

UNIVERSIDAD DE COSTA RICA
SISTEMA DE ESTUDIOS DE POSGRADO

IDENTIFICACIÓN Y CUANTIFICACIÓN DE PARASITOIDES ASOCIADOS A
MOSCAS DE LA FRUTA (*ANASTREPHA* spp.) EN FINCAS DE MANGO CON
MANEJO CONVENCIONAL Y ORGÁNICO EN OROTINA-SAN MATEO Y ATENAS,
ALAJUELA

Tesis sometida a la consideración de la Comisión del Programa de Estudios de Posgrado en
Ciencias Agrícolas y Recursos Naturales para optar al grado y título de Maestría
Académica en Ciencias Agrícolas y Recursos Naturales con énfasis en Protección de
Cultivos

ARLETTE OROZCO MUÑOZ

Ciudad Universitaria Rodrigo Facio, Costa Rica
2020

Dedicatoria

A la memoria de mi abuelo Célamo, por ser el agricultor que impulsó mi amor por la agricultura.

A mi esposo que ha sido mi motor y mi mayor soporte.

Agradecimientos.

En primer lugar, deseo expresar mi agradecimiento a mi familia, a mi esposo, a mis padres y a mi hermano, por haberme ayudado durante todo mi proceso de formación de maestría. Mi infinito agradecimiento a mi esposo Daniel por ser mi “asistente de campo” los fines de semana cuando visité productores para los diversos trabajos que tuve que realizar.

También mi más profundo agradecimiento a mi directora de tesis, la Dra. Helga Blanco Metzler por todo el apoyo, la guía y el tiempo brindado desde que contacté con ella. A mis lectores el Dr, Paul Hanson de la Escuela de Biología, por ayudarme con la identificación de los parasitoides y sus recomendaciones en el escrito. Y a la Dra. Silvia López del INTA Argentina por ofrecer su tiempo para realizar recomendaciones a nivel metodológico y mejorar este documento, que a pesar de la distancia siempre estuvo anuente en ayudarme.

Mi gran agradecimiento a los profesores del Posgrado en Ciencias Agrícolas y Recursos Naturales por ofrecer educación de calidad; por brindar herramientas para mi desarrollo profesional, compartir conocimiento, experiencia y ayudarme en diversas situaciones, especialmente a la MSc. Lorena Flores que con su paciencia y consejos siempre me impulsó a seguir adelante.

A los productores de mango, los señores Carlos “Pato” Álvarez, Carlos Garita, Norman Chacón, Sergio Valenciano, la señora María Madrigal y su esposo Osvaldo, por recibirme en sus fincas y poner a mi disposición su producción para esta investigación. Un agradecimiento especial a la señora Patricia Vargas en San Mateo, por ayudarme y acompañarme durante los muestreos y ofrecerme su valiosa amistad. A mi asistente de laboratorio, Ana Cubero, mil gracias por ayudarme con todo el trabajo del laboratorio para así yo poder procesar las muestras de esta investigación.

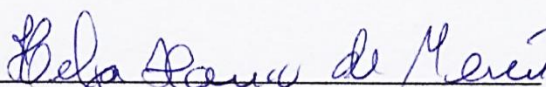
Este trabajo de investigación es la suma de esfuerzo y perseverancia, que a pesar del cansancio del trabajo y del estudio, siempre hay oportunidad de surgir gracias al apoyo incondicional de personas que nos estiman, sin el cual no hubiese podido concluir y crecer como profesional y como persona.

¡A todos, muchas gracias!

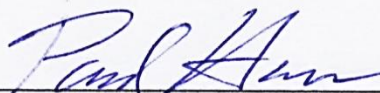
Esta tesis fue aceptada por la Comisión del Programa de Estudios de Posgrado Programa de Estudios de Posgrado en Ciencias Agrícolas y Recursos Naturales de la Universidad de Costa Rica, como requisito parcial para optar al grado y título de Maestría Académica en Ciencias Agrícolas y Recursos Naturales con énfasis en Protección de Cultivos



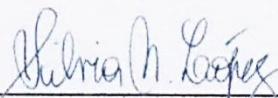
Dra. Pamela Murillo Rojas
Representante del Decano
Sistema de Estudios de Posgrado



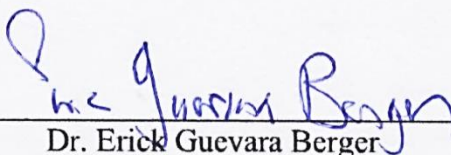
Dra. Helga Blanco Metzler
Directora de tesis



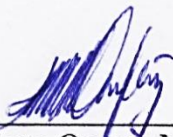
Dr. Paul Hanson Snortum
Lector



Dra. Silvia Noemí López
Lectora



Dr. Erick Guevara Berger
Director del Programa de Posgrado en
Ciencias Agrícolas y Recursos Naturales



Arlette Orzco Muñoz
Sustentante

Tabla de Contenido

Dedicatoria	ii
Agradecimientos	iii
Hoja de aprobación	iv
Resumen	vi
Lista de cuadros	vii
Lista de figuras	viii
Lista de abreviaturas	xi
1. INTRODUCCIÓN	1
1.1 Justificación	1
1.2 Objetivo general	4
1.3 Objetivos específicos	4
1.4 Marco teórico	5
1.4.1 El cultivo de mango en Costa Rica	5
1.4.2 Mosca de la fruta (<i>Anastrepha</i> spp.)	5
1.4.3 Manejo de <i>Anastrepha</i> spp.	12
1.4.4 Parasitoides	
2. MATERIALES Y MÉTODOS	19
2.1 Sitios de estudio	19
2.2 Muestreos de mosca de la fruta y sus parasitoides	20
2.3 Identificación de moscas de la fruta presentes	21
2.4 Identificación y caracterización morfológica de especies de parasitoides	21
2.5 Desarrollo de las poblaciones de mosca de la fruta (<i>Anastrepha</i> spp.) y parasitismo	22
2.6 Identificación de diversidad de flora en los sistemas de estudio	22
2.7 Análisis estadístico	23
3. RESULTADOS	24
3.1 Especies de mosca de la fruta presentes	24
3.2 Identificación y caracterización morfológica de especies de parasitoides	26
3.3 Desarrollo de las poblaciones de mosca de la fruta (<i>Anastrepha</i> spp.) y parasitismo	34
3.3.1 Frutos con daño	34
3.3.2 Nivel de infestación	34
3.3.3 Parasitismo	37
3.4 Identificación de diversidad de flora en los sistemas de estudio	38
4. DISCUSIÓN	42
5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	50
5.1 Conclusiones	50
5.2 Recomendaciones	50
6. LITERATURA CITADA	52

Resumen

La mosca de la fruta es una de las plagas de mayor importancia en el cultivo de mango a nivel mundial, debido al impacto negativo por la pérdida del valor comercial de los frutos afectados y por su estatus como plaga cuarentenaria de exportación. Con el fin de identificar y cuantificar las especies de parasitoides asociados a mosca de la fruta (*Anastrepha* spp.), en para dar seguimiento a los tipos de manejo orgánico y convencional en dos localidades productoras de mango; se realizaron muestreos quincenales de frutos de mango maduros en dos fincas de manejo convencional y dos fincas orgánicas en las localidades de Orotina-San Mateo y Atenas, Costa Rica durante el período de cosecha 2018. Como resultado se obtuvieron tres especies de parasitoides de la familia Braconidae. El mayor porcentaje de parasitismo correspondió a la especie *Diachamismorpha longicaudata* (1,43 %), seguida de una especie sin identificar (0,36 %) y finalmente *Doryctobracon anastrephilus* que presentó el menor valor (0,08 %). Estos individuos se recolectaron en una finca orgánica en Atenas, asociados a *Anastrepha ludens* y *A. obliqua*. *A. ludens* mostró altos niveles de infestación ($47,06 \pm 7,06$ individuos/kg de fruta) en una de las fincas orgánicas en Atenas. Las zonas donde se realizan manejos convencionales presentaron infestaciones de moscas de la fruta casi nulas y son significativamente diferentes a las zonas donde no se aplican insecticidas; éstas últimas presentan mayores poblaciones, pero son muy variables entre sí. El conocimiento generado sobre las especies de parasitoides y el parasitismo en poblaciones de mosca de la fruta descritas puede ser útil en el diseño de estrategias de manejo de esta plaga puesto que no existen datos publicados en estas zonas de Costa Rica, creando posibilidades de mejora del comercio nacional e internacional de mango.

Lista de cuadros.

Cuadro 1. Familias y especies hospedantes del género <i>Anastrepha</i>	10
Cuadro 2. Plan de manejo químico de moscas de la fruta en fincas convencionales.....	20
Cuadro 3. Especies y cantidad de parasitoides colectados a partir de mosca de la fruta <i>Anastrepha</i> spp. (Tephritidae) en frutos de mango (<i>Mangifera indica</i> cv. Tommy Atkins) en fincas bajo sistemas de manejo orgánico en Atenas, Alajuela, Costa Rica, durante la cosecha 2018.	26
Cuadro 4. Especies de mosca de la fruta (Tephritidae) obtenidas de frutos de mango (<i>Mangifera indica</i> cv. Tommy Atkins) en fincas bajo sistema de manejo convencional y orgánico en las localidades Orotina-San Mateo y Atenas, Alajuela, Costa Rica, durante la cosecha 2018.....	36
Cuadro 5. Especies de plantas asociadas al cultivo de mango (<i>Mangifera indica</i> cv. Tommy Atkins) en las diferentes fincas estudiadas en las localidades de Orotina-San Mateo y Atenas; Alajuela, Costa Rica; durante la cosecha de 2018.	39

Lista de figuras.

Figura 1. Ciclo de vida de <i>Anastrepha obliqua</i> . Fuente: Elaboración propia.....	6
Figura 2. Caracteres morfológicos de larvas de algunas especies de mosca de la fruta de importancia económica (Charlin 2004).	8
Figura 3. Comparación de adultos hembras de diferentes especies del género <i>Anastrepha</i> . (SENASICA 2015).	8
Figura 4. Daños causados por <i>A. obliqua</i> . A y B. Mangos dañados por la oviposición de hembras. C. Mangos dañados por la alimentación de larvas. Fuente: Elaboración propia...	11
Figura 5. Trampas utilizadas para monitorear en campo adultos de <i>A. obliqua</i> . A. trampa McPhail. B. trampa Multilure (McPhail modificada).....	13
Figura 6. Ubicación geoespacial de los sitios de estudio en Orotina-San Mateo y Atenas, Alajuela, Costa Rica, 2018.	19
Figura 7. Vista lateral de las especies de mosca de la fruta identificadas en fincas convencionales y orgánicas en Orotina-San Mateo y Atenas, Alajuela, Costa Rica, 2018. A. <i>Ceratitis capitata</i> B. <i>Anastrepha ludens</i> C. <i>Anastrepha obliqua</i>	24
Figura 8. Vista dorsal (1) y postero dorsal del medio terguito y subescutelo (2) de las especies de mosca de la fruta identificadas en fincas convencionales y orgánicas en Orotina-San Mateo y Atenas, Alajuela, Costa Rica, 2018. A. <i>Ceratitis capitata</i> B. <i>Anastrepha ludens</i> C. <i>Anastrepha obliqua</i>	25
Figura 9. Patrones de coloración alar de las especies de mosca de la fruta identificadas en fincas convencionales y orgánicas en Orotina-San Mateo y Atenas, Alajuela, Costa Rica, 2018. A. <i>Ceratitis capitata</i> B. <i>Anastrepha ludens</i> C. <i>Anastrepha obliqua</i>	25
Figura 10. Adultos de especies de parasitoides (Braconidae: Opiinae) de mosca de la fruta <i>Anastrepha</i> sp. (Tephritidae) identificadas en una finca orgánica en Atenas; Alajuela, Costa Rica, 2018. A. <i>Diachasmimorpha longicaudata</i> B. <i>Doryctobracon anastrephilus</i> C. Especie sin identificar.	27

Figura 11. Cabeza de adulto de <i>Diachasmimorpha longicaudata</i> (Braconidae: Opiinae) identificado en una finca orgánica en Atenas; Alajuela, Costa Rica, 2018. Vistas A. lateral B. frontal C. dorsal.	27
Figura 12. Patas y tórax de <i>Diachasmimorpha longicaudata</i> (Braconidae: Opiinae) identificado en una finca orgánica en Atenas; Alajuela, Costa Rica, 2018. A. pata 3 B. vista lateral del tórax C. vista dorsal del tórax.	28
Figura 13. Abdomen de <i>Diachasmimorpha longicaudata</i> (Braconidae: Opiinae) identificado en una finca orgánica en Atenas; Alajuela, Costa Rica, 2018. Vista A. lateral B. dorsal.	28
Figura 14. Alas de <i>Diachasmimorpha longicaudata</i> (Braconidae: Opiinae) identificado en una finca orgánica en Atenas; Alajuela, Costa Rica, 2018. A. ala anterior B. ala posterior	29
Figura 15. Cabeza de adulto de <i>Doryctobracon anastrephilus</i> (Braconidae: Opiinae) identificado en una finca orgánica en Atenas; Alajuela, Costa Rica, 2018. Vistas A. lateral B y C. frontal.	29
Figura 16. Patas y tórax de <i>Doryctobracon anastrephilus</i> (Braconidae: Opiinae) identificado en una finca orgánica en Atenas; Alajuela, Costa Rica, 2018. A. pata 3 B. vista lateral del tórax C. vista dorsal del tórax.	30
Figura 17. Abdomen de <i>Doryctobracon anastrephilus</i> (Braconidae: Opiinae) identificado en una finca orgánica en Atenas; Alajuela, Costa Rica, 2018. Vista A. lateral B. dorsal.	30
Figura 18. Alas de <i>Doryctobracon anastrephilus</i> (Braconidae: Opiinae) identificado en una finca orgánica en Atenas; Alajuela, Costa Rica, 2018. A. ala anterior B. ala posterior.	31
Figura 19. Cabeza de adulto de individuo sin identificar (Braconidae: Opiinae) en una finca orgánica en Atenas; Alajuela, Costa Rica, 2018. Vistas A. lateral B. frontal.	31
Figura 20. Patas y tórax del individuo sin identificar (Braconidae: Opiinae) en una finca orgánica en Atenas; Alajuela, Costa Rica, 2018. A. pata 3 B. vista lateral del tórax C. vista dorsal del tórax.	32
Figura 21. Abdomen de individuo sin identificar (Braconidae: Opiinae) en una finca orgánica en Atenas; Alajuela, Costa Rica, 2018. Vista A. lateral B. dorsal.	32

Figura 22. Alas de Individuo sin identificar (Braconidae: Opiinae) de una finca orgánica en Atenas; Alajuela, Costa Rica, 2018.A. ala anterior B. ala posterior.....	33
Figura 23. Porcentaje de frutos con daño por moscas de la fruta (Tephritidae) en mango (<i>Mangifera indica</i> cv. Tommy Atkins) en fincas convencionales y orgánicas en las localidades de (A) Orotina-San Mateo, (B) Atenas; Alajuela, Costa Rica; durante cosecha 2018.	34
Figura 24. Índices de infestación por moscas de la fruta (Tephritidae) en frutos de mango (<i>Mangifera indica</i> cv. Tommy Atkins) en fincas convencionales y orgánicas en las localidades (A) Orotina-San Mateo, (B) Atenas; Alajuela, Costa Rica; durante la cosecha 2018.	35
Figura 25. Índices de infestación de especies de moscas de la fruta (Tephritidae) en frutos de mango (<i>Mangifera indica</i> cv. Tommy Atkins) en fincas convencionales y orgánicas en las localidades (A) Orotina-San Mateo, (B) Atenas; Alajuela, Costa Rica; durante la cosecha 2018.	37
Figura 26. Porcentaje de parasitismo en comparación con el índice de infestación de <i>Anastrepha</i> (Tephritidae) en frutos de mango (<i>Mangifera indica</i> cv. Tommy Atkins) en la finca orgánica 2 en Atenas; Alajuela, Costa Rica; durante la cosecha 2018.	38
Figura 27. Número de especies de plantas hospederas de mosca de la fruta y plantas nectaríferas identificadas en fincas convencionales y orgánicas, en Orotina-San Mateo y Atenas; Alajuela, Costa Rica; durante la cosecha 2018. A. Orotina-San Mateo. B. Atenas.	41

Lista de abreviaturas.

i.a: Ingrediente activo.

aprox.: Aproximadamente.

°C: Grados Celsius.

cm: Centímetros.

et al.: Del latín "y otros".

ha: Hectárea.

HR: Humedad relativa.

kg: Kilogramo.

mL: Mililitro.

mm: Milímetro

min: Minuto.

msnm: Metros sobre el nivel del mar.

spp.: referencia a más de una especie involucrada.

t: Tonelada.



UNIVERSIDAD DE
COSTA RICA

SEP Sistema de
Estudios de Posgrado

Autorización para digitalización y comunicación pública de Trabajos Finales de Graduación del Sistema de Estudios de Posgrado en el Repositorio Institucional de la Universidad de Costa Rica.

Yo, Arlette Orozco Muñoz, con cédula de identidad 206440689, en mi condición de autor del TFG titulado Identificación y cuantificación de parasitoides asociados a moscas de la fruta (Anastrepha spp.) en fincas de mango con manejo convencional y orgánico en Orotina-San Mateo y Atenas, Alajuela

Autorizo a la Universidad de Costa Rica para digitalizar y hacer divulgación pública de forma gratuita de dicho TFG a través del Repositorio Institucional u otro medio electrónico, para ser puesto a disposición del público según lo que establezca el Sistema de Estudios de Posgrado. SI NO *

*En caso de la negativa favor indicar el tiempo de restricción: 1 año (s).

Este Trabajo Final de Graduación será publicado en formato PDF, o en el formato que en el momento se establezca, de tal forma que el acceso al mismo sea libre, con el fin de permitir la consulta e impresión, pero no su modificación.

Manifiesto que mi Trabajo Final de Graduación fue debidamente subido al sistema digital Kerwá y su contenido corresponde al documento original que sirvió para la obtención de mi título, y que su información no infringe ni violenta ningún derecho a terceros. El TFG además cuenta con el visto bueno de mi Director (a) de Tesis o Tutor (a) y cumplió con lo establecido en la revisión del Formato por parte del Sistema de Estudios de Posgrado.

INFORMACIÓN DEL ESTUDIANTE:

Nombre Completo: Arlette Orozco Muñoz

Número de Carné: B58113 Número de cédula: 206440689

Correo Electrónico: arlette.biotec@gmail.com

Fecha: 26 de mayo 2021 Número de teléfono: 88517804

Nombre del Director (a) de Tesis o Tutor (a): Dra. Helga Blanco Metzler

FIRMA ESTUDIANTE

Nota: El presente documento constituye una declaración jurada, cuyos alcances aseguran a la Universidad, que su contenido sea tomado como cierto. Su importancia radica en que permite abreviar procedimientos administrativos, y al mismo tiempo genera una responsabilidad legal para que quien declare contrario a la verdad de lo que manifiesta, puede como consecuencia, enfrentar un proceso penal por delito de perjurio, tipificado en el artículo 318 de nuestro Código Penal. Lo anterior implica que el estudiante se vea forzado a realizar su mayor esfuerzo para que no sólo incluya información veraz en la Licencia de Publicación, sino que también realice diligentemente la gestión de subir el documento correcto en la plataforma digital Kerwá.

1. INTRODUCCIÓN

1.1 Justificación

Las moscas de la fruta (Diptera: Tephritidae) son un grupo importante de plagas de insectos en el mundo (Aluja y Mangan 2008). Existen más de 4500 especies de moscas, siendo el género *Anastrepha* el más grande y económicamente importante en América con 185 especies reportadas en dicho continente. Presenta una distribución que abarca desde el sur de Estados Unidos hasta el norte de Argentina (Hernández-Ortiz y Aluja 1993; Hernández-Ortiz *et al.* 2012). Algunas de estas especies de importancia económica son consideradas polífagas ya que poseen diversos hospederos de amplia gama de familias (Hernández-Ortiz y Aluja 1993; Aluja y Mangan 2008). Dentro de este grupo se encuentra *Anastrepha ludens* (Loew), mosca mexicana de la fruta, *Anastrepha obliqua* (Macquart), mosca de la Indias Occidentales; *Anastrepha striata* Schiner; entre otras (Norrbon *et al.* 1999).

El mango (*Mangifera indica* L.) pertenece a la familia Anacardiaceae. Es uno de los cultivos frutales más importantes en las regiones tropicales y subtropicales del mundo (Litz 2009). Este cultivo es de importancia en Costa Rica no sólo por ser un producto de exportación sino también por su demanda en el comercio local para consumo como fruta fresca; lo cual mantiene la economía de muchas familias de pequeños productores locales.

Dicho cultivo se destaca como huésped de diferentes especies de mosca de la fruta del género *Anastrepha* (Jirón *et al.* 1988; Aluja y Mangan 2008; Nalesso *et al.* 2012; Isabirye *et al.* 2016). En Costa Rica la principal especie que ataca este cultivo es *A. obliqua* (Jirón y Hedström 1991, SFE 2011); sin embargo, *A. ludens* destaca como plaga de este cultivo en otros países americanos como México (Molina-Nery *et al.* 2014; Rodríguez-Rodríguez *et al.* 2018), Perú (Nolasco y Iannacone 2008), Brasil (Nalesso *et al.* 2012), Ecuador (Cañadas *et al.* 2014), entre otros. Las pérdidas asociadas con la infestación de esta plaga son de más del 30 % con relación a los rendimientos totales de fruta (Isabirye *et al.* 2016; SFE 2014). El daño directo es causado por el desarrollo larval dentro la fruta (Aluja 1994). Consecuentemente, la presencia de estas limita el acceso a los mercados internacionales debido a las restricciones cuarentenarias impuestas por los países importadores como Estados Unidos, Holanda, Bélgica y Reino Unido; es por esto que el género *Anastrepha* junto con la

especie *Ceratitis capitata* Wied. (Diptera: Tephritidae) causan grandes pérdidas, amenazando los beneficios de la industria, especialmente entre los países en desarrollo (Sinzogan *et al.* 2008).

En Costa Rica, el control de *Anastrepha* spp. se basa principalmente en un manejo integrado de plagas (MIP). Se destaca el control cultural a través de la recolección de frutos para evitar la emergencia de adultos; el manejo químico con el uso de insecticidas como el malation y el control etológico mediante el uso de trampas con cebos a base de fruta madura o proteína hidrolizada como atrayente de moscas adultas. Pese a todos estos esfuerzos de control, aún no existe un control completo de esta plaga en el país (Rodríguez *et al.* 2002, Mora *et al.* 2002, SFE 2011, SFE 2014).

A nivel de control biológico, la mayor parte del conocimiento en especies de parasitoides del género *Anastrepha* en América está basado en investigaciones realizadas en países como Argentina (Ovruski *et al.* 2008, Schliserman *et al.* 2010), Bolivia (Ledezma *et al.* 2013), Brasil (Canal *et al.* 1994), México (Cancino *et al.* 2008, Aluja *et al.* 2009) y Panamá (Medianero *et al.* 2006). Sin embargo, estos estudios se realizaron con una amplia variedad de especies hospederos de la mosca (*Annona muricata*, *Pouteria sapota*, *Mangifera indica*, *Psidium guajava*, entre otros) sin especificar bajo cuales condiciones de manejo son tratados estos cultivos.

La mayoría de los parasitoides utilizados en el control biológico de plagas de insectos pertenecen a dos órdenes: Hymenoptera y Diptera (Koul y Dhaliwal 2003). La subfamilia Opiinae (Hymenoptera: Braconidae) es la que aporta la mayor cantidad de especies descritas como agentes de control biológico o con potencial para el desarrollo de programas de control de la mosca de la fruta (Joyce *et al.* 2010, Quilici y Rousse 2012).

Los géneros *Doryctobracon*, *Utetes*, *Opius* y *Diachasmimorpha* de la subfamilia Opiinae son comúnmente encontrados en América. Los tres primeros géneros son nativos del Neotrópico (Medianero *et al.* 2006; Ovruski *et al.* 2008; Schliserman *et al.* 2010; Ledezma *et al.* 2013). La especie *Diachasmimorpha longicaudata* (Ashmead) es originaria del sudeste asiático y ha sido ampliamente estudiada y reproducida para el control de mosca de la fruta en muchos países del continente americano como Argentina, México, entre otros (Ovruski *et al.* 2003, Ovruski y Schliserman 2012; Montoya *et al.* 2000). Desde el año 2014, el Servicio

Fitosanitario del Estado de Costa Rica (SFE) desarrolla dentro de las actividades del Programa Nacional de Moscas de la Fruta, la producción masiva de *D. longicaudata* principalmente para el manejo de *C. capitata*. Sin embargo, existe un grupo de parasitoides Braconidos, Opiinae nativos (Sivinski *et al.* 2000, 2001) con potencial como agentes de biocontrol, para los cuales existe poca información.

Actualmente no existen investigaciones publicadas sobre las diferentes especies de parasitoides y su parasitismo en *Anastrepha* spp. en frutos de mango en las zonas productoras de Orotina-San Mateo y Atenas en la provincia de Alajuela. En la búsqueda de estos últimos, se debe tomar en cuenta que son afectados por la temperatura, humedad, abundancia de hospederos, presencia de competidores y los disturbios de las actividades agrícolas. Medianero *et al* (2006) indican que bajo condiciones naturales se pueden producir asociaciones entre planta y especie de *Anastrepha* que facilitan el reconocimiento de un mayor número de parasitoides.

Así mismo, el conocimiento sobre las diferentes especies plaga en un huésped específico, su distribución geográfica, la dinámica de la población a lo largo de las estaciones en un área determinada y su relación con los diferentes sistemas de manejo del cultivo es crucial y todo un desafío (Días *et al.* 2018). Estos datos proporcionarían información importante requerida para el diseño y desarrollo de estrategias de gestión adecuada o programas de MIP sostenibles (Isabirye *et al.* 2016; Khosravi *et al.* 2018). Dichas estrategias permitirían el control de plagas como mosca de la fruta (Sinzogan *et al.* 2008; Faria *et al.* 2014).

1.2 Objetivo General

Identificar y cuantificar las especies de parasitoides asociados a mosca de la fruta (*Anastrepha* spp.) en fincas de mango con manejo convencional y orgánico en los cantones de Orotina-San Mateo y Atenas, Alajuela.

1.3 Objetivos Específicos

1. Identificar las especies parasitoides asociados a *Anastrepha* spp.
2. Cuantificar el nivel de parasitismo de cada especie encontrada asociada a *Anastrepha* spp.
3. Establecer si existen diferencias entre la diversidad de especies y el nivel de parasitismo en relación con el tipo de manejo fitosanitario de las fincas y la localidad.

1.4 Marco teórico

1.4.1 El cultivo de mango en Costa Rica

El cultivo de mango en Costa Rica se realiza desde hace más de 100 años (Ureña *et al.* 2007). Para el año 2018 ocupaba el doceavo producto fresco de exportación según PROCOMER, y para el primer trimestre 2019 esta fruta obtuvo un aumento en producción de un 148 %, de ahí la importancia de producción de esta fruta y el impacto en la economía de los agricultores costarricenses (SEPSA 2019; PROCOMER 2019). Entre las principales zonas de cultivo de mango en Costa Rica se destacan: Orotina, San Mateo y Atenas en la provincia de Alajuela; Esparza, Miramar, Garabito y el cantón Central en Puntarenas; Liberia, Santa Cruz, Nicoya, Nandayure, Carrillo y Abangares en Guanacaste; Puriscal y Turrubares en San José. Todos estos sitios se encuentran entre 0 a 800 msnm (Ureña *et al.* 2007).

1.4.2 Mosca de la fruta (*Anastrepha* spp.)

El género *Anastrepha* pertenece al orden Diptera y a la familia Tephritidae. Esta familia se destaca por su importancia económica ya que causan pérdidas a nivel agrícola al infestar frutos de productos de exportación como por ejemplo cítricos y mangos (Cresoni-Pereira y Zucoloto 2012). Este género está distribuido por las regiones templadas, tropicales y subtropicales de todo el mundo; y representa uno de los *taxa* de tefrítidos neotropicales más importantes, presenta una compleja ecología y está constituido por más de 250 especies, de las cuales el 21,3 % se encuentra en el continente americano. Está presente desde el sur de los Estados Unidos (Texas y Florida) hasta el norte de Argentina (Hernández-Ortiz y Aluja 1993; Cresoni-Pereira y Zucoloto 2012; Norrbom *et al.* 2012).

Siete especies se destacan entre las de mayor importancia económica del género *Anastrepha*: *A. fraterculus* (Wiedemann), *A. grandis* (Macquart), *A. ludens*, *A. obliqua*, *A. serpentina* (Wiedemann), *A. striata* y *A. suspensa* (Loew). La especie *A. fraterculus* está reconocida como un complejo de especies crípticas (Hernández-Ortiz *et al.* 2012).

En Costa Rica los primeros registros del género *Anastrepha* según Jirón y Soto-Manitui (1987) fueron en los años 1913 y 1920. Posteriormente, para el año 1979 se reportan *A. obliqua*, *A. striata* y *A. serpentina* como las especies más comunes asociadas a frutales en este país. Años más tarde, en 1985 se desarrolló un programa de investigación sobre la

ecología de las especies de este género en el país y se registró que *A. obliqua* era la causante del 93,3 % de las infestaciones en mangos; además se registró la presencia de 28 especies del género *Anastrepha* (Jirón *et al.* 1988; Jirón y Soto-Manitiu 1987).

Ciclo de vida

Los insectos de las especies del género *Anastrepha* son frugívoros y presentan una metamorfosis completa pasando por estados de huevo, larva, pupa y adulto (Figura 1) (Aluja 1994). El ciclo de vida de la mosca de la fruta se inicia cuando las hembras adultas ovipositan bajo el pericarpio de los frutos; los huevos se desarrollan dentro de 1-4 días, pero puede variar en función de las condiciones ambientales. Luego emergen las larvas que se alimentan del fruto y lo dañan hasta completar sus tres estadios, con una duración de 8 a 13 días (dependiendo posiblemente de las propiedades nutricionales del sustrato alimentario). Dependiendo de las condiciones ambientales y generalmente en coincidencia con la caída del fruto, la larva madura del tercer estadio lo abandona y se entierra a 2-3 centímetros de profundidad del suelo, transformándose en pupa (Aluja 1994; Soto-Manitiu *et al.* 1997).

El estado de pupa tiene una duración de 15-25 días. Durante esta fase ocurre la transformación gradual en adulto al interior del pupario (Soto-Manitiu *et al.* 1997). Una vez alcanzada la madurez fisiológica, el adulto emerge del pupario, rompiendo a este con el "*ptilinum*", que es una membrana ubicada en la parte frontal de la cabeza. La emergencia de formas adultas se produce de manera escalonada, quedando un porcentaje de las pupas aún sin emerger después de la quinta semana. El adulto puede llegar a vivir hasta tres meses bajo condiciones favorables (Gómez 2005; Soto-Manitiu *et al.* 1997).

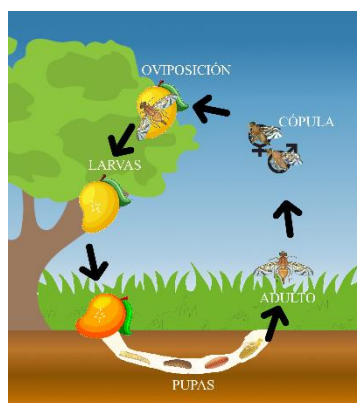


Figura 1. Ciclo de vida de *Anastrepha obliqua*. Fuente: Elaboración propia.

En cuanto a la morfología de los huevos, éstos presentan un lóbulo "cuerno" respiratorio conspicuo que se proyecta fuera de la cáscara de la fruta (EPPO 2019), son asimétricos, con un extremo posterior moderadamente cónico (Figueiredo *et al.* 2013). Las larvas son de color blanquecino, presentan un tamaño de 8 a 12 mm de longitud dependiendo de la especie, su cuerpo es decreciente en sentido antero-posterior y truncado en el extremo posterior; poseen dos ganchos en la boca fuertemente desarrollados y de igual tamaño. Las características morfológicas de identificación se encuentran en el segmento caudal, el aparato bucofaríngeo y los espiráculos anteriores y posteriores (Figura 2) (EPPO 2019; Weems *et al.* 2001).

Las pupas están en el suelo bajo la planta huésped. Constan de una cápsula de forma cilíndrica con 11 segmentos, de color café oscuro. Este estadio es afectado por la temperatura y por la humedad relativa atmosférica, la cual incide mayormente sobre la emergencia de las formas adultas (Soto-Manitiu *et al.* 1997).

El estado adulto se desarrolla durante todo el año, en algunos sitios estacionalmente. La relación hembra:macho es de 1:1. Los adultos se alimentan de hidratos de carbono y proteínas que se encuentran sobre la superficie de las hojas, obtenidos a través de lixiviación y procesos de gutación (Aluja *et al.* 2001a). La nervadura alar, el escutelo y el medioterguito presentan morfología y coloración según la especie (Figura 3) (Weems *et al.* 2001; Perre *et al.* 2016).


























Especie	Vista Lateral	Segmento caudal (v. lat)	Aparato buco faríngeo	Espiráculos	
				Anterior	Posterior
<i>Anastrepha suspensa</i> (Loew)	 9-13 mm	 Lóbulos anales unilobulados	 6-8 carinas	 17-19 dígitos	
<i>Anastrepha ludens</i> (Loew)	 9-11 mm	 Lóbulos anales bifidos	 12-16 carinas	 12-15 dígitos	
<i>Anastrepha obliqua</i> (Macq.)	 8-10 mm	 Lóbulos anales unilobulados	 7-9 carinas	 16-19 dígitos	
<i>Anastrepha serpentina</i> (Wied.)	 9-10 mm	 Lóbulos anales bifidos	 14-18 carinas	 16-19 dígitos	
<i>Anastrepha striata</i> Schiner	 7-9mm	 Lóbulos anales semibifidos	 5-8 carinas	 15-17 dígitos	

Figura 2. Caracteres morfológicos de larvas de algunas especies de mosca de la fruta de importancia económica (Charlin 2004).

El abdomen del adulto consta de 6 segmentos. La genitalia del macho es pequeña y en algunos casos está parcialmente expuesta. Las hembras presentan los tres últimos segmentos abdominales modificados; el séptimo segmento forma la envoltura del ovipositor; el octavo forma la estructura conocida como raspador, la cual es un sistema de ganchos o espinas y el noveno segmento ya es el oviscapto u ovipositor (Gómez 2005).

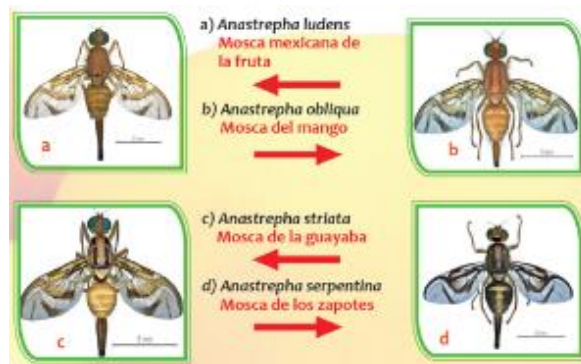


Figura 3. Comparación de adultos hembras de diferentes especies del género *Anastrepha*. (SENASICA 2015).

Comportamiento

Los hábitos alimentarios de estas moscas ocurren en una gran variedad de frutos carnosos. En general, las hembras depositan sus huevos en el interior de los frutos, las larvas se alimentan del tejido hasta desarrollarse por completo y la pupación ocurre usualmente en el suelo (Díaz-Fleischer *et al.* 2001).

Las moscas adultas después 7 a 19 días de emergencia alcanzan la madurez sexual. Los machos del género defienden territorios agregados, atrayendo a las hembras por medio de las emisiones de feromonas, señales acústicas soplo-ala (“*song*”), movimiento de las alas (“*semaphoring*”) y las extensiones de las piezas bucales. Estos “llamados” de apareamiento se dan por la mañana y por las tardes (Sivinski *et al.* 2001). Estudios revelan que la calidad en la dieta alimenticia de los machos interfiere en el éxito reproductivo.

Las hembras buscan alimento y lugar donde depositar sus huevecillos, tienen la necesidad de ingerir sustancias ricas en proteína para una adecuada carga de huevos. La selección de comida es mediada por aleloquímicos como señalizadores de fuentes de alimentación de calidad, resultando en un menor tiempo de búsqueda y menos exposición a los depredadores durante el comportamiento de pastoreo. El agua y alimento determinan en gran medida la longevidad del individuo (Gómez 2005; Cresoni-Pereira y Zucoloto 2012).

Una vez que la hembra localiza un fruto en condiciones favorables para el desarrollo de su progenie, procede con la oviposición introduciendo los huevecillos con el ovipositor en el interior del fruto hospedante (epicarpo y mesocarpo de la fruta madura). Una hembra de *A. obliqua* tiene la capacidad de ovipositar de 84 a 102 huevos en toda su vida (Soto-Manitiu *et al.* 1997) y las oviposiciones se realizan durante las horas de la mañana y por la tarde, siendo este proceso afectado por factores como la temperatura, humedad del aire, la luminosidad y la presencia de hospederos (Aluja *et al.* 2001b; Cresoni-Pereira y Zucoloto 2012).

Hospederos

La mayoría de las especies de este género en su estado larval se alimenta de pulpa de frutas de diferentes especies de plantas (Hernández-Ortiz y Aluja 1993). Existen alrededor de 40 familias de plantas reportadas como hospederos, ya sea ocasionales o frecuentes, las

más destacadas se mencionan en el Cuadro 1 (Hernández-Ortiz y Aluja 1993; Jirón *et al.* 1988; Weems *et al.* 2001). *Anastrepha obliqua* a pesar de ser polífaga, presenta una relación primordial con plantas nativas de la familia Anacardiaceae según Hernández-Ortiz y Aluja (1993).

Cuadro 1. Familias y especies hospedantes del género *Anastrepha*

Familia	Especies (nombre común)
Anacardiaceae	<i>Mangifera indica</i> (mango) <i>Spondias radlkoferi</i> (jobo verde) <i>Spondias mombin</i> (ciruela amarilla) <i>Spondias purpurea</i> (jocote) <i>Spondias tuberosa</i> (jocote) <i>Anacardium occidentale</i> (marañón)
Myrtaceae	<i>Myrciaria floribunda</i> (guayabillo) <i>Psidium guajava</i> (guayaba) <i>Psidium acutangulum</i> <i>Syzygium jambos</i> (manzana rosa) <i>Syzygium laccense</i> (manzana de agua) <i>Myrciaria cauliflora</i> (jaboticaba) <i>Eugenia uniflora</i> (pitanga) <i>Eugenia stipitata</i> (arazá)
Sapotaceae	<i>Pouteria mammosa</i> (mamey-zapote) <i>Diospyros digyna</i> (zapote negro) <i>Manilka razapota</i>
Rutaceae	<i>Citrus</i> spp. <i>Citrus aurantium</i> (naranja agria) <i>Citrus grandis</i> (toronja) <i>Citrus paradise</i> (pomelo)
Oxalidaceae	<i>Averrhoa carambola</i> (carambola)
Rosaceae	<i>Crataegus</i> sp. (tejocote) <i>Eriobotrya japonica</i> (níspero) <i>Prunus amygdalus</i> , <i>Prunus pérsica</i> var. nectarina
Euphorbiaceae	<i>Alchornea latifolia</i> (caimito)
Moracea	<i>Brosimum licastrum</i> (ojoche)
Annonaceae	<i>Annona hayesii</i> <i>Annona glabra</i>
Rubiaceae	<i>Coffea arabica</i>
Malpighiaceae	<i>Malpighia puniceifolia</i> (acerola)

Jirón y Hedström (1991) realizaron muestreos de adultos de moscas de la fruta en mango en diferentes localidades de Costa Rica, de los cuales, el 97,6 % de los insectos recolectados correspondieron al género *Anastrepha*, todos estos presentes en gran parte en la época de fructificación. Sin embargo, en este mismo estudio se observó que la diversidad de especies depende de la cantidad de plantas o árboles hospederos que se encuentren en la zona y que *A. obliqua* es la especie más común atacando mango.

Sin embargo, Peña *et al.* (1998) encontraron que las poblaciones de *A. obliqua* criadas en especies de *Spondias* tienen una mayor esperanza de vida y mejores medidas de parámetros demográficos (fecundidad y fertilidad) en comparación con las poblaciones criadas en mango. Aluja y Mangan (2008) mencionan que las especies del género *Spondias* son de mayor preferencia que *Mangifera indica* para esta especie de mosca de la fruta.

Daños

Entre los daños directos ocasionados por esta especie se pueden mencionar los ocasionados mediante la oviposición de las hembras al depositar sus huevecillos en los frutos, los cuales muestran señales de pinchazos (Gómez 2005). Así mismo, cuando las larvas se alimentan de la pulpa van dañando el fruto (Figura 4).

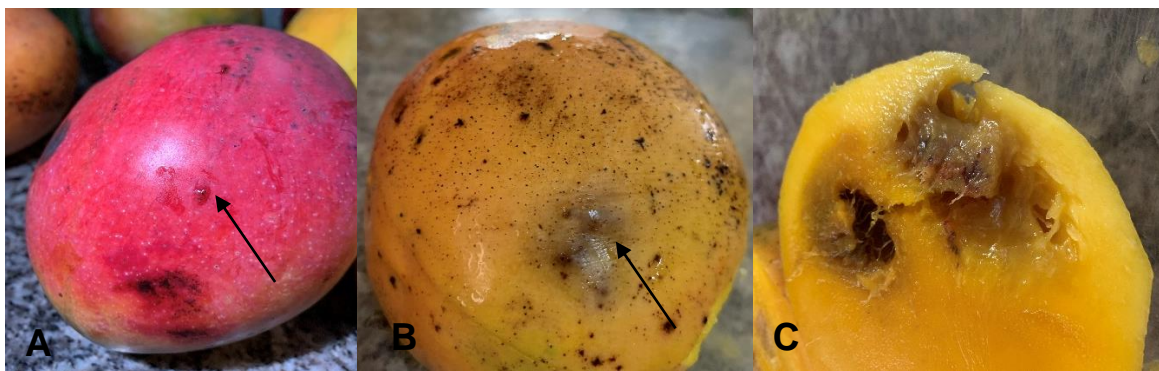


Figura 4. Daños causados por *A. obliqua*. A y B. Mangos dañados por la oviposición de hembras. C. Mangos dañados por la alimentación de larvas. Fuente: Elaboración propia.

Entre los daños indirectos se pueden mencionar la entrada de patógenos en frutos afectados, la pérdida del valor comercial de frutos, los gastos en la aplicación de productos de control, al igual que daños ambientales. También la disminución del rendimiento y la

producción y la restricción al comercio internacional por constituir plagas cuarentenarias (Gómez 2005).

Fluctuación poblacional

La abundancia y fluctuación de las moscas de la fruta varían según especie, la región, la especie y cultivar de la fruta atacada (Isabirye *et al.* 2016; Isiordia-Aquino *et al.* 2017). Por ejemplo, *A. obliqua*, reportada en mango en Brasil, presentó las mayores densidades durante el período de maduración de la fruta que coincide con un aumento de los niveles de lluvia (Nalesso *et al.* 2012). Otro factor que afecta las poblaciones de moscas de la fruta es el tipo de manejo del cultivo. Algunos agricultores, dueños de pequeños terrenos, no realizan aplicaciones de insecticidas sintéticos; ellos prefieren utilizar otras técnicas para manejar sus cultivos de una forma sostenible como el uso de trampas con atrayentes, recolección de frutos caídos, entre otros. Sin embargo, el desarrollo de prácticas alternativas no siempre es exitoso ocasionando en algunos casos, infestaciones de mosca de la fruta aún mayores que en fincas donde se cuenta con programas de aplicaciones de insecticidas sintéticos (Sinzogan *et al.* 2008; Bisotto-De-Oliveira *et al.* 2012).

En Costa Rica, el estudio de la fluctuación de poblaciones de moscas de la fruta más reciente fue publicado en 1991, donde los investigadores analizaron plantaciones de mango en Lepanto, Cañas, Buenos Aires y Orotina, mediante trampeo de adultos (Jirón y Hedström 1991). Por otra parte, la mayoría de los estudios actuales relacionados a la fluctuación poblacional se basan en el monitoreo con trampas (Nalesso *et al.* 2012; Sosa-Armenta *et al.* 2017; Dias *et al.* 2018).

1.4.3 Manejo de *Anastrepha* spp.

Control legal

Este se basa en el uso de disposiciones legales obligatorias establecidas para impedir el ingreso o la dispersión de una plaga. Incluye medidas cuarentenarias, guías fitosanitarias, programas de control, certificación de fincas, certificación de técnicas de ejecución de medidas de control, permiso de movilización de frutas y fumigación. Tienen un rango de acción muy amplio porque se fundamentan en acuerdos internacionales, regionales o locales (Torres *et al.* 2006).

Control etológico-Trampeo

El objetivo principal del control etológico mediante el uso de trampas es conocer la identidad, abundancia, distribución estacional y regional de la mosca de la fruta presentes en la zona de trabajo. Sin embargo, esta técnica ha sido de gran ayuda para el control de poblaciones mediante el uso de atrayentes. El método consiste en colocar y manejar en operación una red de trampeo estratégica, utilizando como atrayente feromonas sexuales o atrayentes alimenticios. Se utilizan trampas de color amarillo, las cuales ejercen un efecto visual sobre las moscas (Salcedo-Baca *et al.* 2010).

En la época lluviosa la eficiencia de la trampa disminuye, por la alta humedad relativa que no permite la volatilización de algunos atrayentes; en época seca la probabilidad de captura es más alta, sin embargo, la densidad de trampas dependerá de las vías de acceso, presencia, continuidad y maduración de frutos hospederos (Salcedo-Baca *et al.* 2010). Dentro de las principales trampas utilizadas para mosca de la fruta se encuentran la McPhail con proteína hidrolizada o Torula y Multilure, la cual es una versión nueva o modificada de la trampa McPhail (Figura 5) (Torres *et al.* 2006; Martínez *et al.* 2007; Martínez y Hernández 2010). Las trampas son revisadas cada 7 días y se cuantifica el número de moscas adultas, dato con el cual se calcula el índice técnico MTD (Moscas por Trampa por Día) (Martínez y Hernández 2010).



Figura 5. Trampas utilizadas para monitorear en campo adultos de *A. obliqua*. A. trampa McPhail. B. trampa Multilure (McPhail modificada).

Control mecánico-cultural

Este tipo de control consiste principalmente en la recolección diaria de frutos caídos para ayudar a romper el ciclo de vida de la mosca. Los frutos recolectados pueden enterrarse en fosas a una profundidad mayor a 60 cm, aplicando cal viva sobre la cama de frutos antes de enterrarse o bien, recolectarse en bolsas negras debidamente cerradas y exponerlas directamente al sol por al menos tres días. La temperatura alcanzada dentro de la bolsa matará las larvas. Esta técnica a pesar de que es efectiva requiere de mucha mano de obra; lo cual es una desventaja pues encarece los costos de producción (SFE 2011; Torres *et al.* 2006; Salcedo-Baca *et al.* 2010).

Otras medidas importantes son el control de malezas que crecen dentro de la plantación, ya que dificultan ver dónde cae la fruta y permite a las moscas recién emergidas hallar un refugio donde protegerse de los depredadores y las inclemencias del tiempo (Torres *et al.* 2006; Salcedo-Baca *et al.* 2010). También el rastreo del suelo para exponer a la superficie las pupas enterradas para que mueran por desecación o depredación y la poda de los árboles que facilitará el manejo y sanidad de la plantación (Torres *et al.* 2006).

Control químico

Para el combate de las moscas de las frutas es posible hacer aplicaciones selectivas. El insecticida comúnmente utilizado es el malation. En ocasiones se aplica insecticida-cebo, una mezcla de dicho insecticida con cebos con atrayente alimenticio (SFE 2011; Torres *et al.* 2006; Salcedo-Baca *et al.* 2010). Otro producto utilizado para el control de esta plaga es el spinosad (Spinoace 12 SC y SPINTOR 12 SC marca comercial en Costa Rica), que afecta los receptores modulares de la acetilcolina de los insectos (SENASICA 2015).

Otras moléculas como las cyromazinas reducen la fertilidad de *Anastrepha* spp. (Peña *et al.* 1998), la azadirachtina (Natuneem®) promueve un efecto insecticida sobre las larvas en las condiciones de campo y el extracto de pyroligneous (Pironat®) repele los adultos de *Anastrepha* spp. satisfactoriamente. Estos productos muestran una mayor eficiencia después de la segunda aplicación; sin embargo, no provocan 100 % de control de la plaga (Azevedo *et al.* 2013).

Control mediante la Técnica del Insecto Estéril

La Técnica del Insecto Estéril (TIE) consiste en la liberación de adultos de moscas de la fruta esterilizados mediante un proceso de irradiación, para asegurar que los apareamientos ocurran entre los insectos estériles y los silvestres, reduciendo con ello las poblaciones del insecto objetivo. Dichos insectos son liberados en el campo en forma periódica y en densidades que varían según la condición de la zona. Esta técnica se considera como un elemento muy importante dentro del manejo integrado de moscas de la fruta (SFE 2011; Salcedo-Baca *et al.* 2010).

Control biológico

La implementación del control biológico mediante el uso de enemigos naturales se basa principalmente en su capacidad de mantener las poblaciones de insectos plaga o patógenos a niveles suficientemente bajos de manera que no cause daños en el cultivo, es decir, por debajo del umbral de daño económico. En el caso de la mosca de la fruta se han utilizado principalmente parasitoides (Copland 2014, Cloyd 2016).

La mayor parte de los parasitoides de mosca de la fruta pertenecen al orden Hymenoptera. Específicamente hay dos familias de importancia: Figitidae-Eucoilinae (Ronquist 2006) y Braconidae; esta última familia presenta aproximadamente 14780 especies alrededor del mundo (Fernández y Sharkey 2006). En América, existen diferentes investigaciones sobre este orden tanto en sitios de cultivo de frutas comerciales como en áreas silvestres o bosques (Schliserman *et al.* 2010; Ovruski *et al.* 2008; Ledezma *et al.* 2013; Canal *et al.* 1994; Aluja *et al.* 2009; Cancino *et al.* 2008; Medianero *et al.* 2006).

Estudios realizados por Schliserman *et al.* (2010) y Ovruski *et al.* (2008) describen parasitoides de la especie *A. fraterculus* en Argentina, entre las cuales se encuentran *Doryctobracon areolatus* (Szépligeti), *Doryctobracon brasiliensis* (Szépligeti), *Utetes anastrephae* (Viereck), *Opius bellus* Gahan, *Diachasmimorpha longicaudata* (Opiinae, Braconidae), *Odontonema anastrephae* Borgmeier, *Lopheucoila anastrephae* (Rohwer), *Aganaspis pelleranoi* (Brèthes) (Eucoilinae, Figitidae), *Asobara anastrephae* Muessebeck (Alyssinae, Braconidae) y *Aceratoneuromyia indica* (Silvestri) (Tetrastichinae, Eulophidae). Todos estos parasitoides, con excepción de *D. longicaudata* y *A. indica*, son nativos del Neotrópico.

Por otra parte, *Doryctobracon* y *Opius* son los géneros predominantes en zonas silvestres y plantaciones de diversos frutos en Bolivia según Ledezma *et al.* (2013). Canal *et al.* (1994) describen a *D. areolatus* como especie de parasitoide de *Anastrepha* más abundante en Brasil. En México han descrito las especies *D. areolatus*, *D. crawfordi* (Viereck), *U. anastrephae*, *D. longicaudata*, *Opius hirtus* Fisher, *A. pellenaroi*, *O. anastrephae*, *Diachasmimorpha tryoni* (Cameron), *Fopius arisanus* (Sonan) y *A. indica* (especie introducida) asociadas a *A. obliqua*, *A. striata*, *A. ludens* tanto en plantaciones comerciales de mango (*M. indica*), como en especies del género *Spondias* y otros frutos silvestres (López *et al.* 1999; Avendaño 2006; Cancino *et al.* 2008). En Panamá encontraron que la especie de parasitoide más abundante fue *Doryctobracon zeteki* (Muesebeck), seguido de *D. crawfordi*, luego *Doryctobracon auripennis* (Muesebeck) y *O. bellus* (Medianero *et al.* 2006).

En Centroamérica, los datos encontrados se basan en los estudios realizados en Costa Rica por Wharton *et al.* (1981). Estos investigadores realizaron una búsqueda de parasitoides de *Anastrepha* spp. y *C. capitata*, en la cual encontraron a *Biosteres* (= *Diachasmimorpha*) *longicaudatus*, *B. oophilus*, y dos Figitidae (superfamilia Cynipoidea) *Ganaspis carvalhoi* Dettmer y *Odontosema anastrephae* Borgmeier, además de *D. areolatus*. Años después Jirón y Manitiu (1987) hallaron las especies *Trybliographa* spp., *D. crawfordi*, *Aceratoneuromyia indica* (citado como *Syntomosphyrum indicum*) y *Trichopia* sp. (Diapriidae). parasitoides del género *Anastrepha* en diferentes especies de plantas en este mismo país.

Es importante mencionar que la especie *D. longicaudata* ha sido ampliamente estudiada y reproducida para el control de mosca de la fruta (Ovruski y Schliserman 2012; Ovruski *et al.* 2003; Montoya *et al.* 2012); además de las especies *U. anastrephae* y *D. areolatus* (Torres *et al.* 2006; Salcedo-Baca *et al.* 2010; Murillo *et al.* 2015, Montoya *et al.* 2000). El Servicio Fitosanitario del Estado Costarricense (2011) ha utilizado el parasitoide *D. longicaudata* principalmente para el control de *C. capitata*, con la recomendación de liberar 1000 – 1500 parasitoides por hectárea cada 2 semanas. Este organismo recalca la importancia de que el uso eficiente de varios métodos de control simultáneamente permite disminuir significativamente la población plaga reduciendo a la mitad su efecto negativo.

1.4.4 Parasitoides

Según Helyer *et al.* (2014), un parasitoide es un organismo que forma una relación no mutualista beneficiándose a expensas de un organismo de otra especie conocida como huésped. Los parasitoides suelen depender de su huésped durante parte de su ciclo de vida; por lo general, en su estado larval viven dentro del organismo huésped y en etapa adulta son de vida libre. Estos organismos llegan a matar al huésped, lo cual es beneficioso en términos de control biológico. La mayoría de los parasitoides utilizados en el control biológico de plagas de insectos pertenecen a dos órdenes: Hymenoptera y Diptera (moscas, en particular de la familia Tachinidae) (Koul y Dhaliwal 2003).

Muchos de estos insectos son parasitoides solo en su etapa inmadura o larva. Por lo general, consumen la totalidad o la mayor parte del cuerpo del huésped y luego empupan, dentro o fuera de su cuerpo. Cuando el adulto emerge de la pupa, realiza nuevamente una búsqueda de huéspedes para ovipositar e iniciar una nueva generación. La mayoría de los parasitoides en su etapa adulta requieren alimentos como rocío de miel, néctar, polen o fluidos corporales de los mismos huéspedes (Helyer *et al.* 2014).

Aspectos biológicos: Tipos

Los parasitoides se clasifican en dos grupos básicos: idiobiontes y koinobiontes. Los idiobiontes pueden ser ectoparasitoides o endoparasitoides, y los koinobiontes son casi siempre endoparasitoides. Ambos están ampliamente distribuidos y son comunes dentro de los Hymenoptera parasitoides.

Los idiobiontes eclosionan y comienzan a alimentarse inmediatamente después de que el huevo es colocado y el huésped presenta poco o ningún desarrollo posterior a la oviposición del parasitoide (Wharton *et al.* 1998; Fernández y Sharkey 2006). Ovruski *et al.* (2000) comentan que los principales géneros de parasitoides idiobiontes de *Anastrepha* son: *Coptera* y *Trichopria* (Diapriidae) y tres especies polífagas, *Pachycrepoideus vindemiae* Rondani, *Spalangia cameroni* Perkins, y *Spalangia endius* Walker (Pteromalidae).

En contraste, los koinobiontes retardan su propio desarrollo permitiendo al huésped alimentarse, y desarrollarse durante un tiempo posterior al ataque (Fernández y Sharkey 2006). Típicamente, el huevo del koinobiontes eclosiona y el primer instar larval migra hasta un lugar protegido dentro del huésped. Usualmente el sistema inmune de éste está

comprometido por sustancias que fueron inyectadas por las hembras durante la oviposición (Wharton *et al.* 1998). Los parasitoides de la subfamilia Opiinae (Hymenoptera: Braconidae) son koinobiontes endoparásitos de huevos-larvas o de larvas (Quilici y Rouse 2012; Joyce *et al.* 2010; Wharton *et al.* 1998). Por ejemplo, el género *Doryctobracon* constituye el 27 % de las especies de parasitoides de *Anastrepha* y comparte una estrecha historia evolutiva con este género (Murillo *et al.* 2015).

Localización del huésped

Usualmente, la hembra adulta es la encargada de localizar el huésped. Existen varias estrategias para la localización y frecuentemente las especies usan una combinación de métodos. Las extensiones de los órganos subgenuales presentes en miembros de las superfamilias Ichneumonoidea, Proctotrupeoidea y Evanioidea es una de estas estrategias (Fernández y Sharkey 2006).

Entre los estudios realizados con parasitoides de moscas de la fruta, se ha determinado que estos individuos responden principalmente a estímulos olfativos, kairomonas depositadas por las hembras tefrítidas y a señales químicas emitidas por la larva huésped (Fernández y Sharkey 2006; Quilici y Rouse 2012; Benelli *et al.* 2014). También, se ha descrito la presencia de sustancias volátiles en la fruta que ayudan a la localización de sitios de oviposición de especies de parasitoides como *Diachasmimorpha kraussii* (Fullaway) (Quilici y Rouse 2012).

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 Sitios de estudio

Los muestreos se realizaron en las localidades de Orotina, San Mateo y Atenas, Alajuela, Costa Rica. Orotina y San Mateo se tomaron como una sola localidad ya que las fincas presentaban características en altitud, clima y topografía similar (Figura 6). Ambas localidades pertenecen a la Región Pacífico Central, a una altitud comprendida entre 120-350 msnm, la zona de vida predominante según Holdridge (1977) es bosque húmedo tropical, con una temperatura promedio de 30°C pero durante los meses de diciembre a abril pueden llegar a ascender hasta 38°C o más. Presentan precipitaciones entre 1500 y 2000 mm anuales, la época de lluvias más persistente está comprendida entre mayo y noviembre. Su topografía es plana.

Atenas pertenece a la Región Central Occidental, a una altitud de 800 a 1537 msnm, la zona de vida principal es bosque húmedo tropical (Holdridge 1977), con temperatura promedio entre 21°C y 28 °C. La precipitación promedio anual es de unos 2000 mm, con una distribución bastante uniforme durante la época lluviosa de aproximadamente siete meses, comprendidos de mayo a noviembre y una estación seca bastante definida, de diciembre a abril. Su topografía tiene una pendiente de hasta un 80% (Figura 6).

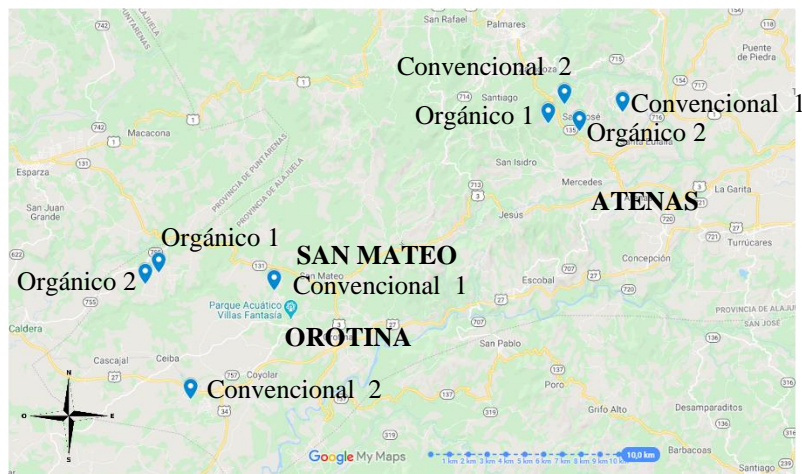


Figura 6. Ubicación geoespacial de los sitios de estudio en Orotina-San Mateo y Atenas, Alajuela, Costa Rica, 2018.

Los estudios se realizaron en dos fincas con manejo convencional y dos fincas con manejo orgánico en cada localidad. En el primer caso, las fincas correspondieron a parcelas donde se aplicaban insecticidas químicos sintéticos para el manejo de mosca de la fruta (Cuadro 2); en el segundo caso, no se realizaban aplicaciones de insecticidas sintéticos, sino que se efectuaba un control mecánico de malezas y recolección de frutos caídos. Todas las plantaciones estaban sembradas con la variedad de mango Tommy Atkins, con una edad aproximada de entre 10 a 15 años desde su establecimiento, con árboles injertados. La densidad de siembra fue de 80 a 100 árboles.ha-1 y el tamaño de cada finca varió entre 1,4 a 1,8 has.

Cuadro 2. Plan de aplicaciones químicas para moscas de la fruta en fincas con manejo convencional.

Localidad	Finca	Insecticida aplicado	Dosis	Frecuencia de aplicación	Modo de aplicación
Orotina-San Mateo	1	Lamdacihalotrina + tiametoxán	0,15 L.ha-1 600 g.ha-1	1 vez al inicio de maduración de la fruta	Aspersión foliar y en fruta con bomba estacionaria
	2	Deltrametrina	0,4 L.ha-1	Cada 15 días desde que el fruto sazona	Aspersión foliar y en fruta con bomba estacionaria
Atenas	1	Spinosad	4 L.ha-1 (50 mL.árbol)	Cada 8 días, iniciando cuando se detecta la plaga.	Aspersión foliar con bomba
		Lorban	0,5 L.ha-1	Cada 15 días en periodo de cosecha	Aspersión al suelo
	2	Deltrametrina	0,4 L.ha-1	Cada 15 días desde que el fruto sazona	Aspersión foliar y en fruta con bomba estacionaria

2.2 Muestreos de mosca de la fruta y sus parasitoides.

Se realizaron muestreos cada 15 días durante el periodo de cosecha de mango (aprox. 2,5 meses) en cada localidad (en Orotina-San Mateo correspondió de marzo a mayo y en Atenas de junio a agosto) durante el año 2018. Para determinar dicho periodo se dio seguimiento a la fenología del cultivo en cada zona, de acuerdo con los datos de floración proporcionados por los productores. Cada muestreo consistió en la recolección de 25 frutos

de mango al azar en cada finca, para un total de 100 frutos por localidad. Los frutos de mango presentaban madurez de cosecha (maduro verde o “pintones”) a maduro para consumo dependiendo el avance de los muestreos. La colecta de frutos se realizó directamente de los árboles, para lo que se utilizó un poste de madera con una canasta en el extremo, esta se colocó debajo de la fruta y se agitó la rama suavemente para desprender la fruta. Los frutos se colocaron individualmente en bolsas plásticas (polietileno), se rotularon de acuerdo con el sitio de colecta, cultivo, hora y fecha y se trasladaron en cajas de “estereofón” (poliestireno expandido) para evitar daños. Las muestras recolectadas se trasladaron al laboratorio de biotecnología del Colegio Técnico Profesional Piedades Sur, San Ramón, Alajuela, Costa Rica.

Cada muestra se lavó con agua potable, se desinfectó superficialmente con Hipoclorito de Sodio al 1 % i.a durante 1 min y posteriormente se registró su peso en una balanza granataria marca K-tron modelo DS-1. La fruta se incubó individualmente en cámaras de cría debidamente rotuladas (recipiente de plástico poliestireno, de 1750 mL, 11x17 cm de altura y diámetro superior, color blanco, con una abertura para aireación de 10 cm de diámetro en la tapa, en la que se colocó tela de tergal) con una base de vermiculita estéril, humedecida al 20 %. Las muestras se colocaron en estantes a 28 ± 2 °C y 50-70 % HR, se revisaron dos veces a la semana, verificando la presencia de larvas o pupas en el sustrato. En los casos en los que la fruta empezó a pudrirse, se retiró de los recipientes y se disectó para registrar y separar las larvas o pupas que todavía permanecían en su interior. Los adultos de parasitoides o moscas de la fruta emergidas se colocaron en viales con alcohol 70° para su identificación.

2.3 Identificación de moscas de la fruta presentes

La identificación de los adultos de las moscas de la fruta Tephritidae por género y especie se realizó bajo estereoscopio/microscopio mediante el uso de claves taxonómicas tomando en cuenta caracteres morfológicos como el diseño torácico, el diseño alar y la genitalia femenina (Norrbon *et al.* 2012; Hernández-Ortiz *et al.* 2010; Martínez-Alava 207).

2.4 Identificación y caracterización de especies de parasitoide

Los parasitoides adultos emergidos fueron identificados por género y especie mediante la examinación bajo el estereoscopio y el uso de claves taxonómicas basadas en la

diferencia de las nervaduras alares, la disposición de las mandíbulas, la morfología del propodio y la presencia o ausencia de carenas en la tibia (Wharton *et al.* (1998). Dicha identificación fue corroborada por el Dr. Paul Hanson de la Escuela de Biología, Universidad de Costa Rica.

A cada individuo identificado se le realizó una caracterización morfológica, debidamente documentada mediante fotografías tomadas con Técnica de Apilado con cámara Nikon 5200, lente de aumento 4x y lente macro 1:1 de 60 mm, fuelle 0~10 cm. Se utilizó el *software* Zerene Stacker, version 1,04 (Zerene Systems- LLC 2019).

2.5 Desarrollo de las poblaciones de mosca de la fruta (*Anastrepha* spp.) y parasitismo

Como variables estimativas del nivel de desarrollo de la población de moscas de la fruta se consideraron

- El porcentaje de frutos con daño por mosca de la fruta para cada tipo finca en cada localidad (indiferentemente de la especie de mosca de la fruta) se calculó como:
% frutos con daño= [(número de frutos con larvas / total de frutos analizados) x 100].
- El índice de infestación: número de larvas o pupas obtenidas de una muestra /peso en kg de la muestra. Se calculó el índice de infestación general y el índice de infestación para cada especie de mosca de la fruta.

Se calculó el porcentaje de parasitismo general y para cada especie de parasitoide identificado como:

- % parasitismo= [(número de parasitoides emergidos/número de pupas de mosca recuperadas de los frutos) x 100].

2.6 Identificación de diversidad de flora en los sistemas de estudio

Se realizó una identificación de la diversidad de flora dentro de las fincas y en zonas aledañas en ambos sistemas y localidades para determinar hospederos alternativos de la mosca de la fruta y posibles plantas nectaríferas que proporcionen alimento a los adultos de los parasitoides, de acuerdo con lo reportado en la literatura. Para ello se estableció toda la parcela y su entorno inmediato (aprox. 3m a partir del límite de la finca) como zona de estudio. Dicha zona fue recorrida y se hicieron evaluaciones cualitativas durante el periodo

de muestreo de frutos, consistentes en el registro de la presencia e identificación de las especies de flora que estuvieran en floración y/o fructificación. Si la especie no fue identificada en campo, la muestra se fotografió y se recolectaron especímenes que luego se prensaron y se prepararon para su secado. Para la identificación de las plantas o árboles se utilizó el catálogo de Malezas de Costa Rica y Mesoamérica en línea (Soto *et al.* 2011) y la base de datos Trópicos (2019).

2.7 Análisis estadístico

Los porcentajes de fruto con daño por mosca de la fruta fueron agrupados de acuerdo con el manejo, la localidad y fecha de visita, y se evaluaron estadísticamente mediante un Modelo Lineal Generalizado Mixto, donde se tomó como efecto aleatorio las fincas y las visitas (fecha de muestreo), y como efectos fijos la localidad y el manejo. Se creó una variable binaria (0 y 1) que indicara si la fruta presentaba o no moscas de la fruta. Se agregó el peso como una covariable ya que podría influir en la presencia de moscas pues a mayor tamaño (peso) hay probabilidad de mayor cantidad de moscas presentes. Se tomó en cuenta la finca y también la fecha de muestreo ya que todos los frutos en un mismo muestreo están correlacionados. Finalmente se incluyen los dos factores que se quiere investigar: localidad y manejo. El nivel de significancia utilizado fue 0,05; mediante el uso del *software* R versión 3,6,1 y la librería “lme3” (R Development Core Team, 2015).

El índice de infestación de mosca de la fruta se analizó sólo de forma descriptiva. La variable porcentaje de parasitismo no se analizó estadísticamente debido a que solo se obtuvieron parasitoides en una sola finca.

3. RESULTADOS

3.1 Especies de mosca de la fruta presentes

Se identificaron tres especies de mosca de la fruta pertenecientes a dos géneros en las diferentes fincas de acuerdo con las características morfológicas distintivas de cada especie. La primera especie fue *C. capitata*, caracterizada por ser un tercio menor a la mosca casera (*Musca domestica*), de color café, casi negro con marcas marfil- amarillo brillante en la parte dorsal del tórax (Figura 7A); la segunda especie *A. ludens* presenta un tamaño medio y es de color amarillo- café (Figura 7B) y *A. obliqua* es de tamaño medio y color amarillo-café (Figura 7C).



Figura 7. Vista lateral de las especies de mosca de la fruta identificadas en fincas convencionales y orgánicas en Orotina-San Mateo y Atenas, Alajuela, Costa Rica, 2018. A. *Ceratitidis capitata* B. *Anastrepha ludens* C. *Anastrepha obliqua*.

Ceratitidis capitata tiene el tórax de color gris blanquecino, con manchas negras características y setas largas, el escutelo es también negro brillante con excepción de una línea angosta, ondulada y amarilla través de su base (Figura 8A). El subescutelo de *A. ludens* siempre tiene manchas oscuras laterales, que en ocasiones se extienden al medioterguito y presenta una mancha en la sutura escuto-escutelar (Figura 8B). Mientras que *A. obliqua* tiene el subescutelo completamente amarillo y solo el medioterguito tiene manchas café oscuro laterales; *A. obliqua* a diferencia de *A. ludens*, no tiene la mancha central café en la sutura escudo-escutelar (Figura 8C).

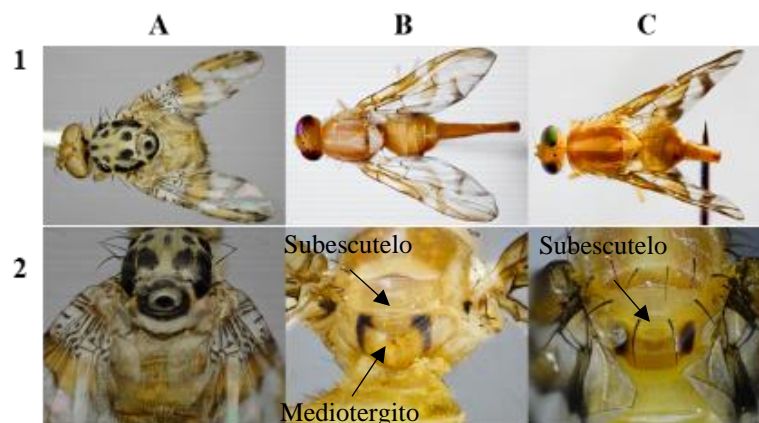


Figura 8. Vista dorsal (1) y postero dorsal del medio terguito y subescutelo (2) de las especies de mosca de la fruta identificadas en fincas convencionales y orgánicas en Orotina-San Mateo y Atenas, Alajuela, Costa Rica, 2018. A. *Ceratitits capitata* B. *Anastrepha ludens* C. *Anastrepha obliqua*.

Las alas de *C. capitata* tienen numerosos puntos redondos y alargados café oscuro o negros en la parte basal, posee una banda vertical ancha de color amarillo en la parte media que se extiende del margen costal a las venas capitales, la celda R2 está casi llena por una mancha grande de color café amarillento extendida hasta el ápice (Figura 9A). Las alas de *A. ludens* son color naranja-café pálido, tienen la banda S completa y se une ligeramente a la banda costal, la banda V generalmente no conectada con la banda S y con brazos separados en el vértice superior (Figura 9B). Finalmente, las alas de *A. obliqua* tienen bandas café-naranja-amarillo, el brazo distal de la banda S con desarrollo normal, que no alcanza el ápice de la vena M; banda S generalmente unida con la banda V, esta última siempre está completa, la banda costal y S unidas en la vena R4+5 (Figura 9C).

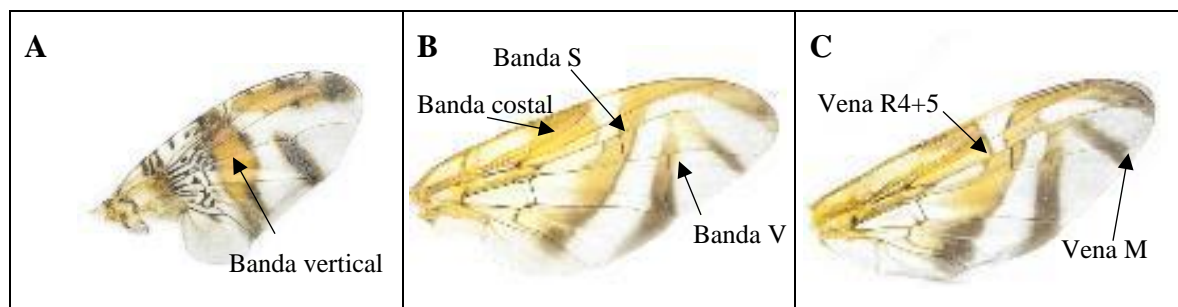


Figura 9. Patrones de coloración alar de las especies de mosca de la fruta identificadas en fincas convencionales y orgánicas en Orotina-San Mateo y Atenas, Alajuela, Costa Rica, 2018. A. *Ceratitits capitata* B. *Anastrepha ludens* C. *Anastrepha obliqua*.

3.2 Identificación y caracterización morfológica de especies de parasitoides

Se recolectó un total de 1200 frutos de mango, de los cuales se obtuvieron 21 parasitoides de larvas/pupas de especies del género *Anastrepha*. Todos estos parasitoides se obtuvieron en la localidad de Atenas, específicamente de la finca orgánica 2 (Cuadro 3). En este estudio no se recuperó ninguna especie de parasitoides de la localidad Orotina-San Mateo, ni en fincas convencionales.

Todos los parasitoides recuperados pertenecían a la familia Braconidae, subfamilia Opiinae. El 85,71 % de estos individuos correspondieron a la especie *D. longicaudata*, seguida por dos individuos (9,52 %) que no se lograron identificar (subfamilia Opiinae) y uno *Doryctobracon anastrephilus* (Marsh) (4,76 %) (Cuadro 3).

Cuadro 3. Especies y cantidad de parasitoides colectados a partir de mosca de la fruta *Anastrepha* spp. (Tephritidae) en frutos de mango (*Mangifera indica* cv. Tommy Atkins) bajo sistema de manejo orgánico en Atenas, Alajuela, Costa Rica, durante la cosecha 2018.

Especie identificada	Familia-Subfamilia	Total de individuos	Frecuencia de ocurrencia (%) (N=21)
<i>Diachasmimorpha longicaudata</i>	Braconidae: Opiinae	18	85,71
<i>Doryctobracon anastrephilus</i>	Braconidae: Opiinae	1	4,76
Sin identificar	Braconidae: Opiinae	2	9,52

La subfamilia Opiinae se caracteriza por tener las alas delanteras con la segunda celda submarginal presente y muy alargada a lo largo del eje del ala; no tienen superposición de mandíbulas; además los individuos de esta subfamilia han perdido la carina epicnemial y a veces parte de la carina occipital. Los adultos de *D. longicaudata* presentan un cuerpo color amarillo-anaranjado con alas hialinas (Figura 10A). *Doryctobracon anastrephilus* presenta una coloración café en el tórax y abdomen; la cabeza, el fémur y la tibia son de color café oscuro casi negro; sus alas son color café claro (Figura 10B). El individuo no identificado de la subfamilia Opiinae es de color anaranjado en el tórax y abdomen; cabeza de color negro; la coxa 3, el fémur y parte de la tibia de las patas son negras; las alas delanteras son anaranjadas con las puntas oscurecidas casi negras (Figura 10C).

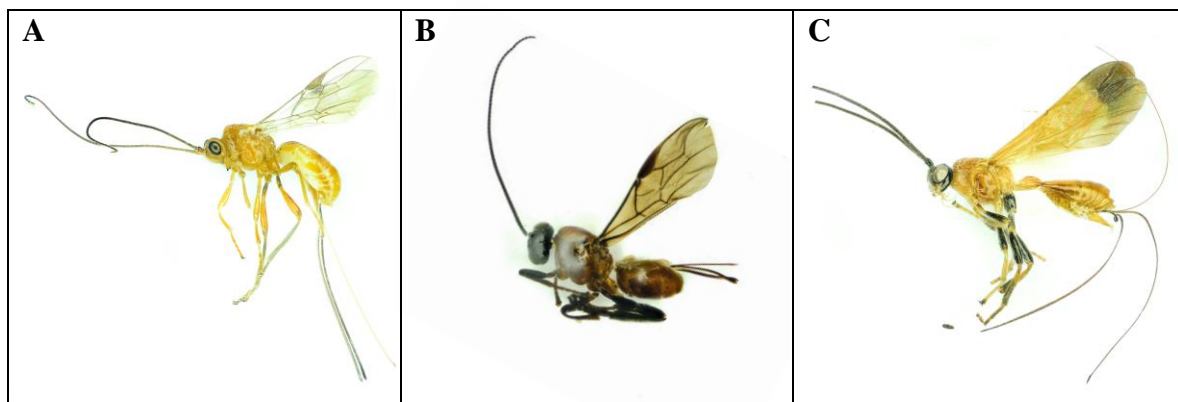


Figura 10. Adultos de especies de parasitoides (Braconidae: Opiinae) de mosca de la fruta *Anastrepha* sp. (Tephritidae) identificadas en una finca orgánica en Atenas; Alajuela, Costa Rica, 2018. A. *Diachasmimorpha longicaudata* B. *Doryctobracon anastrephilus* C. Especie sin identificar.

La especie *D. longicaudata* se caracterizó por poseer adultos con presencia lateral de carena occipital (Figura 11A). La superficie externa del clípeo es convexa ligeramente sinuada, los márgenes ventrales del clípeo son delgados y completamente oculto; el labro está cubierto casi en su totalidad cuando las mandíbulas están cerradas (Figura 11B). El triángulo ocelar está dispuesto para formar un triángulo obtuso con una ligera depresión antecedente del ocelo mediano (Figura 11C).

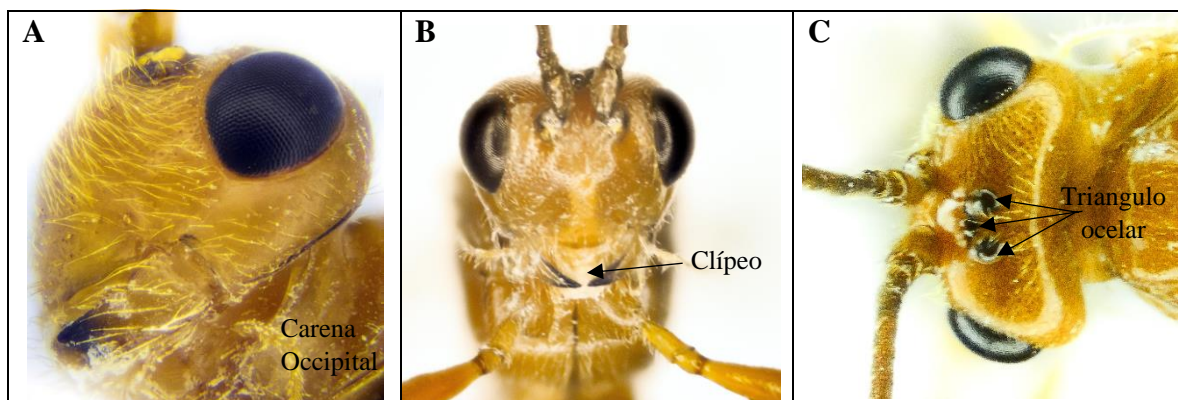


Figura 11. Cabeza de adulto de *Diachasmimorpha longicaudata* (Braconidae: Opiinae) identificado en una finca orgánica en Atenas; Alajuela, Costa Rica, 2018. Vistas A. lateral B. frontal C. dorsal.

Diachasmimorpha longicaudata no presenta carena en la base de la tibia (Figura 12A). En el tórax, el notauli es profundo, ancho, sin escultura (Figura 12C); y el propodeo

irregularmente areolado, con una carena mediana longitudinal que se extiende desde el margen anterior hasta la areola (Figura 12B y 12C).

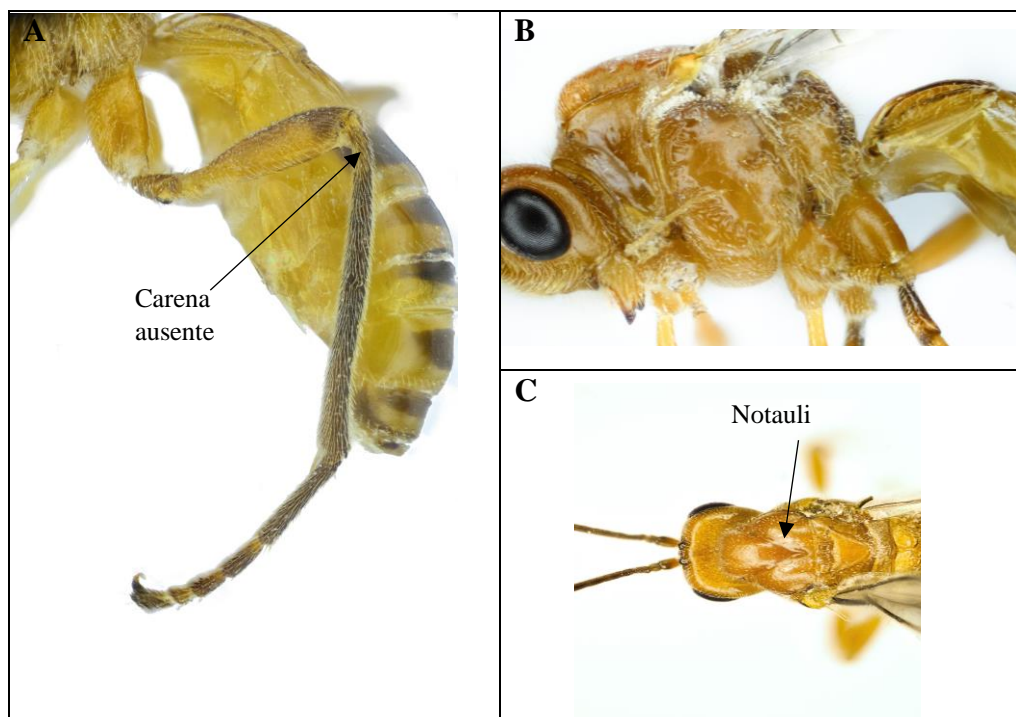


Figura 12. Patas y tórax de *Diachasmimorpha longicaudata* (Braconidae: Opiinae) identificado en una finca orgánica en Atenas; Alajuela, Costa Rica, 2018. A. pata 3 B. vista lateral del tórax C. vista dorsal del tórax.

El abdomen presenta el pecíolo estriado longitudinalmente, con carenas laterales dorsales; el tergo metasomal 2 también es estriado longitudinalmente y con presencia de franjas transversales negras subapicalmente (Figura 13A y 13B).

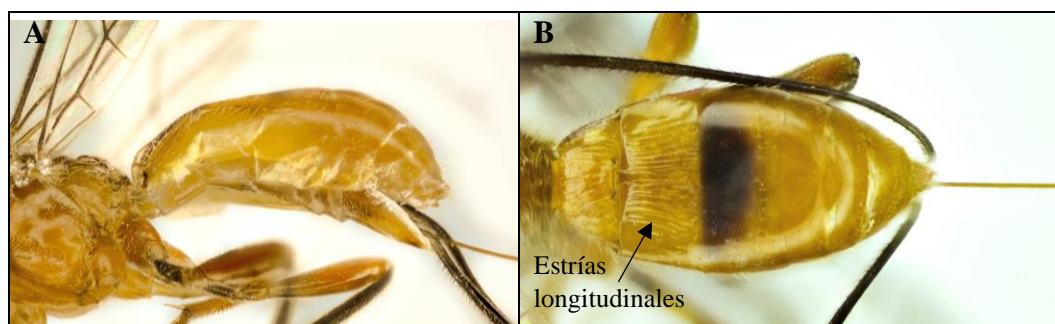


Figura 13. Abdomen de *Diachasmimorpha longicaudata* (Braconidae: Opiinae) identificado en una finca orgánica en Atenas; Alajuela, Costa Rica, 2018. Vista A. lateral B. dorsal.

En el ala anterior, la vena 2RS es un poco más larga que la 3RS, la vena RS + M es sinuosa débil, (RS + M)b ausente, m-cu surgiendo de forma distal a la vena 2RS. El estigma es corto, amplio y discreto (Figura 14A). El ala posterior tiene ausente la vena RS; la vena m-cu está bien desarrollada y pigmentada al margen del ala (Figura 14B).

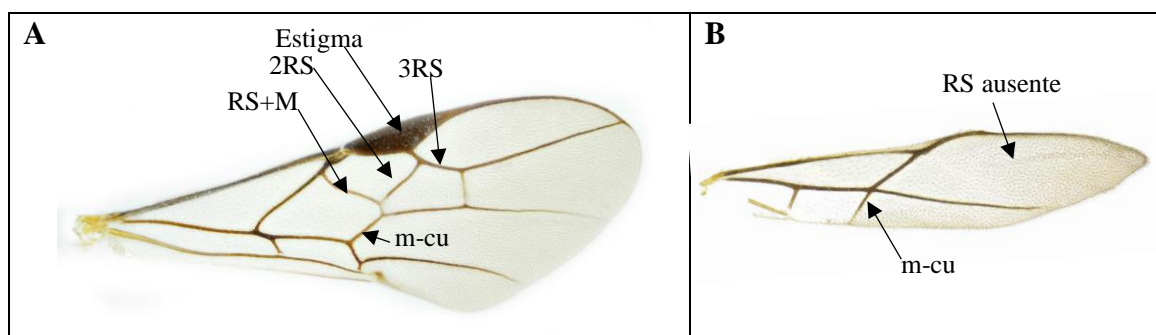


Figura 14. Alas de *Diachasmimorpha longicaudata* (Braconidae: Opiinae) identificado en una finca orgánica en Atenas; Alajuela, Costa Rica, 2018. A. ala anterior B. ala posterior.

La especie *D. anastrephilus* se caracterizó por no presentar carena occipital tanto dorsalmente como lateralmente en cabeza (Figura 15A), además de poseer el borde anterior del clípeo sinuoso y casi truncado; el labro casi completamente oculto pero expuesto debajo del margen ventral del clípeo (Figura 15B y 15C).

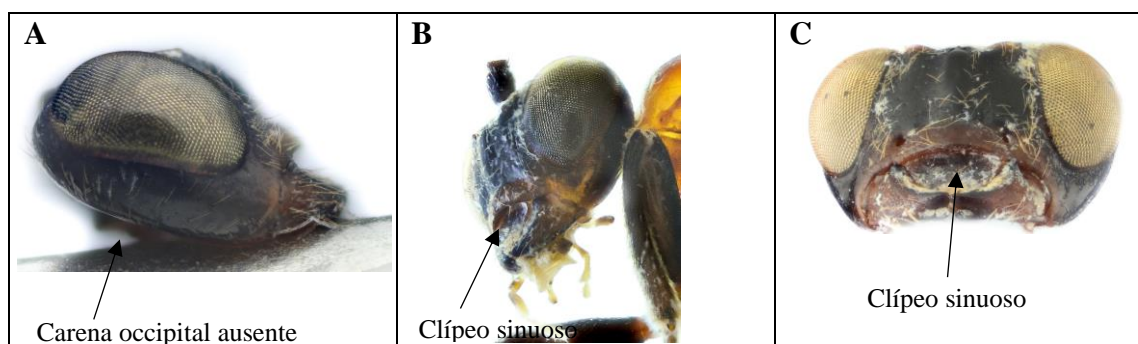


Figura 15. Cabeza de adulto de *Doryctobracon anastrephilus* (Braconidae: Opiinae) identificado en una finca orgánica en Atenas; Alajuela, Costa Rica, 2018. Vistas A. lateral B y C. frontal.

Las patas son más oscuras que el tórax y abdomen, la tibia delantera y media y el fémur son café oscuro a negro, la base de la tibia posterior con ausencia de una carena dorso-posterior (Figura 16A). La carena epicnemial está ausente en el tórax (Figura 16B), la muestra se caracterizó por poseer el propodeo areolado y un notauli profundo en el margen anterior (Figura 16C).

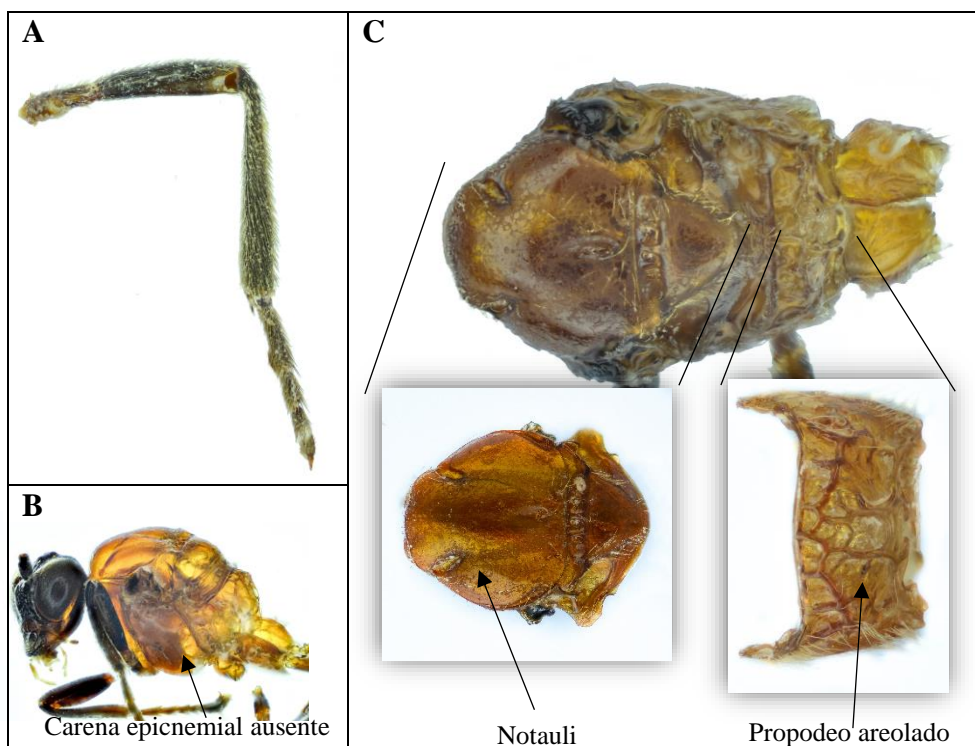


Figura 16. Patas y tórax de *Doryctobracon anastrephilus* (Braconidae: Opiinae) identificado en una finca orgánica en Atenas; Alajuela, Costa Rica, 2018. A. pata 3 B. vista lateral del tórax C. vista dorsal del tórax.

El abdomen es de color anaranjado y el ovipositor visible pero más corto con respecto al cuerpo (Figura 17A y 17B).

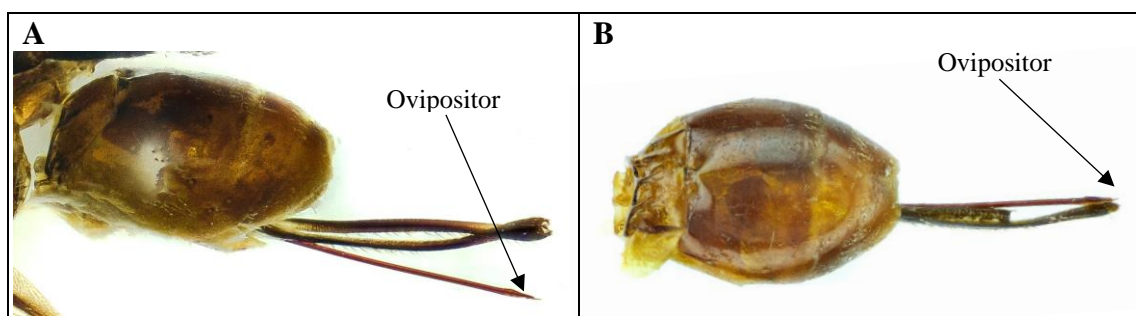


Figura 17. Abdomen de *Doryctobracon anastrephilus* (Braconidae: Opiinae) identificado en una finca orgánica en Atenas; Alajuela, Costa Rica, 2018. Vista A. lateral B. dorsal.

En las alas anteriores, la segunda célula cubital es corta; presenta la vena recurrente unida a la primera célula cubital, la vena 2RS más corta que la 3RS. La vena m-cu surge basalmente en línea con la vena 2RS, la 3RSb se completa hasta el margen del ala como una

vena tubular, la vena (RS+ M)b está ausente y el stigma no tiene borde negro tal como describe Wharton *et al.* (1978) (Figura 18A). En el ala posterior, con RS ausente basalmente, representado solo por un pliegue infumado distalmente (Figura 18B).

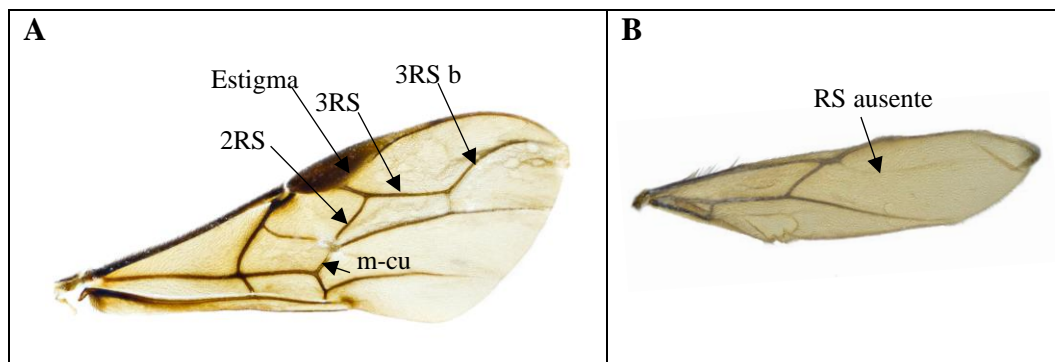


Figura 18. Alas de *Doryctobracon anastrephilus* (Braconidae: Opiinae) identificado en una finca orgánica en Atenas; Alajuela, Costa Rica, 2018. A. ala anterior B. ala posterior.

El individuo sin identificar no presentó carena occipital en la cabeza (Figura 19A y 19C). El margen del clípeo se trunca a cóncavo, formando así una abertura distinta entre el clípeo y las mandíbulas cuando las mandíbulas se cierran (Figura 19B).

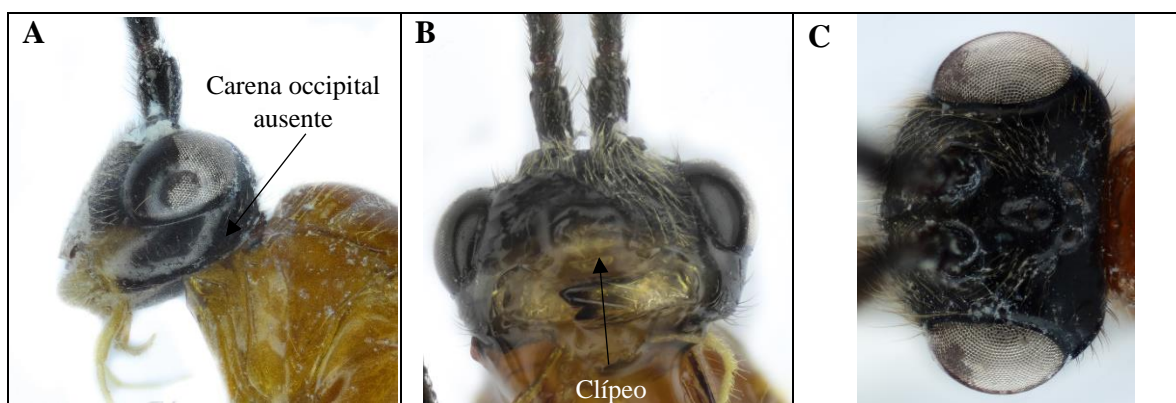


Figura 19. Cabeza de adulto de individuo sin identificar (Braconidae: Opiinae) en una finca orgánica en Atenas; Alajuela, Costa Rica, 2018. Vistas A. lateral B. frontal.

En las patas, la base de la tibia posterior presentó una carena afilada dorso-posterior (Figura 20A). En la vista lateral del tórax se puede notar la ausencia de la carena epicnemia (Figura 20B). En la vista dorsal del tórax se observa el propodeo en línea no cerrado, areolado (Figura 20C).

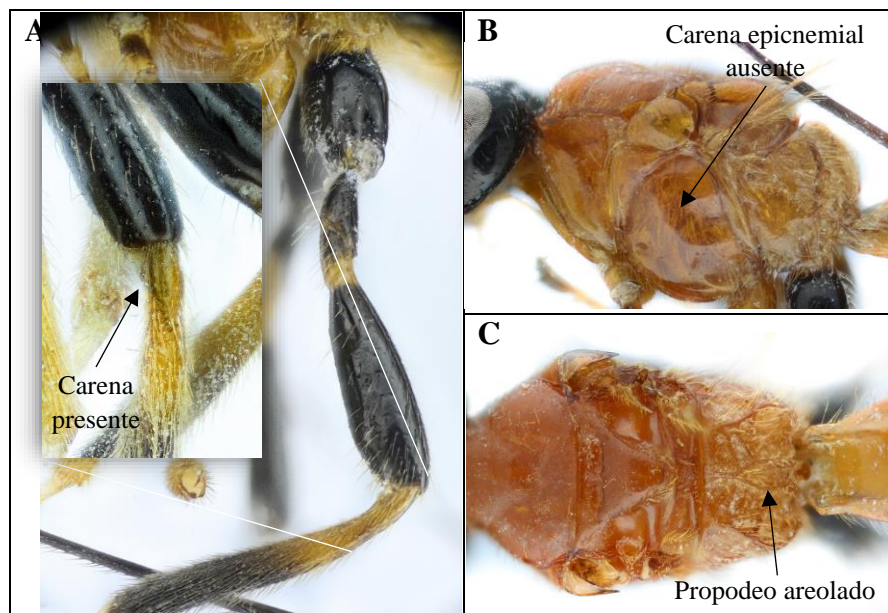


Figura 20. Patas y tórax del individuo sin identificar (Braconidae: Opiinae) en una finca orgánica en Atenas; Alajuela, Costa Rica, 2018. A. pata 3 B. vista lateral del tórax C. vista dorsal del tórax.

El abdomen presenta carenas dorsales en el primer tergo (Figura 21A) y éste es relativamente más largo que el ancho apical (Figura 21B).



Figura 21. Abdomen de individuo sin identificar (Braconidae: Opiinae) en una finca orgánica en Atenas; Alajuela, Costa Rica, 2018. Vista A. lateral B. dorsal.

En el ala anterior, la vena 2RS es aproximadamente igual que la 3RSa, la segunda celda submarginales relativamente pequeña. La vena m-cu surge en línea con 2RS y (RS + M)b ausente; el estigma presentó forma de cuña con la inserción de la R1 (Figura 22A). En el ala posterior, el posnervelo está presente y la vena m-cu está ausente (Figura 22B).

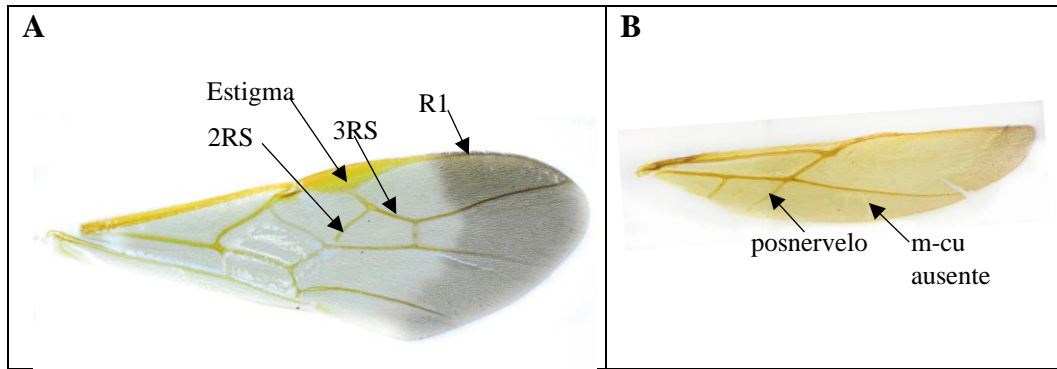


Figura 22. Alas de Individuo sin identificar (Braconidae: Opiinae) de una finca orgánica en Atenas; Alajuela, Costa Rica, 2018. A. ala anterior B. ala posterior.

3.3 Desarrollo de las poblaciones de moscas de la fruta (*Anastrepha* spp.) y parasitismo

3.3.1 Frutos con daño

Las fincas convencionales de Orotina-San Mateo no presentaron frutos con daño por moscas de la fruta. Las fincas orgánicas fueron las zonas con mayor cantidad de frutos con daño en ambas localidades (Figura 23A y 23B), por lo que existen diferencias significativas en las probabilidades de presencia de mosca entre tipos de manejo, siendo mayor la probabilidad para las fincas orgánicas (coeficiente 3,50, $p=0,009$). Por otra parte, se encontraron diferencias significativas entre la presencia de moscas de la fruta según la localidad puesto que la probabilidad asociada a ésta es menor a 0,05; que fue mayor para Atenas que para Orotina-San Mateo (coeficiente 2,66; $p=0,02$). Además, la variable peso no fue significativa en este análisis ($p=0,21$).

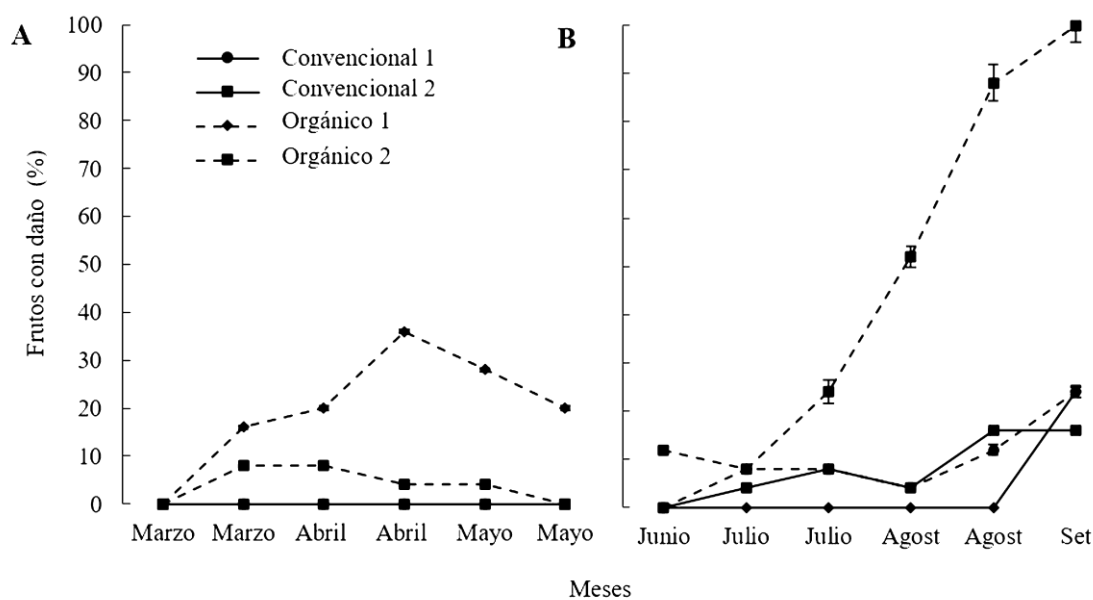


Figura 23. Porcentaje de frutos con daño por moscas de la fruta (Tephritidae) en mango (*Mangifera indica* cv. Tommy Atkins) en fincas convencionales y orgánicas en las localidades de (A) Orotina-San Mateo, (B) Atenas; Alajuela, Costa Rica; durante cosecha 2018.

3.3.2 Nivel de infestación

En general, en las diferentes localidades de estudio se observó una baja población de moscas de la fruta durante el periodo de muestreo. Los índices de infestación por tefrítidos

(indiferentemente de la especie) encontrados variaron de 0 a $57,30 \pm 7,48$ individuos/kg de fruto. Durante el periodo de marzo a mayo en Orotina-San Mateo no se observó infestación por mosca de la fruta en fincas convencionales, a diferencia de Atenas donde sí se reportó infestación en dicho manejo. El mayor número de larvas por kilogramo de fruto fue registrado en Atenas, específicamente en la finca con manejo orgánico 2 (Figura 24).

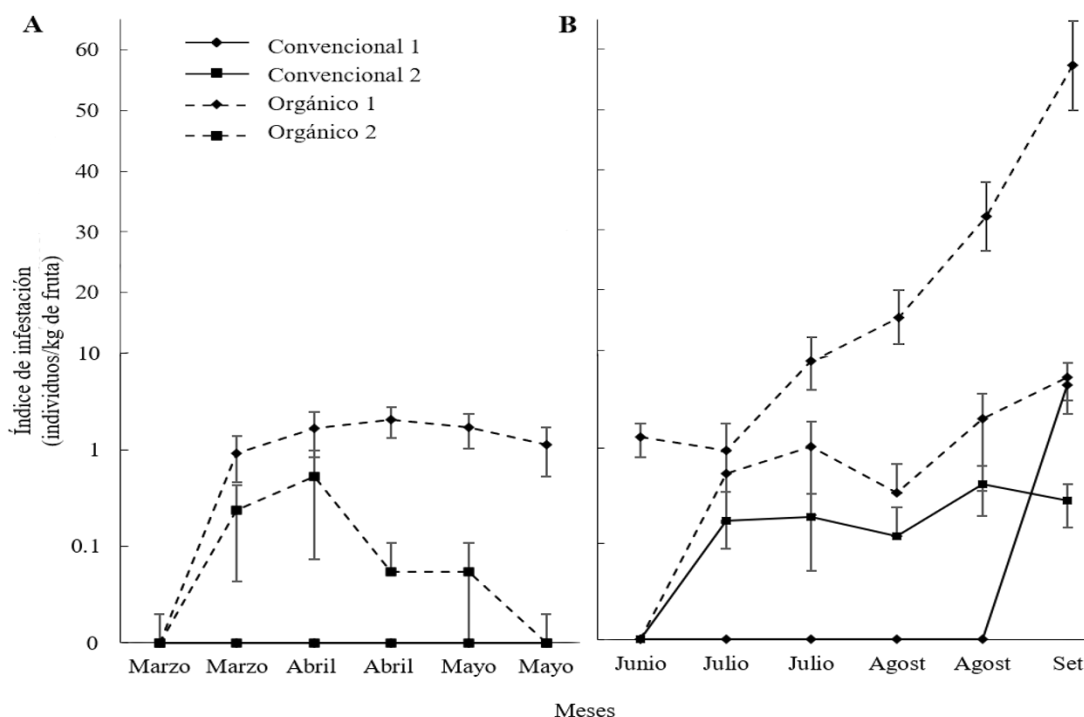


Figura 24. Índices de infestación por moscas de la fruta (Tephritidae) en frutos de mango (*Mangifera indica* cv. Tommy Atkins) en fincas convencionales y orgánicas en las localidades (A) Orotina-San Mateo, (B) Atenas; Alajuela, Costa Rica; durante la cosecha 2018.

De los 1200 frutos colectados, se encontró que la especie predominante fue *A. ludens*, con 1490 individuos (71,88 %) en total, seguida de *A. obliqua* con un total de 568 individuos (27,40 %) y *C. capitata* 15 individuos (0,72 %). La especie *C. capitata* se recolectó únicamente en una finca con manejo orgánico localizada en Orotina-San Mateo. Por otra parte, *A. obliqua* se reportó en ambas localidades y bajo los dos tipos de manejo. La especie *A. ludens* se reportó solo en fincas bajo manejo orgánico en la localidad de Atenas. Cabe resaltar que en las fincas orgánicas en Atenas se observó coinfecciones de *A. obliqua* y *A. ludens* en una misma muestra (Cuadro 4).

Cuadro 4. Especies de mosca de la fruta (Tephritidae) obtenidas de frutos de mango (*Mangifera indica* cv. Tommy Atkins) en fincas bajo sistema de manejo orgánico y convencional en las localidades Orotina-San Mateo y Atenas, Alajuela, Costa Rica, durante la cosecha 2018.

Localidad	Tipo de manejo	Especie identificada	Total de individuos	Porcentaje de individuos por especie (N=2073)
Orotina-San Mateo	Convencional 1	Ninguna	0	0
Orotina-San Mateo	Convencional 2	Ninguna	0	0
Orotina-San Mateo	Orgánico 1	<i>Anastrepha obliqua</i>	115	5,55
Orotina-San Mateo	Orgánico 2	<i>Ceratitis capitata</i>	15	0,72
Atenas	Convencional 1	<i>A. obliqua</i>	72	3,47
Atenas	Convencional 2	<i>A. obliqua</i>	19	0,92
Atenas	Orgánico 1	<i>A. obliqua</i>	45	2,17
		<i>A. ludens</i>	76	3,67
Atenas	Orgánico 2	<i>A. obliqua</i>	317	15,29
		<i>A. ludens</i>	1414	68,21

La especie *A. ludens* presentó mayor índice de infestación en relación con las demás especies identificadas ($47,06 \pm 7,06$ individuos/kg de fruta) en la finca con manejo orgánico 2 en Atenas. Agosto y setiembre fue el período de mayor infestación por esta especie en Atenas; sin embargo, a partir de julio se observó un aumento exponencial en infestación (Figura 25B). Por otra parte, la cantidad de individuos por fruto de *C. capitata* presentes en Orotina-San Mateo fueron los más bajos, mientras que en fincas de Atenas no se encontraron moscas de esta especie (Figura 25A). El índice de infestación de *A. obliqua* fue no mayor a $10,24 \pm 2,55$ individuos/kg de fruta. Esta última especie presentó un aumento de población durante los meses de agosto-setiembre en Atenas (Figura 25).

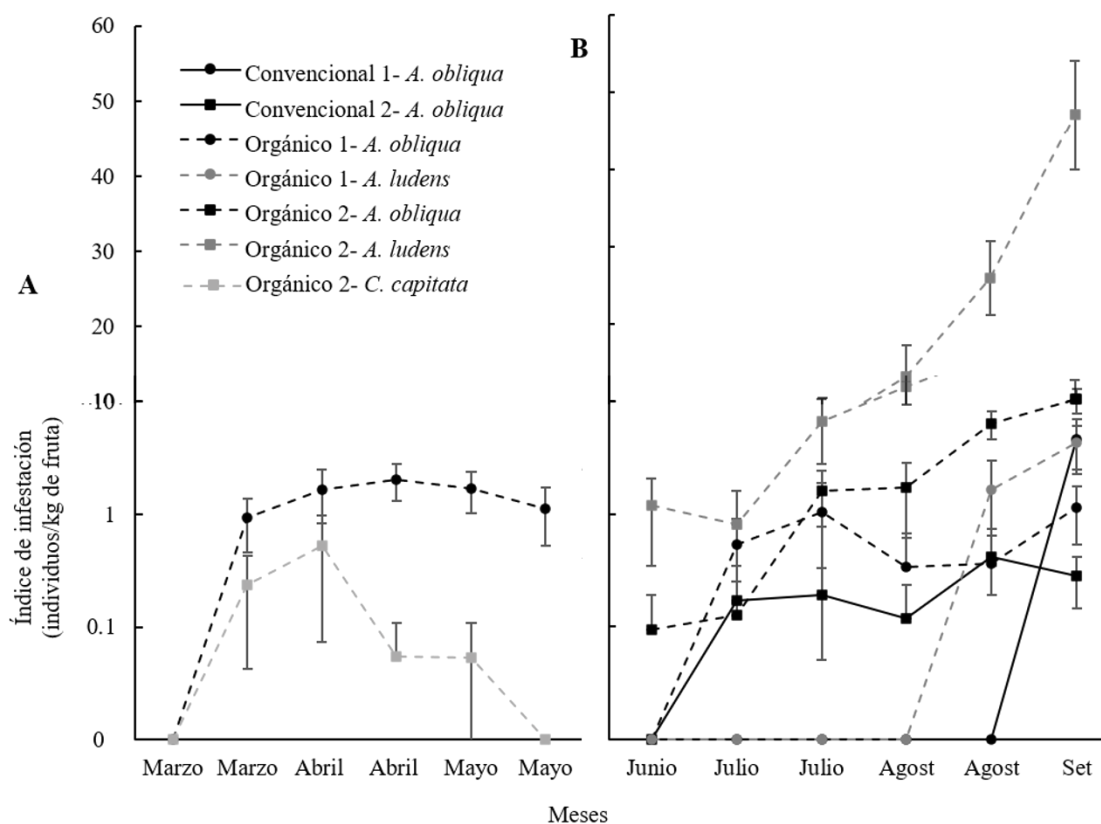


Figura 25. Índices de infestación de especies de moscas de la fruta (Tephritidae) en frutos de mango (*Mangifera indica* cv. Tommy Atkins) en fincas convencionales y orgánicas en las localidades (A) Orotina-San Mateo, (B) Atenas; Alajuela, Costa Rica; durante la cosecha 2018.

3.3.3 Parasitismo

Todas las especies de parasitoides de mosca de la fruta del género *Anastrepha* fueron encontradas en la localidad de Atenas, específicamente en la finca orgánica 2 donde se observó mayor infestación de moscas en relación con las demás fincas. El mayor porcentaje de parasitismo correspondió a la especie *D. longicaudata* (1,43 %), seguida de la especie sin identificar de la subfamilia Opiinae (0,36 %) y finalmente *D. anastrephilus* que presentó el menor porcentaje de parasitismo (0,08 %) (Figura 26). Además, se obtuvieron parasitoides de las especies *D. longicaudata* y *D. anastrephilus* en una misma muestra (mango).

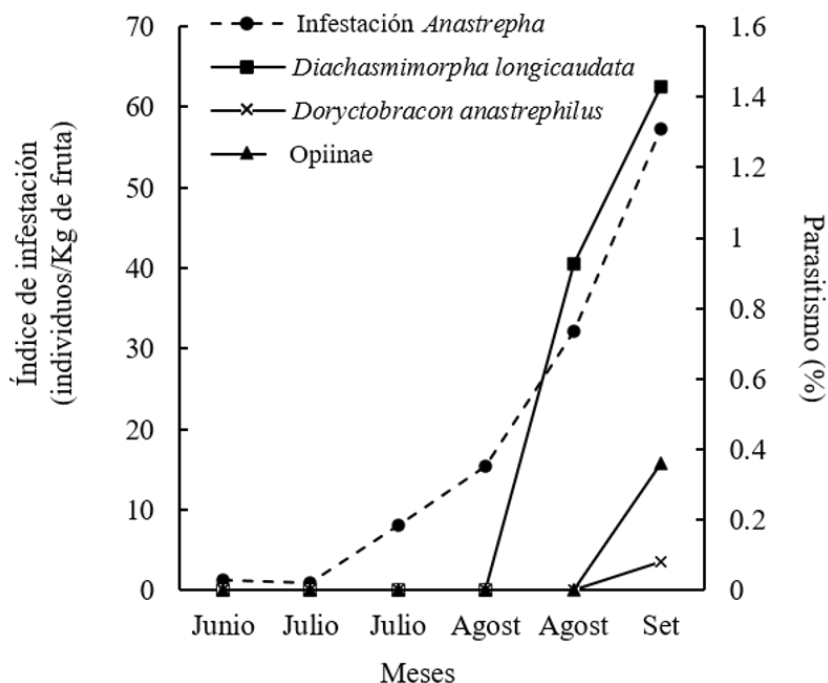


Figura 26. Porcentaje de parasitismo en comparación con el índice de infestación de *Anastrepha* (Tephritidae) en frutos de mango (*Mangifera indica* cv. Tommy Atkins) en la finca orgánica 2 en Atenas; Alajuela, Costa Rica; durante la cosecha 2018.

3.4 Identificación de diversidad de flora en los sistemas de estudio

Se realizó un listado de especies de plantas arvenses y cultivos asociados en las diferentes fincas donde se realizó el estudio. Las fincas convencionales localizadas en Orotina-San Mateo tienen la característica de estar asociadas a otras variedades de mango que son hospederas de mosca de la fruta, y al mismo tiempo rodeadas de otras plantaciones convencionales de este mismo cultivo. Las fincas orgánicas en Orotina-San Mateo se caracterizaron por poseer especies de la familia Anacardiaceae en zonas limítrofes, las cuales son reportadas como hospederas de mosca de la fruta. Además, estas mismas se encontraban asociadas a *Melicocca bijuga* (mamón criollo) y otras variedades de mango y limón (*Citrus aurantifolia*). Por otra parte, especies de las familias Asteraceae y Poaceae en ambos sistemas de manejo fueron abundantes (Cuadro 5).

En la localidad de Atenas, las especies encontradas en la finca convencional 1 fueron muy pocas, recalcando que este sistema se encontraba rodeada de otras plantaciones de mango convencionales y una granja avícola. La finca convencional 2 estaba asociada con café (*Coffea arabica*). Además, se logró identificar algunas especies de Asteraceae a pesar de que en esta se mantiene control químico de malezas (Cuadro 5).

La finca orgánica 1 en Atenas se encontraba asociada a café (*C. arabica*), jocote (*Spondias purpurea*), mandarina (*Citrus reticulata*), cas (*Psidium friedrichsthaliun*) y la especie forestal cedro amargo (*Cedrela odorata*); se identificaron arvenses comunes pertenecientes a la familia de las Asteraceae. La finca orgánica 2 no presentaba ningún cultivo asociado. En los alrededores de esta finca se encontraron árboles de Espavel (*Anacardium excelsum*) y una gran cantidad de plantas de flores pertenecientes a varias familias (Cuadro 5); estas últimas plantas correspondían a un sistema de jardines para mariposas que se extendía al costado suroeste de la finca.

Cuadro 5. Especies de plantas asociadas al cultivo de mango (*Mangifera indica* cv. Tommy Atkins) y su relación con la presencia de *Anastrepha* en las diferentes fincas estudiadas en las localidades de Orotina-San Mateo y Atenas; Alajuela, Costa Rica; durante la cosecha de 2018.

Localidad	Tipo de manejo	Especie identificada	Familia	Huésped de <i>Anastrepha</i> spp.	Planta nectarífera
Orotina-San Mateo	Convencional 1	<i>Mangifera indica</i> var. Mora	Anacardiaceae	✓	x
		<i>Eleusine indica</i>	Poaceae	x	x
		<i>Brachiaria brizantha</i>	Poaceae	x	x
	Convencional 2	<i>Mangifera indica</i> var. Haden	Anacardiaceae	✓	x
		<i>Melampodium perfoliatum</i>	Asteraceae	x	✓
		<i>Tithonia diversifolia</i>	Asteraceae	x	✓
		<i>Digitaria</i> spp.	Poaceae	x	x
	Orgánica 1	<i>Anacardium excelsum</i>	Anacardiaceae	✓	x
		<i>Bidens pilosa</i>	Asteraceae	x	✓
<i>Tithonia diversifolia</i>		Asteraceae	x	✓	
<i>Melampodium perfoliatum</i>		Asteraceae	x	✓	
<i>Digitaria</i> spp.		Poaceae	x	x	
<i>Melicocca bijuga</i>		Sapindaceae	✓	x	
<i>Chrysophyllum cainito</i>		Sapotaceae	✓	x	
Orgánica 2	<i>Anacardium excelsum</i>	Anacardiaceae	✓	x	
	<i>Mangifera indica</i> var. mora	Anacardiaceae	✓	x	
		Anacardiaceae		x	

		<i>Mangifera indica</i> var. criollo <i>Melampodium perfoliatum</i> <i>Digitaria</i> spp. <i>Citrus aurantifolia</i> <i>Chrysophyllum cainito</i>	Asteraceae Poaceae Rutaceae Sapotaceae	✓ x x ✓ ✓	✓ x x x
Atenas	Convencional 1	<i>Annona muricata</i> <i>Musa</i> spp. <i>Eleusine indica</i>	Annonaceae Musaceae Poaceae	✓ x x	x x x
	Convencional 2	<i>Bidens pilosa</i> <i>Galinsoga parviflora</i> <i>Hypochoeris radicata</i> <i>Eleusine indica</i> <i>Coffea arabica</i>	Asteraceae Asteraceae Asteraceae Poaceae Rubiaceae	x x x x ✓	✓ ✓ ✓ x ✓
	Orgánica 1	<i>Bidens pilosa</i> <i>Galinsoga parviflora</i> <i>Spondias purpurea</i> <i>Cedrela odorata</i> <i>Psidium friedrichsthalium</i> <i>Eleusine indica</i> <i>Coffea arabica</i> <i>Citrus reticulata</i>	Asteraceae Asteraceae Anacardiaceae Meliaceae Myrtaceae Poaceae Rubiaceae Rutaceae	x x ✓ x ✓ x ✓ ✓	✓ ✓ x x x x ✓ ✓
	Orgánica 2	<i>Anacardium excelsum</i> <i>Cosmos</i> sp. <i>Impatien</i> ssp. <i>Heliconia pendula</i> <i>Passiflora</i> sp. <i>Piper</i> sp. <i>Eleusine indica</i> <i>Citrus aurantifolia</i> <i>Lantana camara</i> <i>Stachytarpheta cayennensi</i>	Anacardiaceae Asteraceae Balsaminaceae Heliconiaceae Passifloraceae Piperaceae Poaceae Rutaceae Verbenaceae Verbenaceae	✓ x x x x x x ✓ x x	x ✓ ✓ ✓ ✓ ✓ x ✓ ✓ ✓

Simbología: x: no; ✓: sí

De forma general se observó mayor abundancia de especies hospederas en fincas orgánicas respecto a las convencionales en cada localidad (Figura 27A y 27B). La cantidad de especies nectaríferas fue mayor en Atenas, especialmente en la finca orgánica 2 (Figura 27B).

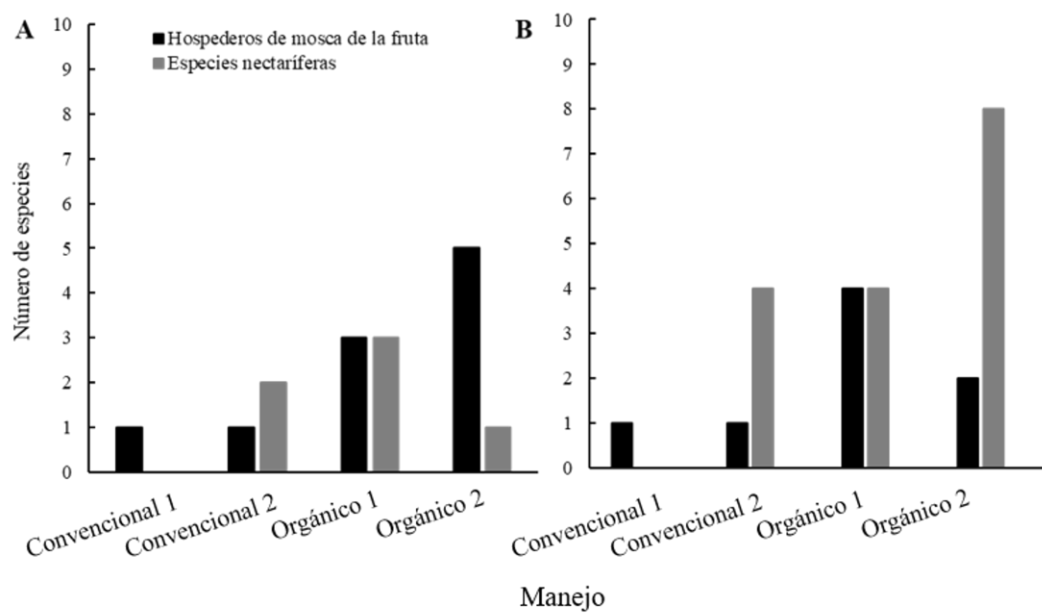


Figura 27. Número de especies de plantas hospederas de mosca de la fruta y plantas nectaríferas identificadas en fincas convencionales y orgánicas, en Orotina-San Mateo y Atenas; Alajuela, Costa Rica; durante la cosecha 2018. A. Orotina-San Mateo. B. Atenas.

4. DISCUSIÓN

Al analizar las especies de parasitoides de *Anastrepha*, es de suma importancia conocer las especies de este género de mosca de la fruta y su desarrollo poblacional. En esta investigación se identificaron *A. ludens* y *A. obliqua*. Esta última fue la especie más común encontrada entre fincas y localidades; lo cual coincide según lo reportado para esta especie en el cultivo de mango (Jirón y Hedström 1991; Orozco-Dávila *et al.* 2014). Dada su preferencia por hospederos de la familia Anacardiaceae, el mango constituye uno de los principales cultivos frutales que albergan larvas de *A. obliqua* (Jirón y Hedström 1991; Aluja *et al.* 2001b; Aluja y Mangan 2008; Orozco-Dávila *et al.* 2014).

Según Aluja *et al.* (2014) y Isiordia-Aquino *et al.* (2017), las poblaciones de *A. obliqua* en mango en México presentan un aumento de infestación durante el periodo de maduración y cosecha. Este mismo comportamiento fue descrito en Brasil (Nalesso *et al.* 2012), lo cual coincide con lo observado en este estudio. Sin embargo, Jirón y Hedström (1991) indican que *A. obliqua* aumenta su población de abril a junio, correspondiente al período de fructificación en Orotina, Costa Rica. A pesar de que esta zona es muy cercana a San Mateo y Atenas, las infestaciones por moscas de la fruta son anticipadas a lo observado en el presente estudio, las cuales se dieron durante el período de cosecha y posteriores al mes de julio en Atenas.

Por otra parte, *A. ludens* se identificó solo en Atenas y presentó el mayor índice de infestación. Según Aluja *et al.* (1996), *A. ludens* infesta plantaciones frutales localizadas a altas altitudes. Dicho dato concuerda con lo encontrado en esta investigación, ya que Atenas presenta mayor altitud con respecto a Orotina y San Mateo.

Además, las características morfológicas y de comportamiento de *A. ludens* pudo haberle conferido ventajas en el proceso de infestación de frutas. Por ejemplo, *A. ludens* regula la cantidad de huevos que oviposita de acuerdo con las características del fruto (Aluja *et al.* 2014); en frutos más firmes (menor madurez) y de mayor tamaño, coloca mayor cantidad de huevos por postura (Díaz-Fleischer y Aluja 2003). Asimismo, consta de un acúleo de mayor longitud ($3,69 \pm 0,08$ mm comparado con $1,54 \pm 0,01$ mm de *A. obliqua*) que puede conferirle ventajas sobre otras especies con respecto a la oviposición. Tomando en cuenta que frutas como el mango a inicios de maduración es más duro y tiene un pericarpio

de mayor grosor, pudo explicar el hecho de que las hembras colocaran más huevos por fruto y en zonas más profundas, evadiendo conductos de resinas que afectan los huevos y larvas (Guillén *et al.* 2017). Así, *A. ludens* presentó un nivel de infestación mayor que *A. obliqua*. Sin embargo, la abundancia de diferentes especies de la mosca de la fruta debe monitorearse durante varios años para su confirmación (Funes *et al.* 2017).

En esta investigación se observó coinfección entre *A. ludens* y *A. obliqua*, la cual no concuerda con diferentes reportes de investigaciones previas. Aluja *et al.* (2014) indican que la variedad de mango Tommy Atkins es más susceptible a *A. obliqua* en comparación con *A. ludens*. Por otra parte, Saavedra-Díaz *et al.* (2017) consideran que las especies de *Anastrepha* tienden a no compartir sus hospederos, y en casos particulares donde esto sucede puede ser considerada como una excepción, como en el caso de esta investigación.

Por otra parte, las precipitaciones, el contenido de agua del suelo y la humedad relativa del aire pueden haber influido en las poblaciones de estos tefrítidos en el presente estudio. Se observó un mayor índice de infestación en Atenas, donde la cosecha coincidió con la época lluviosa en la zona, a diferencia de Orotina y San Mateo. El IMN (2018) reporta en la estación pluviométrica en Atenas un aumento de precipitaciones durante el periodo de muestreo, iniciando en junio con 223,3 mm la cual va en aumento hasta alcanzar en setiembre 3365,2 mm de lluvia mensual. Este factor regula la actividad de los adultos de mosca y favorecen que las pupas presentes en el suelo alcancen el estado adulto, tal como explica Tucuch-Cauich *et al.* (2008) y Chaverri *et al.* (1999). Además, Aluja (1994) indica que las lluvias determinan la abundancia de moscas de frutas en América Latina, comportamiento que ha sido estudiado en especies como *A. ludens* y *Rhagoletis zoqui* Bush (Tucuch-Cauich *et al.* 2008; Aparicio-del Moral *et al.* 2015).

Las tres especies de parasitoides de mosca de la fruta (*Anastrepha* spp.) identificadas en el cultivo de mango en Atenas durante la cosecha 2018 fueron *D. longicaudata*, *D. anastrephilus* y una especie no identificada de la familia Braconidae, subfamilia Opiinae. El primer caso corresponde a una especie de parasitoide generalista de la mosca de la fruta, ampliamente distribuida en el continente americano, la cual ha sido reproducida con éxito para el control biológico aumentativo de especies de *Anastrepha* y *Ceratitis capitata* en

diversos países de América, incluida Costa Rica (Montoya *et al.* 2000, 2007; Sivinski *et al.* 1996; Wharton *et al.* 1981; SFE, 2016).

El segundo caso, *D. anastrephilus* es una especie endémica de la Florida; es un parasitoide generalista de *A. interrupta* Stone en frutos de *Schoepfia chrysophylloides* (familia Schoepfiaceae, nombre común en Estados Unidos “*gulf graytwig*”, “coloradillo” y “palo de golpe” en México y otros países centroamericanos) (Ovruski *et al.* 2000, Wharton y Marsh 1978). No se encontraron registros actualizados ni un reporte formal de dicho parasitoide en Costa Rica, siendo este el primer registro de dicha especie parasitando *A. ludens* en mango en el país.

Por otra parte, la especie no identificada (Braconidae: Opiinae), presentó características tanto del género *Doryctobracon* como de *Utetes*, por lo cual no se puede afirmar con claridad a cuál género pertenecen los individuos recolectados. Dicha especie poseía en la base de la tibia posterior una carena afilada dorso-posterior la cual es una característica presente en el género *Utetes* y ausente en *Doryctobracon*. También se observó en el tórax el propodeo areolado en línea no cerrado y la ausencia de la carena epicnemial, características del género *Doryctobracon* (Wharton *et al.* 1998). Aunado a esto, presentaba la cabeza y el fémur de color negro característica distintiva de *D. zeteki* (Wharton y Marsh 1978). Así, queda abierta la investigación sobre este grupo para dilucidar la especie y si ya había sido registrada en nuestro país con anterioridad.

Si bien los niveles de parasitismo fueron muy bajos para todas las especies, el parasitismo de *D. longicaudata* fue más de tres veces que las otras dos especies de parasitoides hacia el final de los muestreos. Es importante analizar si la introducción y establecimiento de *D. longicaudata* ha tenido un impacto sobre la biodiversidad natural de dicha zona, tomando en cuenta que el agricultor de la finca donde se encontraron los parasitoides afirma haber liberado individuos de *D. longicaudata* 6 años atrás aproximadamente. Tal como se observó en este estudio, la población de *D. longicaudata* fue mayor a la encontrada respecto de otros parasitoides, generando una probabilidad de que la especie exótica haya desplazado a especies nativas presentes en el cultivo de mango. Por ejemplo, Paranhos *et al.* (2013) reportan que *D. longicaudata* reemplazó a especies del género *Doryctobracon* y se estableció como el principal parasitoide de *A. suspensa* en la

parte sur de Florida. Este desplazamiento puede ser el resultado de una competencia interespecífica que conduce a una subdivisión del hábitat (Serra *et al.* 2011) que puede estar sucediendo o sucedió en nuestro país.

Murillo *et al.* (2019b) indican que es posible que las interacciones competitivas interespecíficas que se presenten puedan afectar más a las especies nativas de parasitoides que a las exóticas. Estos autores recalcan que dichas interacciones pueden suceder cuando las hembras de parasitoides introducidas confrontan a las nativas por el acceso a hospederos, o cuando las larvas de especies introducidas pueden competir con otras larvas. Es por ello que la competencia se inicia desde el momento que las hembras rechazan a los hospedadores previamente parasitados.

Estudios previos reportan que especies de parasitoides nativos del género *Doryctobracon* y *Utetes* evitan el superparasitismo (Ayala *et al.* 2018) y el multiparasitismo (Aluja *et al.* 2013); de manera que es poco frecuente que ovipositen en frutos previamente parasitados, las hembras son selectivas en los huéspedes e invierten más tiempo en dicho proceso, en comparación a *D. longicaudata* que tiende a superparasitar y multiparasitar (Montoya *et al.* 2011; Montoya *et al.* 2012). Sin embargo, Aluja *et al.* (2013) comentan que en ocasiones la especie *U. anastrephae* puede presentar multiparasitismo, siendo este un competidor intrínseco superior a *D. areolatus*. Dicho estudio apunta la posible causa por las grandes mandíbulas que tienen las larvas del primer estadio *U. anastrephae* y ventajas en el tamaño de estas. En esta investigación se observó gran cantidad de individuos de *D. longicaudata* en una sola muestra (un mango) y se recuperaron parasitoides de *D. longicaudata* y *D. anastrephilus* en un mismo fruto hospedero. Este comportamiento puede explicarse por medio de la tendencia que presentan las hembras de *D. longicaudata* de colocar muchos huevos en una misma fruta, a superparasitar y multiparasitar, los cuales pueden ser ventajosos como forma de adaptación ante las otras especies encontradas en esta investigación.

Otros ejemplos donde se muestra el desplazamiento de parasitoides y la competencia entre estos se muestran en los estudios reportados por Murillo *et al.* (2019a) y Murillo *et al.* (2019b). Ellos concluyeron que la capacidad intrínseca para competir de la especie *D. areolatus* es inferior y *U. anastrephae* resiste, ambos ante *D. longicaudata* bajo condiciones

de laboratorio y semi-campo. Este tipo de comportamientos pueden estar relacionados a los resultados obtenidos, donde se muestra una mayor cantidad de individuos de la especie *D. longicaudata*, en comparación con otros Opiinae encontrados en los muestreos de la zona de Atenas.

Entre otros factores importantes que pueden afectar un posible desplazamiento de especies está la mayor capacidad que tiene *D. longicaudata* de adaptación a diversas condiciones ambientales y los parámetros biológicos intrínsecos, como la fecundidad y comportamientos específicos de alimentación (Ayala *et al.* 2018). Es por ello que ciertas especies como *D. longicaudata* parecen tener una ventaja competitiva debido a su mayor fecundidad potencial como lo expresa Sivinski *et al.* (2001) en su estudio, que le permite un mayor parasitismo y menor tiempo de manipuleo del huésped. En contraste, especies de *Doryctobracon* tienen menor cantidad de huevos por lo que son más selectivas y evitan ovipositar en huéspedes de baja calidad (Miranda-Salcedo *et al.* 2014).

Se debe recalcar que el refugio larvario en frutos grandes es un factor posible en las bajas tasas de parasitismo típicamente observadas en frutas comerciales como el mango (Miranda *et al.* 2015). Por ejemplo, en México *D. longicaudata* es más abundante que *D. areolatus* (Sivinski *et al.* 2000) en frutos comerciales más grandes (Lopez *et al.* 1999). Así, se considera que *D. longicaudata* es relativamente efectiva para atacar a las larvas de mosca de la fruta localizadas en partes profundas en frutos grandes (Sivinski *et al.* 1997) en comparación con otros parasitoides nativos debido a la longitud del ovipositor (Paranhos *et al.* 2013). Esto aumenta el rango de un potencial huésped y teniendo un impacto en la competencia entre las especies encontradas. Las diferencias entre el parasitismo de *D. anastrephilus* y *D. longicaudata* pueden ser explicadas mediante las diferencias de tamaño del ovipositor (para el primer caso el ovipositor de menor tamaño), no así para la especie no identificada de la subfamilia Opiinae que presentó un tamaño de ovipositor similar al de *D. longicaudata*.

A diferencia de las demás fincas, solo en una (finca orgánica 2 de Atenas) se logró observar parasitoides. Ésta presentaba un índice de infestación por mosca de la fruta ascendente desde el mes de julio y justo un mes después se lograron contabilizar los primeros parasitoides. Esto indicaría que los parasitoides tienen una baja capacidad de búsqueda puesto

que a bajas densidades de la plaga el parasitismo es nulo o muy bajo (Montoya *et al.* 2000). Este comportamiento coincide con los resultados de Sivinski *et al.* (1996), quienes exponen la fuerte dependencia a la densidad de *A. suspensa* para que aumente el parasitismo por *D. longicaudata* en Florida. Así mismo, se observó que en la finca con manejo orgánico 2 en Atenas hubo mayor población de moscas de la fruta y fue la única finca donde se observaron parasitoides.

La ausencia de moscas de la fruta en las fincas convencionales y consecuentemente ausencia de parasitoides en las mismas, podría estar relacionada al estricto control de plagas, con aplicaciones calendarizadas. Aluja *et al.* (2014), indican que las aplicaciones de insecticidas químicos pueden evitar la acumulación de poblaciones de plagas dentro de la plantación o evitar la entrada de adultos de la mosca de la fruta que se desplazan desde áreas adyacentes. Montoya *et al.* (2000) afirma que la dispersión de parasitoides puede estar fuertemente influenciado por la densidad del árbol, la presencia de frutos grandes y el grado de infestación larval de moscas en estos frutos. Siendo estos factores posibles causas para que en este estudio se diera bajo porcentaje de parasitismo.

Por otra parte, las poblaciones de moscas de la fruta entre las fincas orgánicas fueron muy variables. Este comportamiento puede deberse a que este tipo de fincas varían en cuanto a los cultivos asociados y las prácticas de manejos asociadas a estos. Cada agroecosistema presenta características particulares a pesar de que están localizados en zonas muy cercanas (Aguirre-Ramírez *et al.* 2017). Por lo tanto, es recomendable realizar una caracterización más estricta en cuanto a las diferentes prácticas de manejo empleadas en cada finca estudiada, para así lograr categorizar mejor las zonas de estudio y contar con más réplicas en investigaciones futuras que permitan llegar a conclusiones estadísticamente respaldadas.

Flores *et al.* (2016) comentan que la distribución irregular de hospederos complica la ubicación de hábitats adecuados para completar el ciclo biológico de la plaga. Por lo cual, estos organismos pueden migrar a áreas favorables cercanas. En Atenas, la finca con manejo orgánico 2, estuvo compuesta por solo una especie de huésped, donde se pudieron centrar las infestaciones de mosca. La finca orgánica 1 presentó un sistema más complejo, compuesto por una asociación de cítricos, café (*Coffea arabica*), jocote (*Spondias* spp.), guayabas

(*Psidium guajava*) que pudieron servir como hospederos alternos de moscas de la fruta y consecuentemente de parasitoides.

Los frutos pequeños de otros cultivos asociados como el espavel (*A. excelsum*) pudieron servir como hospederos alternos de mosca de la fruta en las fincas orgánicas en Orotina-San Mateo. Está reportado que puede existir tasas más altas de mosca en especies de frutales nativas relativamente pequeñas que favorecen la parasitación de larvas (Miranda *et al.* 2015; Montoya *et al.* 2000). Chaverri *et al.* (1999) comentan que *A. obliqua* tiene la estrategia de colocar sus huevos de manera individual en plantas hospederas como el espavel, el cual presenta una gran superficie de exposición de follaje y gran producción de frutas pequeñas parasitadas por una larva cada una. Bajos índices de infestación observados en Orotina-San Mateo en mango pueden ser explicados por estos comportamientos de preferencia de la mosca de la fruta.

Finalmente, un factor importante que pudo tener influencia en la presencia de parasitoides en la finca orgánica 2 de Atenas fue la presencia de plantas con flores que proporcionaron néctar y refugio a los adultos de los parasitoides (Nel *et al.* 2017). A nivel de bracónicos, está documentado que los adultos que incorporan azúcares en su dieta parecen ser más longevos (Shaw 2006). Tal como se describió en los alrededores de dicha finca, existía un parche de vegetación destinada a atraer mariposas, plantas de las familias Asteraceae, Verbenaceae y muchas otras pudieron cumplir un rol crucial para la sobrevivencia y alimentación de adultos de parasitoides que luego fueron observados. Montoya *et al.* (2000) explican que, desde estos parches de vegetación silvestre, los parasitoides pueden volar y trasladarse a plantaciones comerciales y pueden repercutir en la supresión de las poblaciones de mosca de la fruta.

La falta de éxito constante en el control de plagas a menudo puede ser explicada por una escasa comprensión de los factores que impulsan el desarrollo poblacional de una plaga específica y sus enemigos naturales. El aumento de plagas altamente móviles se vuelve incierto en respuesta a estos factores tanto a nivel local como global (Aluja *et al.* 2012). Se deben buscar esfuerzos por regiones con potencial para integrar diferentes estrategias de manejo dentro de sistemas de producción sostenibles y permitir la creación de zonas de baja prevalencia o áreas libres de plaga. Esto último puede abrir mercados no sólo internos sino

también de exportación, proporcionando una economía adecuada para el mantenimiento de la producción de pequeños y medianos productores de las zonas de estudio.

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

- Se evidenció la infestación de *A. ludens* y *A. obliqua* en el cultivo de mango.
- Se observó una incidencia e infestación de tefrítidos variable entre las fincas y las localidades analizadas; las zonas donde se aplican insecticidas sintéticos presentaron infestaciones casi nulas y las fincas con manejo orgánico son muy variables entre sí.
- En este estudio se observaron tres especies de braconidos: *D. longicaudata*, *D. anastrephilus* y una especie sin identificar, todas estas parasitando a *A. ludens* y *A. obliqua* en frutos de mango en fincas orgánicas (sin aplicaciones de insecticidas químicos sintéticos).
- Se realizó el primer registro formal de *D. anastrephilus* parasitando a *A. ludens* en el cultivo de mango en el país, al no encontrarse registros actualizados ni publicación formal sobre esta especie.
- La identificación de parasitoides y los datos de estos generados en esta investigación aunado a la información del desarrollo poblacional de moscas de la fruta determinada aquí puede ser útil en el diseño de estrategias integradas para el control de esta plaga puesto que no existen datos publicados desde hace más de dos décadas para Costa Rica.
- Esta investigación es necesaria para comprender mejor las ventajas y limitaciones que tiene el manejo convencional y orgánico para el control de mosca de la fruta y su impacto en poblaciones de enemigos naturales.

5.2 Recomendaciones

- Se recomienda integrar la información recolectada con datos de temperatura y humedad en ambas localidades, además de las precipitaciones, en futuras investigaciones. Estos datos ayudarían a analizar su influencia con más detalle en el desarrollo de las poblaciones de mosca de la fruta y sus parasitoides. En esta investigación no se logró realizar una comparación completa ya que no se tuvo acceso a dichos datos. Esta zona no cuenta con una estación meteorológica cercana; solo se contó con datos de la estación pluviométrica ubicada en Atenas, la cual se localizaba

en zona cercana a algunas de las fincas donde se realizaron los muestreos, de la cual se obtuvieron datos solo de precipitaciones.

- Se debe contar con más replicas para aumentar la posibilidad de encontrar parasitoides de mosca de la fruta.
- Además, se recomienda realizar muestreos durante un periodo mayor, incluyendo varios años para lograr una mejor comprensión de la dinámica poblacional de los insectos plagas y sus enemigos naturales.
- Se recomienda realizar también muestreo en frutos caídos para aumentar las probabilidades de encontrar parasitoides de mosca de la fruta.
- Se recomienda realizar muestreos en otras zonas productoras de mango del país, por ejemplo, en Guanacaste y en el Pacífico Central.
- Trabajar con fincas más homogéneas, donde se implementen estrategias de manejo totalmente iguales o trabajar con lotes en una misma finca bajo tratamientos controlados. Esto debido a que en las fincas con manejo convencional no se aplicaban los mismos insecticidas y en las fincas con manejo orgánico además de la recolección de frutos y control de malezas de forma mecánica, los productores tenían asociados otros cultivos y algunas prácticas culturales variaban entre sí.
- Realizar una cuantificación de las especies de plantas hospederas de la mosca de la fruta y plantas nectaríferas.
- Por otra parte, sería interesante identificar y analizar las poblaciones de mosca de la fruta y sus parasitoides en frutos de cultivos asociados: mandarina, jocote, espavel y otras especies de frutos silvestres de menor tamaño.
- Usar trampas con atrayentes como análisis complementario de infestación de mosca de la fruta.

6. LITERATURA CITADA

- Aguirre-Ramírez, EJ; Velasco-Cuervo, SM; Gallo-Franco, JJ; Gonzáles, R; Carrejo, NS; Toro-Perea, N. +2017. Genetic diversity and population structure of *Anastrepha obliqua* in southwestern Colombia. *Entomologia Experimentalis et Applicata* 164:291–304.
- Aluja, M. 1994. Bionomics and management of *Anastrepha*. *Annual Review of Entomology* 39:155-78.
- Aluja, M; Arredondo, J; Díaz-Fleischer, F; Birke, A; Rull, J; Niogret, J; Epsky, N. 2014. Susceptibility of 15 mango (Sapindales: Anacardiaceae) cultivars to the attack by *Anastrepha ludens* and *Anastrepha obliqua* (Diptera: Tephritidae) and the role of underdeveloped fruit as pest reservoirs: management implications. *Journal of Economic Entomology* 107(1):375–388.
- Aluja, M; Celedonio-Hurtado, H; Liedo, P; Cabrera, M; Castillo, F; Guillen, J; Rios, E. 1996. Seasonal population fluctuations and ecological implications for management of *Anastrepha* fruit flies (Diptera; Tephritidae) in commercial mango orchards in Southern Mexico. *Journal of Economic Entomology* 89(3):654-667.
- Aluja, M; Jácome, I; Macías-Ordóñez, R. 2001a. Effect of adult nutrition on male sexual performance in four neotropical fruit fly species of the genus *Anastrepha* (Diptera: Tephritidae). *Journal of Insect Behavior* 14 (6):759-775.
- Aluja, M; Mangan RL. 2008. Fruit fly (Diptera: Tephritidae) host status determination: critical conceptual, methodological, and regulatory considerations. *Annual Review of Entomology* 53:473–502.
- Aluja, M; Ordano, M; Guillen, L; Rull, J. 2012. Understanding long-term fruit fly (Diptera: Tephritidae) population dynamics: implications for area wide management. *Journal of Economic Entomology* 105(3):823-836.
- Aluja, M; Ovruski, S; Sivinski, J; Córdova-García, G; Schliserman, P; Núñez-Campero, S; Ordano, M. 2013. Inter-specific competition and competition-free space in the tephritid parasitoids *Utetes anastrephae* and *Doryctobracon areolatus* (Hymenoptera: Braconidae: Opiinae). *Ecological Entomology* 38:485–496.

- Aluja, M; Piñero, J; Jácome, I; Díaz-Fleischer, F; Sivinski, J. 2001b. Behavior of flies in the genus *Anastrepha* (Trypetinae: Toxotrypanini). In Aluja, M; Norrbom, AL (eds.). Fruit flies (Tephritidae) phylogeny and evolution of behavior. Florida, Estados Unidos, CRC Press. p. 375-406.
- Aluja, M; Sivinski, J; Ovruski, S; Guillén, L; López, M; Cancino, J; Torres-Anaya, A; Gallegos-Chan, G; Ruiz, L. 2009. Colonization and domestication of seven species of native New World hymenopterous larval-prepupal and pupal fruit fly (Diptera: Tephritidae) parasitoids. *Biocontrol Science and Technology* 19:49–79.
- Aparicio-del Moral, YM; Huerta-de la Peña, A; Dzul-Cauich, JF; Hernández-Ortiz, V. 2015. Population fluctuation of *Rhagoletis zoqui* in walnut trees (*Juglans regia* L.) in Puebla, Mexico. *Southwestern Entomologist* 40(2):409-417.
- Avendaño, S. 2006. Búsqueda de parasitoides asociados a *Anastrephaspp.* en frutales de la región de Tapanatepec, Oaxaca. Tesis MSc, Oaxaca, México, Instituto Politécnico Nacional. 73 p.
- Ayala, A; Pérez-Lachaud, G; Toledo, J; Liedo, P; Montoya, P. 2018. Host acceptance by three native braconid parasitoid species attacking larvae of the Mexican fruit fly, *Anastrepha ludens* (Diptera, Tephritidae). *Journal of Hymenoptera Research* 63:33–49.
- Azevedo, FR; Santos, C; Nere, DR; Moura, ES; Gurgel, LS. 2013. Inseticidas vegetais no controle de *Anastrepha spp.* (Diptera: Tephritidae) em pomar de goiaba. *Holos* 29 (4): 77-86.
- Benelli, G; Daane, K; Canale, A; Chang-Ying, N; Messing, R; Vargas, R. 2014. Sexual communication and related behaviours in Tephritidae: current knowledge and potential applications for integrated pest management. *Journal Pest Science* 87:385–405.
- Bisotto-de-Oliveira, R; Rodrigues-Redaelli, L; Sant’Ana, J. 2012. Responses of *Anastrepha fraterculus* (Diptera: Tephritidae) to pesticides used in organic fruit production. *Revista Colombiana de Entomología* 38(2):238-242.

- Canal, N; Zucchi, R; da Silva, N; Leonel, F. 1994. Reconocimiento de las especies de parasitoides (Hym.: Braconidae) de moscas de las frutas (Dip.: Tephritidae) en dos municipios del estado de Amazonas, Brasil. *Boletín del Museo de Entomología de la Universidad del Valle* 2(1):1-17.
- Cancino, J; Ruiz, L; Montoya, P; Harris, E. 2008. Biological attributes of three introduced parasitoids as natural enemies of fruit flies, genus *Anastrepha* (Diptera: Tephritidae). *Journal Applied Entomology* 133:181–188.
- Cañadas, A; Rade, D; Zambrano, C. 2014. Diptera (Tephritidae) and their relation with abiotic factors in Santa Elena Region, Ecuador. *Revista Colombiana de Entomología* 40(1):55-62.
- Charlin, R. 2004. Detección y monitoreo (muestreo) e las plagas más importantes en huertos de cítricos. *Aconex*. 85:22-28.
- Chaverri, LG; Soto-Manitiu, J; Jirón, LF. 1999. Notas sobre la biología y ecología de *Anastrepha obliqua* (Diptera: Tephritidae), plaga de plantas anacardiáceas en América Tropical. ii. formas adultas. *Agronomía Mesoamericana* 10(2):99-102.
- Cloyd, R. 2016. Biological Control. *In Greenhouse Pest Management*. 1 ed. New York, Estados Unidos, CRC Press. p.141-180.
- Copland, M. 2014. Biological control in perspective. *In Heyler, N; Cattlin, N; Brown, K* (eds.). *Biological Control in Plant Protection*. 2 ed. New York, Estados Unidos, CRC Press. p. 207-236.
- Cresoni-Pereira, C; Zucoloto, F. 2012. Fruit Flies (Diptera). *In Parra, J* (ed). *Insect Bioecology and Nutrition for Integrated Pest Management*. New York, Estados Unidos, Taylor & Francis Group. p. 451-472.
- Dias, NP; Zotti, MJ; Montoya, P; Carvalho, IR; Nava; DE. 2018. Fruit fly management research: a systematic review of monitoring and control tactics in the world. *Crop Protection* 112:187–200.
- Díaz-Fleischer, F; Aluja, M. 2003. Clutch size in frugivorous insects as a function of host firmness: the case of the tephritid fly *Anastrepha ludens*. *Ecological Entomology* 28:268–277.

- Díaz-Fleischer, F; Papaj, D.R; Prokopy, R.J; Norrbom, A; Aluja, M. 2001. Evolution of Fruit Fly Oviposition Behavior. *In* Aluja, M; Norrbom, AL (eds). Fruit flies (Tephritidae): phylogeny and evolution of behavior. Florida, Estados Unidos, CRC Press. p. 815-834.
- EPPO (European and Mediterranean Plant Protection Organization). 2019. Data Sheets on Quarantine Pests: *Anastrepha obliqua*. Consultado 10 nov. 2019. Disponible en: <https://gd.eppo.int/taxon/ANSTOB/documents>
- Faria, FA; Perre, P; Zucchi, RA; Jorge, LR; Lewinsohn, TM; Rocha, A; Torres, RS. 2014. Automatic identification of fruit flies (Diptera: Tephritidae). *Journal of Visual Communication and Image Representation* 25:1516–1527.
- Fernández, F; Sharkey, MJ. 2006. Introducción a los Hymenoptera de la Región Neotropical. Sociedad Colombiana de Entomología y Universidad Nacional de Colombia, Bogotá D. C. Colombia. 894 p.
- Figueiredo, J; Perondini, A; Ruggiro, E; Prezotto, L; Selivon D. 2013. External eggshell morphology of *Anastrepha* fruit flies (Diptera: Tephritidae). *Acta Zoologica (Stockholm)*. 94: 125–133.
- Flores, S; Montoya, P; Ruiz-Montoya, L; Villaseñor, A; Valle, A; Enkerlin, W; Liedo, P. 2016. Population fluctuation of *Ceratitis capitata* (Diptera: Tephritidae) as a function of altitude in eastern Guatemala. *Environmental Entomology* 1:1–10.
- Funes, CF; Escobar, LI; Meneguzzi, NG; Ovruski, SM; Kirschbaum, DS. 2017. Occurrence of *Anastrepha fraterculus* and *Ceratitis capitata* (Diptera: Tephritidae) in organically grown *Rubus* (Rosales: Rosaceae), in two contrasting environments of northwestern Argentina. *Florida Entomologist* 100(3):672-674.
- Shaw, SR. 2006. Familia Braconidae. *In* Hymenoptera de la Región Tropical. Hanson, PE; Gauld, ID (eds). Florida, Estados Unidos, The American Entomological Institute 77. p. 487-524.
- Gómez, H. 2005. Las moscas de la fruta. Bogotá, Colombia, Instituto Colombiano Agropecuario ICA. 69 p. Consultado 10 nov. 2019. Disponible en:

http://www.asohofrucol.com.co/archivos/biblioteca/biblioteca_25_Las%20Moscas%20de%20la%20Fruta.pdf

- Guillén, L; Adaime, R; Birke, A; Velázquez, O; Angeles, G; Ortega, F; Ruiz, E; Aluja, M. 2017. Effect of resin ducts and sap content on infestation and development of immature stages of *Anastrepha obliqua* and *Anastrepha ludens* (Diptera: Tephritidae) in four mango (Sapindales: Anacardiaceae) cultivars. *Journal of Economic Entomology* 110(2):719-730.
- Helyer, N; Cattlin, ND; Brown, KC. 2014. *Biological control in plant protection a colour handbook*. 2nd ed. Florida, Estados Unidos, CRC Press. p. 276.
- Hernández-Ortiz, V; Aluja, M. 1993. Listado de especies del género Neotropical *Anastrepha* (Diptera: Tephritidae) con notas sobre su distribución y plantas hospederas. *Folia Entomology Mexico* 88:89-105.
- Hernández-Ortiz, V; Bartolucci AF; Morales-Valles, P; Frías, D; Selivon, D. 2012. Cryptic species of the *Anastrepha fraterculus* complex: a multivariate approach for the recognition of south american morphotypes. *Annals of the Entomological Society of America* 105(2):305-318.
- Hernández-Ortiz, V; Guillen-Aguilar, J; López, L. 2010. Taxonomía e identificación de moscas de la fruta de importancia económica en América. *In* Montoya, P; Toledo, J; Hernández, E (eds.). *Moscas de la Fruta: Fundamentos y Procedimientos para su Manejo*, 2010. México D.F, México, S y G editores. p. 49-80.
- Holdridge, LR. 1977. *Ecología basada en zonas de vida*. San José, Costa Rica, IICA. 216 p.
- IMN (Instituto Meteorológico Nacional). 2018. Resumen meteorológico junio, julio, Agosto y septiembre 2018. *Boletín Meteorológico*. San José, Costa Rica. N° 2018-6,9.
- Isabirye, BE; Akol, AM; Muyinza, H; Masembe, C; Rwomushana, I; Nankinga, CK. 2016. Fruit fly (Diptera: Tephritidae) host status and relative infestation of selected mango cultivars in three agroecological zones in Uganda. *International Journal of Fruit Science* 16(1):23–41.
- Isiordia-Aquino, N; Robles-Bermúdez, A; Cambero-Campos, OJ; Santillán-Ortega, C; Jiménez-Meza, VM; Flores-Canales, RJ. 2017. Fluctuation in abundance of adult fruit

- flies at Rosamorada and San Blas, Nayarit, México. *Southwestern Entomologist* 42(3):731-744.
- Jirón, LF; Hedström, I. 1991. Population fluctuations of economic species of *Anastrepha* (Diptera: Tephritidae) related to mango fruiting phenology in Costa Rica. *Florida Entomologist* 74(1):98-105.
- Jirón, L.F; Soto-Manitiu, J. 1987. Las moscas de las frutas (Diptera: Tephritidae) en Costa Rica: situación actual. *Agronomía Costarricense* 11(2): 255-261.
- Jirón, LF; Soto-Manitiu, J; Norrbom, AL. 1988. A preliminary list of the fruit flies of the genus *Anastrepha* (Diptera: Tephritidae) in Costa Rica. *Florida Entomologist* 71(2):130-37.
- Joyce, AL; Aluja, M; Sivinski, J; Vinson, SB; Ramírez-Romero, R; Bernal, JS; Guillen, L. 2010. Effect of continuous rearing on courtship acoustics of five braconid parasitoids, candidates for augmentative biological control of *Anastrepha* species. *BioControl* 55:573–582.
- Khosravi, M; Sahebzadeh, N; Kolyaie, R; Mokhtari, A. 2018. Field evaluation of controlling methods of mango fruit flies *Bactrocera zonata* (Diptera: Tephritidae) in the southern part of Iran. *Trakia Journal of Sciences* 1:62-69.
- Koul, O; Dhaliwal, GS. 2003. Predators and Parasitoids: an introduction. In Dhaliwal, SS (ed). *Predators and Parasitoids*. 1 ed. New York, Estados Unidos, CRC Press. p. 3-15.
- Ledezma, J; Amaya, M; Magne, C; Ramos, AC; Torrico, J; Quisberth, E. 2013. Parasitoides para el control biológico de las moscas de la fruta en Santa Cruz. *Tinkazos* 16(34): 93-117.
- Litz, RE. 2009. *The mango: Botany, production and uses*. 2 ed. Wallingford, UK, CAB International. p. 19-350.
- López, M; Aluja, M; Sivinski, J. 1999. Hymenopterous larval–pupal and pupal parasitoids of *Anastrepha* flies (Diptera: Tephritidae) in Mexico. *Biological Control* 15(2):119–129.

- Martínez-Alava, JO. 2007. Nuevos registros en el género *Anastrepha* (Diptera: Tephritidae) para Colombia. *Revista Colombiana de Entomología* 33(1):36-42.
- Martínez, G; Hernández-López, F. 2010. Manual técnico del trapeo preventivo contra moscas exóticas de la fruta. SAGASPA-SENASICA. 30 p. Consultado 30 agost. 2019. Disponible en: <http://publico.senasica.gob.mx/?doc=19111>
- Martínez, AJ; Salinas, EJ; Rendon, P. 2007. Capture of *Anastrepha* species (Diptera: Tephritidae) with Multilure traps and Biolure attractants in Guatemala. *Florida Entomologist*90(1):258-263.
- Medianero, E; Korytkowsky, CA; Campo, C; de León, C. 2006. Hymenoptera parasitoides asociados a *Anastrepha* (Diptera:Tephritidae) en Cerro Jefe y Altos de Pacora, Panamá. *Revista Colombiana de Entomología* 32(2):136-139.
- Miranda, M; Sivinski, J; Rull, J; Cicero, L; Aluja, M. 2015. Niche breadth and interspecific competition between *Doryctobracon crawfordi* and *Diachasmimorpha longicaudata* (Hymenoptera: Braconidae), native and introduced parasitoids of *Anastrepha* spp. fruit flies (Diptera: Tephritidae). *Biological Control* 82:86–95.
- Miranda-Salcedo, MA; Aluja, M; Macias-Ordoñez, R; Liedo-Fernández, JP. 2014. Interacción entre un parasitoide exótico y otro nativo de *Anastrepha* spp. (Diptera: Tephritidae). *Entomología Mexicana* 1:873– 880.
- Molina-Nery, MC; Ruiz-Montoya, L; Zepeda-Cisneros, CS; Liedo, P. 2014. Genetic structure of populations of *Anastrepha ludens* (Diptera: Tephritidae) in Mexico. *Florida Entomologist* 97(4):1648-1661.
- Montoya, P; Liedo, P; Benrey, B; Cancino, J; Barrera, JF; Sivinski, J; Aluja, M. 2000. Biological control of *Anastrepha* spp. (Diptera: Tephritidae) in mango orchards through augmentative releases of *Diachasmimorpha longicaudata* (Ashmead) (Hymenoptera: Braconidae). *Biological Control* 18:216–224.
- Montoya, P; Pérez-Lachaud, G; Liedo, P. 2011. Host size, superparasitism and sex ratio in mass-reared *Diachasmimorpha longicaudata*, a fruit fly parasitoid. *BioControl* 56:11–17.

- Montoya, P; Pérez-Lachaud, G; Liedo, P. 2012. Superparasitism in the fruit fly parasitoid *Diachasmimorpha longicaudata* (Hymenoptera: Braconidae) and the implications for mass rearing and augmentative release. *Insects* 3(4):900-911.
- Mora, J; Gamboa, J; Elizondo, R. 2002. Guía para el cultivo del mango (*Mangifera indica*) en Costa Rica. MAG-INTA (Ministerio de Agricultura y Ganadería-Instituto Nacional de Innovación y Transferencia de Tecnología Agropecuaria, Costa Rica). San José, Costa Rica, Imprenta Nacional. 80 p.
- Murillo, FD; Cabrera-Mireles, H; Barrera, JF; Liedo, P; Montoya, P. 2015. *Doryctobracon areolatus* (Hymenoptera, Braconidae) a parasitoid of early developmental stages of *Anastrepha obliqua* (Diptera, Tephritidae). *Journal of Hymenoptera Research* 46: 91–105.
- Murillo, FD; Cabrera-Mireles, H; Barrera, JF; Liedo, P; Montoya, P. 2019a. Intrinsic competition between resident and invasive parasitoids (Hymenoptera: Braconidae) that attack the West Indian fruit fly *Anastrepha obliqua* under field conditions. *Biocontrol Science and Technology* 29(3):252-262.
- Murillo, FD; Montoya, P; Cabrera-Mireles, H; Barrera, JF; Liedo, P. 2019b. Intrinsic competition between *Diachasmimorpha longicaudata* and three native species of parasitoids (Hymenoptera: Braconidae: Opiinae) of *Anastrepha* (Diptera: Tephritidae) fruit flies under laboratory conditions. *Biocontrol Science and Technology* 29(8):757-772.
- Nalesso, SM; Raga, A; de Souza-Filho, MF. 2012. Occurrence of fruit flies (Diptera: Tephritidae) in a mixed mango orchard in the city of Presidente Prudente, SP, Brazil. *Revista Colombiana de Entomología* 38(2):231-237.
- Nel, L; Pryke, JS; Carvalheiro, LG; Thébaulte, E; van Veen, FJ; Seymour, CL. 2017. Exotic plants growing in crop field margins provide little support to mango crop flower visitors. *Agriculture Ecosystems and Environment* 250:72–80.
- Nolasco, N; Iannaccone, J. 2008. Fluctuación estacional de moscas de la fruta *Anastrepha* spp. y *Ceratitis capitata* (Wiedemann, 1824) (Diptera: Tephritidae) en trampas McPhail en Piura y en Ica, Perú. *Acta Zoológica Mexicana* 24(3):33-44.

- Norrbom, AL; Korytkowski, CA; Zucchi, RA; Uramoto, K; Venable, GL; McCormick, J; Dallwitz, MJ. 2012. *Anastrepha* and *Toxotrypana*: descriptions, illustrations, and interactive keys. Database (en línea). Consultado 20 agosto 2018. Disponible en <https://www.delta-intkey.com/anatox/ident.htm>
- Norrbom, AL; Zucchi, RA; Hernández-Ortiz, V. 1999. Phylogeny of the genera *Anastrepha* and *Toxotrypana* (Trypetinae: Toxotrypanini) based on morphology. In Aluja, M; Norrbom, AL (eds). Fruit flies (Tephritidae): phylogeny and evolution of behavior. Florida, Estados Unidos, CRC Press. p. 299–342.
- Orozco-Dávila, D; Artiaga-López, T; Hernández, MR; Domínguez, J; Hernández, E. 2014. *Anastrepha obliqua* (Diptera: Tephritidae) mass-rearing: effect of relaxed colony management. International Journal of Tropical Insect Science 34:19–27.
- Ovruski, SM; Aluja, M; Sivinski, J; Wharton, R. 2000. Hymenopteran parasitoids on fruit-infesting Tephritidae (Diptera) in Latin America and the southern United States: diversity, distribution, taxonomic status and their use in fruit fly biological control. Integrated Pest Management Reviews 5:81–107.
- Ovruski, SM; Colin, C; Soria, A; Oroño, LE; Schliserman, P. 2003. Introducción y producción en laboratorio de *Diachasmimorpha tryoni* y *Diachasmimorpha longicaudata* (Hymenoptera: Braconidae) para el control biológico de *Ceratitis capitata* (Diptera: Tephritidae) en la Argentina. Revista de la Sociedad de Entomología Argentina 62 (3,4): 49-59.
- Ovruski, SM; Schliserman, P. 2012. Biological control of tephritid fruit flies in Argentina: historical review, current status, and future trends for developing a parasitoid mass-release program. Insects 3:870-888.
- Ovruski, SM; Schliserman, P; Oroño, LE; Núñez-Campero, SR; Albornoz-Medina, P; Bezdjian, LP; Van Nieuwenhove, GA. 2008. Natural occurrence of Hymenopterous parasitoids associated with *Anastrepha fraterculus* (Diptera: Tephritidae) in Myrtaceae species in Entre Rios, Northeastern Argentina. Florida Entomologist 91(2):220-227.

- Paranhos, B; Sivinski, J; Stuhl, C; Holler, T; Aluja, M. 2013. Intrinsic competition and competitor-free-space influence the coexistence of parasitoids (Hymenoptera: Braconidae: Opiinae) of Neotropical Tephritidae (Diptera). *Environmental Entomology* 42(4): 717-723.
- Peña, JE; Mohyuddin, AI; Wysoki, M. 1998. A review of the pest management situation in mango agroecosystems. *Phytoparasitica* 26(2): 129-148
- Perre, P; Faria, FA; Jorge, LR; Rocha, A; Torres, RS; Souza-Filho, MF; Lewinsohn, TM; Zucchi, RA. 2016. Toward an automated identification of *Anastrepha* fruit flies in the *Fraterculus* Group (Diptera, Tephritidae). *Neotropical Entomology* 45 (4):361-368.
- PROCOMER (Promotora del Comercio Exterior de Costa Rica). 2019. Desempeño general comercio exterior 2018. San José, Costa Rica. Consultado 12 abril 2019. Disponible en <http://www.comex.go.cr/estad%C3%ADsticas-y-estudios/an%C3%A1lisis-econ%C3%B3mico/an%C3%A1lisis-sobre-la-evoluci%C3%B3n-de-las-exportaciones-de-costa-rica/>
- Quilici, S; Rouse, P. 2012. Location of host and host habitat by fruit fly parasitoids. *Insects* 3:1220-1235
- R Development Core Team. 2014. R: a language and environment for statistical computing. (en línea, programa informático). R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. Consultado 8 oct. 2019. Disponible en <http://www.R-project.org/>.
- Rodríguez, M; Guerrero, M; Sandoval, B. 2002. Guía técnica para el Cultivo del Mango. Martínez, MA; Peñate, R. (Col). CENTA (Centro Nacional de Tecnología Agropecuaria y Forestal). San Salvador, El Salvador. 33 p.
- Rodríguez-Rodríguez, SE; González-Hernández, H; Rodríguez-Leyva, E; Lomelí-Flores, JR; Miranda-Salcedo, MA. 2018. Species diversity and population dynamics of fruit flies (Diptera: Tephritidae) in Guerrero, Mexico. *Florida Entomologist* 101(1):113-118.
- Ronquist, F. 2006. Superfamilia Cynipoidea. *In* Hymenoptera de la Región Tropical. Hanson, PE; Gauld, ID (eds). Florida, Estados Unidos, The American Entomological Institute 77. p. 280-282.

- Saavedra-Díaz, J; Galeano-Olaya, PE; Canal, NA. 2017. Relaciones ecológicas entre frutos hospederos, moscas frugívoras y parasitoides en un fragmento de bosque seco tropical. *Revista de Ciencias Agrícolas* 34(1):32-49.
- Salcedo-Baca, D; Lomeli-Flores, R; Terrazas-González, G; Rodríguez-Leyva, E. 2010. Evaluación Económica de la campaña nacional contra la mosca de la fruta en los estados de Baja California, Guerrero, Nuevo León, Sinaloa, Sonora y Tamaulipas. México. IICA. 207 p. Consultado el 12 de octubre 2018. Disponible en: <http://repiica.iica.int/docs/B2041e/B2041e.pdf>
- Schliserman, P; Ovruski, SM; de Coll, OR; Wharton, R. 2010. Diversity and abundance of Hymenopterous parasitoids associated with *Anastrepha fraterculus* (Diptera: Tephritidae) in native and exotic host plants in Misiones, Argentina. *Florida Entomologist* 93(2): 175-182.
- SENASICA (Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria). 2015. Manejo integrado de mosca de la fruta: Guía del Productor. Estado de México, México. 8 p. Consultado el 12 de octubre 2019. Disponible en: <http://cesavem.mx/img/MoscasdeLaFruta/moscasdeLaFruta.pdf>
- SEPSA (Secretaría Ejecutiva de Planificación Sectorial Agropecuaria). 2019. Informecomercio exterior del sector agropecuario I trimestre 2018-2019. Mora, S (ed.). San José, Costa Rica, SEPSA, 2019. 23 p. Consultado el 5 de octubre 2019. Disponible en: http://www.sepsa.go.cr/docs/2019-012-Comercio_Exterior_del_Sector_Agropecuario_I_trimestre_2018-2019.pdf
- Serra, CA; Ferreira, M; García, S; Santana, L; Castillo, M; Nolasco, C; Morales, P; Holler, T; Roda, A; Aluja, M. 2011. Establishment of the West Indian Fruit Fly (Diptera: Tephritidae) parasitoid *Doryctobracon areolatus* (Hymenoptera: Braconidae) in the Dominican Republic. *Florida Entomologist* 94(4):809-816.
- SFE (Servicio Fitosanitario del Estado). 2011. Mosca de la fruta y su control. Programa Moscas de la Fruta, MAG. Boletín Informativo. Pavas, Costa Rica. 4p Servicio Fitosanitario del Estado de Costa Rica, 2014.

- SFE (Servicio Fitosanitario del Estado). 2014. Servicio Fitosanitario del Estado reproduce insectos para controlar de mosca de las frutas. Padilla, MM; Bonilla, N; Vargas, E (eds). Pavas, Costa Rica. Boletín SFE 2014-64:1-3.
- SFE (Servicio Fitosanitario del Estado). 2016. Cítricos de Acosta y otras regiones en la mira del SFE. Padilla, MM; Bonilla, N; Vargas, E (eds). Pavas, Costa Rica. Boletín SFE 2016-73:3-4.
- Sinzogan, A; van Mele, P; Vayssieres, JF. 2008. Implications of on-farm research for local knowledge related to fruit flies and the weaver ant *Oecophyllalalonginoda* in mango production. *International Journal of Pest Management* 54(3): 241–246.
- Sivinski, JM; Aluja, M; Dodson, G; Freidberg, A; Headrick, D; Kaneshiro, K; Landolt, P. 2001. Topics in the evolution of sexual behavior in the Tephritidae. *In* Aluja, M; Norrbom, AL (eds). *Fruit flies (Tephritidae) phylogeny and evolution of behavior*. Florida, Estados Unidos, CRC Press. p. 752-792.
- Sivinski, JM, Aluja, M; López, M. 1997. Spatial and temporal distributions of parasitoids of Mexican *Anastrepha* species (Diptera: Tephritidae) within the canopies of fruit trees. *Annals of the Entomological Society of America* 90(5): 604–618.
- Sivinski, JM; Calkins, CO; Baranowski, R; Harris, D; Brambila, J; Diaz, J; Burns, RE; Holler, T; Dodson, G. 1996. Suppression of a Caribbean Fruit Fly (*Anastrepha suspensa* (Loew) Diptera: Tephritidae) population through augmented releases of the parasitoid *Diachasmimorpha longicaudata* Ashmead) (Hymenoptera: Braconidae). *Biological Control* 6(2):177-185.
- Sivinski, JM; Rendón, P; Holler, T; Bloem, K; Martínez, A; López-Valenzuela, M. 2000. Distribution of hymenopterous parasitoids of *Anastrepha* spp. in guava (*Psidium guajava*) along an altitudinal transect in the Soconusco region (Chiapas, Mexico): practical implications for a potential augmentative biocontrol program with native parasitoids. Meeting Working Group on Fruit Flies of the Western Hemisphere, IV, 2000, Mendoza, Argentina. p. 115-116.

- Sosa-Armenta, JM; López-Martínez, V; Villegas-Torres, OG; Juárez-López, P; Burgos-Solorio, A. 2017. Population dynamics of fruit flies in Quintana Roo, Mexico. *Southwestern Entomologist* 42(1):275-282.
- Soto, A; Vallejos, E; Herrera, F; Rojas, CE. 2011. Base de datos: Algunas malezas de Costa Rica y Mesoamerica (en línea). Florida, Estados Unidos, University of Florida. Consultado 30 jul. 2018. Disponible en http://international_extension.ifas.ufl.edu/LaFlor/weeds-of-costa-rica/index.shtml
- Soto-Manitiu, J; Chaverri, LG; Jirón, LF. 1997. Notas sobre la biología y ecología de *Anastrepha obliqua* (Diptera: Tephritidae), plaga de plantas Anarcardiaceas en América Tropical: formas inmaduras. *Agronomía Mesoamericana* 8(2): 116-120.
- Torres, DA; Castillo, M; Pérez, Q. 2006. Guía para el manejo integrado de las moscas de las frutas (en línea). Amado, C (ed.). República Dominicana, USAID-PROMANGO. p. 24. Consultado 30 jul. 2018. Disponible en <http://190.167.99.25/digital/Manejo%20Mosca%205medio.pdf>
- Trópicos. 2019. Base de datos de Flora tropical (en línea). Missouri, Estados Unidos, Missouri Botanical Garden. Consultado 30 jul. 2018. Disponible en <http://www.tropicos.org/Home.aspx>
- Tucuch-Cauich, FM; Chi-Que, G; Orona-Castro, F. 2008. Dinámica poblacional de adultos de la mosca mexicana de la fruta *Anastrepha* sp. (Diptera: Tephritidae) en Campeche, México. *Agricultura Técnica en México* 34(3):341-347.
- Ureña, A; González, J; Meneses, R; Alvarado, E. 2007. Agrocadena de Mango. Atenas, Costa Rica, Ministerio de Agricultura y Ganadería. 45 p. Consultado 12 jul. 2018. Disponible en <http://www.mag.go.cr/bibliotecavirtual/a00072.pdf>
- Weems, HV; Heppner, JB; Steck, GJ; Fasulo, TR. 2001. West Indian fruit fly *Anastrepha obliqua* (Macquart) (Insecta: Diptera: Tephritidae). Florida, Estados Unidos, University of Florida. Consultado 13 agosto. 2018. Disponible en: <http://edis.ifas.ufl.edu/in355>

- Wharton, RA; Gilstrap, F; Rhode, RH; Fischel, M; Hart, WG. 1981. Hymenopterous egg-pupal and larval-pupal parasitoids of *Ceratitis capitata* and *Anastrepha* spp. (Dip:Tephritidae) in Costa Rica. *Entomophaga* 26 (3): 285-290.
- Wharton, RA; Marsh, PM. 1978. New world Opiinae (Hymenoptera: Braconidae) parasitic on Tephritidae (Diptera). *Journal of the Washington Academy of Sciences* 68(4):147–167.
- Wharton, RA; Gilstrap, F; Rhode, RH; Fischel, M; Hart, WG. 1981. Hymenopterous egg-pupal and larval-pupal parasitoids of *Ceratitis capitata* and *Anastrepha* spp. (Dip:Tephritidae) in Costa Rica. *Entomophaga* 26 (3): 285-290.
- Wharton, RA; Marsh, RA; Sharkey, PM; Marsh PM. 1998. Manual para los géneros de la familia Braconidae (Hymenoptera) del Nuevo mundo. Washington D.C, Estados Unidos, International Soc. Hymenopterists. 447 p.
- Zerene Stacker. 2019. Zerene Stacker version 1.04 Build T2019-10-07-1410. (en línea, programa informático). Zerene Systems LLC, Washington, USA. Consultado 12 oct. 2019. Disponible en: <http://zerenesystems.com/stacker>