



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, Juan Pablo Zambrano Bosquez, con cédula de identidad 0925017723, en mi condición de autor del TFG titulado Dispersión espacio-temporal de *Diachasma mimorpha longicaudata* (Hymenoptera: Braconidae) en una plantación de mango del Pacífico Central de Costa Rica.

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 ☒

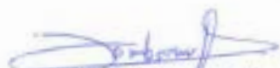
*En caso de la negativa favor indicar el tiempo de restricción: 2 año (s).

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: Juan Pablo Zambrano Bosquez
Número de Carné: 379068 Número de cédula: 0925017723
Correo Electrónico: pablo_zambos@hotmail.com
Fecha: 6 marzo del 2020 Número de teléfono: +503 986147150
Nombre del Director (a) de Tesis o Tutor (a): Julio Arias Reverón


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.

UNIVERSIDAD DE COSTA RICA
SISTEMA DE ESTUDIOS DE POSGRADO

DISPERSIÓN ESPACIO-TEMPORAL DE *Diachasmimorpha*
longicaudata (HYMENOPTERA: BRACONIDAE) EN UNA
PLANTACIÓN DE MANGO DEL PACÍFICO CENTRAL DE COSTA
RICA

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

JUAN PABLO ZAMBRANO BOSQUEZ

Ciudad Universitaria Rodrigo Facio, Costa Rica

2019

Dedicatoria

A Dios Padre omnipotente por tu divina protección, tu bondad se vio reflejada en personas que supieron brindarme su apoyo incondicional en cada situación difícil.

A mis Padres Benedicto Zambrano y Alba Bosquez a ambos gracias por enseñarme que los metas se consiguen con dedicación, perseverancia y honestidad.

A mi esposa Jessica y a mi hija Paulette, ustedes fueron la motivación más grande que tuve para terminar este trabajo y se los dedico completamente.

A mis hermanos Alba, Marcelo, gracias por darme las palabras de aliento necesarias para continuar cada día.

“El primer sorbo de la ciencia te vuelve ateo, pero en el fondo de la copa Dios te está esperando”.

Werner Karl Heisenberg

Nobel de Física

Agradecimientos

Mis más sinceros agradecimientos a las siguientes personas:

Al Ph.D. Julio Arias por permitirme desarrollar este trabajo de investigación bajo su orientación, apoyo y enseñanza.

A los miembros del tribunal: Ph.D. Paul Hanson y M.Sc. Daniel Briceño por su valioso tiempo en la revisión del documento.

A todo el personal técnico del Programa Nacional de Mosca de la Fruta del Servicio Fitosanitario de Estado, en especial al Ing. Arturo Saborio por haberme permitido realizar las pasantías en dicha institución.

Al Ing. Cascante y Ortiz del Ministerio de Agricultura y Ganadería extensión Orotina, que hicieron posible el traslado a la plantación de mango.

A mis compañeros de maestría Elena, Rafael y Pedro que colaboraron en la fase de campo del proyecto.

A todos los (as) docentes del Posgrado por impartir sus valiosos conocimientos en cada una de las materias recibidas.

A Andrea Esquivel, por su colaboración y agilización en cada uno de los trámites que se realizaron durante el posgrado.

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



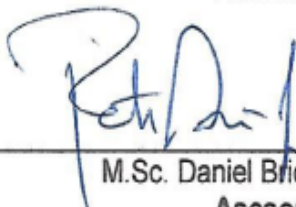
M.Sc. Pamela Murillo Rojas
Representante del Decano del Sistema de Estudios de Posgrado



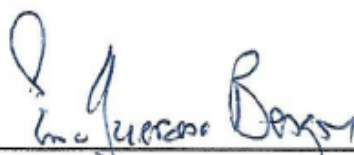
Ph.D. Julio Arias Reverón
Director de tesis



Ph.D. Paul Hanson Snortun
Asesor



M.Sc. Daniel Briceño Lobo
Asesor



Ph.D. Eric Guevara Berger
Director del Programa de Posgrado en Ciencias Agrícolas y Recursos Naturales



Juan Pablo Zambrano Bosquez
Candidato

Tabla de contenido

Portada	i
Dedicatoria	ii
Agradecimientos	iii
Hoja de firmas	iv
Índice de contenido	iv
Resumen	viii
1. Introducción.....	1
2. Objetivos.....	3
2.1. Objetivo general.....	3
2.2. Objetivos específicos	3
3. Revisión de literatura	4
3.1. <i>Diachasmimorpha longicaudata</i> (Hymenoptera: Braconidae) (Ashmead, 1905).....	4
3.2. Biología y comportamiento	4
3.3. Capacidad de dispersión.....	6
3.4. Parasitismo.....	7
3.5. Moscas de la fruta	9
3.6. <i>Ceratitis capitata</i> (Diptera: Tephritidae) (Wiedemann, 1824)	9
3.7. Plantas hospederas.....	10
3.8. Control.....	10
4. Materiales y métodos	12
4.1. Localización del área de estudio.....	12
4.2. Características de la plantación	12
4.3. Demarcación del área.....	13
4.4. Cría de <i>Ceratitis capitata</i> y <i>Diachasmimorpha longicaudata</i>	14

4.5.1. <i>Ceratitis capitata</i>	14
4.5.2. <i>Diachasmimorpha longicaudata</i>	16
4.6. Unidades de parasitismo (UP)	17
4.7. Liberación de <i>Diachasmimorpha longicaudata</i>	18
4.8. Pruebas de calidad.....	20
4.9. Análisis de datos.....	21
4.9.1. Dispersión media.....	21
4.9.2. Porcentaje de parasitismo	21
4.9.3. Razón sexual	22
4.9.4. Selección de modelos	22
4.9.5. Interpretación probabilística	22
5. Resultados	24
5.5. Parámetros de calidad.....	24
5.6. Datos climatológicos	24
5.7. Evaluación de parasitoides nativos	25
5.8. Número total de parasitoides capturados luego de cada liberación	25
5.9. Porcentaje de hembras de <i>Diachasmimorpha longicaudata</i>	25
5.10. Dispersión temporal	26
5.11. Dispersión espacial (horizontal)	27
5.12. Dispersión espacial (vertical).....	28
5.13. Dispersión direccional (ejes cardinales y colaterales).....	29
5.14. Interacción temporal-espacial.....	30
5.15. Influencia de factores climáticos sobre el parasitismo de <i>Diachasmimorpha longicaudata</i>	34
5.16. Dispersión y distancia media de <i>Diachasmimorpha longicaudata</i>	34
6. Discusión.....	36

6.5.	Evaluación de parasitoides nativos	36
6.6.	Control de calidad.....	36
6.7.	Parasitismo.....	37
6.8.	Factores climáticos.....	40
6.9.	Dispersión media de <i>Diachasmimorpha longicaudata</i>	40
7.	Conclusiones y recomendaciones.....	42
8.	Bibliografía	44
9.	Anexos	59

Resumen

El objetivo de la presente investigación fue evaluar los patrones de dispersión espacial y temporal de *Diachasmimorpha longicaudata* (Hymenoptera: Braconidae) durante los primeros cinco días posterior a su liberación en una plantación de mango ubicado en la localidad de Cuarros, Distrito Tarcoles, Cantón Garabito, Provincia de Puntarenas.

Durante el año 2018, se realizaron cuatro liberaciones, dos en época seca (abril y mayo) y dos en época lluviosa (noviembre y diciembre). En la época seca se liberaron un total de 4800 insectos (591 hembras; 4208 machos) y en la época lluviosa 8440 (5800 hembras; 2640 machos). Para evaluar los patrones de dispersión de *D. longicaudata*, se utilizaron unidades de parasitismo que consistía en colocar 60 larvas de *Ceratitis capitata* (Diptera: Tephritidae) irradiadas en una bolsa de tela de tul. En la plantación de mango se seleccionaron 40 árboles distribuidos en los puntos cardinales (norte, sur, este y oeste) y colaterales (noreste, sureste, noroeste y suroeste) resultando en cinco zonas de acción (cuadros), cada zona de acción contaba con ocho árboles. En cada árbol seleccionado se colocaron tres unidades de parasitismo ubicadas a tres diferentes alturas (0,5; 1,5 y 2,5 m). Las unidades de parasitismo en campo permanecieron durante 24 horas y luego fueron reemplazadas por nuevas unidades.

Los resultados demostraron que el parasitoide cubrió un área promedio de 1484.8 m² y 1208.36 m² y se desplazó 23.68 m en la época seca y 19,65 m en la época lluviosa. También se pudo demostrar que *D. longicaudata* en ambas épocas fue capaz de parasitar durante los cinco días de estudio. Sin embargo, el día de mayor parasitismo de la época seca fue en el tercer día con 0,31% mientras que en la época lluviosa el día de mayor parasitismo se presentó en el segundo día con 3,21%. Con respecto a la dispersión espacial se pudo comprobar que el parasitoide pudo desplazarse hasta las últimas unidades de parasitismo ubicadas a 75 m (puntos cardinales) y 105 m (puntos colaterales). Sin embargo, los mayores porcentajes de parasitismo se observaron en las unidades ubicadas en la primera zona de acción, con el 0,07% y el 3,21% en la época seca y lluviosa respectivamente. Sobre la dispersión vertical *D. longicaudata* puede parasitar las unidades de parasitismo ubicadas en las tres alturas con mayor parasitismo sobre las que se encontraban a 2,5 m con el 0,07% en la época seca y el 1,13% en la lluviosa. Las direcciones con mayor parasitismo fueron la dirección suroeste y sur con el 0,17% en la época seca y 1,31% en la época seca.

Lista de cuadros

Cuadro 1. Resultados de las pruebas de calidad de los lotes de <i>Diachasmimorpha longicaudata</i> liberados en campo.....	24
Cuadro 2. Registro promedio de condiciones meteorológicas durante las fases de liberación de <i>Diachasmimorpha longicaudata</i> . Localidad de Cuarros, Provincia de Puntarenas, Costa Rica	25
Cuadro 3. Área de dispersión y distancia media diaria de <i>Diachasmimorpha longicaudata</i> en una plantación de mango durante diferentes estaciones climáticas	35

Lista de figuras

Figura 1. Plantación de mango ubicada en localidad de Cuarros, Distrito Tarcoles, Cantón Garabito, Provincia de Puntarenas.....	13
Figura 2. Distribución de cinco zonas de acción en un área de 2,2 ha de mango donde se ubicaron las diferentes unidades de parasitismo en los ejes cardinales y colaterales. Imagen © 2019 Google Earth.	14
Figura 3. Procedimiento de cría de <i>Ceratitis capitata</i> . (A) jaula tipo Metapa, (B) volumen de huevecillos, (C) dieta artificial con huevecillos, (D) larvas de tercer instar, (E) equipo de irradiación. Programa Nacional Mosca de la Fruta.	15
Figura 4. Procedimiento de cría de <i>Diachasmimorpha longicaudata</i> . (A) larvas de tercer instar de <i>Ceratitis capitata</i> , (B) aros de polietileno expuestos al parasitoide, (C) selección de pupas, (D) dispositivo para transportar parasitoides a campo. Programa Nacional Mosca de la Fruta. Servicio Fitosanitario del Estado.....	17
Figura 5. Preparación de unidades de parasitismo. (A) materiales utilizados para fabricación de las unidades de parasitismo (B) unidades de parasitismo.	18
Figura 6. Liberación de <i>Diachasmimorpha longicaudata</i> en la plantación de mango. (A) ubicación del reservorio de parasitoides en el punto de liberación central (B) liberación de tela tool de los bordes del reservorio de parasitoides.	¡Error! Marcador no definido.
Figura 7. Razón sexual media ($\pm$ EE) de hembras <i>Diachasmimorpha longicaudata</i> obtenida en larvas irradiadas de <i>Ceratitis capitata</i>	26

Figura 8. Parasitismo medio ($\pm$ EE) de <i>Diachasmimorpha longicaudata</i> registrado en unidades de parasitismo expuestas durante cinco días. Localidad de Cuarros, Provincia de Puntarenas.....	27
Figura 9. Parasitismo medio ($\pm$ EE) de <i>Diachasmimorpha longicaudata</i> registrado en unidades de parasitismo expuestas a diferentes distancias. Localidad de Cuarros, Provincia de Puntarenas.....	28
Figura 10. Parasitismo medio ($\pm$ EE) de <i>Diachasmimorpha longicaudata</i> registrado en unidades de parasitismo ubicadas a diferentes alturas. Localidad de Cuarros, Provincia de Puntarenas.....	29
Figura 11. Parasitismo medio ($\pm$ EE) de <i>Diachasmimorpha longicaudata</i> registrado en unidades de parasitismo ubicadas en diferentes direcciones. Localidad de Cuarros, Provincia de Puntarenas.....	30
Figura 12. Parasitismo medio ($\pm$ EE) de <i>Diachasmimorpha longicaudata</i> registrado en unidades de parasitismo expuestas durante cinco días y cinco zonas de acción. (A) época seca, (B) lluviosa.....	31
Figura 13. Parasitismo medio ($\pm$ EE) de <i>Diachasmimorpha longicaudata</i> registrado en unidades de parasitismo expuestas durante diferentes días y alturas. (A) época seca, (B) lluviosa.	¡Error! Marcador no definido.

1. Introducción

En Centroamérica debido a las condiciones climáticas óptimas para la agricultura se siembra varios cultivos de importancia económica, sin embargo esto trae consigo problemas de plagas sobre todo con moscas de la fruta como: *Ceratitis capitata* y algunas especies del género *Anastrepha* (Tephritidae) (Carro, 2003). Las moscas de la fruta debido al daño mecánico que producen las larvas en los frutos, representan un impedimento a la producción y comercialización de los productos. Además, algunas de estas especies son de carácter cuarentenario (Montoya y Cancino 2004). En Costa Rica, las pérdidas en cultivos hortofrutícolas causadas por moscas de la fruta pueden estimarse en un 20% por *Ceratitis capitata*, 30% por especies del género *Anastrepha* y un 80-100% por la mosca *Toxotrypana curvicauda* (MAG, 2003).

Tradicionalmente, el control de moscas de la fruta se los realiza utilizando productos como: Spinosad, proteína hidrolizada y atrayentes alimenticios (Hernández y Luna, 2013). Sin embargo, las exigencias de los mercados internacionales de adquirir frutos cada vez con menos residuos de plaguicidas, abren el escenario para el empleo de controladores biológicos.

Dentro de los planes de manejo biológico contra moscas de la fruta, podemos encontrar el control con parasitoides. En este contexto, *Diachasmimorpha longicaudata* (Hymenoptera: Braconidae) es el parasitoide más usado en programas de liberaciones contra moscas de la fruta alrededor del mundo (Meirelles *et al.*, 2015). Originario de la región indo-australiana fue introducido al continente americano específicamente en Hawái en el año de 1948 (Aluja

et al. 1990; Montoya y Cancino 2004). En países como México, EEUU, Argentina, Brasil y Guatemala, se ha registrado el establecimiento del parasitoide reduciendo poblaciones de moscas de la fruta del género *Anastrepha* y *Ceratitis* en diferentes cultivos de importancia económica (Ovruski *et al.* 2000; Montoya y Cancino 2004; Carvalho 2005). Sin embargo, muchas veces el éxito del establecimiento de los parasitoides en campo se encuentra estrechamente relacionado con su habilidad de vuelo, capacidad de búsqueda, supervivencia y cantidad de individuos liberados (Cancino y Montoya 2006; Paranhos *et al.* 2007). La arquitectura y la diversidad vegetal dentro de un cultivo crean un medio adecuado para el refugio de los parasitoides. A su vez, las condiciones climáticas pueden favorecer o afectar la acción de los controladores biológicos (Appiah *et al.* 2013; Aluja *et al.* 2014; Harbi *et al.* 2018).

En Costa Rica, a pesar de la recuperación de larvas en campo para obtener información del parasitismo de *D. longicaudata*, aún no se tiene datos sobre los patrones de dispersión del parasitoide en las plantaciones una vez que son liberados por el Programa de Moscas de la Fruta del Servicio Fitosanitario del Estado. Estos parámetros son de gran importancia para la toma de decisiones, como por ejemplo: determinar la capacidad de dispersión del parasitoide en un área determinada, conocer los porcentajes y los días de mayor parasitismo posterior a la liberación, determinar el efecto de las condiciones ambientales sobre la actividad del parasitoide (Wharton *et al.* 1981; Aluja *et al.* 1990; Montoya y Cancino 2004; Ovruski *et al.* 2012; Camargos *et al.* 2016; Cancino *et al.* 2019). Con estos antecedentes el objetivo del presente estudio fue

evaluar los patrones de dispersión espacial y temporal de *D. longicaudata* en una plantación de mango en el Pacífico Central de Costa Rica.

2. Objetivos

2.1. Objetivo general

Determinar los patrones de dispersión de *Diachasmimorpha longicaudata* (Hymenoptera: Braconidae) en una plantación de mango del Pacífico Central de Costa Rica.

2.2. Objetivos específicos

- I. Determinar el desplazamiento horizontal y vertical de *D. longicaudata* en una plantación de mango durante la época seca y lluviosa.
- II. Identificar el área de dispersión de *D. longicaudata* en una plantación de mango durante la época seca y lluviosa.
- III. Evaluar los niveles de parasitismo de *D. longicaudata* en una plantación de mango durante la época seca y lluviosa.

3. Revisión de literatura

3.1. *Diachasmimorpha longicaudata* (Hymenoptera: Braconidae) (Ashmead, 1905)

Diachasmimorpha longicaudata es un endoparasitoide originario de la región indo-australiana que fue introducido al continente americano en el año de 1948 (Aluja *et al.* 1990; Montoya y Cancino 2004). En Costa Rica fue introducido en el año de 1957 y al igual que en países como EEUU, México, Argentina, Brasil, Nicaragua y Guatemala se ha registrado su establecimiento en cultivos de importancia económica reduciendo poblaciones de moscas de la fruta del género *Anastrepha* y *Ceratitis* (Carvalho 2005; Mayela 2012; Montoya y Cancino 2004; Ovruski *et al.* 2000).

3.2. Biología y comportamiento

Según Ibrahim *et al.* (1994) el periodo de huevo hasta adulto de *D. longicaudata* en larvas de *Bactrocera dorsalis* (Diptera: Tephritidae) de tercer instar y bajo condiciones de laboratorio ($26,5 \pm 1,5^{\circ}\text{C}$; $72,5 \pm 7,5\%$ HR) fue de $17,58 \pm 0,8$ días en la hembra y $16,35 \pm 0,8$ en el macho. A su vez utilizando otros hospederos, Meirelles *et al.* (2013) determinaron que *D. longicaudata* cumple su estado de desarrollo de huevo a adulto en larvas de *Anastrepha fraterculus* (Diptera: Tephritidae) en $18,8 \pm 0,17$ las hembras y $17,2 \pm 0,13$ los machos y en *C. capitata* (Diptera: Tephritidae) como hospedero en $19,2 \pm 0,23$ días las hembras y $18,5 \pm 0,13$ los machos, todos estos parámetros bajo condiciones de laboratorio de $25 \pm 2^{\circ}\text{C}$; $65 \pm 10\%$ HR.

Meirelles *et al.* (2015) evaluaron el efecto de diferentes temperaturas y a una humedad relativa constante al 65% sobre la longevidad de *D. longicaudata* teniendo como hospedero a *C. capitata*. Determinaron que cuando la temperatura fue 18; 21; 25; 28 y 31 °C el promedio de longevidad del parasitoide fue de: $53,3 \pm 3,05$; $39,4 \pm 1,69$; $29,5 \pm 1,76$; $11,3 \pm 0,75$ y $11,5 \pm 0,70$ respectivamente. Appiah *et al.* (2012) observaron que a una temperatura constante de 15 °C una hembra de *D. longicaudata* puede sobrevivir en promedio $142,7 \pm 2,3$ días.

La fecundidad promedio de una hembra de *D. longicaudata* es de $4,9 \pm 0,34$ huevos por día bajo condiciones de $25 \pm 2^{\circ}\text{C}$; $65 \pm 10\%$ HR; 14:10 h L:D. Además, se ha documentado que *D. longicaudata* puede completar el proceso de oviposición sobre una larva de tercer instar de *A. ludens* en un lapso de tiempo $29 \pm 11,7$ segundos, con condiciones ambientales controladas de $26 \pm 2^{\circ}\text{C}$; $65 \pm 10\%$ HR (Meirelles *et al.* 2013; Montoya *et al.* 2003).

El periodo promedio de oviposición de las hembras de *D. longicaudata* es de dos semanas. Sin embargo, dentro del segundo y sexto día ocurre el 75% de parasitismo (Harbi, 2017; López *et al.* 2009).

La disponibilidad de fuentes de carbohidratos es indispensable para las funciones biológicas de los parasitoides, como por ejemplo: Longevidad, fecundidad y oviposición. De esta forma se ha observado que la longevidad media de varias especies de *Diachasmimorpha* puede verse afectada considerablemente cuando no disponen de ningún alimento o cuando solo disponen de agua como fuente de alimento (Sime *et al.* 2006; Stuhl *et al.* 2011b; Zamek *et al.* 2013).

Las habilidades olfatorias y visuales de los parasitoides ayudan en la selección del hospedero. Messing y Jang (1992) determinaron que las hembras de *D. longicaudata* se vieron atraídas a trampas cuando estaban impregnadas con algún olor de fruta en comparación con el testigo. Sin embargo, las hembras no son capaces de discriminar un color en relación al olor. Jang *et al.* (2000) concluyeron que el comportamiento de oviposición de *D. longicaudata* está influenciado más por el olor de la fruta y no por la forma.

En la búsqueda del hospedero, *D. longicaudata* usa las vibraciones y señales químicas producidas por las larvas dentro del fruto. En ensayos de laboratorio, Stuhl *et al.* (2011a) determinaron que larvas de *A. suspensa* (Diptera: Tephritidae), *Bactrocera dorsalis*, *B. cucurbitae* y *C. capitata*, liberaban un compuesto químico (para-etilacetofenona) que estimulaba la oviposición del parasitoide. Según Carrasco *et al.* (2005) los frutos de mango infestados con larvas de *Anastrepha ludens* liberaron el compuesto acetato de 2-feniletilo lo que podría explicar la preferencia de los parasitoides por las frutas infestadas.

3.3.Capacidad de dispersión

López *et al.* (2009) determinaron que la velocidad de vuelo de *D. longicaudata* fue de 2,03 milímetros/segundos. En plantaciones de cítricos del Sureste de Brasil, Paranhos *et al.* (2007) evaluaron la dispersión horizontal de diferentes poblaciones de *D. longicaudata* y determinaron que la densidad poblacional de 2000 parasitoides pueden desplazarse hasta una distancia de 41 m en verano. Mientras que, 8000 parasitoides liberados alcanzaron los 25 m en la época invernal.

La dispersión horizontal de *D. longicaudata* se ha evaluado en diferentes cultivos. En plantaciones de guayaba, Camargos (2011) determino que *D. longicaudata* alcanzo una distancia de 173 m desde el punto de liberación central. En café, Camargos *et al.* (2016) registraron un desplazamiento de 76,12m y en cítricos, Harbi *et al.* (2015) determinaron una distancia de 75m de desplazamiento.

En estudios realizados para evaluar la dispersión vertical del parasitoide, se ha registrado que *D. longicaudata* es capaz de volar desde la superficie del suelo en promedio hasta los 1,54 m de altura (Messing *et al.* 1994; Paranhos *et al.* 2007).

Se ha documentado la presencia de varios braconidos en diferentes gradientes altitudinales. *D. longicaudata* ha sido registrado parasitando larvas de moscas de la fruta hasta los 1200 m.s.n.m. (Sivinski *et al.* 2000).

La fluctuación e intensidad del viento afectan el comportamiento de vuelo de los parasitoides. Utilizando túneles de viento Messing *et al.* (1996), evaluaron los efectos de cuatro velocidades de viento sobre el comportamiento de vuelo de *D. longicaudata* y determinaron que una velocidad de 0,4 metros/segundos no interfirió en el vuelo y caminata del parasitoide. Sin embargo, cuando la velocidad se incrementó de 0,8 metros/segundos el comportamiento de vuelo del parasitoide se detuvo.

3.4. Parasitismo

Diachasmimorpha longicaudata es un parasitoide de varias especies de larvas de moscas de la fruta. En el continente Americano se ha registrado parasitando larvas de *Anastrepha fraterculus*, *A. ludens*, *A. obliqua*, *A. serpentina*, *A. striata*,

A. serpentina, *Bactrocera oleae* y *C. capitata* (Cancino *et al.* 2014; Meirelles *et al.* 2013; Sánchez 2007; Sime *et al.* 2006).

En condiciones de laboratorio, Paranhos *et al.* (2007) colectaron frutos de campo de cuatro cultivares de guayaba infestados con *C. capitata* y los expusieron al parasitismo de *D. longicaudata* durante 24h y se registró el 19,84%; 16,12%; 10,92% y 2,93% de parasitismo en los frutos de los cultivares Pedro Sato, Paluma, Sassaoca y Kumagai respectivamente. Utilizando larvas irradiadas de *C. capitata*, Gil (2003) registro un 42,27 % de parasitismo ocasionado por *D. longicaudata*.

En condiciones de campo, Rocha *et al.* (2008) liberaron *D. longicaudata* en plantaciones de guayaba y mediante la colecta de frutos, determinaron un parasitismo del 64 %, 24 horas posteriores a la liberación. Suarez *et al.* (2014) liberaron *D. longicaudata* en cultivares de higo (*Ficus carica*), vid (*Vitis vinífera*), rosal silvestre (*Rosa canina*), naranja (*Citrus sinensis*), mandarina (*C. reticulata*) y caqui (*Diospyros kaki*) con presencia de *C. capitata*. Luego de una semana de la liberación, procedieron a colectar los frutos y determinaron porcentajes de parasitismo de 71,4%; 22,7%; 2,5%; 1,8%; 0,8% y 0,8% respectivamente.

Adicional a la colecta de frutas en campo para determinar porcentajes de parasitismo de *D. longicaudata*, también se han utilizado trampas o unidades de parasitismo “UP” en cuyo interior se colocan larvas de tercer instar de *C. capitata* y son ubicadas en diferentes puntos dentro de una plantación para evaluar su capacidad de parasitismo y desplazamiento (Camargos 2011; Camargos *et al.* 2016).

3.5. Moscas de la fruta

Las moscas de la fruta son consideradas la plaga más importante dentro de la fruticultura a nivel mundial debido a los daños que ocasionan. El daño mecánico producido por la oviposición de las hembras y la alimentación de las larvas en los frutos, botones florales y vainas son considerados como daños directos. Mientras que, las pérdidas en comercialización de la fruta debido al daño causado por las larvas se conocen como daños indirectos (Uchoa y Zuchii 1999; Sutherst *et al.* 2000; Badi *et al.* 2015).

La familia Tephritidae posee alrededor de 4300 especies que se encuentran ampliamente distribuidas en diversas regiones de todo el mundo (Li *et al.* 2009; Steck 2008; Yonow y Sutherst 1988). Especialmente en el trópico y subtrópico, donde los géneros más perjudiciales son *Anastrepha*, *Bactrocera*, *Rhagoletis*, *Toxotrypana* y *Ceratitis* (Hernández-Ortiz *et al.* 2010; Thomas *et al.* 2001). Siendo *C. capitata* una de las principales plagas en la mayoría de cultivos de América Central y Sudamérica (CONABIO 2011; Raga *et al.* 2002; Segura *et al.* 2006).

3.6. *Ceratitis capitata* (Diptera: Tephritidae) (Wiedemann, 1824)

Ceratitis capitata puede alcanzar varias generaciones por año, sin embargo factores bióticos y abióticos pueden tener un efecto negativo o favorecer las fluctuaciones poblacionales de esta especie. Cañadas *et al.* (2014) determinaron que las poblaciones de *C. capitata* en la temporada seca son más numerosas en comparación con la época invernal. Flores *et al.* (2016) mediante monitoreos pudieron establecer que *C. capitata* puede afectar frutos de hospederos ubicados en altitudes que van desde los 400 a 1800 msnm. Israely

et al. (2005) sugieren que una sola generación de *C. capitata* puede desplazarse hasta 50 km en búsqueda de nuevos hospederos.

3.7. Plantas hospederas

Ceratitis capitata es considerada una plaga polífaga con un amplio rango de hospederos frutales agrupados aproximadamente en 67 familias botánicas entre los que se encuentran: Naranja (*Citrus sinensis*), guayaba (*Psidium guajava*), durazno (*Prunus persicae*), ciruela (*Spondias purpurea*), carambola (*Averrhoa carambola*) (Fernández y Zucchi 1999; Papadopoulos 2008). En Costa Rica ha sido reportada afectando, caimito morado (*Chrysophyllum cainito*), cas (*P. friedrichsthalianum*), café (*Coffea arábica*) papaya (*Carica papaya*) y mango (*Mangifera indica*) (Wharton *et al.* 1981; Jirón y Hedström 1988).

3.8. Control

Diversos métodos de control se han implementado para reducir las poblaciones de moscas de la fruta y van desde el control cultural, autocida, etológico, químico y control biológico (Jessup *et al.* 2007; Sánchez *et al.* 2016).

El control biológico con parasitoides ha sido ampliamente investigado y se han evaluado varios parasitoides que afectan los distintos estados de desarrollo de las moscas de la fruta, entre los que destacan: *Melittobia digitata* (Eulophidae), *Coptera haywardi* (Diapriidae), *Pachycrepoideus vindemmiae* (Pteromalidae), *Utetes anastrephae*, *Fopius arisanus*, *Psytallia fletcheri*, *P. humilis*, *Doryctobracon areolatus*, *Do. kraussii*, *Diachasmimorpha tryoni* y *Di. longicaudata* (Braconidae) (Bokonon-Ganta *et al.* 2013; Cancino, 2012;

González *et al.* 2013; Harris *et al.* 2010; Ovruski *et al.* 2000; Serra *et al.* 2011; Suarez *et al.* 2014; Yokoyama *et al.* 2010).

Mediante la aplicación del manejo integrado de plagas, que incluía la liberación de *D. longicaudata*. Montoya *et al.* (2007) lograron reducir las poblaciones de moscas de la fruta en un 39% durante el año 2004 y 42,7 % en el año 2005, en el estado de Michoacán, México. Sánchez *et al.* (2016) demostraron que *D. longicaudata* alcanzo un 36% de eficacia en la mortalidad de *C. capitata* en comparación con el testigo sin liberación.

4. Materiales y métodos

Se realizaron cuatro liberaciones de *D. longicaudata* en una plantación de mango durante los meses abril y mayo (época seca) y noviembre y diciembre (época lluviosa) evaluándose factores bióticos y abióticos.

4.1. Localización del área de estudio

El estudio se realizó en la localidad de Cuarros, Distrito Tarcoles, Cantón Garabito, Provincia de Puntarenas (9°51'18.45" N, 84°38'55.08"W, 51 m.s.n.m.). Según, Araya y Sanabria (2010) el área de ensayo se encuentra dentro de una zona de vida de un bosque seco tropical con temperaturas media anual de 27 °C, humedad relativa del 80% y precipitación anual de 1700 mm. Para el registro de los datos climatológicos a 400 m de distancia se instaló un equipo meteorológico portátil (Professional Weather Center model 02032, <https://www.acurite.com/>).

4.2. Características de la plantación

Se utilizaron arboles de mango con una edad promedio de 5 años con variedades Cavalini y Mora. Se realiza una cosecha al año entre los meses de agosto y septiembre. La altura promedio de aproximadamente 5 m, el dosel de 7,5 m y el distanciamiento entre plantas de 15 m (Figura 1).



Figura 1. Plantación de mango ubicada en localidad de Cuarros, Distrito Tarcoles, Cantón Garabito, Provincia de Puntarenas, Costa Rica 2018.

4.3. Demarcación del área

El área de ensayo tiene una extensión de 2,2 ha y desde un punto central se demarcaron cinco zonas de acción (cuadros) separados a 15 m entre cada uno, dentro de cada zona de acción se seleccionaron 8 árboles ubicados en la dirección de los ejes cardinales y colaterales, la separación entre los árboles ubicados en cada uno de los ejes cardinales fue a 15 m y de los colaterales a 21 m (Figura 2). Además, en cada árbol seleccionado se marcaron tres alturas a 0,5; 1,5 y 2,5m del suelo para la colocación de las unidades de parasitismo.

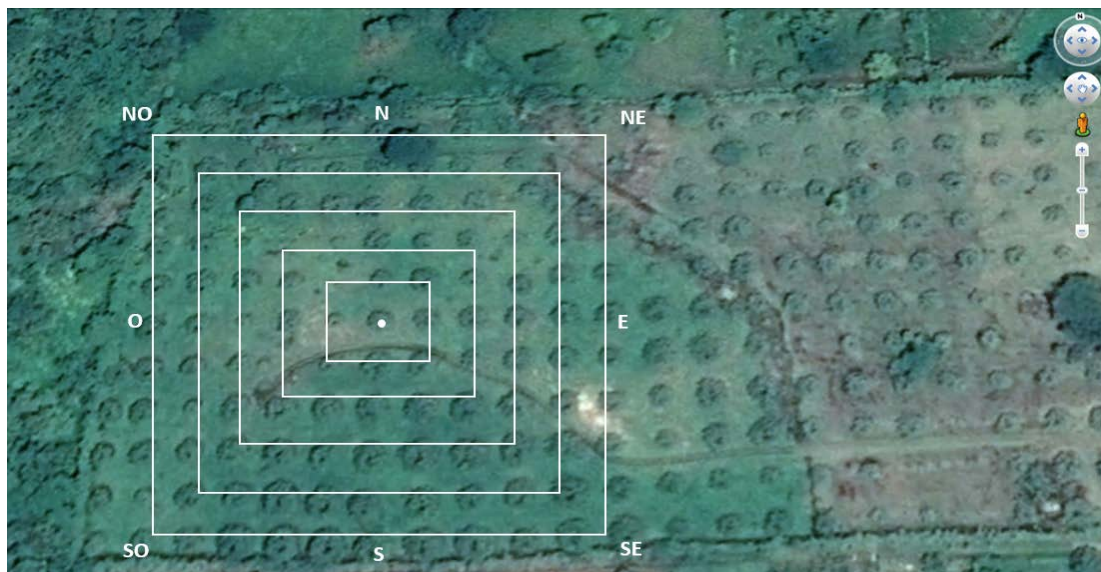


Figura 2. Distribución de cinco zonas de acción (cuadros) en un área de 2,2 ha de mango donde se ubicaron las diferentes UP en los ejes cardinales y colaterales. Imagen © 2019 Google Earth.

4.4. Cría de *Ceratitis capitata* y *Diachasmimorpha longicaudata*

La producción de *C. capitata* y *D. longicaudata* se realizó en el Programa de Mosca de la Fruta del Servicio Fitosanitario del Estado ubicada en Sabana Sur, San José a 980 msnm 9°57'36.23" N, 84°08'13.85" W. La distancia entre la plantación de mango y la fábrica de producción de los insectos es de aproximadamente 70 km.

4.5.1. *Ceratitis capitata*

Según Romero (2018¹) para la cría de las larvas de mosca, se recogieron 5 cc de huevecillos de *C. capitata*, luego los huevecillos se colocaron en una bandeja con dieta artificial preparada con 1 kg de polvo de olote, 514 gr de

¹ Romero, R. abril.2018. (Comunicación personal). Metodología de cría de *Diachasmimorpha longicaudata* y *Ceratitis capitata*). San José. Costa Rica. Programa Nacional Mosca de la Fruta, Servicio Fitosanitario del Estado.

harina de maíz, 619 gr de levadura de torula, 1050 gr de azúcar, 10 gr de goma guar, 20 gr de benzoato de sodio, 25 gr de ácido cítrico y 4 lt de agua. Una vez colocados los huevecillos en la dieta, las bandejas se transportaron a un cuarto de cría bajo condiciones controladas $29 \pm 2^{\circ}\text{C}$; $70 \pm 1,5\%$ HR y permanecieron siete días, tiempo en el cual las larvas alcanza el tercer instar. Al séptimo día se procedió a retirar toda la dieta artificial enjuagando las larvas, luego se les agregó polvo de olote y se colocaron en una bolsa plástica para ser llevadas al cuarto de irradiación donde fueron irradiadas a 50 Grey durante siete minutos con un equipo de rayos X Rad Source (Figura 3).



Figura 3. Procedimiento de cría de *Ceratitits capitata*. (A) jaula tipo Metapa, (B) volumen de huevecillos, (C) dieta artificial con huevecillos, (D) larvas de tercer instar, (E) equipo de irradiación. Programa Nacional Mosca de la Fruta.

4.5.2. *Diachasmimorpha longicaudata*

Según (Romero, 2018²) la cría del parasitoide se inicia cuando se toman 80 cc de larvas de *C. capitata* de siete días de edad (Figura 4A) y se colocan en aros de polietileno cubiertos por tela de lycra. Cada uno de estos aros se colocaron en la parte externa superior de una jaula horizontal de 71 x 47 x 38 cm (Figura 4B) cubiertas con malla antiáfido en cuyo interior se encontraban las hembras adultas de *D. longicaudata* de siete días de emergidos. El tiempo de exposición de los aros fue de al menos cuatro horas. Posterior a las exposiciones de las larvas parasitadas fueron transportada al cuarto de cría (26 ± 1 °C, $70 \pm 1,5$ % HR). Veinte y cuatro horas después de la exposición se seleccionaron 200 cc de pupas (Figura 4C) que se colocaron en un recipiente plástico de 25x15x15 cm donde se mantuvieron hasta tres días después de la emergencia de los parasitoides, esto con la finalidad de llevar a campo insectos maduros sexualmente (Figura 4D).

² Romero, R. abril.2018. (Comunicación personal). Metodología de cría de *Diachasmimorpha longicaudata* y *Ceratitidis capitata*). San José. Costa Rica. Programa Nacional Mosca de la Fruta, Servicio Fitosanitario del Estado.



Figura 4. Procedimiento de cría de *Diachasmimorpha longicaudata*. (A) larvas de tercer instar de *Ceratitidis capitata*, (B) aros de polietileno expuestos al parasitoide, (C) selección de pupas, (D) dispositivo para transportar parasitoides a campo. Programa Mosca de la Fruta. Servicio Fitosanitario del Estado.

4.6. Unidades de parasitismo (UP)

Las UP fueron bolsitas de tela tul de 14x14 cm en cuyo interior se colocó 1 ml de larvas (60 larvas) de tercer instar de *C. capitata* y se ajustaron con una correa plástica y luego fueron colocadas en una hielera para ser transportadas a campo (Figura 5).

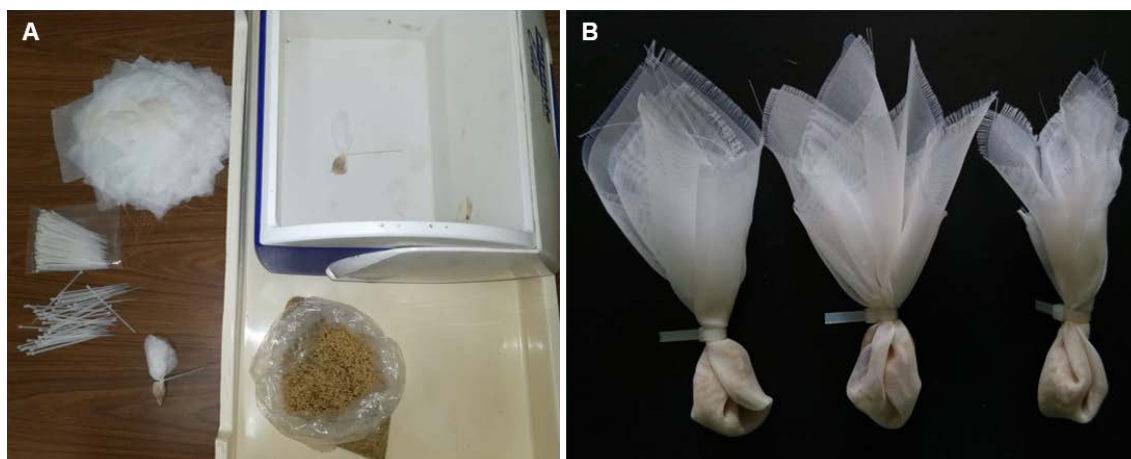


Figura 5. Preparación de unidades de parasitismo. (A) materiales utilizados para fabricación de unidades de parasitismo (B) unidades de parasitismo.

4.7. Liberación de *Diachasmimorpha longicaudata*

Se realizaron cuatro liberaciones de *D. longicaudata* durante los meses de abril, mayo (seca) y noviembre, diciembre (invierno) del 2018. En la época seca se liberaron un total de 4800 (591 hembras; 4208 machos) y en la época lluviosa 8440 (5800 hembras; 2640 machos). Las liberaciones se realizaron en horas de la mañana luego de haber colocado todas las UP en la plantación (Figura 6).



Figura 6. Liberación de *Diachasmimorpha longicaudata* en la plantación de mango. (A) ubicación del reservorio de parasitoides en el punto de liberación central (B) liberación de tela de tul de los bordes del reservorio de parasitoides.

Se colocaron 120 UP diarias (24 trampas por zona de acción) las trampas fueron reemplazadas cada 24 horas por nuevas trampas durante cinco días consecutivos; este proceso se repitió en todas las liberaciones de *D. longicaudata*. Las UP colectadas en campo fueron etiquetadas y colocadas en una hielera para luego ser trasladadas al Laboratorio de Entomología Económica del Centro de Investigación en Protección de Cultivos (CIPROC) de la Universidad de Costa Rica, ubicado en San Pedro de Montes de Oca, San José, 1070 m.s.n.m. y se mantuvieron en condiciones ambientales controladas $22,0 \pm 1,9^{\circ}\text{C}$, $72,1 \pm 4,5\%$ HR y fotoperiodo 12:12 horas de Luz y Oscuridad (L:O) hasta la emergencia de los parasitoides que fue aproximadamente a los 21 días.

Para descartar la existencia de una población silvestre de parasitoides, tres semanas antes de la primera liberación de *D. longicaudata* se colocaron UP en el contorno de la plantación durante 24 y 48 horas.

4.8. Pruebas de calidad

Al momento de seleccionar los 200 cc pupas parasitadas para realizar los ensayos en campo, se seleccionaron 300 pupas y se colocaron en tres platos Petri (100 pupas/plato Petri) donde se evaluó: porcentajes de emergencia, razón sexual y capacidad de vuelo de todas las liberaciones con parasitoides en campo. Para realizar las pruebas de emergencia y razón sexual se evaluaron utilizando las siguientes formulas:

$$\% \text{ emergencia} = \left[\frac{\text{Número de parasitoides emergidos}}{\text{Número de puparios sin apertura}} \right] \times 100$$

$$\text{Razón sexual} = \frac{\text{Número de hembras}}{(\text{Número de machos} + \text{Número de hembras})}$$

La capacidad de vuelo se realizó colocando 300 pupas en tres platos Petri (100 pupas/plato), sobre cada plato se colocó un tubo PVC al cual se le colocó talco en sus paredes internas para evitar que los parasitoides puedan caminar por ellas y salir. Se contabilizó el número total de pupas con apertura y se restó con el número de parasitoides que se encontraban en el plato Petri que no lograron despegar, la diferencia entre pupas con apertura y parasitoides sin despegar fueron los parasitoides que despegaron y se realizó utilizando la siguiente formula:

$$\% \text{ voladores} = \left[\frac{\text{Num. puparios vacíos} - \text{Num. parasitoides en interior del tubo}}{\text{Num. puparios vacíos}} \right] \times 100$$

4.9. Análisis de datos

4.9.1. Dispersión media

El análisis de la distancia media (DM) y el área de dispersión (S^2) de *D. longicaudata* fueron evaluados utilizando el modelo de Dobzhansky y Wright (1943), citado por Camargos *et al.* (2016), que se describe como:

$$DM = \frac{\sum r^2 \cdot \frac{i}{a}}{\sum r \cdot \frac{i}{a} + \frac{C}{2\pi}}$$

DM (m) = distancia media de dispersión (m) de los parasitoides durante el experimento.

$$S^2 = \frac{\sum r^3 \cdot \frac{i}{a}}{\sum r \cdot \frac{i}{a} + \frac{C}{2\pi}}$$

S^2 (m²) = área de dispersión (m²) durante el experimento.

Donde:

r = distancia (m) desde el centro hasta la trampa o unidad de parasitismo

a = número de trampas o unidades de parasitismo por zona de acción

C = media de parasitoides capturados en zona de acción central

i = total de parasitoides recuperados en cada zona de acción

4.9.2. Porcentaje de parasitismo

Como se usaron larvas irradiadas en todas las unidades de parasitismo, el conteo de adultos emergidos de mosca se realizó considerando las pupas sin

apertura. Así el porcentaje de parasitismo de *D. longicaudata*, se realizó utilizando la siguiente fórmula:

$$\% \text{ parasitismo} = \left[\frac{\text{Número de parasitoides emergidos}}{\text{Número total de insectos emergidos (*D. longicaudata* y *C. capitata*)}} \right] \times 100$$

4.9.3. Razón sexual

Para calcular la razón sexual de *D. longicaudata* en cada una de las épocas, se utilizó la misma fórmula de las pruebas de calidad.

4.9.4. Selección de modelos

Se realizaron dos modelos independientes: el primer modelo temporal y el segundo modelo espacial-direccional. Para su análisis se utilizaron modelos lineales generalizados (GLM) con una distribución quasibinomial debido a la sobre dispersión de los datos y fueron evaluados con el paquete lme4 (Bates *et al.* 2015) del programa R (R Core Team 2019), versión 3.5.3.

En el modelo temporal solo se consideraron ocho trampas en cada uno de las zonas de acción para evitar la pseudorepetición. Los parámetros de evaluación en el primer modelo fueron: días de exposición, temperatura, humedad relativa, precipitación, dirección y velocidad del viento. En el segundo modelo los parámetros evaluados fueron: distancia horizontal, vertical, altitudinal y las direcciones de los ejes cardinales y colaterales. Además, se evaluó todas las interacciones posibles de las variables en estudio en cada uno de los modelos.

4.9.5. Interpretación probabilística

Para la dispersión temporal y espacial se realizó una interpretación probabilística estimando la probabilidad del valor de *P* para predecir si *D.*

longicaudata puede parasitar las larvas de *C. capitata* al décimo día posterior a su liberación y a 150 m desde punto de liberación central.

5. Resultados

5.5. Parámetros de calidad

Los parámetros de calidad de los lotes liberados en la época lluviosa fueron más altos en comparación con los lotes de la época seca (Cuadro 1). Así, en la primera liberación de la época seca se soltaron 960 adultos de *D. longicaudata* (240 H: 720 M) y en la segunda liberación fueron 3840 adultos (1900 H: 1940 M). En la primera liberación de la época lluviosa se soltaron 3800 adultos (2660 H: 1440 M) y en la segunda liberación de la estación lluviosa se liberaron 4640 (3248 H: 1392 M).

Cuadro 1. Resultados de las pruebas de calidad de los lotes de *Diachasmimorpha longicaudata* liberados en una plantación de mango durante dos épocas climáticas.

Época	Liberación	Emergencia	Razón sexual	Capacidad de vuelo
		(%)	(H : M)	(%)
Seca	Primera	8	0,18 : 1	56,6
	Segunda	32	0,5 : 1	54,0
Lluviosa	Primera	32	1,4 : 1	84,5
	Segunda	39	1,4 : 1	89,2

5.6. Datos climatológicos

La temperatura promedio y velocidad del viento fueron mayor en la época seca. Sin embargo, la humedad relativa y la precipitación fueron mayores en la época lluviosa. Además, la dirección del viento en ambas épocas provino de la misma dirección (Cuadro 2) (Anexos 1:6).

Cuadro 2. Valores promedios de las condiciones meteorológicas registrados cada 24 horas con intervalos de 15 minutos durante todos los días de experimentación $\pm$ DE.

Época	Temperatura (°C)	Humedad relativa (%)	Precipitación (mm)	Velocidad del viento (m/s)	Dirección del viento
Seca	27,07 $\pm$ 3,43	82,23 $\pm$ 12,66	0,14 $\pm$ 0,05	0,88 $\pm$ 0,90	Sur
Lluviosa	25,06 $\pm$ 5,31	89,15 $\pm$ 9,30	1,52 $\pm$ 0,90	0,54 $\pm$ 0,75	Sur

5.7. Evaluación de parasitoides nativos

En las trampas expuestas para la evaluación de los parasitoides nativos, no se registró la presencia de parasitoides, estos resultados sirvieron para corroborar que los *D. longicaudata* obtenidos en las UP expuestas provenían únicamente de nuestras liberaciones.

5.8. Número total de parasitoides capturados luego de cada liberación

El mayor número parasitoides emergidos fue en la época lluviosa (203 hembras y 215 machos) mientras que en la estación seca se registraron 11 hembras y 23 machos. Por lo tanto se observó significancia estadística entre las épocas de liberación ($t= 4,272$ gl= 798 $P= 2,17e-05$).

5.9. Porcentaje de hembras de *Diachasmimorpha longicaudata*

En ambas épocas la proporción sexual de las hembras recuperadas no superó el 50% (Figura 7). Además, se pudo observar que a pesar de que en la época lluviosa la razón sexual fue mayor a la época seca, estadísticamente no hubo diferencias significativas ($t= 1,137$ gl= 62 $P= 0,242$).

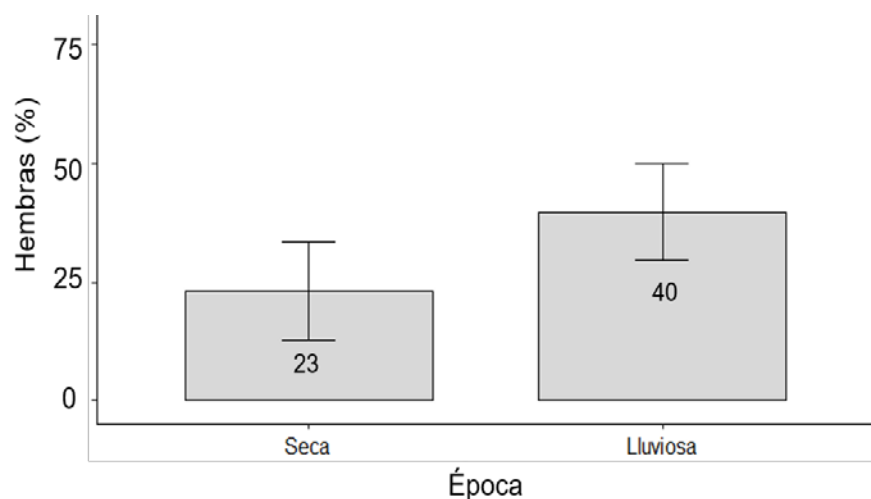


Figura 7. Razón sexual media ($\pm$ EE) de hembras *Diachasmimorpha longicaudata* obtenida en larvas irradiadas de *Ceratitis capitata*.

5.10. Dispersión temporal

Durante la estación seca hubo parasitismo durante los cinco días del ensayo, siendo el tercer día el de mayor emergencia. En contraste, en la época lluviosa se observó parasitismo a partir del segundo día coincidiendo con el de mayor emergencia de adultos (Figura 8). Sin embargo, el análisis estadístico reveló que no hubo diferencias significativas entre los días de la época seca ($t = -0,848$, $gl = 398$, $P = 0,397$) al igual que entre los días de la época lluviosa ($t = 0,971$, $gl = 398$, $P = 0,332$).

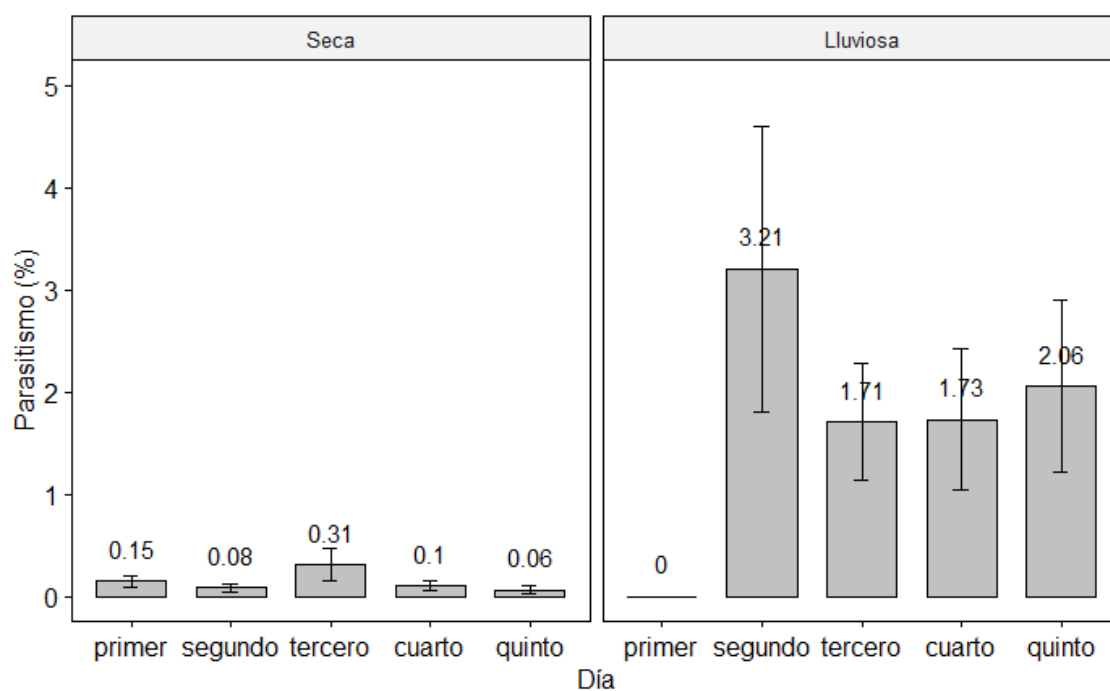


Figura 8. Parasitismo medio ($\pm$ EE) de *Diachasmimorpha longicaudata* registrado en unidades de parasitismo expuestas durante cinco días consecutivos. Localidad de Cuarros, Provincia de Puntarenas, Costa Rica 2018.

5.11. Dispersión espacial (horizontal)

Diachasmimorpha longicaudata pudo parasitar en casi la mayoría de trampas ubicadas a todas las diferentes distancias durante ambas épocas. Sin embargo, los valores más altos estuvieron dentro de las tres primeras zonas de acción contando desde el punto de liberación central (Figura 9). El análisis estadístico demostró que en la época lluviosa el parasitismo fue significativo con respecto a la distancia ($t = -4,294$ gl= 398 $P = 2.21e-05$) más no en la época seca ($t = -0,606$ gl= 398 $P = 0,544$). La interpretación probabilística estimó que el porcentaje de parasitismo a 150 m desde el punto de liberación fue del 0% en ambas épocas.

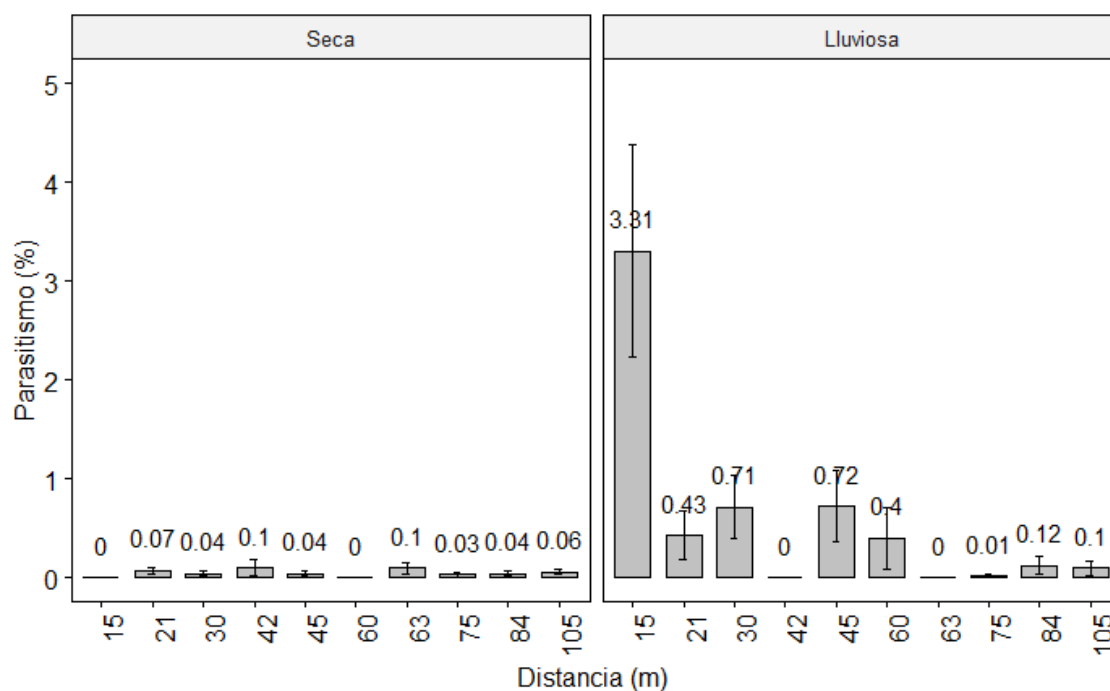


Figura 9. Parasitismo medio ($\pm$ EE) de *Diachasmimorpha longicaudata* registrado en unidades de parasitismo expuestas a diferentes distancias del punto central de liberación. Las distancias de 15, 30, 45, 60 y 75 m corresponden a los puntos cardinales. Las distancias de 21, 42, 63, 84 y 105 m corresponden a los puntos colaterales.

5.12. Dispersión espacial (vertical)

En la época seca emergieron un total 10, 8 y 16 parasitoides en las trampas ubicadas a 0,5 m; 1,5 m y 2,5 respectivamente. Mientras que, en la época lluviosa se colectaron 74 *D. longicaudata* a 0,5 m, 72 a 1,5m y 272 a 2,5m. Independientemente de las distancias de las zonas de acción en ambas épocas las trampas ubicadas a 2,5 m de altura fueron las más parasitadas (Figura 10). El análisis estadístico de la variable altura en la época seca no demostró diferencias significativas ($t = 0,844,65$ gl= 1198 $P = 0,399$), sin embargo en la

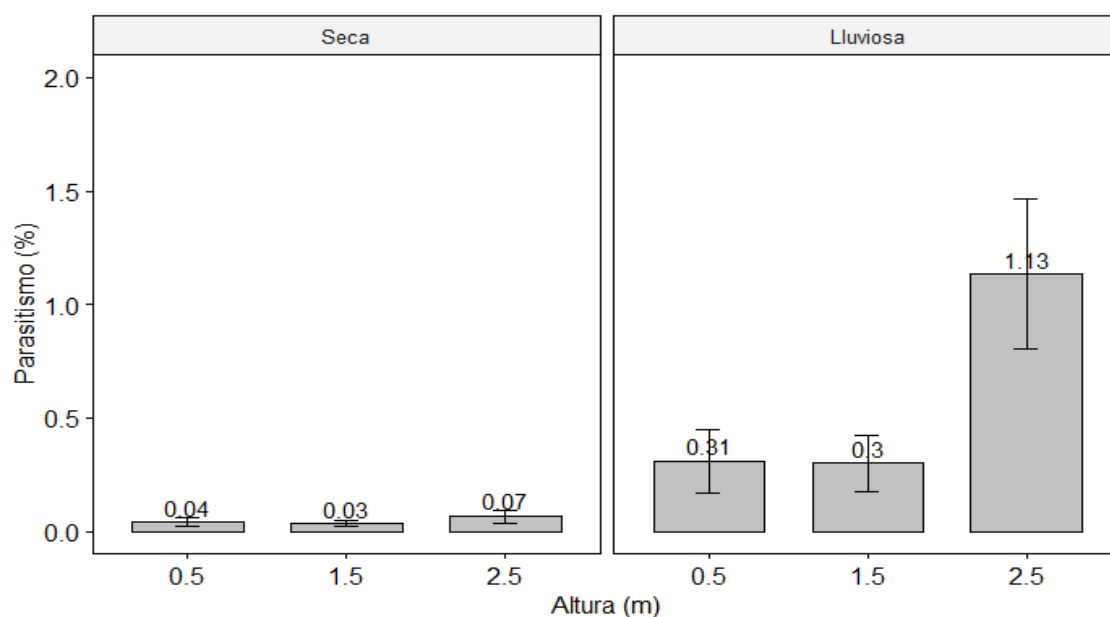


Figura 10. Parasitismo medio ($\pm$ EE) de *Diachasmimorpha longicaudata* registrado en unidades de parasitismo ubicadas a diferentes alturas. Localidad de Cuarros, Provincia de Puntarenas, Costa Rica 2018.

5.13. Dispersión direccional (ejes cardinales y colaterales)

De manera general en ambas épocas se capturaron parasitoides en todas las direcciones. Sin embargo, en la época seca las trampas ubicadas en las direcciones colaterales (noreste, sureste, noroeste y suroeste) obtuvieron mayores valores de parasitismo. Contrario a esto, en la época lluviosa se capturaron más parasitoides en las trampas ubicadas en las direcciones cardinales (norte, sur, este y oeste) (Figura 11). De acuerdo con el análisis estadístico no se encontraron diferencias significativas en la época seca ($t= 0,26$ gl= 2398 $P= 0,795$) ni en la época lluviosa ($t= 0,276$ gl= 2398 $P= 0,782$).

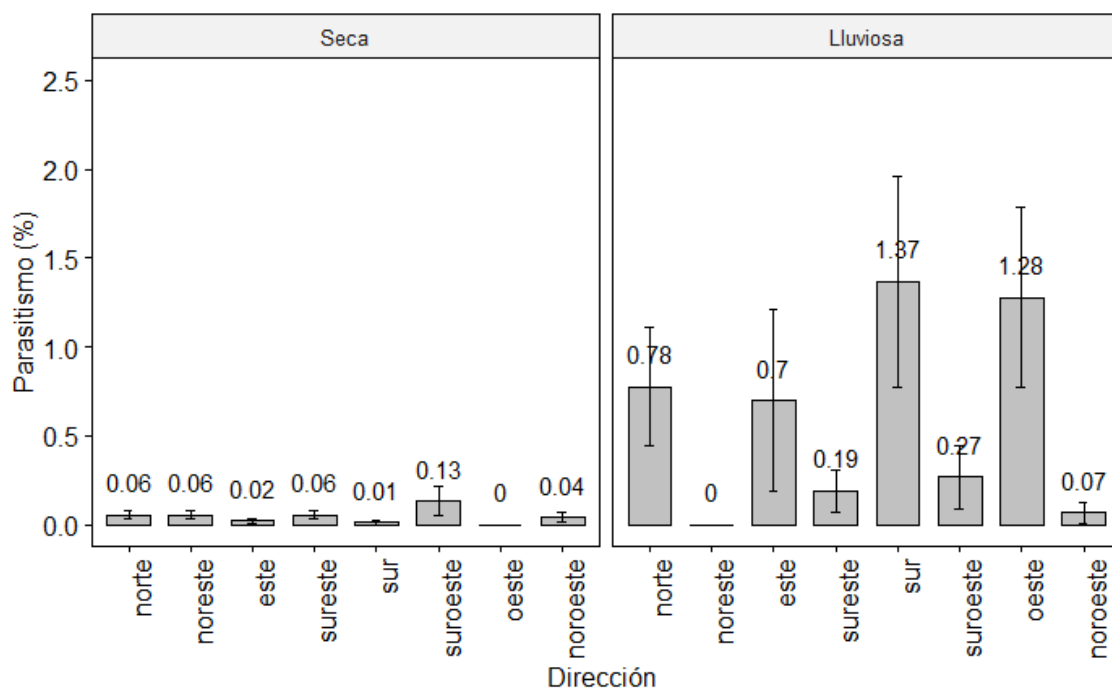


Figura 11. Parasitismo medio ($\pm$ EE) de *Diachasmimorpha longicaudata* registrado en unidades de parasitismo ubicadas en diferentes direcciones con respecto al punto de liberación. Localidad de Cuarros, Provincia de Puntarenas, Costa Rica 2018

5.14. Interacción temporal-espacial

Con la finalidad de determinar si *D. longicaudata* presentaba una preferencia por parasitar en una zona de acción determinada según transcurrían los días posterior a su liberación, se graficó la interacción entre las variables tiempo y espacio. Según la Figura 12, no se observó preferencia entre las variables en estudio y el parasitismo en la época seca. Además, de acuerdo al análisis no se encontraron diferencias estadísticas entre las distancias en cada uno de los días evaluados. Sin embargo, en la época lluviosa se puede observar que existe una preferencia por parte del parasitoide en la primera zona de acción siendo el de mayor parasitismo en la mayoría de los días evaluados. Además,

según el análisis se pudo comprobar diferencias estadísticas entre las distancias del segundo día de evaluación.

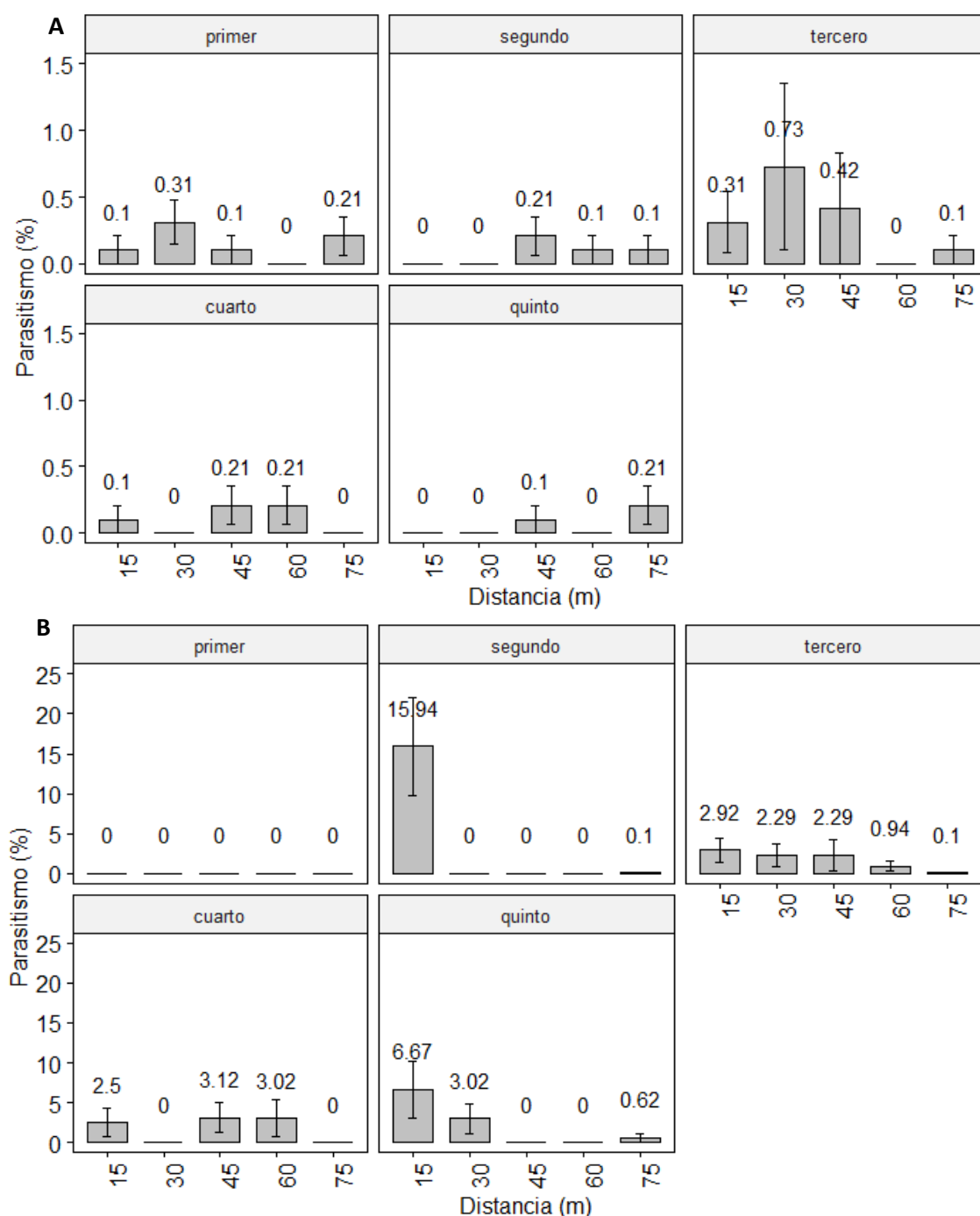


Figura 12. Parasitismo medio ($\pm$ EE) de *Diachasmimorpha longicaudata* registrado en unidades de parasitismo expuestas durante cinco días y ubicadas en cinco zonas de acción desde un punto de liberación. (A) Época seca, (B) época lluviosa

La interacción de los días con las diferentes alturas en la época seca y lluviosa demostró que hubo una preferencia por *D. longicaudata* en parasitar la trampa ubicada a 2,5 siendo siempre la de mayor parasitismo (Figura 13). Sin embargo, el análisis estadístico reveló que no hubo diferencias estadísticas entre la interacción de las alturas de cada uno de los días tanto en la época seca y lluviosa.

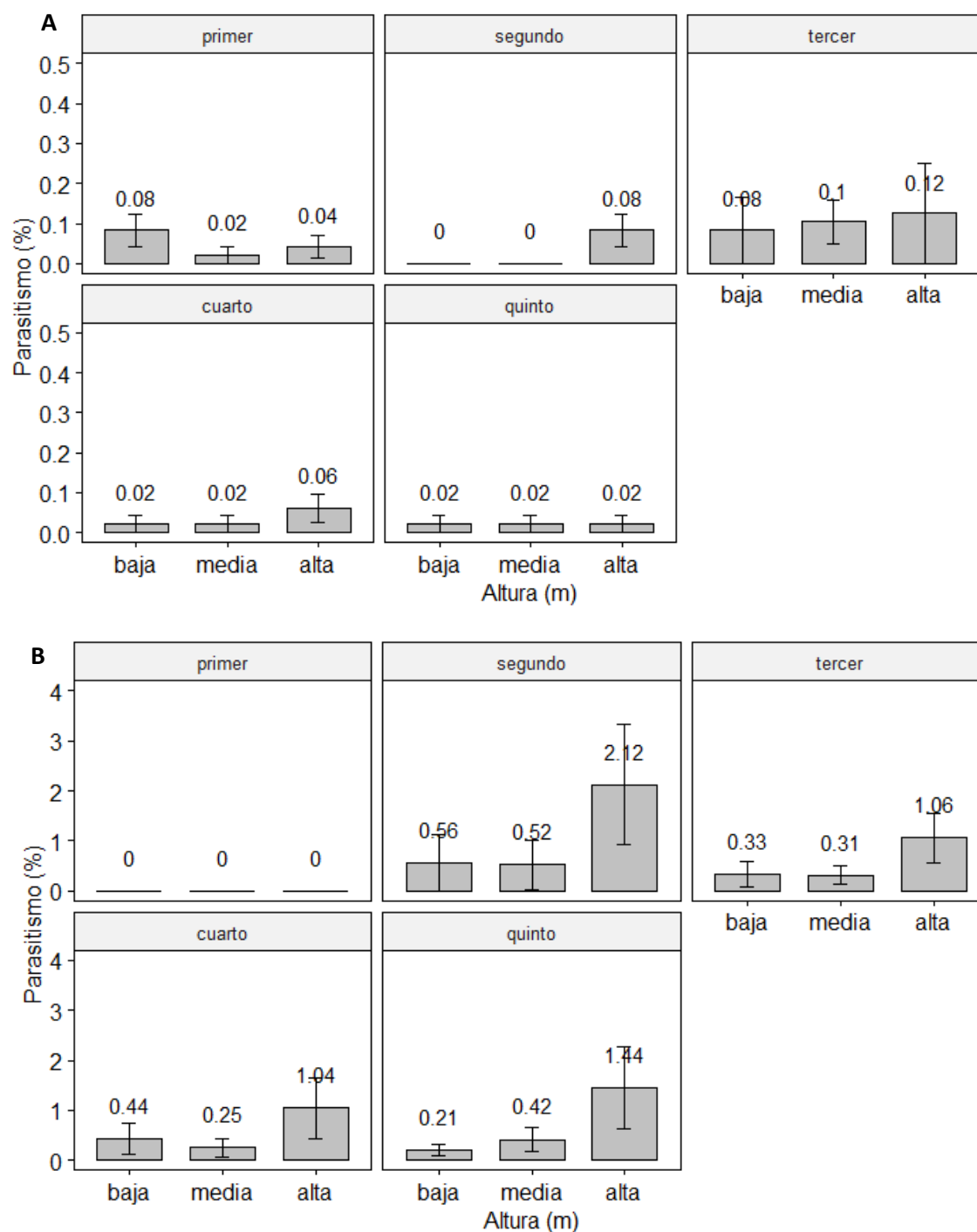


Figura 13. Parasitismo medio ($\pm$ EE) de *Diachasmimorpha longicaudata* registrado en unidades de parasitismo expuestas durante diferentes días y alturas. (A) época seca (B) época lluviosa.

5.15. Influencia de factores climáticos sobre el parasitismo de *Diachasmimorpha longicaudata*

Según los análisis estadísticos no se observó ningún tipo de relación entre las variables meteorológicas y el parasitismo de *D. longicaudata* durante la época seca (Anexos 7:16) y la época lluviosa (Anexos 17:26).

5.16. Dispersión y distancia media de *Diachasmimorpha longicaudata*

Basados en los modelos matemáticos de Dobzhansky y Wright (1943), se determinó que la dispersión y distancia promedio durante cinco días, fue mayor en la estación seca (1484,8 m² y 23,68 m) en comparación a la estación lluviosa (1208,36 m² y 19,65 m). En tanto los días de mayor dispersión y desplazamiento de *D. longicaudata* fueron el primer y tercer día en la época seca y lluviosa respectivamente (Cuadro 3).

Cuadro 3. Área de dispersión y distancia media diaria de *Diachasmimorpha longicaudata* en una plantación de mango durante diferentes estaciones climáticas.

Época	Días después de la liberación	Área dispersión (m ²)	Distancia media (m)
Seca	uno	2024,40	32,97
	dos	1350,00	22,00
	tres	1349,76	22,00
	cuatro	1686,78	24,97
	cinco	1012,50	16,50
Lluviosa	uno	0,00	0,00
	dos	674,28	10,99
	tres	2019,62	32,82
	cuatro	1349,57	21,98
	cinco	1998,34	32,48

6. Discusión

6.5. Evaluación de parasitoides nativos

En las trampas que tenían por finalidad evaluar la presencia de parasitoides nativos del sector antes de realizar las liberaciones, no registramos la presencia de ningún parasitoide ni tampoco de *D. longicaudata*. Además, sobre la presencia de *D. longicaudata* en la provincia de Puntarenas, solo se tiene registro en el cantón Golfito en la década de los 80 parasitando larvas *C. capitata* y *Anastrepha* spp. (Wharton *et al.* 1981; Jirón y Mexzón 1989).

6.6. Control de calidad

Los resultados de las pruebas de control de calidad sobre el porcentaje de parasitismo y razón sexual fue menor en los lotes liberados en la época seca en comparación con la época lluviosa. Cancino y Montoya, (2006a) y Cancino *et al.* (2006b) determinaron que los porcentajes de parasitismo y proporción sexual de los parasitoides criados en biofábricas son indicativos de calidad al momento de realizar las liberaciones. Además, Cruz *et al.* (2018) concluyeron que los tratamientos con mayor número de hembras de *D. longicaudata* obtuvieron los mayores porcentajes de parasitismo sobre larvas de *C. capitata*, debido a que las hembras son las que parasitan las larvas. Posiblemente esto fue una de las principales causas que influenció en el mayor parasitismo durante la época lluviosa en nuestro estudio.

Otra posible causa del bajo parasitismo en campo y laboratorio, podría estar asociado al tipo de hospedero. En nuestro estudio se utilizaron larvas de tercer instar de *C. capitata* como hospedero de *D. longicaudata* tanto en campo y laboratorio. Ensayos de Cancino *et al.* (2014) y López *et al.* (2009)

determinaron que los parasitoides que fueron criados en larvas de *C. capitata* presentaron el menor porcentaje de parasitismo y fueron menos fecundas en comparación con hospederos de tamaño grande como *A. ludens*, *A. obliqua* y *A. serpentina*.

El efecto de la irradiación en larvas de *C. capitata* fue descartado como una posible causa que afecte la funcionalidad del parasitoide. Cancino *et al.* (2002) y Gil (2003) quienes determinaron que el efecto de la irradiación sobre larvas de mosca de la fruta no afectó la fecundidad, supervivencia y parasitismo de *D. longicaudata* comparado con larvas no irradiadas. Los parasitoides usados en nuestras liberaciones fueron criados en larvas irradiadas de tercer instar de *C. capitata*. De la misma manera, las larvas de las unidades de parasitismo fueron larvas irradiadas de *C. capitata*.

6.7. Parasitismo

Durante esta investigación el número de *D. longicaudata* emergidos en la época lluviosa fue mayor respecto a la época seca. Sin embargo, los mayores porcentajes de parasitismo solo llegaron al 5%. Colectando frutos de mango infestados larvas de moscas de la fruta en condiciones de campo Aluja *et al.* (1990) y Montoya *et al.* (2000) obtuvieron porcentajes de parasitismo de *D. longicaudata* de aproximadamente del 15%. Los compuestos volátiles que liberan los frutos con larvas de moscas atraen en mayor proporción a los parasitoides (Eben *et al.* 2000; Carrasco *et al.* 2005). Posiblemente esto pudo haber influido en la baja atracción del parasitoide a nuestras unidades de parasitismo que solo contenían las larvas y un sustrato artificial. Además,

durante esta investigación en ninguna de las fechas de liberación del parasitoide hubo frutos de mango maduros.

Durante la época seca, la diversidad de plantas asociadas al cultivo de mango fue prácticamente escasa a diferencia de la época lluviosa donde la diversidad fue más abundante. Según Aluja *et al.* (2014) y Cancino *et al.* (2018) la diversidad de plantas dentro de un cultivo funcionan como fuente de sombra y refugio para los parasitoides. Este factor podría haber influenciado en la longevidad de *D. longicaudata* y por consiguiente en su actividad como controlador biológico. Además, al haber una mayor diversidad de plantas en la época lluviosa, algunas plantas pudieron servir como fuente de alimento para los parasitoides. Sime *et al.* (2015) concluyeron que especies como *D. longicaudata* y *D. kraussi* sobrevivían en promedio 55 días con agua y miel. En contraste, cuando no se les suministró ningún tipo de alimento vivieron en promedio tres días.

En nuestros resultados observamos en ambas épocas que *D. longicaudata* pudo parasitar durante los cinco días evaluados. Sin embargo, los días de mayor actividad se registraron durante los dos primeros días posteriores a su liberación. Estos datos concuerdan con los obtenidos por Cancino *et al.* (2018) y Coutinho (2012) quienes obtuvieron los mayores porcentajes de parasitismo en los tres primeros días posterior a la liberación del parasitoide en plantaciones de naranja agria y café respectivamente.

Desde un punto de liberación central, *D. longicaudata* tanto en la época seca y lluviosa pudo desplazarse a todas las unidades de parasitismo, aunque en menor cantidad a las unidades de parasitismo ubicadas a 75 m (punto cardinal)

y 105 m (punto colateral). En ensayos de campo similares, se ha demostrado que *D. longicaudata* es capaz de desplazarse a más de 90 m desde su punto de liberación central (Camargos *et al.* 2015; Camargos *et al.* 2018), lo que concuerda con los resultados obtenidos en esta investigación (Figura 9). La dispersión espacial de varios parasitoides está relacionado directamente con la velocidad del viento (Hernández y Manzano, 2015; Kristensen *et al.* 2013). Posiblemente la velocidad del viento en ambas épocas pudo haber desplazado a parasitoides hasta la última zona de acción donde se encontraban las unidades de parasitismo.

En la época seca el mayor valor de parasitismo fue a 21 m, mientras que en la época lluviosa el mayor valor fue a los 15 m desde el punto de liberación. Datos similares fueron encontrados por Leal *et al.* (2008) y Coutinho (2012) quienes obtuvieron los mayores valores de parasitismo *D. longicaudata* a 20 m y 5 m respectivamente. Según, Lawrence (1981) las vibraciones provocadas por el movimiento de las larvas atraen en mayor cantidad a las hembras de *D. longicaudata*. Esto podría ser una causa del mayor parasitismo en las primeras zonas de acción, *D. longicaudata* pudo detectar el movimiento de las larvas que estaban dentro de las unidades de parasitismo en la primera zona de acción, en comparación con las unidades de parasitismo que estaban más distante del punto de liberación.

En ambas estaciones, *D. longicaudata* parasitó larvas en las tres alturas aunque con mayor frecuencia en la trampa ubicada a 2,5 m del suelo (Figura 10). Posiblemente las trampas en las alturas de 0,5 y 1,5 m estuvieron más expuestas a las velocidades del viento y por consiguiente se interrumpía el

parasitismo a diferencia de las trampas que estuvieron a 2,5 m las cuales se encontraban dentro del dosel de las plantas de mango. Contrario, a esto Paranhos *et al.* (2007) con el uso de trampas pegajosas amarillas demostró que el insecto en estudio fue encontrado en mayor cantidad en trampas ubicadas a 0,5 y 1,5 m de la superficie del suelo. Messing *et al.* (1997) determinaron que una velocidad del viento de 0,8 m/s interrumpe la actividad de vuelo y caminata de *D. longicaudata* y por consiguiente el parasitismo. Esto podría explicar el efecto del viento sobre los parasitoides, usando trampas pegajosas los parasitoides pudieron ser adheridos en las trampas con pegamento por acción del viento, sin embargo cuando se utilizaron unidades de parasitismo, *D. longicaudata* fue capaz de elegir trampas con menos interrupción del viento para realizar el parasitismo, eligiendo las trampas a 2,5 m.

6.8. Factores climáticos

En los ensayos realizados no se encontraron diferencias significativas entre las condiciones meteorológicas y el parasitismo causado por *D. longicaudata* Paranhos *et al.* (2007) y Camargos *et al.* (2015). Sin embargo, Sime *et al.* (2006) menciona que *D. longicaudata* puede sobrevivir y parasitar en un rango de temperaturas entre 15 y 30 °C. En este trabajo se pudo observar que las liberaciones del parasitoide estuvieron dentro de los rangos mencionados.

6.9. Dispersión media de *Diachasmimorpha longicaudata*

Se determinó que la dispersión y distancia promedio durante cinco días de capturas, fue mayor en la época seca en comparación con la lluviosa. Resultados similares fueron encontrados por Paranhos *et al.* (2007), quienes

realizaron liberaciones de *D. longicaudata* en invierno y verano en plantaciones de cítricos, y registraron una mayor dispersión en área y distancia media en condiciones de verano con 1700 m² en 45 m y en invierno 500 m² en 20 m. Además, nuestros resultados mostraron que la mayor área de dispersión (m²) del parasitoide se dio después de las 24 horas de liberación, datos que concuerdan con los de Camargos *et al.* (2015) quienes encontraron que la mayor área de cobertura (2,217.55 m²) de *D. longicaudata* se cumplió a las 24 horas posterior a su liberación.

7. Conclusiones y recomendaciones

Con base en los resultados obtenidos de las liberaciones de *Diachasmimorpha longicaudata*, concluimos:

El parasitoide en estudio pudo desplazarse hasta las últimas unidades de parasitismo de los ejes cardinales ubicados a 75 m y de los ejes colaterales ubicados a 105 m en ambas épocas. Además, *D. longicaudata* parasitó las trampas ubicadas en todas las alturas con mayor preferencia por las trampas ubicadas a 2,5 m de altura.

Basados en los modelos matemáticos de Dobzhansky y Wright (1943), el área de dispersión de *D. longicaudata* en la época seca fue de 2024,40 m² y 2019,62 m² en la época lluviosa.

Diachasmimorpha longicaudata pudo parasitar desde el primer día posterior a su liberación, siendo los tres primeros días los de mayor parasitismo en ambas épocas.

En este estudio las condiciones meteorológicas no fueron influyentes con el parasitismo diario de *D. longicaudata*. Sin embargo, se recomienda exponer unidades de parasitismo en el transcurso del día y determinar con base a los registros meteorológicos cuales son las horas de mayor actividad del parasitoide durante el día.

Diachasmimorpha longicaudata demostró que pudo parasitar dentro de los primeros cinco días posteriores a su liberación, adicional a esto, se recomienda ampliar los días de evaluación del parasitismo al menos hasta los

15 días posterior a su liberación con la finalidad de determinar si el parasitismo de *D. longicaudata* puede aumentar o disminuir.

Durante el desarrollo de este estudio se utilizaron 200 cc de pupas en cada una de las liberaciones, en estudios futuros se podría evaluar diferentes densidades de pupas parasitadas y evaluar la mejor densidad según los porcentajes de parasitismo.

8. Bibliografía

- Aluja, M; Guillen, J; Liedo, P; Cabrera, M; Ríos, E; Rosa, G; Celedonio, H; Mota, D. 1990. Fruit infesting tephritids (Diptera: Tephritidae) and associated parasitoids in Chiapas, Mexico. *Entomophaga*. 35(1), 39-48.
- Aluja, M; Sivinski, J; Van Driesche, R; Anzures-Dadda, A; Guillén, L. 2014. Pest management through tropical tree conservation. *Biodiversity and Conservation*. 23(4), 831-853.
- Appiah, E. F; Ekesi, S; Salifu, D; Afreh-Nuamah, K; Obeng-Ofori, D; Khamis, F; Mohamed, S. A. 2013. Effect of temperature on immature development and longevity of two introduced opiine parasitoids on *Bactrocera invadens*. *Journal of Applied Entomology*. 137(8), 571-579.
- Araya, N; Sanabria, M. 2010. Climatología de períodos quincenales secos, húmedos y de transición en las regiones climáticas del norte y pacífico norte, Costa Rica. (Tesis Licenciatura, Universidad Nacional)
- Badii, K. B; Billah M. K; Afreh-Nuamah K; Obeng-Ofori D; Nyarko G. 2015. Review of the pest status, economic impact and management of fruit-infesting flies (Diptera: Tephritidae) in Africa. *African Journal of Agricultural Research*, 10(12), 1488-1498.
- Bates, D; Maechler, M; Bolker, B., Walker, S. 2015. Fitting linear mixed-effects models using lme4. *Journal of Statistical Software*, 67(1), 1-48.
- Bokonon-Ganta, A; McQuate, G; Messing, R; Jang, B. 2013. Release and establishment of the parasitoid *Diachasmimorpha kraussii* against the

- tephritid fruit fly *Bactrocera latifrons* in Hawaii. Journal of Insect Science, 13(7), 1-15.
- Camargos, M. 2011. Padrao de dispersao espacial e temporal de *Diachasmimorpha longicaudata* (Hymenoptera: Braconidae) criado em larvas de *Ceratitis capitata* e *Anastrepha fraterculus* (Diptera: Tephritidae), (Tesis Doctoral, Universidad de Sao Paulo)
- Camargos, M; Alvarenga, C; Giustolin, T; Paranhos, B; Oliveira, P. do C; Rabelo, M. 2016. Dispersal capacity of fruit fly parasitoid *Diachasmimorpha longicaudata* (Hymenoptera: Braconidae) in irrigated coffee plantations. Scientia Agricola, 73(3), 227-233.
- Camargos, M; Alvarenga, C; Reis Júnior, R; Melges, J; Castro, J. 2018. Spatial and temporal dispersal patterns of *Diachasmimorpha longicaudata* (Hymenoptera: Braconidae) reared on *Ceratitis capitata* and *Anastrepha fraterculus* (Diptera: Tephritidae). Biological Control, 122, 84–92.
- Cancino, J; Ruiz, L; Gómez, Y; Toledo, J. 2002. Irradiación de larvas de *Anastrepha ludens* (Loew) (Diptera: Tephritidae) para inhibir la emergencia de moscas en la cría del parasitoide *Diachasmimorpha longicaudata* (Ashmead) (Hymenoptera: Braconidae). Folia Entomologica. Mexicana, 41(2), 195-208.
- Cancino, J; Montoya, P. 2006a. Advances and Perspectives in the Mass Rearing of Fruit Fly Parasitoids in Mexico. 10. Proceedings 7th International Symposium on Fruit Flies of Economic Importance.

- Cancino, J; López, P; Villalobos, P; Hipólito, P; Quintero, J; Mattiacci, L. 2006b. Control de calidad en la cría masiva de *Diachasmimorpha longicaudata* (Hymenoptera: Braconidae) fundamentos y procedimientos. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria. 54 p.
- Cancino, J; Ruíz, L; López, P; Sivinski, J. 2009. The suitability of *Anastrepha* spp. and *Ceratitis capitata* larvae as hosts of *Diachasmimorpha longicaudata* and *Diachasmimorpha tryoni*: Effects of host age and radiation dose and implications for quality control in mass rearing, *Biocontrol Science and Technology*, 19:S1, 81-94.
- Cancino, J. 2012. Atributos de *Coptera haywardi* (Hymenoptera: Diapriidae) como enemigo natural en el control biológico múltiple de moscas de la fruta (Diptera: Tephritidae). Tesis Ph.D. El Colegio de la Frontera Sur. México. 156 p.
- Cancino, J., Gálvez, C., López, A., Escalante, U., Montoya, P. 2018. Best timing to determine field parasitism by released *Diachasmimorpha longicaudata* (Hymenoptera: Braconidae) against *Anastrepha* (Diptera: Tephritidae) pest populations. *Neotropical entomology*. 48(1), 143-151.
- Cañadas, A; Rade, D; Zambrano, C. 2014. Diptera (Tephritidae) y su relación con factores abióticos, en la región Santa Elena, Ecuador. *Revista Colombiana de Entomología*. 40 (1), 55-62.
- Carrasco, M; Montoya, P; Cruz-López, L; Rojas, J. C. 2005. Response of the fruit fly parasitoid *Diachasmimorpha longicaudata* (Hymenoptera;

- Braconidae) to mango fruit volatiles. *Environmental Entomology*. 34(3), 576-583.
- Carro, X. 2003. Creación de zonas piloto libres de moscas de la fruta. *Actualidad Fitosanitaria*. Boletín N°12, pág. 3. Servicio Fitosanitario del Estado.
- Carvalho, R da S. 2005. Avaliação das liberações inoculativas do parasitóide exótico *Diachasmimorpha longicaudata* (Ashmead) (Hymenoptera: Braconidae) em pomar diversificado em Conceição do Almeida, BA. *Neotropical Entomology*. 34(5), 799-805.
- Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (Conabio). 2011. La biodiversidad en Veracruz: Estudio de Estado. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, Gobierno del Estado de Veracruz, Universidad Veracruzana, Instituto de Ecología, A.C. México.
- Cruz, C. G. da; Alvarenga, C. D; Oliveira, P. C. do C; Conceição, E. dos R. S; Santos, Z. C. dos, Giustolin, T. A; Souza, M. das D. da C. 2018. Density of *Diachasmimorpha longicaudata* (Ashmead) and host *Ceratitis capitata* (Wied) larvae for the increase of parasitoid female production. *Arq. Inst. Biol.* 85, 1-6.
- Eben, A; Benrey, B; Sivinski, J; Aluja, M. 2000. Host species and host plant effects on preference and performance of *Diachasmimorpha longicaudata* (Hymenoptera: Braconidae). *Environmental Entomology*. 29(1), 87-94.

- Fernandes, M; Zucchi, R. 1999. Metodología de colecta de Tephritidae y Lonchaeidae frugívoros (Diptera: Tephritoidea) y sus parasitoides (Hymenoptera). An. Soc. Entomol. Brasil. 28(4), 601-610.
- 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. 45, 4, 802–811.
- Gil, R. 2003. Biología e comportamiento de *Diachasmimorpha longicaudata* Ashmead (Hymenoptera: Braconidae) criado sobre larvas de *Ceratitis capitata* Wiedemann (Diptera: Tephritidae) irradiadas e não irradiadas com radiação gama. Tesis MSc. Universidad Estatal Paulista. Brasil. 53 p.
- González, E. 2003. Efecto de la temperatura, humedad relativa y humedad del suelo, sobre la patogenicidad de *Metarhizium anisopliae* (Hyphomycetes) en larvas de *Anastrepha ludens* (Diptera: Tephritidae). Tesis Ph.D. Universidad de Colima. México. 147 p.
- González, J; Aluja, M; Cusumano, A; Colazza, S; Vinson, S. 2013. Evaluating the quality of the Mexican fruit-fly, *Anastrepha ludens*, as host for the parasitoid *Melittobia digitata*. Entomología. 15, 27-32.
- Hernández, A; Luna, I. 2013. Efecto del tipo de atrayente y tipo de trampa en la respuesta de *Anastrepha ludens* (Diptera: Tephritidae) de diferente sexo, edad y condición nutricional. Tesis Lic. Universidad de Veracruzana. México. 55 p.

- Hernández, M; Manzano, M. 2015. Efecto del viento en la dispersión a corta distancia del parasitoide *Amitus fuscipennis* MacGown y Nebeker (Hymenoptera: Platygasteridae) en cultivos de fríjol y habichuela. Acta Agronómica. 65(1).
- Harbi, A; Beitia, F; Tur, C; Chermiti, B; Verdu, M; Sabater-Muñoz, B. 2015. Field releases of the larval parasitoid *Diachasmimorpha longicaudata* in Spain: First result on dispersal pattern. Acta Hort. 1065.
- Harbi, A. 2016. Life history parameters of *Diachasmimorpha longicaudata* on *Ceratitis capitata* under laboratory conditions: Implications for mass rearing and biological control. Tunisian Journal of Plant Protection. 11(2), 207-217.
- Harbi, A; Beitia, F; Chermiti, B; de Pedro, L; Ferrara, F; Asís, JD; Polidori, C; Tormos, J; Sabater-Muñoz, B. 2018. Abiotic factors affecting *Diachasmimorpha longicaudata* (Hymenoptera: Braconidae) activity as a natural enemy of *Ceratitis capitata* (Diptera: Tephritidae) under semi-natural conditions in the Mediterranean region. Journal of Applied Entomology. 142(8), 755-764.
- Harris, E. J; Bautista, R; Vargas, R; Jang, E; Eitam, A; Leblanc, L. 2010. Suppression of melon fly (Diptera: Tephritidae) populations with releases of *Fopius arisanus* and *Psytalia fletcheri* (Hymenoptera: Braconidae) in North Shore Oahu, HI, USA. Biocontrol. 55(5), 593-599.
- Hernández-Ortiz, V; Guillen-Aguilar, J; López, L. 2010. Taxonomía e identificación de moscas de la fruta de importancia económica en

américa. Moscas de la Fruta: Fundamentos y procedimientos para su manejo. 49-80 p.

Ibrahim, A; Palacio, I; Rohani, I. 1994. Biology of *Diachasmimorpha longicaudata*, a parasitoid of carambola fruit fly, (Diptera; Tephritidae). *Pertanika J. Trop. Agric. Sci.* 17(2), 139-143.

Israely, N; Ziv, Y; Galun, R. 2005. Metapopulation spatial-temporal distribution patterns of mediterranean fruit fly (Diptera: Tephritidae) in a patchy environment, *Annals of the Entomological Society of America*. 98, 3. 302-309 p.

Jang, E. B; Messing, R. H; Klungness, L. M; Carvalho, L. A. 2000. Flight tunnel responses of *Diachasmimorpha longicaudata* (Ashmead) (Hymenoptera: Braconidae) to olfactory and visual stimuli. *Journal of Insect Behavior*. 13, 528-533.

Jessup A. J; Dominiak B; Woods B; De Lima C.P.F; Tomkins A; Smallridge, C.J. 2007. Area-Wide management of fruit flies in Australia. En: Vreysen M.J.B., Robinson A.S., Hendrichs J. (eds) *Area-Wide Control of Insect Pests*. Springer, Dordrecht.

Jirón, L. F; Mexzon, R. G. 1989. Parasitoid hymenopterans of Costa Rica: Geographical distribution of the species associated with fruit flies [Diptera: Tephritidae]. *Entomophaga*. 34(1), 53-60.

Jiron, L; Hedström, I. 1998. Occurrence of fruit flies of the genera *Anastrepha* and *Ceratitis* (Diptera: Tephritidae), and their host plant availability in Costa Rica. *The Florida Entomologist*. 71(1), 62-73.

- Kristensen, N; Schellhorn, N; Hulthen, A; Howie, L; De Barro, P. 2013. Wind-Borne dispersal of a parasitoid: The Process, the Model, and its Validation. *Environmental Entomology*. 42(6), 1137-1148.
- Lawrence, P. 1981. Host vibration. A cue to host location by the parasite, *Biosteres longicaudatus*. *Oecologia*. 48(2), 249-251.
- Li, B; Ma, J; Hu, X; Liu, H; Zhang, R. 2009. Potential geographical distributions of the fruit flies *Ceratitis capitata*, *Ceratitis cosyra*, and *Ceratitis rosa* in China. *Journal of Economic Entomology*. 102(5), 1781–1790.
- López, O. P; Henaut, Y; Cancino, J; Lambin, M; Cruz-López, L; Rojas, J. C. 2009. Is host size an indicator of quality in the mass-reared parasitoid *Diachasmimorpha longicaudata* (Hymenoptera: Braconidae). *Florida Entomologist*. 92(3), 441-449.
- MAG (Ministerio de Agricultura y Ganadería), Servicio Fitosanitario del Estado. 2003. Informe de la situación fitosanitaria de Costa Rica.
- MAG (Ministerio de Agricultura, Servicio Fitosanitario del Estado. 2010. Costa Rica declara la guerra a Moscas de la Fruta. Comunicado de Prensa.
- Martínez-Martínez, L; Bravo, H; López-Collado, J; Leyva-Vásquez, J; Trujillo-Arriaga, J. 1992. Supervivencia y fecundidad de cuatro phena de *Diachasmimorpha longicaudata* (Hymenoptera: Braconidae), parasitoides de mosca de la fruta (Diptera: Tephritidae). 3(1), 17.
- Mayela, M. 2011. Actualidad Fitosanitaria: Nueva tecnología para controlar moscas en frutas. *Actualidad Fitosanitaria* N. 50, p. 2. Ministerio de Agricultura y Ganadería de Costa Rica.

- Mayela, M. 2012. Nuestra huella en el tiempo: Ministerio de Agricultura y Ganadería. Servicio Fitosanitario del Estado. 55 p.
- Meirelles, R. N; Redaelli, L. R; Ourique, C. B. 2013. Comparative biology of *Diachasmimorpha longicaudata* (Hymenoptera: Braconidae) reared on *Anastrepha fraterculus* and *Ceratitis capitata* (Diptera: Tephritidae). Florida Entomologist. 96(2), 412-418.
- Meirelles, R. N; Redaelli, L. R; Ourique, C. B. 2015. Thermal requirements and annual number of generations of *Diachasmimorpha longicaudata* (Hymenoptera: Braconidae) reared in the South American fruit fly and the mediterranean fruit fly (Diptera: Tephritidae). Florida Entomologist. 98(4), 1223-1226.
- Messing, R. H; Jang, E. B. 1992. Response of the fruit fly parasitoid *Diachasmimorpha longicaudata* (Hymenoptera: Braconidae) to host-fruit stimuli. Environmental Entomology. 21(5), 1189-1195.
- Messing, R. H; Klungness, L. M; Purcelu, M. F. 1994. Short-Range dispersal of mass-reared *Diachasmimorpha longicaudata* and *D. tryoni* (Hymenoptera: Braconidae), parasitoids of tephritid fruit Flies. J. Econ. Entomol. 87(4), 975-985.
- Messing, R. H; Klungness L. M; Jang E. B. 1997. Effects of wind on movement of *Diachasmimorpha longicaudata*, a parasitoid of tephritid fruit flies, in a laboratory flight tunnel. Entomologia Experimentalis et Applicata. 82. 147–152.
- Montoya, P; Benrey, B; Barrera, J.F; Zenil, M; Ruiz L; Liedo, P. 2003. Oviposition behavior and conspecific host discrimination in

Diachasmimorpha longicaudata (Hymenoptera: Braconidae), a fruit fly parasitoid, Biocontrol Science and Technology. 13(7), 683-690.

Montoya, P; Cancino, J. 2004. Control biológico por aumento en moscas de la fruta (Diptera: Tephritidae). Folia Entomológica Mexicana. 43(3), 257-270.

Montoya, P; Cancino, J; Zenil, M; Santiago, J; Gutierrez, J. M. 2007. The augmentative biological control component in the Mexican National Campaign against *Anastrepha* spp. fruit flies. Area-Wide Control of Insect Pests. 661-670.

Montoya, P; Flores, S; Toledo, J. 2008. Effect of rainfall and soil moisture on survival of adults and immature stages of *Anastrepha ludens* and *Anastrepha obliqua* (Diptera: Tephritidae) under semi-field conditions. Florida Entomologist. 91(4), 643-650.

Oropeza, A; Ruiz, L. C; Toledo, J. 2008. Larval parasitoids associated to *Anastrepha distincta* (Diptera: Tephritidae) in two host fruits at the Soconusco Region, Chiapas, Mexico. Florida Entomologist. 91(3), 498-500.

Ovruski, S; 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. 5(2), 81-107.

Ovruski, S; Bezdjian, L; Van Nieuwenhove, G; Albornoz-Medina, P; Schliserman, P. 2011. Host preference by *Diachasmimorpha longicaudata* (Hymenoptera: Braconidae) reared on larvae of *Anastrepha*

- fraterculus* and *Ceratitis capitata* (Diptera: Tephritidae). Florida Entomologist. 94(2), 195-200.
- Ovruski, S; Van Nieuwenhove, G; Bezdjian, L; Albornoz-Medina, P; Schliserman, P. 2012. Evaluation of *Diachasmimorpha longicaudata* (Hymenoptera: Braconidae) as a mortality factor of *Ceratitis capitata* (Diptera: Tephritidae) infesting Citrus species under laboratory and field-cage conditions. Biocontrol Science and Technology. 22(2), 187-202.
- Papadopoulos, N. T. 2008. Mediterranean fruit fly, *Ceratitis capitata* (Wiedemann) (Diptera: Tephritidae). En J. L. Capinera (Ed.), Encyclopedia of Entomology (pp. 2318-2322). Dordrecht: Springer Netherlands.
- Paranhos, B; Mendes, P. C. D; Papadopoulos, N. T; Walder, J. M. M. 2007. Dispersion patterns of *Diachasmimorpha longicaudata* (Hymenoptera: Braconidae) in citrus orchards in southeast Brazil. Biocontrol Science and Technology. 17(4), 375-385.
- Paranhos, B; Walder, J; Alvarenga, C. 2007. Parasitismo de larvas da mosca-do-mediterrâneo por *Diachasmimorpha longicaudata* (Ashmead) (Hymenoptera: Braconidae) em diferentes cultivares de goiaba. Neotropical Entomology. 36(2), 243-246.
- Raga, A; De Oliveira Prestes, D. A; Souza, F. M. F; Sato, M. E; Siloto, R. C; Zucchi, R. A. 2002. Occurrence of fruit flies in coffee varieties in the State of Sao Paulo, Brazil. Bol. San. Veg. Plagas. 28, 519-524.

- Ramos, C. 2012. Dispersão do parasitoide *Diachasmimorpha longicaudata* (Ashmead) (Hymenoptera: Braconidae) em cafeeiro irrigado, no semiárido mineiro. Tesis MSc. Universidad Estadual De Montes Claros, Brasil. 72 p.
- Rocha, M; Aguilar-Menezes, E; Lima, M; Rosario, J; Barsanulfo, E. 2008. Capacidade de sobrevivencia e dispersao de *Diachasmimorpha longicaudata*, um parasitoide exotico de larva de moscas-das-frutas. RJ: Embrapa Agrobiologia. 33p.
- Rohde, C; Moino Junior, A; Carvalho, F. D; Silva, M. A. T. 2012. Selection of entomopathogenic nematodes for the control of the fruit fly *Ceratitidis capitata* (Diptera: Tephritidae). Revista Brasileira de Ciências Agrárias - Brazilian Journal of Agricultural Sciences. 7(suppl.), 797-802.
- Sánchez, A. 2007. Estudio del parasitismo de *Diachasmimorpha longicaudata* (Hymenoptera: Braconidae) Ashmead en cinco especies de moscas de la fruta. Tesis MSc. Escuela Superior Politécnica del Litoral. Ecuador. 75 p.
- Sánchez, G; Murúa, F; Suárez, L; Van Nieuwenhove, G; Taret, G; Pantano, V; Ovruski, S. M. 2016. Augmentative releases of *Diachasmimorpha longicaudata* (Hymenoptera: Braconidae) for *Ceratitidis capitata* (Diptera: Tephritidae) control in a fruit-growing region of Argentina. Biological Control. 103, 101-107.
- Segura, D. F; Vera, M. T; Cagnotti, C. L; Vaccaro, N; De Coll, O; Ovruski, S. M; Cladera, J. L. 2006. Relative abundance of *Ceratitidis capitata* and *Anastrepha fraterculus* (Diptera: Tephritidae) in diverse host

- species and localities of Argentina, *Annals of the Entomological Society of America*. 99(1), 70–83.
- Serra, C. A; Ferreira, M; García, S; Santana, L; Castillo, M; Nolasco, C; Sivinski, J. 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.
- Sime, K. R; Daane, K. M; Nadel, H; Funk, C, S; Messing, R. H; Andrews, J. W; Pickett, C. H. 2006. *Diachasmimorpha longicaudata* and *D. kraussii* (Hymenoptera: Braconidae), potential parasitoids of the olive fruit fly. *Biocontrol Science and Technology*. 16(2), 169-179.
- Sivinski, J; Piñero, J; Aluja, M. 2000. The distributions of parasitoids (Hymenoptera) of *Anastrepha* fruit flies (Diptera: Tephritidae) along an altitudinal gradient in Veracruz, Mexico. *Biological Control*, 18(3), 258-269.
- SFE (Servicio Fitosanitario del Estado), MAG (Ministerio de Agricultura y Ganadería). 2003. Informe de la situación fitosanitaria de Costa Rica.
- Solís, A. 1994. Familia Tephritidae (Moscas de la fruta) [Las Familias de Insectos de Costa Rica].
- Steck, G. J. 2008. Fruit Flies (Diptera: Tephritidae). En J. L. Capinera (Ed.), *Encyclopedia of Entomology* (pp. 1536-1540). Dordrecht: Springer Netherlands.
- Stuhl, C; Sivinski, J; Teal, P; Paranhos, B; Aluja, M. 2011a. A compound produced by fruigivorous tephritidae (Diptera) larvae promotes

- oviposition behavior by the biological control agent *Diachasmimorpha longicaudata* (Hymenoptera: Braconidae). *Environmental Entomology*. 40(3), 727-736.
- Stuhl, C; Cicero, L; Sivinski, J; Teal, P; Lapointe, S; Paranhos, B. J; Aluja, M. 2011b. Longevity of multiple species of tephritid (Diptera) fruit fly parasitoids (Hymenoptera: Braconidae: Opiinae) provided exotic and sympatric-fruit based diets. *Journal of Insect Physiology*. 57(11), 1463-1470.
- Suarez, L; Murua, F; Lara, N; Escobar, J; Taret, G; Rubio, J; Van Nieuwenhove, G; Bezdjian, L; Schliserman, P; Ovruski, S. 2014. Biological control of *Ceratitis capitata* (Diptera: Tephritidae) in Argentina: Releases of *Diachasmimorpha longicaudata* (Hymenoptera: Braconidae) in fruit-producing semi-arid areas of San Juan. *Natural Science*. 6(9), 664-675.
- Sutherst, R. W; Collyer, B. S; Yonow, T. 2000. The vulnerability of Australian horticulture to the queensland fruit fly, *Bactrocera* (Dacus) *tryoni*, under climate change. *Australian Journal of Agricultural Research*. 51(4), 467 – 480.
- Thomas, M. C; Heppner, J. B; Woodruff, R. E; Weems, H. V; Steck, G. J; Fasulo, T. R. 2001. Mediterranean fruit fly, *Ceratitis capitata* (Wiedemann) (Insecta: Diptera: Tephritidae). Disponible en: <http://entomology.ifas.ufl.edu/creatures/>
- Uchoa, F, M, A; Zucchi R. A. 1999. Metodología de colecta de Tephritidae y Lonchaeidae frugívoros (Diptera: Tephritoidea) y sus parasitoides (Hymenoptera). *An. Soc. Entomol. Brasil*. 28(4), 601-610.

- Yonow, T; W. Sutherst, R. 1998. The geographical distribution of the queensland fruit fly, *Bactrocera* (Dacus) *tryoni*, in relation to climate. Australian Journal of Agricultural Research. 49, 935-954.
- Yokoyama, V. Y; Cáceres, C. E; Kuenen, L. P. S; Wang, X.-G; Rendón, P. A; Johnson, M. W; Daane, K. M. 2010. Field performance and fitness of an olive fruit fly parasitoid, *Psytalia humilis* (Hymenoptera: Braconidae), mass reared on irradiated Medfly. Biological Control. 54(2), 90-99.
- Wharton, R. A; Gilstrap, F. E; Rhode, R. H; Fischel-m, M; Hart, W. G. 1981. Hymenopterous EGG-pupal and larval-pupal parasitoids of *Ceratitis capitata* and *Anastrepha* spp. [Dip.: Tephritidae] in Costa Rica. Entomophaga. 26(3), 285-290.
- Zamek, A. L; Reynolds, O. L; Mansfield, S; Micallef, J. L; Gurr, G. M. 2013. Carbohydrate diet and reproductive performance of a fruit fly parasitoid, *Diachasmimorpha tryoni*. Journal of Insect Science. 13(74), 1-11.

9. Anexos

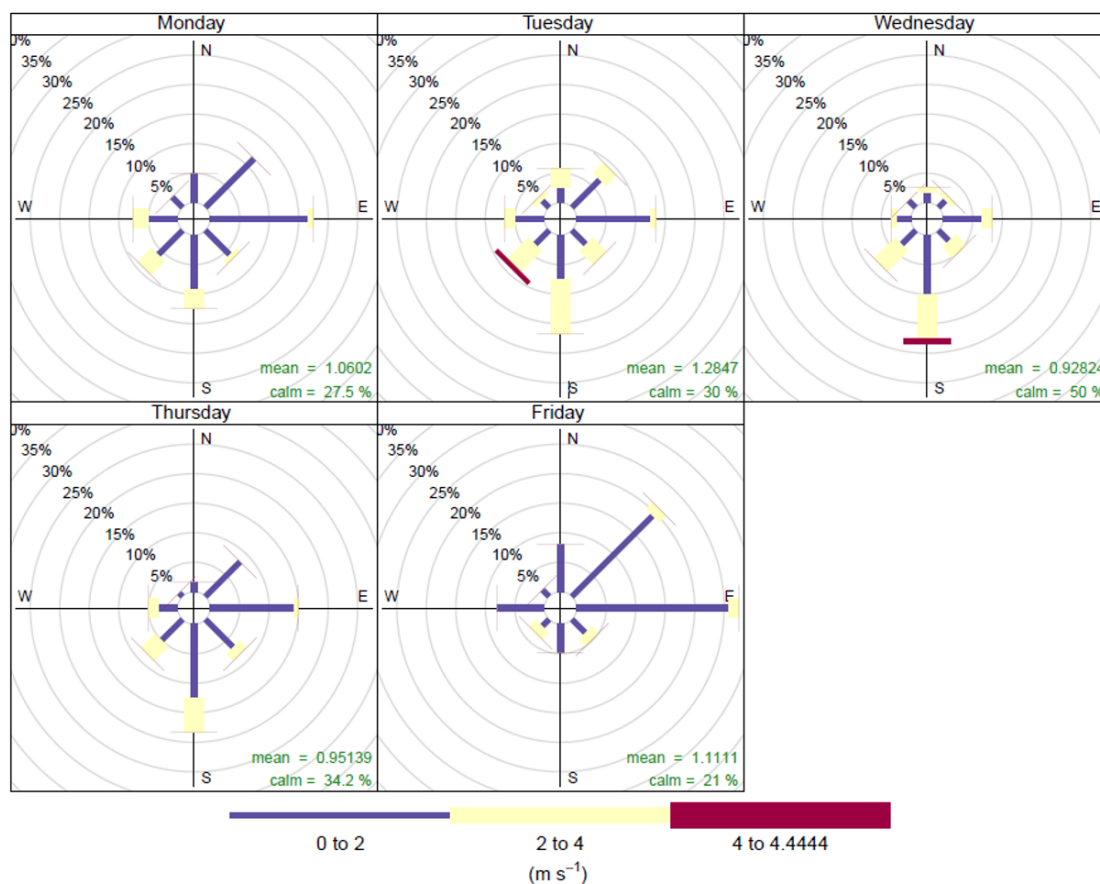
Anexo 1. Promedio diario de la temperatura registrada durante las liberaciones de *Diachasmimorpha longicaudata* en una plantación de mango ubicada en la localidad Cuarros, Cantón Garabito durante diferentes épocas climáticas

Época	Liberación	Fecha	Temperatura (°C)		
			promedio	máxima	mínima
Seca	Primera	07 mayo 2018	27,83	34,22	23,39
		08 mayo 2018	28,18	35,22	23,11
		09 mayo 2018	26,98	33,72	22,39
		10 mayo 2018	26,42	32,61	22,39
		11 mayo 2018	26,41	31,89	23,00
	Segunda	28 mayo 2018	25,31	29,78	23,22
		29 mayo 2018	27,18	32,78	23,28
		30 mayo 2018	27,11	32,89	23,22
		31 mayo 2018	27,18	33,00	23,00
		01 junio 2018	28,97	32,50	23,28
Lluviosa	Tercera	12 noviembre 2018	26,18	30,61	23,72
		13 noviembre 2018	25,40	31,89	21,50
		14 noviembre 2018	25,11	31,22	22,28
		15 noviembre 2018	26,04	31,61	22,00
		16 noviembre 2018	26,12	32,39	22,61
	Cuarta	3 diciembre 2018	25,73	31,00	21,04
		4 diciembre 2018	26,18	30,22	22,61
		5 diciembre 2018	26,01	31,61	20,78
		6 diciembre 2018	25,00	30,89	19,89
		7 diciembre 2018	25,72	31,28	20,89

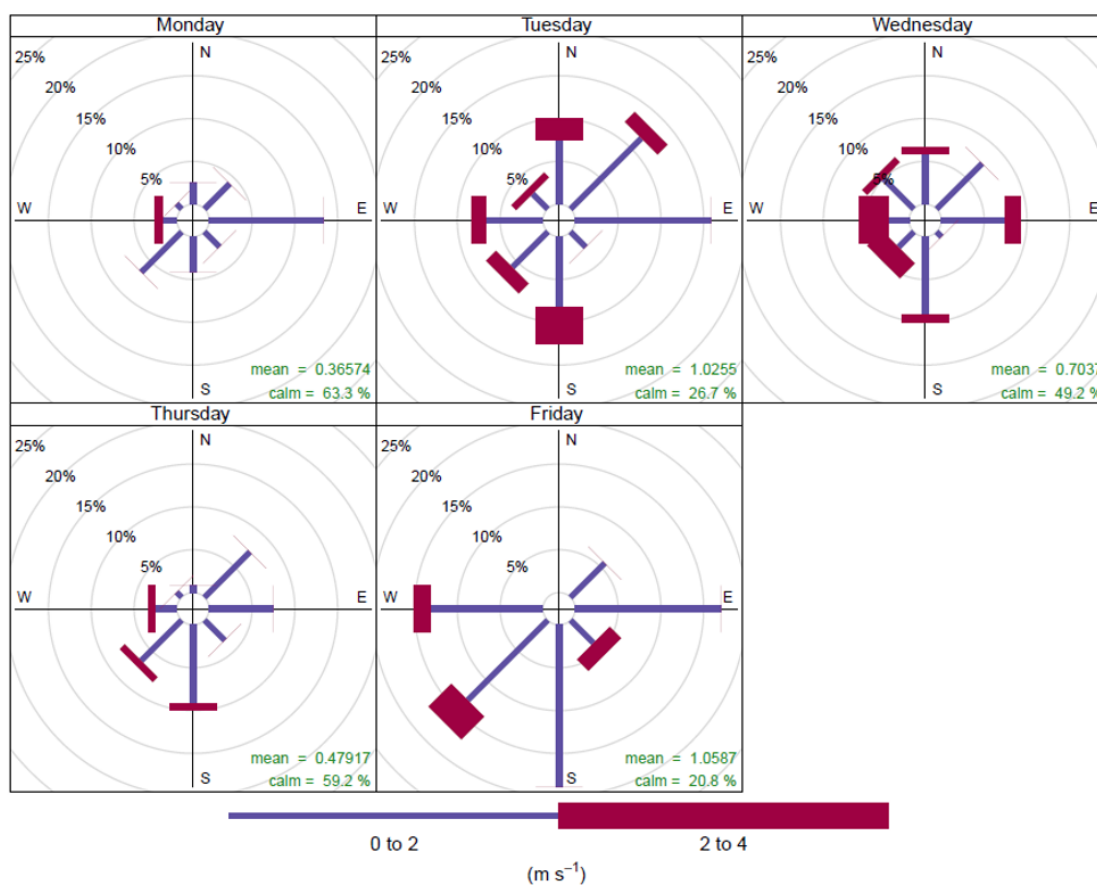
Anexo 2. Promedio diario de la humedad relativa (%) registrada durante las liberaciones de *Diachasmimorpha longicaudata* en una plantación de mango ubicada en la localidad Cuarros, Cantón Garabito durante diferentes épocas climáticas

Época	Liberación	Fecha	Humedad relativa (%)		
			promedio	máxima	mínima
Seca	Primera	07 mayo 2018	76,73	92,00	54,00
		08 mayo 2018	75,57	96,00	42,00
		09 mayo 2018	82,61	98,00	53,00
		10 mayo 2018	83,13	97,00	59,00
		11 mayo 2018	82,88	95,00	63,00
	Segunda	28 mayo 2018	92,03	99,00	75,00
		29 mayo 2018	83,19	97,00	65,00
		30 mayo 2018	84,02	95,00	65,00
		31 mayo 2018	84,31	97,00	62,00
		01 junio 2018	76,28	95,00	65,00
Lluviosa	Tercera	12 noviembre 2018	91,35	99,00	78,00
		13 noviembre 2018	89,50	99,00	65,00
		14 noviembre 2018	93,02	99,00	77,00
		15 noviembre 2018	90,38	99,00	75,00
		16 noviembre 2018	90,26	98,00	71,00
	Cuarta	3 diciembre 2018	86,57	97,25	69,75
		4 diciembre 2018	89,30	97,00	78,00
		5 diciembre 2018	82,61	97,00	63,00
		6 diciembre 2018	87,11	97,00	67,00
		7 diciembre 2018	87,28	98,00	71,00

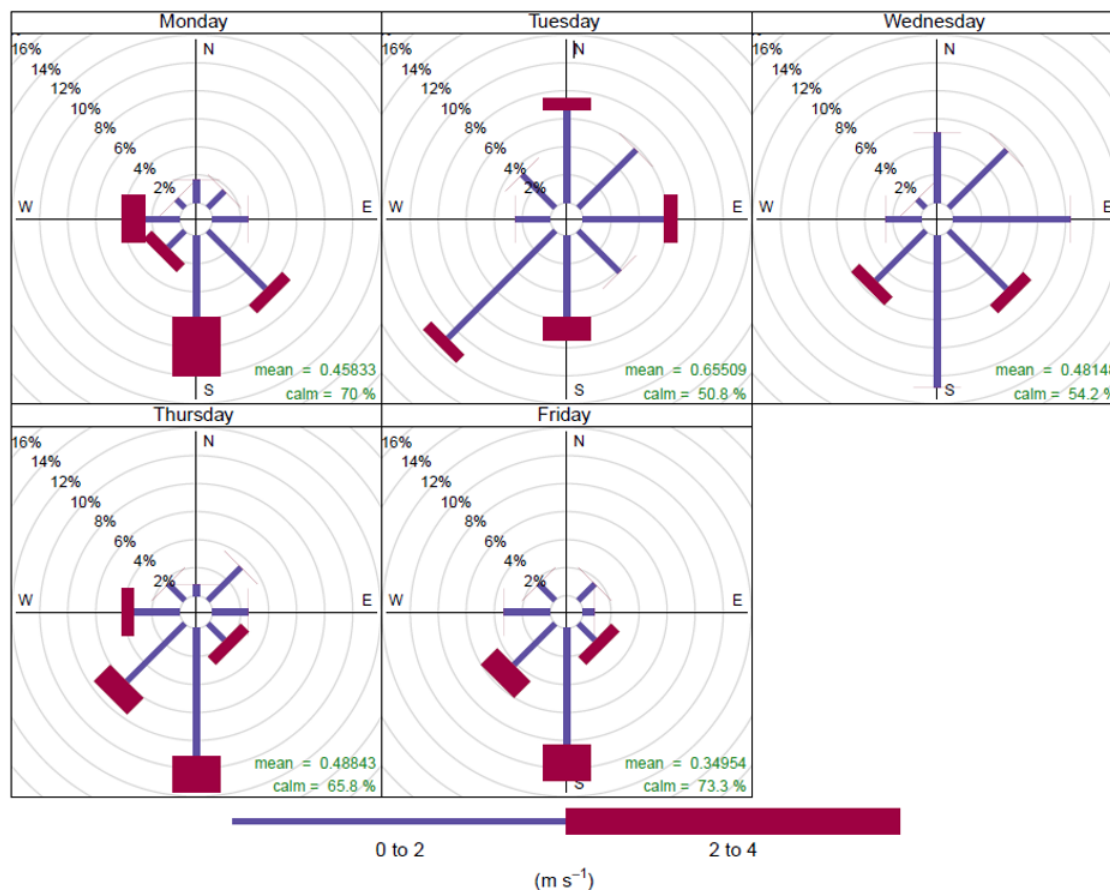
Anexo 3. Frecuencia de la dirección y velocidad del viento registrada por la estación meteorológica durante la primera liberación de *Diachasmimorpha longicaudata* en la época seca.



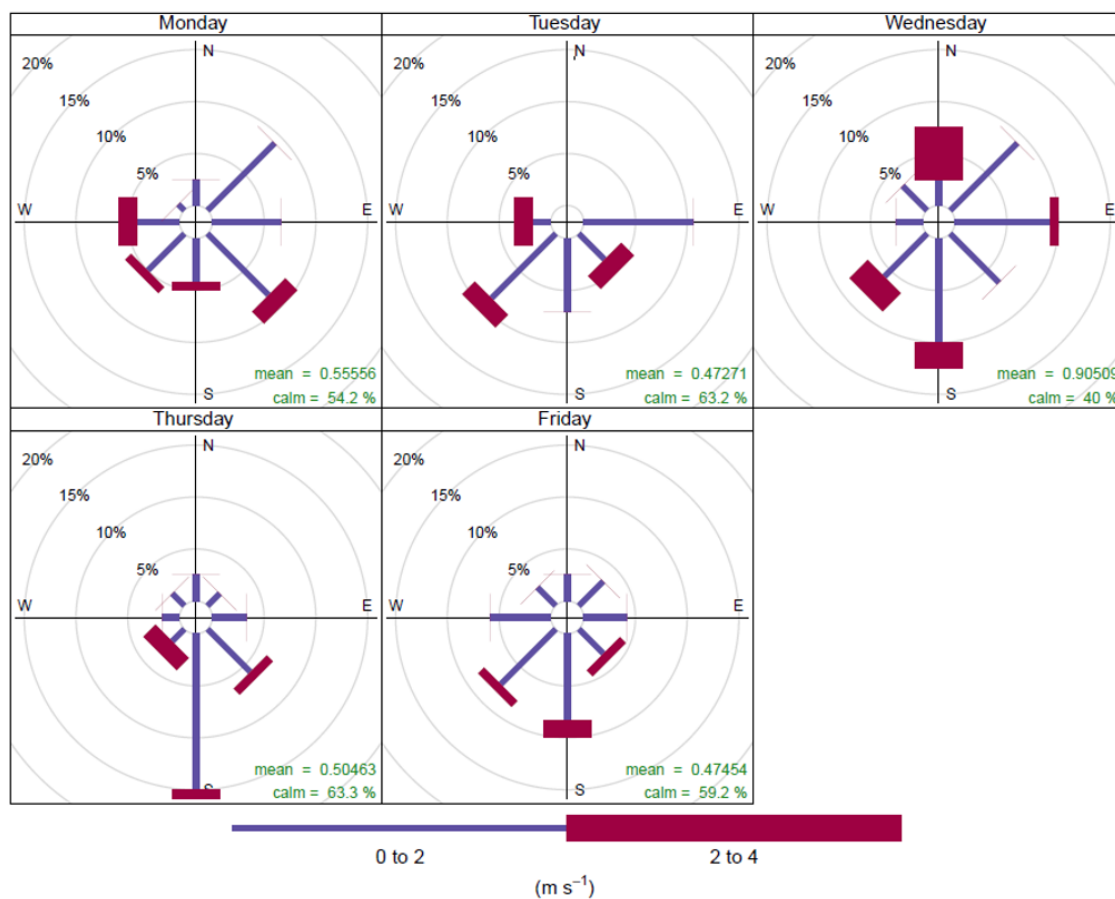
Anexo 4. Frecuencia de la dirección y velocidad del viento registrada por la estación meteorológica durante la segunda liberación de *Diachasmimorpha longicaudata* en la época seca.



Anexo 5. Frecuencia de la dirección y velocidad del viento registrada por la estación meteorológica durante la tercera liberación de *Diachasmimorpha longicaudata* en la época lluviosa.



Anexo 6. Frecuencia de la dirección y velocidad del viento registrada por la estación meteorológica durante la cuarta liberación de *Diachasmimorpha longicaudata* en la época lluviosa.



Anexo 7. Análisis estadístico de la interacción de la variable temperatura y humedad relativa sobre el parasitismo de *Diachasmimorpha longicaudata* durante la época seca

Call:

```
glm(formula = cbind(parasitoides, (60 - parasitoides)) ~ temperatura *
    humedad_relativa, family = binomial, data = cmseca)
```

Deviance Residuals:

Min	1Q	Median	3Q	Max
-0.4925	-0.4550	-0.4032	-0.3210	6.0732

Coefficients:

	Estimate	Std. Error	z value	Pr(> z)
(Intercept)	-87.38191	134.14006	-0.651	0.515
temperatura	2.54776	4.86016	0.524	0.600
humedad_relativa	0.67763	1.46587	0.462	0.644
temperatura:humedad_relativa	-0.01972	0.05331	-0.370	0.711

(Dispersion parameter for binomial family taken to be 1)

Null deviance: 204.27 on 399 degrees of freedom
 Residual deviance: 201.01 on 396 degrees of freedom
 AIC: 261.97

Number of Fisher Scoring iterations: 6

Anexo 8. Análisis estadístico de la interacción de la variable temperatura y precipitación sobre el parasitismo de *Diachasmimorpha longicaudata* durante la época seca

Call:

```
glm(formula = cbind(parasitoides, (60 - parasitoides)) ~ temperatura *
    precipitacion, family = binomial, data = cmseca)
```

Deviance Residuals:

Min	1Q	Median	3Q	Max
-0.4465	-0.4355	-0.4289	-0.3541	6.2079

Coefficients:

	Estimate	Std. Error	z value	Pr(> z)
(Intercept)	-3.3372	15.9546	-0.209	0.834
temperatura	-0.1147	0.5865	-0.196	0.845
precipitacion	5.5943	63.6535	0.088	0.930
temperatura:precipitacion	-0.2486	2.3683	-0.105	0.916

(Dispersion parameter for binomial family taken to be 1)

Null deviance: 204.27 on 399 degrees of freedom
 Residual deviance: 203.20 on 396 degrees of freedom
 AIC: 264.16

Number of Fisher Scoring iterations: 6

Anexo 9. Análisis estadístico de la interacción de la variable temperatura y dirección del viento sobre el parasitismo de *Diachasmimorpha longicaudata* durante la época seca

Call:

```
glm(formula = cbind(parasitoides, (60 - parasitoides)) ~ temperatura *  
    dv, family = binomial, data = cmseca)
```

Deviance Residuals:

Min	1Q	Median	3Q	Max
-0.5127	-0.4848	-0.3874	-0.3163	6.0034

Coefficients: (2 not defined because of singularities)

	Estimate	Std. Error	z value	Pr(> z)
(Intercept)	-32.9524	58.7432	-0.561	0.575
temperatura	0.9439	2.1239	0.444	0.657
dvOeste	0.2077	1.3156	0.158	0.875
dvSur	-16.7937	64.0648	-0.262	0.793
dvSuroeste	2.6668	5.0317	0.530	0.596
temperatura:dvOeste	NA	NA	NA	NA
temperatura:dvSur	0.6611	2.3249	0.284	0.776
temperatura:dvSuroeste	NA	NA	NA	NA

(Dispersion parameter for binomial family taken to be 1)

Null deviance: 204.27 on 399 degrees of freedom

Residual deviance: 198.98 on 394 degrees of freedom

AIC: 263.94

Number of Fisher Scoring iterations: 6

Anexo 10. Análisis estadístico de la interacción de la variable temperatura y velocidad del viento sobre el parasitismo de *Diachasmimorpha longicaudata* durante la época seca

Call:

```
glm(formula = cbind(parasitoides, (60 - parasitoides)) ~ temperatura *  
    vv, family = binomial, data = cmseca)
```

Deviance Residuals:

Min	1Q	Median	3Q	Max
-0.5923	-0.4567	-0.3876	-0.3083	6.0120

Coefficients:

	Estimate	Std. Error	z value	Pr(> z)
(Intercept)	-14.45727	15.52907	-0.931	0.352
temperatura	0.34726	0.58291	0.596	0.551
vv	-4.23557	25.34690	-0.167	0.867
temperatura:vv	0.09207	0.93797	0.098	0.922

(Dispersion parameter for binomial family taken to be 1)

Null deviance: 204.27 on 399 degrees of freedom

Residual deviance: 198.34 on 396 degrees of freedom

AIC: 259.3

Number of Fisher Scoring iterations: 6

Anexo 11. Análisis estadístico de la interacción de la variable humedad relativa y precipitación sobre el parasitismo de *Diachasmimorpha longicaudata* durante la época seca

Call:

```
glm(formula = cbind(parasitoides, (60 - parasitoides)) ~
humedad_relativa * precipitacion, family = binomial, data = cmseca)
```

Deviance Residuals:

Min	1Q	Median	3Q	Max
-0.5007	-0.4694	-0.4020	-0.3372	6.0662

Coefficients:

	Estimate	Std. Error	z value	Pr(> z)
(Intercept)	-12.07144	4.62803	-2.608	0.0091
**				
humedad_relativa	0.06870	0.05633	1.220	0.2226
precipitacion	8.41689	23.78977	0.354	0.7235
humedad_relativa:precipitacion	-0.11558	0.28450	-0.406	0.6846

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

(Dispersion parameter for binomial family taken to be 1)

Null deviance: 204.27 on 399 degrees of freedom

Residual deviance: 201.61 on 396 degrees of freedom

AIC: 262.57

Number of Fisher Scoring iterations: 6

Anexo 12. Análisis estadístico de la interacción de la variable humedad relativa y dirección del viento sobre el parasitismo de *Diachasmimorpha longicaudata* durante la época seca

Call:

```
glm(formula = cbind(parasitoides, (60 - parasitoides)) ~
humedad_relativa * dv, family = binomial, data = cmseca)
```

Deviance Residuals:

Min	1Q	Median	3Q	Max
-0.4782	-0.4527	-0.4346	-0.3163	6.1362

Coefficients: (2 not defined because of singularities)

	Estimate	Std. Error	z value	Pr(> z)
(Intercept)	4.5597	25.6669	0.178	0.859
humedad_relativa	-0.1465	0.3297	-0.444	0.657
dvOeste	0.5407	1.9528	0.277	0.782
dvSur	-15.8235	26.3739	-0.600	0.549
dvSuroeste	2.5300	4.7268	0.535	0.592
humedad_relativa:dvOeste	NA	NA	NA	NA
humedad_relativa:dvSur	0.2048	0.3377	0.606	0.544
humedad_relativa:dvSuroeste	NA	NA	NA	NA

(Dispersion parameter for binomial family taken to be 1)

Null deviance: 204.27 on 399 degrees of freedom

Residual deviance: 201.74 on 394 degrees of freedom

AIC: 266.7

Number of Fisher Scoring iterations: 6

Anexo 13. Análisis estadístico de la interacción de la variable humedad relativa y velocidad del viento sobre el parasitismo de *Diachasmimorpha longicaudata* durante la época seca

Call:
glm(formula = cbind(parasitoides, (60 - parasitoides)) ~
humedad_relativa * vv, family = binomial, data = cmseca)

Deviance Residuals:

Min	1Q	Median	3Q	Max
-0.5870	-0.4556	-0.3818	-0.3077	6.0304

Coefficients:

	Estimate	Std. Error	z value	Pr(> z)
(Intercept)	5.25418	9.84212	0.534	0.593
humedad_relativa	-0.12082	0.11240	-1.075	0.282
vv	-8.33662	10.33877	-0.806	0.420
humedad_relativa:vv	0.07567	0.12277	0.616	0.538

(Dispersion parameter for binomial family taken to be 1)

Null deviance: 204.27 on 399 degrees of freedom
Residual deviance: 198.74 on 396 degrees of freedom
AIC: 259.7
Number of Fisher Scoring iterations: 6

Anexo 14. Análisis estadístico de la interacción de la variable precipitación y dirección del viento sobre el parasitismo de *Diachasmimorpha longicaudata* durante la época seca

Call:
glm(formula = cbind(parasitoides, (60 - parasitoides)) ~ precipitacion
* dv, family = binomial, data = cmseca)

Deviance Residuals:

Min	1Q	Median	3Q	Max
-0.4747	-0.4747	-0.3543	-0.3523	6.0445

Coefficients: (3 not defined because of singularities)

	Estimate	Std. Error	z value	Pr(> z)
(Intercept)	-6.86589	0.44743	-15.345	<2e-16 ***
precipitacion	-1.17049	1.00231	-1.168	0.243
dvOeste	0.01075	0.86063	0.012	0.990
dvSur	0.58916	0.50579	1.165	0.244
dvSuroeste	0.82178	0.73555	1.117	0.264
precipitacion:dvOeste	NA	NA	NA	NA
precipitacion:dvSur	NA	NA	NA	NA
precipitacion:dvSuroeste	NA	NA	NA	NA

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

(Dispersion parameter for binomial family taken to be 1)

Null deviance: 204.27 on 399 degrees of freedom
Residual deviance: 201.14 on 395 degrees of freedom
AIC: 264.1
Number of Fisher Scoring iterations: 6

Anexo 15. Análisis estadístico de la interacción de la variable precipitación y velocidad del viento sobre el parasitismo de *Diachasmimorpha longicaudata* durante la época seca

Call:

```
glm(formula = cbind(parasitoides, (60 - parasitoides)) ~ precipitacion
* vv, family = binomial, data = cmseca)
```

Deviance Residuals:

Min	1Q	Median	3Q	Max
-0.5966	-0.4539	-0.3593	-0.3403	5.9433

Coefficients:

	Estimate	Std. Error	z value	Pr(> z)
(Intercept)	-5.0619	0.6340	-7.984	1.41e-15 ***
precipitacion	-3.4667	3.4479	-1.005	0.3147
vv	-1.6111	0.7406	-2.175	0.0296 *
precipitacion:vv	2.9236	4.0147	0.728	0.4665

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

(Dispersion parameter for binomial family taken to be 1)

Null deviance: 204.27 on 399 degrees of freedom
 Residual deviance: 198.32 on 396 degrees of freedom
 AIC: 259.28
 Number of Fisher Scoring iterations: 6

Anexo 16. Análisis estadístico de la interacción de la variable velocidad y dirección del viento sobre el parasitismo de *Diachasmimorpha longicaudata* durante la época seca

Call:

```
glm(formula = cbind(parasitoides, (60 - parasitoides)) ~ vv * dv,
family = binomial, data = cmseca)
```

Deviance Residuals:

Min	1Q	Median	3Q	Max
-0.5976	-0.4474	-0.3874	-0.3163	5.9567

Coefficients: (2 not defined because of singularities)

	Estimate	Std. Error	z value	Pr(> z)
(Intercept)	-9.4738	5.9301	-1.598	0.110
vv	2.5368	5.7079	0.444	0.657
dvOeste	-0.2029	0.8419	-0.241	0.810
dvSur	4.4522	5.9666	0.746	0.456
dvSuroeste	2.1653	3.9163	0.553	0.580
vv:dvOeste	NA	NA	NA	NA
vv:dvSur	-4.2260	5.7638	-0.733	0.463
vv:dvSuroeste	NA	NA	NA	NA

(Dispersion parameter for binomial family taken to be 1)

Null deviance: 204.27 on 399 degrees of freedom
 Residual deviance: 197.92 on 394 degrees of freedom
 AIC: 262.88
 Number of Fisher Scoring iterations: 6

Anexo 17. Análisis estadístico de la interacción de la variable temperatura y precipitación sobre el parasitismo de *Diachasmimorpha longicaudata* durante la época lluviosa

Call:

```
glm(formula = cbind(parasitoides, (60 - parasitoides)) ~ temperatura *
    humedad_relativa, family = quasibinomial, data = cmlluviosa)
```

Deviance Residuals:

Min	1Q	Median	3Q	Max
-1.673	-1.603	-1.462	-1.278	16.609

Coefficients:

	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t)
(Intercept)	-4435.704	4865.384	-0.912	0.362
temperatura	170.185	187.068	0.910	0.364
humedad_relativa	47.630	52.325	0.910	0.363
temperatura:humedad_relativa	-1.829	2.012	-0.909	0.364

(Dispersion parameter for quasibinomial family taken to be 17.79447)

Null deviance: 2440.1 on 399 degrees of freedom
 Residual deviance: 2350.7 on 396 degrees of freedom
 AIC: NA

Number of Fisher Scoring iterations: 7

Anexo 18. Análisis estadístico de la interacción de la variable temperatura y precipitación sobre el parasitismo de *Diachasmimorpha longicaudata* durante la época lluviosa

Call:

```
glm(formula = cbind(parasitoides, (60 - parasitoides)) ~ temperatura *
    precipitacion, family = quasibinomial, data = cmlluviosa)
```

Deviance Residuals:

Min	1Q	Median	3Q	Max
-1.668	-1.517	-1.517	-1.473	16.729

Coefficients:

	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t)
(Intercept)	-261.712	289.901	-0.903	0.367
temperatura	9.910	11.146	0.889	0.374
precipitacion	38.366	41.797	0.918	0.359
temperatura:precipitacion	-1.477	1.614	-0.916	0.360

(Dispersion parameter for quasibinomial family taken to be 18.05123)

Null deviance: 2440.1 on 399 degrees of freedom
 Residual deviance: 2359.0 on 396 degrees of freedom
 AIC: NA

Number of Fisher Scoring iterations: 7

Anexo 19. Análisis estadístico de la interacción de la variable temperatura y dirección del viento sobre el parasitismo de *Diachasmimorpha longicaudata* durante la época lluviosa

Call:

```
glm(formula = cbind(parasitoides, (60 - parasitoides)) ~ temperatura *  
dv, family = quasibinomial, data = cmlluviosa)
```

Deviance Residuals:

Min	1Q	Median	3Q	Max
-2.059	-2.059	-1.061	-1.061	15.075

Coefficients: (2 not defined because of singularities)

	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t)
(Intercept)	15.3931	17.8723	0.861	0.390
temperatura	-0.9121	0.6844	-1.333	0.183
dvSur	3.6653	4.1357	0.886	0.376
dvSuroeste	5.0050	4.1479	1.207	0.228
temperatura:dvSur	NA	NA	NA	NA
temperatura:dvSuroeste	NA	NA	NA	NA

(Dispersion parameter for quasibinomial family taken to be 16.95929)

Null deviance: 2440.1 on 399 degrees of freedom

Residual deviance: 2208.4 on 396 degrees of freedom

AIC: NA

Number of Fisher Scoring iterations: 7

Anexo 20. Análisis estadístico de la interacción de la variable temperatura y velocidad del viento sobre el parasitismo de *Diachasmimorpha longicaudata* durante la época lluviosa

Call:

```
glm(formula = cbind(parasitoides, (60 - parasitoides)) ~ temperatura *  
vv, family = quasibinomial, data = cmlluviosa)
```

Deviance Residuals:

Min	1Q	Median	3Q	Max
-1.750	-1.589	-1.548	-1.067	16.579

Coefficients:

	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t)
(Intercept)	422.71	486.65	0.869	0.386
temperatura	-16.37	18.71	-0.875	0.382
vv	-880.57	1010.98	-0.871	0.384
temperatura:vv	33.79	38.87	0.869	0.385

(Dispersion parameter for quasibinomial family taken to be 17.39929)

Null deviance: 2440.1 on 399 degrees of freedom

Residual deviance: 2338.5 on 396 degrees of freedom

AIC: NA

Number of Fisher Scoring iterations: 7

Anexo 21. Análisis estadístico de la interacción de la variable humedad relativa y precipitación sobre el parasitismo de *Diachasmimorpha longicaudata* durante la época lluviosa

Call:

```
glm(formula = cbind(parasitoides, (60 - parasitoides)) ~
humedad_relativa * precipitacion, family = quasibinomial, data =
cmlluviosa)
```

Deviance Residuals:

Min	1Q	Median	3Q	Max
-1.768	-1.674	-1.481	-1.172	16.426

Coefficients:

	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t)
(Intercept)	-10.58060	7.76759	-1.362	0.174
humedad_relativa	0.07563	0.08777	0.862	0.389
precipitacion	-21.84643	15.05365	-1.451	0.148
humedad_relativa:precipitacion	0.23458	0.16188	1.449	0.148

(Dispersion parameter for quasibinomial family taken to be 17.38009)

Null deviance: 2440.1 on 399 degrees of freedom

Residual deviance: 2364.1 on 396 degrees of freedom

AIC: NA

Number of Fisher Scoring iterations: 6

Anexo 22. Análisis estadístico de la interacción de la variable humedad relativa y dirección del viento sobre el parasitismo de *Diachasmimorpha longicaudata* durante la época lluviosa

Call:

```
glm(formula = cbind(parasitoides, (60 - parasitoides)) ~
humedad_relativa * dv, family = quasibinomial, data = cmlluviosa)
```

Deviance Residuals:

Min	1Q	Median	3Q	Max
-2.801	-1.515	-1.169	-1.103	14.622

Coefficients: (1 not defined because of singularities)

	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t)
(Intercept)	94.9791	44.3484	2.142	0.0328 *
humedad_relativa	-1.1482	0.4937	-2.326	0.0205 *
dvSur	-101.6603	45.0045	-2.259	0.0244 *
dvSuroeste	4.8467	3.8380	1.263	0.2074
humedad_relativa:dvSur	1.1735	0.5012	2.341	0.0197 *
humedad_relativa:dvSuroeste	NA	NA	NA	NA

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

(Dispersion parameter for quasibinomial family taken to be 14.65321)

Null deviance: 2440.1 on 399 degrees of freedom

Residual deviance: 2151.9 on 395 degrees of freedom

AIC: NA

Number of Fisher Scoring iterations: 7

Anexo 23. Análisis estadístico de la interacción de la variable humedad relativa y velocidad del viento sobre el parasitismo de *Diachasmimorpha longicaudata* durante la época lluviosa

Call:

```
glm(formula = cbind(parasitoides, (60 - parasitoides)) ~
  humedad_relativa * vv, family = quasibinomial, data = cmlluviosa)
```

Deviance Residuals:

Min	1Q	Median	3Q	Max
-1.973	-1.524	-1.455	-1.022	16.705

Coefficients:

	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t)
(Intercept)	-7.78797	28.37182	-0.274	0.784
humedad_relativa	0.06489	0.32180	0.202	0.840
vv	16.72366	48.29201	0.346	0.729
humedad_relativa:vv	-0.23357	0.55823	-0.418	0.676

(Dispersion parameter for quasibinomial family taken to be 18.39631)

Null deviance: 2440.1 on 399 degrees of freedom
 Residual deviance: 2385.0 on 396 degrees of freedom
 AIC: NA

Number of Fisher Scoring iterations: 6

Anexo 24. Análisis estadístico de la interacción de la variable precipitación y dirección del viento sobre el parasitismo de *Diachasmimorpha longicaudata* durante la época lluviosa

Call:

```
glm(formula = cbind(parasitoides, (60 - parasitoides)) ~ precipitacion
  * dv, family = quasibinomial, data = cmlluviosa)
```

Deviance Residuals:

Min	1Q	Median	3Q	Max
-2.300	-1.668	-1.061	-1.061	15.047

Coefficients: (1 not defined because of singularities)

	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t)
(Intercept)	-5.5951	4.3408	-1.289	0.198
precipitacion	-0.8613	0.6482	-1.329	0.185
dvSur	0.9303	4.3575	0.213	0.831
dvSuroeste	2.4955	4.3046	0.580	0.562
precipitacion:dvSur	0.9896	0.6550	1.511	0.132
precipitacion:dvSuroeste	NA	NA	NA	NA

(Dispersion parameter for quasibinomial family taken to be 16.12494)

Null deviance: 2440.1 on 399 degrees of freedom
 Residual deviance: 2174.5 on 395 degrees of freedom
 AIC: NA
 Number of Fisher Scoring iterations: 7

Anexo 25. Análisis estadístico de la interacción de la variable precipitación y velocidad del viento sobre el parasitismo de *Diachasmimorpha longicaudata* durante la época lluviosa

Call:

```
glm(formula = cbind(parasitoides, (60 - parasitoides)) ~ precipitacion
* vv, family = quasibinomial, data = cmlluviosa)
```

Deviance Residuals:

Min	1Q	Median	3Q	Max
-1.972	-1.526	-1.492	-1.088	16.776

Coefficients:

	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t)
(Intercept)	-3.252	1.039	-3.130	0.00188 **
precipitacion	1.138	1.235	0.922	0.35729
vv	-1.514	1.994	-0.759	0.44805
precipitacion:vv	-2.357	2.533	-0.931	0.35265

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

(Dispersion parameter for quasibinomial family taken to be 18.56822)

Null deviance: 2440.1 on 399 degrees of freedom

Residual deviance: 2374.4 on 396 degrees of freedom

AIC: NA

Number of Fisher Scoring iterations: 6

Anexo 26. Análisis estadístico de la interacción de la variable dirección y velocidad del viento sobre el parasitismo de *Diachasmimorpha longicaudata* durante la época lluviosa

Call:

```
glm(formula = cbind(parasitoides, (60 - parasitoides)) ~ vv *
dv, family = quasibinomial, data = cmlluviosa)
```

Deviance Residuals:

Min	1Q	Median	3Q	Max
-2.311	-1.539	-1.218	-1.037	14.580

Coefficients: (1 not defined because of singularities)

	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t)
(Intercept)	-11.675	4.998	-2.336	0.020 *
vv	5.898	4.723	1.249	0.213
dvSur	7.658	5.142	1.489	0.137
dvSuroeste	5.754	4.039	1.425	0.155
vv:dvSur	-6.667	5.184	-1.286	0.199
vv:dvSuroeste	NA	NA	NA	NA

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

(Dispersion parameter for quasibinomial family taken to be 15.25609)

Null deviance: 2440.1 on 399 degrees of freedom

Residual deviance: 2205.5 on 395 degrees of freedom

AIC: NA

Number of Fisher Scoring iterations: 7