo integrado de la mosca del establo Stomoxys calcitrans en Costa Rica*. San José, Costa Rica: INTA.
- Solórzano, J.A., Treviño, J., Hidalgo, H., Gómez, Y., Blanco, H., Apuy, M., González, L. y Meneses, D. (2013). *Recomendaciones para el manejo de la mosca del establo Stomoxys calcitrans en el cultivo de la piña*. San José, Costa Rica: PITTA PIÑA.
- Solórzano, J.A., Morales, J.L., Apuy, M., Gómez, Y., Vargas, C., Rodríguez, L. y Alpizar, D. (2011). *Guía Práctica de diagnóstico de la mosca del establo Stomoxys calcitrans y otros dípteros asociados a rastrojos de piña*. Costa Rica: FITTACORI.
- 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.
- Taylor, D.B., Friesen, K. y Zhu, J. (Setiembre de 2016). Are agronomic residues the "missing link" for understanding stable fly population dynamics in the US? XXV *International Congress of Entomology*. Orlando, Florida, USA.
- Taylor, D.B., Moon, R.D. y Mark, D.R. (2012). Economic impact of stable flies (Diptera: Muscidae) on dairy and beef cattle production. USA. *Journal of Medical Entomology*, 49(1): 198-209.
- 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.
- Vargas, C. y Solórzano, J.A. (2016). Biología y cría de la mosca del establo *Stomoxys calcitrans* L. *Alcances Tecnológicos*, 11(1): 1-16.
- Weinzierl, R.A. y Jones, C.J. (1998). Releases of *Spalangia nigroaenea* and *Muscidifurax zaraptor* (Hymenoptera: Pteromalidae). Increase rates of parasitism and total mortality of stable fly and house fly (Diptera: Muscidae) pupae in Illinois cattle feedlots. *Journal of Economic Entomology*, 91(5): 1114-1121.
- Zapata, N., Medina, P., Viñuela, E. y Budia, F. (2005). Toxicidad de malation, pimetrocina, piretrinas naturales+PBO, y triflumuron en adultos del parasitoide *Psytalia concolor* (Szépliget) (Hym.: Braconidae) según el modo de aplicación. *Bol. San. Veg. Plaga*, 31: 111-118.

ANEXOS

Anexo 1. Aplicación de insecticidas en rastrojo de piña, para el ensayo de evaluación del efecto de los insecticidas usados en el manejo de mosca del establo sobre *S. endius*.



Figura 24. Insecticidas aplicados con una motobomba y aguilón modificado, simulando el volumen de aplicación utilizado comercialmente.

Anexo 2. Bolsas de malla y estañones utilizados en los ensayos de profundidad efectiva de parasitismo de *S. endius* sobre pupas de *S. calcitrans* en rastrojo de piña.



Figura 25. Bolsa de malla con pupas de *S. calcitrans*.



Figura 26. Estañones donde se colocaron las bolsas de malla y se cubrieron con rastrojos de plantas de piña. Izquierda: antes de cubrir el estañon con tela tergal. Derecha: después de cubrir el estañon con tela tergal.

Anexo 3. Trampas para captura de adultos de *S. calcitrans* en las parcelas del ensayo de uso de *Spalangia endius*.



Figura 27. Trampas para capturas de adultos de mosca del establo, utilizadas en el ensayo de uso de *S. endius* dentro del manejo agroecológico de *S. calcitrans*.

UNIVERSIDAD NACIONAL
SISTEMA DE ESTUDIOS DE POSGRADO
MAESTRIA EN AGRICULTURA ALTERNATIVA con mención en AGRICULTURA
ECOLÓGICA

CONTROL BIOLÓGICO DE *STOMOXYS CALCITRANS* (LINNAEUS) (DIPTERA:
MUSCIDAE) EN RASTROJOS DE PIÑA, CON EL PARASITOIDE *SPALANGIA*
ENDIUS (WALKER) (HYMENOPTERA: PTEROMALIDAE) COMO PARTE DEL
MANEJO AGROECOLÓGICO DE PLAGAS, EN PITAL DE SAN CARLOS, COSTA
RICA.

Por: Jairo Treviño Villalobos

Profesor Tutor: José Arturo Solórzano Arroyo, M.Sc.

Heredia, Costa Rica, Marzo 2018