

UNIVERSIDAD RAFAEL LANDÍVAR
FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES Y AGRÍCOLAS
LICENCIATURA EN CIENCIAS AGRÍCOLAS CON ÉNFASIS EN RIEGOS

IMPACTO DEL CLIMA SOBRE POBLACIONES DE *Ceratitis capitata* EN LA REGIÓN SUR DE
GUATEMALA

TESIS DE GRADO

ALVARO ALEXANDER SOLARES RAMÍREZ

CARNET 22447-10

JUTIAPA, JUNIO DE 2018
SEDE REGIONAL DE JUTIAPA

UNIVERSIDAD RAFAEL LANDÍVAR
FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES Y AGRÍCOLAS
LICENCIATURA EN CIENCIAS AGRÍCOLAS CON ÉNFASIS EN RIEGOS

IMPACTO DEL CLIMA SOBRE POBLACIONES DE *Ceratitis capitata* EN LA REGIÓN SUR DE
GUATEMALA
TESIS DE GRADO

TRABAJO PRESENTADO AL CONSEJO DE LA FACULTAD DE
CIENCIAS AMBIENTALES Y AGRÍCOLAS

POR
ALVARO ALEXANDER SOLARES RAMÍREZ

PREVIO A CONFERÍRSELE
EL TÍTULO DE INGENIERO AGRÓNOMO CON ÉNFASIS EN RIEGOS EN EL GRADO ACADÉMICO DE
LICENCIADO

JUTIAPA, JUNIO DE 2018
SEDE REGIONAL DE JUTIAPA

AUTORIDADES DE LA UNIVERSIDAD RAFAEL LANDÍVAR

RECTOR: P. MARCO TULIO MARTINEZ SALAZAR, S. J.
VICERRECTORA ACADÉMICA: DRA. MARTA LUCRECIA MÉNDEZ GONZÁLEZ DE PENEDO
VICERRECTOR DE INVESTIGACIÓN Y PROYECCIÓN: ING. JOSÉ JUVENTINO GÁLVEZ RUANO
VICERRECTOR DE INTEGRACIÓN UNIVERSITARIA: P. JULIO ENRIQUE MOREIRA CHAVARRÍA, S. J.
VICERRECTOR ADMINISTRATIVO: LIC. ARIEL RIVERA IRÍAS
SECRETARIA GENERAL: LIC. FABIOLA DE LA LUZ PADILLA BELTRANENA DE LORENZANA

AUTORIDADES DE LA FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES Y AGRÍCOLAS

DECANA: LIC. ANNA CRISTINA BAILEY HERNÁNDEZ
SECRETARIO: MGTR. LUIS MOISES PEÑATE MUNGUÍA
DIRECTOR DE CARRERA: MGTR. JOSÉ MANUEL BENAVENTE MEJÍA

NOMBRE DEL ASESOR DE TRABAJO DE GRADUACIÓN
LIC. RONALDO ALBERTO PÉREZ QUAN

TERNA QUE PRACTICÓ LA EVALUACIÓN
MGTR. LUIS MOISES PEÑATE MUNGUÍA

Guatemala 16 de julio de 2018

Consejo de Facultad
Ciencias Ambientales y Agrícolas
Presente

Estimados miembros del Consejo:

Por este medio hago constar que he asesorado el trabajo de graduación del estudiante, **Álvaro Alexander Solares Ramírez** carné 2244710, titulada: "IMPACTO DEL CLIMA SOBRE POBLACIONES DE *Ceratitis capitata* EN LA REGION SUR DE GUATEMALA"

La cual considero que cumple con los requisitos establecidos por facultad, previo a su autorización de impresión.

Atentamente,



Ing. Agr. Ronaldo Pérez Quan
Colegiado no. 2281
Docente 14380



**Universidad
Rafael Landívar**
Tradición Jesuita en Guatemala

**FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES Y AGRÍCOLAS
No. 06960-2018**

Orden de Impresión

De acuerdo a la aprobación de la Evaluación del Trabajo de Graduación en la variante Tesis de Grado del estudiante ALVARO ALEXANDER SOLARES RAMÍREZ, Carnet 22447-10 en la carrera LICENCIATURA EN CIENCIAS AGRÍCOLAS CON ÉNFASIS EN RIEGOS, de la Sede de Jutiapa, que consta en el Acta No. 06110-2018 de fecha 29 de junio de 2018, se autoriza la impresión digital del trabajo titulado:

IMPACTO DEL CLIMA SOBRE POBLACIONES DE *Ceratitis capitata* EN LA REGIÓN SUR DE GUATEMALA

Previo a conferírsele el título de INGENIERO AGRÓNOMO CON ÉNFASIS EN RIEGOS en el grado académico de LICENCIADO.

Dado en la ciudad de Guatemala de la Asunción, a los 29 días del mes de junio del año 2018.

**MGTR. LUIS MOISES PEÑATE MUNGUÍA, SECRETARIO
CIENCIAS AMBIENTALES Y AGRÍCOLAS
Universidad Rafael Landívar**



AGRADECIMIENTOS

A:

Dios que me dio la vida, sabiduría y la bendición de llegar a cumplir una de mis metas.

La Universidad Rafael Landívar, Facultad de Ciencias Ambientales y Agrícolas por ser parte de mi formación.

Ing. Ronaldo Pérez Quan, por su asesoría, revisión y corrección de la presente investigación.

La institución oficial encargada de la supresión y erradicación de la mosca del mediterráneo
MOSCAMED.

DEDICATORIA

A:

Dios: Quien siempre ha cuidado de mí, me ha dado sabiduría, entendimiento y fortaleza a través de las diferentes etapas de mi vida.

Mis padres: Álvaro Solares Melgar y Mirna Ramírez Muñoz a quienes amo mucho, por el apoyo incondicional que me han dado, así como también por sus buenos consejos y las oportunidades que me han brindado.

Mis hermanos: José Solares Ramírez y Sucely Solares Ramírez, porque me han brindado apoyo y motivación a lo largo de mi carrera profesional.

A mi esposa: Sindy Granados Monterroso, por su apoyo, amor y motivación a lo largo de mi carrera.

INDICE

Contenidos	Página
RESUMEN	ix
1. INTRODUCCIÓN	1
2. MARCO TEÓRICO	2
2.1 La Mosca del Mediterráneo	2
2.2 El cambio climático y su impacto sobre la plaga	3
2.2.1 Temperatura	3
2.2.2 Lluvia	5
2.2.3 Presión atmosférica	7
2.2.4 Viento	7
2.2.5 Fenología de los cultivos	9
3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	11
3.1 Definición del problema	11
3.2 Justificación del trabajo	11
4. OBJETIVOS	13
4.1 Objetivo general	13
4.2 Objetivos específicos	13
5. METODOLOGIA	14
5.1 Caracterización del clima en la región sur del país	14
5.2 Caracterización de los niveles de plaga en la región sur	15
5.3 Análisis de correlaciones y regresiones	15
5.4 Cronograma de trabajo	16
6. RESULTADOS	
6.1 Caracterización de la lluvia y la temperatura en la región sur del país	17
6.2 Caracterización de las detecciones y brotes de moscamed en la región sur del país	26
6.3 Relación entre las variables climáticas y los niveles de plaga de mosca del Mediterráneo	29
7. CONCLUSIONES	31
8. RECOMENDACIONES	32
9. BIBLIOGRAFIA	33

ÍNDICE DE CUADROS

Contenido	Página
1. Valores promedio de calidad de moscamed a distintas temperaturas (Corado, 2007)	5
2. Cronograma de actividades	16
3. Precipitación pluvial acumulada (mm/año) por año y estrato, en la región sur del país	18
4. Índice Relativo de Precipitación Pluvial (mm/año) por año y estrato, en la región sur del país	20
5. Total de detecciones de adultos fértiles en trampas y larvas de moscamed en muestreo de frutos, en la región Sur de Guatemala 2008-2016 (Morales y Pérez, 2016)	26

ÍNDICE DE FIGURAS

Contenido	Página
1. Tiempo de desarrollo de la pupa de moscamed a distintas temperaturas Temperaturas	5
2. Análisis de superficie mostrando el efecto del frente de alta presión de los Azores sobre la zona de interconvergencia tropical	7
3. Fotografía de satélite de presión de vapor mostrando el efecto del frente de alta presión de los Azores sobre la banda de lluvias	7
4. Relación inversa entre la postura de huevo y la presión atmosférica	7
5. Mapa INSIVUMEH mostrando los patrones normales de viento desde el noreste (México) hacia Guatemala	8
6. Patrones actuales de viento, invertidos, desde Guatemala hacia México, como lo muestra el humo de incendios	9
7. Red de estaciones meteorológicas del ICC	17
8. Promedio de precipitación pluvial (mm de lluvia/año) por estrato de altitud, para los años 2000-2016 en la región sur de Guatemala	19
9. Índice Relativo de Precipitación Pluvial (IRPP, mm de lluvia/año) por estrato de altitud, para los años 200-2016 en la región sur de Guatemala ...	19
10. Balance de lluvia global (IRPP, mm de lluvia/año) en la región sur de Guatemala	21
11. Balance de lluvia (IRPP, mm de lluvia/año) en el estrato alto de la región sur de Guatemala	21
12. Balance de lluvia (IRPP, mm de lluvia/año) en el estrato medio de la región sur de Guatemala	22
13. Balance de lluvia (IRPP, mm de lluvia/año) en el estrato bajo de la región sur de Guatemala	22
14. Balance de lluvia (IRPP, mm de lluvia/año) en el estrato litoral de la región sur de Guatemala	23
15. Temperatura ambiental registrada en la Estación Lorena (ICC)	24

16.	Temperatura ambiental registrada en la Estación Tulula (ICC)	24
17.	Temperatura ambiental registrada en la Estación Naranjales (ICC)	25
18.	Capturas de adultos fértiles/año en la región Suroccidente de Guatemala, 2008-2016	27
19.	Total de larvas/año detectadas en frutos en la región Suroccidente de Guatemala 2008-2016	27
20.	Relación entre las detecciones de adultos fértiles/año y el déficit pluvial (IRPP) en el estrato bajo de la región sur de Guatemala	30

IMPACTO DEL CLIMA SOBRE POBLACIONES DE *Ceratitis capitata* EN LA REGION SUR DE GUATEMALA

RESUMEN

El presente estudio documenta parámetros del clima en la región sur del país, tales como la precipitación pluvial y la temperatura, a la vez que discute su impacto sobre el desarrollo de la “Mosca del Mediterráneo”, *Ceratitis capitata* (Wied.), Díptera: Tephritidae. Empleando un índice relativo de precipitación pluvial (IRPP), que permite visualizar los años con déficit o exceso de lluvia, se encontró que la zona sur del país presenta ciclos de varios años con marcado exceso de lluvia (que, en teoría, suprime a la plaga) o carencia (permite su desarrollo). Los resultados confirman esta teoría, ya que en los estratos altos y medio de la región sur, con un IRPP positivo (lluvia abundante) los niveles de plaga son menores que en la parte baja, donde la plaga es más abundante y correlaciona perfectamente con el nivel de lluvia. Un resultado preocupante es que se registró un incremento en la temperatura ambiente promedio de la región sur de Guatemala ($>2.6^{\circ}\text{C}$) entre los años 2010 a 2016 lo cual, de acuerdo con el modelo de días x grados, sugiere que el ciclo de vida de la plaga es más corto y que se presentarán más generaciones por año, dificultando su control.

1. INTRODUCCIÓN

El Instituto Privado de Investigación sobre Cambio Climático (ICC, 2016), describe el cambio climático como una alteración súbita y significativa de los patrones del clima, el cual puede ser regional o global. Sus causas pueden ser naturales o antropogénicas (causadas por el hombre).

La región sur de Guatemala contiene algunas de las zonas más relevantes para la producción agrícola del país. Los cultivos que se producen son: caña de azúcar (*Saccharum officinarum* L.), café (*Coffea arabica* L.), maíz (*Zea mays* L.), diversos frutales y hortalizas. Es importante caracterizar los patrones climáticos, en particular la lluvia y temperatura, variables que afectan el desarrollo de los cultivos, plagas y organismos benéficos.

De acuerdo con el Atlas Hidrológico publicado por el Instituto de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología (Insivumeh), esta región abarca 18 cuencas hidrológicas, distribuidas en 7 departamentos del país. Las variaciones climáticas consideradas “normales” en la región sur del país se agregan fenómenos cíclicos como la oscilación El Niño – La Niña (ENOS) y el cambio climático, cuya principal manifestación (el calentamiento global) puede tener serias repercusiones sobre la producción agrícola y comportamiento de las plagas.

Una de las plagas predominantes es la mosca de la fruta denominada “mosca del Mediterráneo” o “moscamed”, *Ceratitis capitata* (Wied.) Díptera: Tephritidae. Esta afecta alrededor de 400 especies de plantas hospedantes de importancia agrícola, incluyendo hortalizas y frutales, muchas de ellas presentes en Guatemala. En nuestro país la principal especie hospedante es la planta de café, *Coffea arabica* L. Rubiaceae.

Basado en datos climáticos de la red de estaciones meteorológicas del ICC se busca establecer la variabilidad del clima en la región sur de Guatemala, particularmente sobre la precipitación pluvial y temperatura. Comparando esta información con datos de brotes y capturas de Mosca del Mediterráneo provenientes del Programa Moscamed se busca establecer si existe una correlación entre las variaciones climáticas y la cantidad de plaga detectada.

2. MARCO TEÓRICO

2.1 La Mosca del Mediterráneo

La Mosca del Mediterráneo, *Ceratitis capitata* (Wied.) Díptera: Tephritidae, ocasiona serios daños en diversas especies de plantas productoras de frutas y vegetales alrededor del mundo. Se considera que más de 400 especies de plantas son hospedantes de *C. capitata* (Copeland et al., 2002). Debido a la seriedad de esta plaga, se han establecido programas de control y erradicación (Hendrichs et al., 2002) que emplean técnicas de manejo integrado de plagas en áreas extensas (MIP-AE).

La Técnica del Insecto Estéril (TIE), es una combinación de prácticas de control eficaces para esta plaga, que se utiliza como una herramienta complementaria dentro del MIP, con la ventaja de ser amigable al medio ambiente (Dyck et al., 2005). La TIE consiste en liberar en campo grandes cantidades de machos esterilizados, que se aparean con hembras silvestres para evitar su reproducción (Knipling 1955, 1979). La TIE se ha empleado exitosamente para el control de varias plagas insectiles, incluyendo la mosca barrenadora del ganado, *Cochliomyia hominivorax* (Cocquerel) y varias especies de moscas de la fruta (Tephritidae) de los géneros *Bactrocera*, *Anastrepha* y *Ceratitis*.

El enfoque original de la TIE no ha cambiado a lo largo de los años, pero ha incorporado las más modernas biotecnologías que han incrementado su eficacia (Robinson & Hendrichs, 2005; Franz & Robinson 2011). Por ejemplo, a finales del siglo pasado, empleando genética clásica, se desarrollaron cepas de sexado genético (CSG) de *C. capitata* para la separación de machos y hembras (Fisher 1998; Franz 2005), lo que generó un mayor control de la plaga en el campo por la liberación de solamente machos estériles (Hendrichs et al., 1995; Rendón et al., 2000; Hendrichs et al., 2002). Esta mejora, aunada a un incremento en la calidad de los machos estériles producidos en cría masiva, reduce las cantidades de machos estériles liberados en campo en Guatemala, desde densidades típicas de 10,000 machos/ha a densidades actuales de 500 machos/ha, logrando los mismos resultados (Pérez, 2016).

Se ha documentado el desempeño de estos insectos en laboratorio y campo, tal como se ha hecho con otras especies de insectos (Harvey-Samuel et al., 2014; Facchinelli et al., 2013; Allen et al., 2004; Irvin et al., 2004; Catteruccia et al., 2003) y cepas de moscas (Meza-Hernández & Díaz-Fleischer, 2006; Cáceres et al., 2004; McInnis et al., 2002; Rendón et al., 2000, Ramírez-Santos, 2016).

2.2 El cambio climático y su impacto sobre la plaga

Recientemente, en un taller sobre el impacto potencial del cambio climático en la Mosca del Mediterráneo, Corado y Pérez (2016) expusieron los siguientes argumentos: El cambio climático es un cambio súbito y significativo en los patrones de clima, que pueden ser globales o localizados. A consecuencia de la acumulación de los gases de invernadero, estamos presenciando un patrón de cambio climático antropogénico, es decir, provocado por el hombre. El cambio climático puede afectar el desarrollo de la plaga (moscamed) de acuerdo con 5 variables: temperatura, lluvia, presión atmosférica, viento y fenología de los cultivos.

2.2.1 Temperatura

Uno de los efectos más significativos del cambio climático es el incremento de la temperatura promedio del océano y la atmósfera, fenómeno conocido como “calentamiento global”. Por ser un insecto, la moscamed es un organismo poiquiloterma que no puede regular su temperatura interna, a diferencia de los organismos homeotermos, que regulan su temperatura interna. Debido a ello, responde a la temperatura exterior, de acuerdo con el modelo de días-grados: a mayor temperatura, su ciclo de vida es más corto y presenta más generaciones por año. La Figura 1 muestra el tiempo necesario para que la moscamed complete su ciclo de pupa, a distintas temperaturas (Corado, 2007).

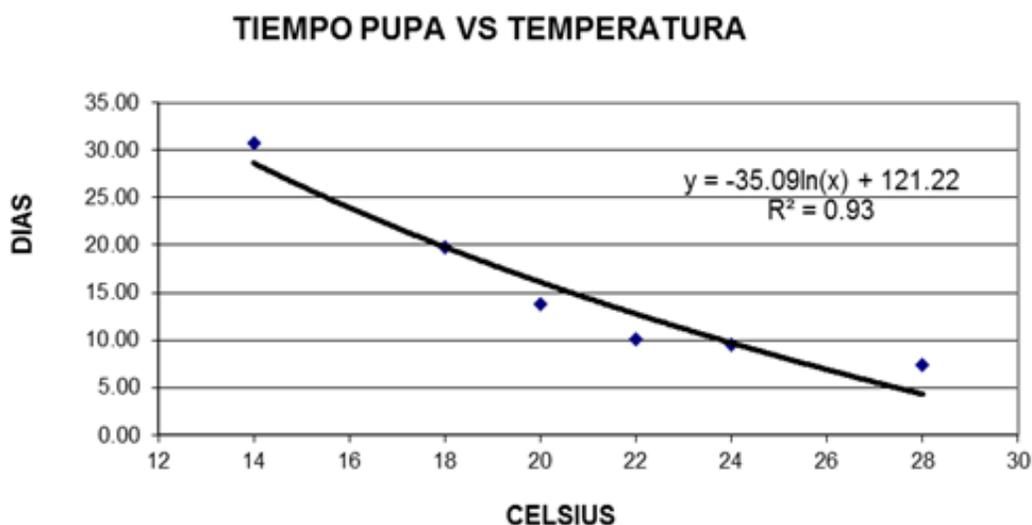


Figura 1. Tiempo de desarrollo de la pupa de moscamed a distintas temperaturas (Corado, 2007).

Otro efecto importante, debido a la temperatura es que puede afectar la calidad de estos insectos. Corado (2007), demostró que la moscamed tiene un umbral de desarrollo cercano a 10.2°C (por debajo de esta temperatura la mosca no se desarrolla) y que las temperaturas bajas (cercasas a 14°C) causan una mayor pérdida de peso durante la pupación, menores valores de emergencia y voladoras, y mayor % de mortandad.

Temperatura	Pérdida diaria de peso (mg)	% de Emergencia	% de Voladoras	% Mortandad a las 48 hr
28	1.90	93.30	89.60	4.6
24	1.83	93.00	91.90	10.3
22	1.93	95.60	93.60	4.0
20	2.08	90.00	88.00	9.1
18	2.25	85.90	83.70	9.3
14	2.39	60.80	54.30	34.9

Cuadro 1. Valores promedio de evolución de moscamed a distintas temperaturas (Corado, 2007).

2.2.2 Lluvia

Según Corado y Pérez (2016), la lluvia es uno de los principales factores naturales de mortandad en insectos, como lo demuestran estudios realizados en numerosas Tablas de Vida. El origen de las lluvias en Guatemala es básicamente por:

2.2.2.1 *Fenómenos cálidos*, tales como el ingreso de ondas del Este, la incursión de células cálidas y húmedas de la zona de convergencia intertropical (ITCZ, la franja tropical donde convergen los fenómenos atmosféricos del norte y sur), la conformación y/o desplazamiento de depresiones, y el ingreso de aire favorecido por las pendientes (lluvias orográficas)

2.2.2.2 *Fenómenos fríos*, como el desplazamiento de frentes fríos desde el norte, que suelen ir acompañados de las vaguadas o frentes de lluvia, las cuales se producen por el choque de viento frío con la humedad existente en las zonas por donde se desplaza el frente frío.

De acuerdo con Corado y Pérez (2016), los años 2015-2016 se han caracterizado por la presencia casi permanente de un sistema de alta presión en los Azores que no ha favorecido lluvias copiosas sobre Guatemala, tal como lo muestran las Figuras 2 y 3. Esta situación favorece a la plaga, debido a que ha provocado un régimen lluvioso anormalmente seco, particularmente en la región sur del país, similar al observado cerca del año 2007 (el fenómeno opuesto se registró en el año 2010). La lluvia debido a la oscilación norte-sur (frío-calor húmedo) se está dando en el Pacífico, pero sobre el mar, a unos 2,000 Km de la costa sur.

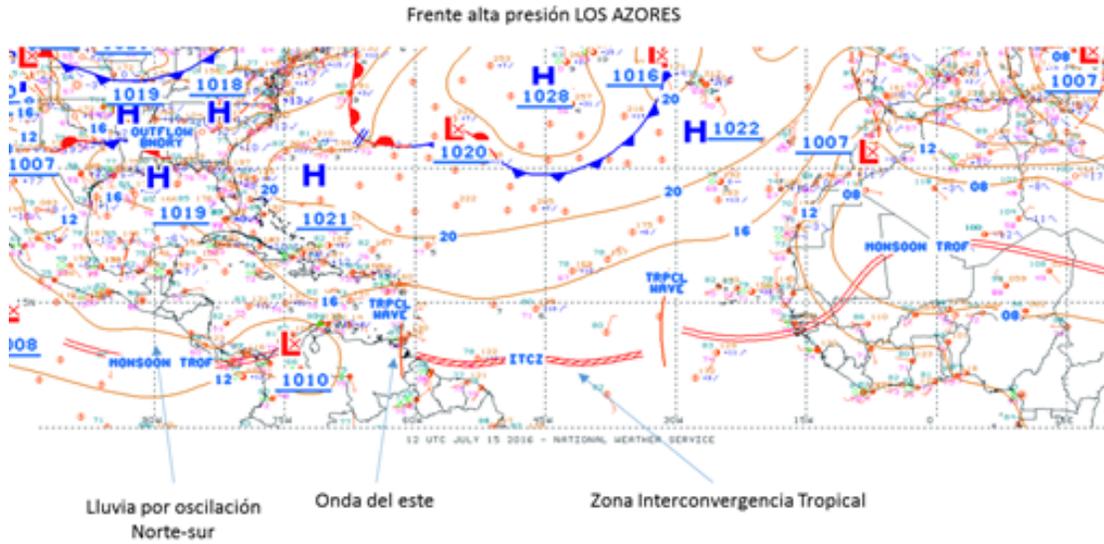


Figura 2. Análisis de superficie mostrando el efecto del frente de alta presión de los Azores sobre la zona de interconvergencia tropical (Recuperado de <http://crownweather.com/index.php/tropical/>)

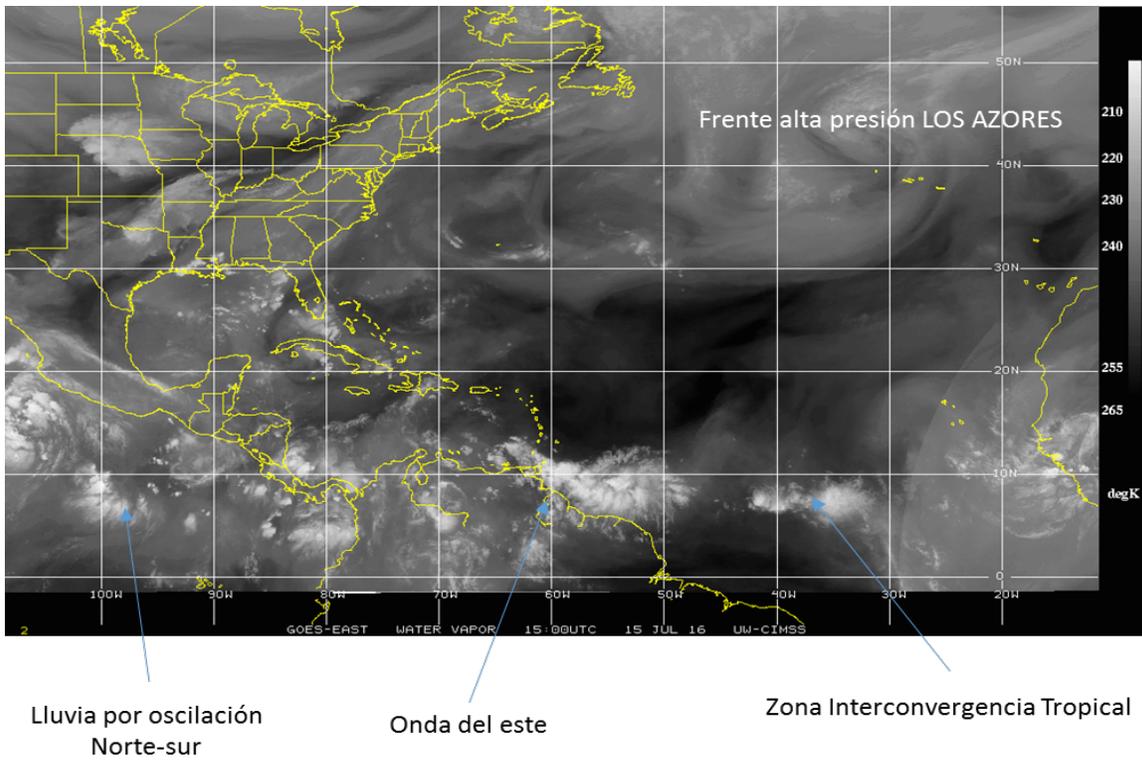


Figura 3. Fotografía de satélite de presión de vapor mostrando el efecto del frente de alta presión de los Azores sobre la banda de lluvias (Recuperado de <http://crownweather.com/index.php/tropical/>)

2.2.3 Presión atmosférica

Se ha documentado en la cría masiva de moscamed que el ingreso de frentes fríos (altas presiones) reducen la postura de huevos por las hembras (oviposición). El ingreso de frentes cálidos húmedos (bajas presiones) incrementan la oviposición. La mosca no reconoce valores absolutos de presión, solo cambios drásticos en su valor. Si los cambios de presión afectan el número de huevos que la plaga pone en campo, un mayor número de frentes fríos reduciría las posturas de huevos, mientras que su ausencia o el ingreso de frentes de baja presión las incrementaría.

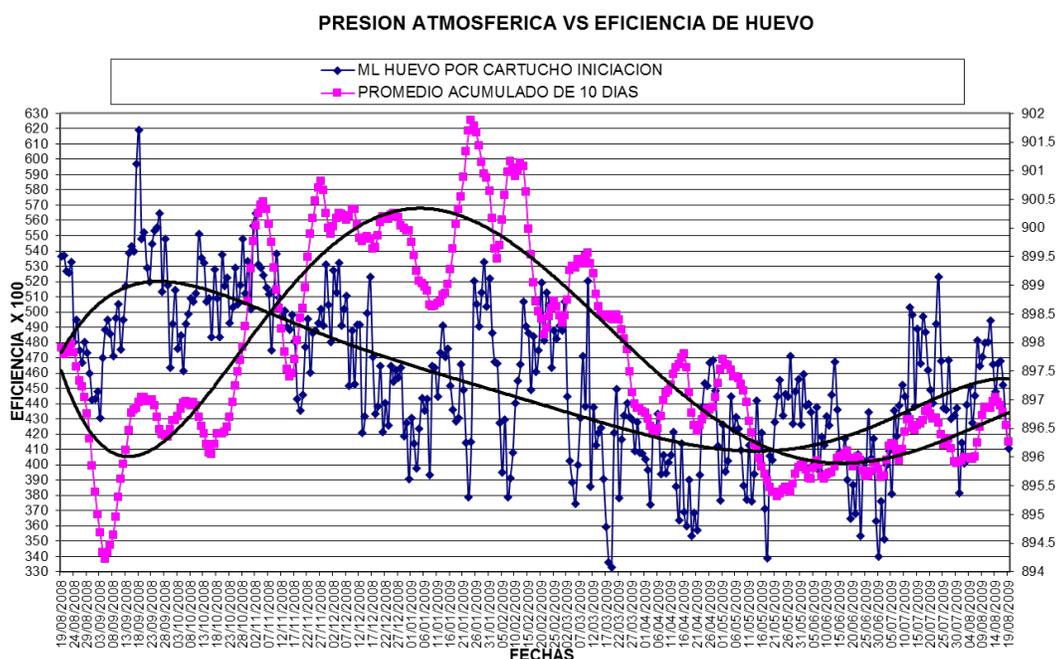


Figura 4. Relación inversa entre la postura de huevo (línea rosada) y la presión atmosférica (línea azul). Las líneas curvas representan la mejor regresión a la 3ª potencia para cada conjunto de datos (Corado, 2016).

2.2.4 Viento

Guatemala se encuentra en una posición geográfica donde alternan frecuentemente fenómenos cálidos y fríos, que se manifiestan directamente en la intensidad y dirección del viento. La alternabilidad entre fenómenos cálidos y fríos se conoce estadísticamente y se verifica por medio de otras herramientas de análisis, es decir las predicciones o pronósticos. Las estimaciones del viento en “superficie” son difíciles por lo accidentado del relieve guatemalteco (Corado y Pérez, 2016).

Corado y Pérez (2016), documentan que en términos generales, un viento soplando hacia Guatemala desde el noroeste, es decir, desde las áreas libres de plaga hacia las zonas infestadas de plaga, actuaría como el principio de presión positiva impidiendo el ingreso de plaga hacia las zonas libres (Figura 5). Un patrón invertido de viento, desde Guatemala hacia el Petén y/o México facilitaría la migración de la plaga desde las zonas infestadas hacia las zonas libres de plaga (Figura 6).



Figura 5. Mapa INSIVUMEH mostrando los patrones normales de viento desde el noreste (México) hacia Guatemala, en los 3 corredores biológicos de plaga (flechas verdes) restringen la migración de plaga hacia zonas libres.

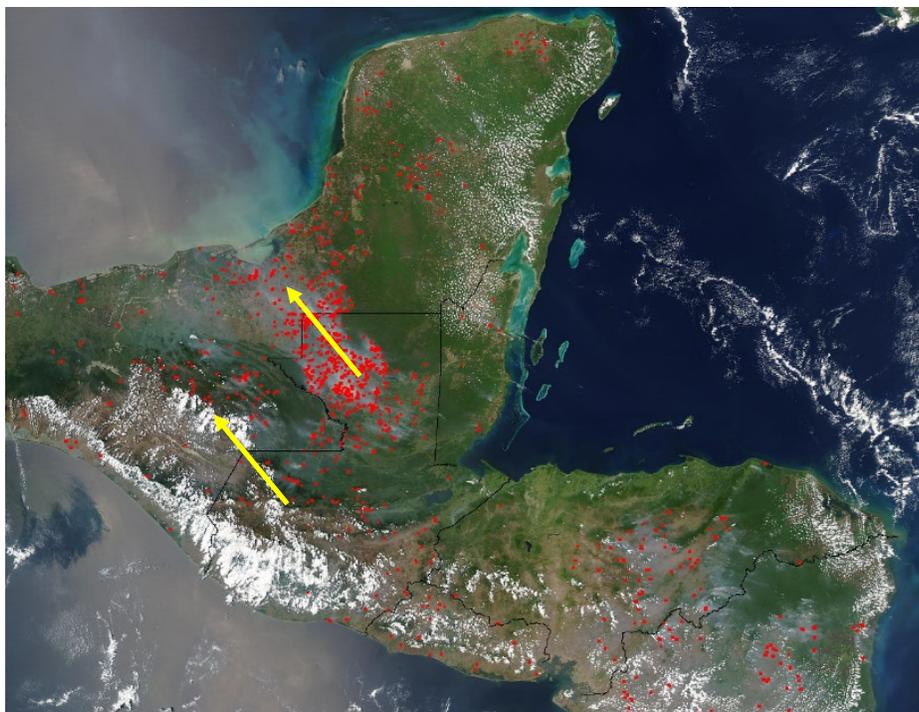


Figura 6. Patrones actuales de viento, invertidos, favorecen la migración de la plaga hacia zonas libres (Corado y Pérez, 2016).

2.2.5 Fenología de los cultivos

El principal cultivo hospedante de la moscamed en Guatemala es el café (*Coffea arabica* L., Rubiaceae). De acuerdo con Villers, et al. (2009) la floración en café es un evento activado por una sequía (estrés hídrico) seguida de lluvias. Normalmente este mecanismo produce una floración y fructificación uniforme que inicia en las partes bajas, cálidas, del país y avanza progresivamente hacia las tierras altas. Esta condición es ideal para operaciones de campo, cuando la fructificación del café es uniforme. Las lluvias dispersas, después de la sequía, provocan la floración loca del café, que causa la aparición de granos en lugares y épocas inusuales (desplazamiento fenológico). Esta situación, con frutos y plaga dispersos en áreas muy grandes, no es la ideal para las acciones de control de la plaga.

Otro grupo de hospedantes importantes en Guatemala, son los cultivos deciduos, tales como el durazno (*Prunus persica* L.) y la ciruela (*Prunus domestica* L.), entre otros. En cultivos deciduos, la temperatura es más determinante que la lluvia para provocar un desplazamiento fenológico (floración y fructificación desuniforme, en lugares y épocas inusuales). Los

cultivos deciduos necesitan acumular un número de horas de frío para botar sus hojas e inducir la floración. Según Pérez (2016), el cambio climático puede causar un desplazamiento fenológico en el tiempo (se acumulan dichos grados antes o después de la época normal) o en el espacio (la zona óptima para la acumulación de horas de frío se mueve arriba o debajo de donde normalmente ocurre).

2.2.6 Otros efectos no relacionados con el cambio climático

En años pasados, los altos precios de combustibles derivados del petróleo promovieron la siembra extensiva de caña de azúcar, con el propósito de generar etanol como biocombustible y emplear el bagazo de caña para generar electricidad. Esto favoreció el control de la moscamed en la región sur del país, ya que la caña de azúcar no es hospedante de esta plaga. Con los bajos precios de los combustibles, hay que prever una reducción en la siembra de caña, fenómeno que ya inició y, puede agravarse, ya que una de las alternativas es la siembra de frutales hospedantes de la moscamed (Corado y Pérez, 2016).

Adicionalmente, hay que considerar el impacto de la floración loca (o cualquier otro factor que produzca bajos rendimientos) o bajos precios en el mercado de frutas y hortalizas hospedantes de moscamed, con lo que el agricultor abandonaría prácticas culturales u otras que reducen la disponibilidad de frutos para la Mosca del Mediterráneo, por ejemplo: la cosecha, pepena o recogida de frutos caídos, su entierro y tratamiento con cal (Pérez, 2016).

3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

3.1 Definición del Problema

Este estudio busca caracterizar las variables climáticas de la región sur del país, en particular precipitación pluvial y temperatura, para el período comprendido entre los años 2011-2016. Esta información está disponible en la red de estaciones meteorológicas del Instituto sobre Cambio Climático (ICC) pero no existen publicaciones actualizadas sobre el mismo.

También, hay datos disponibles en el Programa Moscamed sobre el número de brotes (moscas adultas detectadas mediante trampeo) y detecciones (larvas encontradas en frutos) de la Mosca del Mediterráneo, para el mismo periodo que los datos disponibles de clima. Esto abre la posibilidad de relacionar los cambios climáticos (particularmente en los patrones de lluvia y temperatura) con los niveles de esta plaga.

Una forma práctica de presentar los cambios en los patrones de lluvia es a través del Índice Relativo de Precipitación Pluvial (IRPP) propuesto por Corado y Pérez (2016) y definido como la diferencia entre el volumen de lluvia registrado en una región o época, menos el promedio global. Un IRPP positivo significa que está lloviendo más del promedio, mientras un IRPP negativo significa que llueve menos del promedio. Si se encuentra una correlación entre cambios del clima (lluvia o temperatura) y los niveles de esta plaga, se podría proponer un mecanismo para predecir cuándo puede haber descensos o incrementos de plaga, basado en la medición de variables climáticas.

Esta herramienta sería de gran utilidad para diseñar estrategias de protección de cultivos y no existen estudios publicados de esta naturaleza para la mosca del Mediterráneo.

3.2 Justificación

La Mosca del Mediterráneo, *Ceratitis capitata* (Wied.) Díptera: Tephritidae, es una de las plagas de mayor importancia para los países productores de frutas del mundo. Las hembras de esta especie colocan sus huevos en los frutos y las larvas se desarrollan dentro, provocando daños al fruto, así como su eventual pudrición y caída. A las pérdidas agrícolas por las frutas y vegetales dañados en campo se agregan las medidas cuarentenarias que impiden la comercialización de frutos con presencia de esta plaga, de manera que los países infestados

por la moscamed no tienen acceso a exportaciones hacia mercados internacionales. La plaga es originaria de la región subtropical de África y actualmente se encuentra distribuida en la mayor parte del continente Americano, el Mediterráneo y Oceanía.

A pesar de que instituciones como el Instituto Privado de Investigación sobre Cambio Climático (ICC) y el Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología de Guatemala (INSIVUMEH) poseen una vasta red de estaciones meteorológicas con valiosa información sobre el clima en Guatemala, los estudios actualizados sobre la variabilidad de la lluvia y temperatura, entre otras variables climáticas, son escasos o inexistentes.

Una de las regiones donde estos datos están siendo subutilizados es en la región sur de Guatemala que incluye importantes cultivos en nuestro país. También cuenta con una extensa red de estaciones meteorológicas, pero pocos o ningún estudio publicado sobre la variabilidad climática. De acuerdo con el Atlas Hidrológico publicado por el INSIVUMEH, esta región abarca 18 cuencas hidrológicas, distribuidas en 7 departamentos del país.

Los insectos, incluyendo a la moscamed, son organismos poiquiloterms, incapaces de regular su propia temperatura. Dependen de la temperatura externa y la lluvia para regular su desarrollo, por lo que las variables climáticas pueden suprimir o favorecer a esta plaga. A la variabilidad climática “normal” se añaden fenómenos El Niño, La Niña (ENOS) y el cambio climático, que pueden tener serias repercusiones sobre la producción agrícola y el comportamiento de las plagas. Se sabe que a mayor temperatura más corto es el ciclo de la plaga, por lo que la principal consecuencia del calentamiento global podría ser una mayor cantidad y severidad en el ataque de plagas como la moscamed.

4. OBJETIVOS

4.1 Objetivo general

Describir la variabilidad del clima, en particular precipitación pluvial y temperatura, en la región sur de Guatemala para el período 2000-2016.

4.2 Objetivos específicos

Calcular el Índice Relativo de Precipitación Pluvial (IRPP) en los estratos alto, medio, bajo y litoral de la región sur de Guatemala para determinar qué estratos han tenido lluvia por arriba (índice positivo) o por debajo (índice negativo) de los valores típicos para dicha región del país.

Documentar el comportamiento de la temperatura (mínima, máxima y promedio) en la región sur de Guatemala y discutir su impacto sobre la plaga.

Establecer la relación entre la lluvia y los niveles de la plaga moscamed (detecciones y capturas).

Documentar la relación entre las variables climáticas y los niveles de plaga de mosca del Mediterráneo.

5. METODOLOGÍA

El estudio contempló tres actividades principales: a. caracterización del clima en la región sur del país entre los años 2011-2016, b. caracterización de los niveles de plaga en la misma región y período, y c. análisis de correlaciones y regresiones entre las variables climáticas y los niveles de plaga. Estas se detallan a continuación:

5.1 Caracterización del clima en la región sur del país

Se compiló la información de la red de estaciones meteorológicas del Instituto de Investigación sobre el Cambio Climático (ICC), las cuales están disponibles en el sitio <https://redmet.icc.org.gt>. Se eligió el período 2011-2016, ya que la mayoría de las estaciones tienen datos sobre lluvia y temperatura para este período.

Las variables elegidas para el estudio fueron: la precipitación pluvial anual (mm lluvia totales) y la temperatura (mínima, máxima y promedio). Con los datos de lluvia y siguiendo la metodología propuesta por Corado y Pérez (2016) se calculó el Índice Relativo de Precipitación Pluvial (IRPP), mediante la siguiente fórmula:

$$\text{IRPP} = \text{valor observado de lluvia} - \text{promedio global de lluvia} \\ \text{(en un período o región)}$$

Un índice IRPP = 0 indica que la cantidad de lluvia registrada en un año o estación es igual al promedio global de todos los años y estaciones. Un índice positivo (IRPP > 0) indica un excedente de lluvia respecto del promedio global. Un índice negativo (IRPP < 0) indica un déficit de lluvia respecto del promedio global.

De forma que para calcular el IRPP se procede de la forma siguiente: primero, se tabulan los datos de lluvia (mm/año ó mm/región) y se calcula su valor promedio, ya sea por año o por región. Luego, cada dato individual (observado) se resta del promedio global de lluvia. La forma correcta de graficar el IRPP es mediante barras, ya que es una variable discreta. El uso de gráficos de líneas se emplea en ocasiones, cuando se desea visualizar tendencias, a lo largo del tiempo.

5.2 Caracterización de los niveles de plaga en la región sur del país

Los datos de plaga a considerar fueron los totales de capturas (adultos en trampas) y detecciones (larvas en muestreos de fruta) reportados por el Programa Moscamed en Guatemala. Los mismos están disponibles en un estudio por Morales y Pérez (2017), quienes reportan el total de Moscas del Mediterráneo registradas por el SITNet del Programa Moscamed Guatemala. Las capturas fueron tabuladas como totales anuales para la región sur del país, para facilitar su análisis contra las variables climáticas en la misma región y período 2011-2016.

5.3 Análisis de correlaciones y regresiones

Una vez caracterizadas las variables climáticas y los niveles de plaga por año, se procedió a realizar un análisis de correlaciones para establecer si existe relación entre la lluvia y/o temperatura, y los niveles de plaga. Un alto valor en el índice de correlación (R) indicaría una fuerte asociación entre la variable climática y la plaga. Un signo positivo mostraría que al aumentar la variable (ej: temperatura) la plaga también aumenta. Un signo negativo indicaría que al aumentar la variable (ej: lluvia) la plaga disminuye. La correlación emplea un modelo de ajuste lineal, por lo que una falta de correlación puede indicar que no hay relación entre las variables o que dicha relación no es lineal.

Para las variables climáticas que mostraron una correlación con los niveles de plaga se corrió un análisis de regresiones múltiples, para determinar si la relación entre la variable climática y la plaga sigue un modelo: lineal, logarítmico, exponencial, de potencias u otro. Se eligió el modelo de regresión que tuvo el mejor ajuste (coeficiente R^2 más cercano a 1.0). El coeficiente de regresión (R^2) indica el porcentaje de los datos que se ajustan al modelo de regresión seleccionado.

5.4 Cronograma de trabajo del estudio

El estudio diseñado fue ejecutado en un plazo máximo de 4 meses, en los cuales se desarrollarán las siguientes actividades:

Actividad	Mes			
	1	2	3	4
Recopilación de información climática	X			
Recopilación de información de la plaga	X			
Análisis de la información			X	
Elaboración del informe final			X	X

Cuadro 2. *Cronograma de actividades.*

VI. RESULTADOS

Los resultados se dividen de la siguiente forma:

- caracterización de la lluvia y temperatura en la región sur del país,
- caracterización de las detecciones y brotes de moscamed en la región sur del país y
- relación entre las variables climáticas y los niveles de plaga.

6.1 Caracterización de la lluvia y temperatura en la región sur del país

La red del Instituto de Investigación sobre el Cambio Climático (ICC) comprende unas 27 estaciones meteorológicas distribuidas en la región Sur del país, principalmente en áreas con vocación para la siembra de caña de azúcar (*Saccharum officinarum* L.). Se encuentran subdivididas en estratos (alto, medio, bajo y litoral). Su distribución georeferenciada se muestra en la Figura 7.

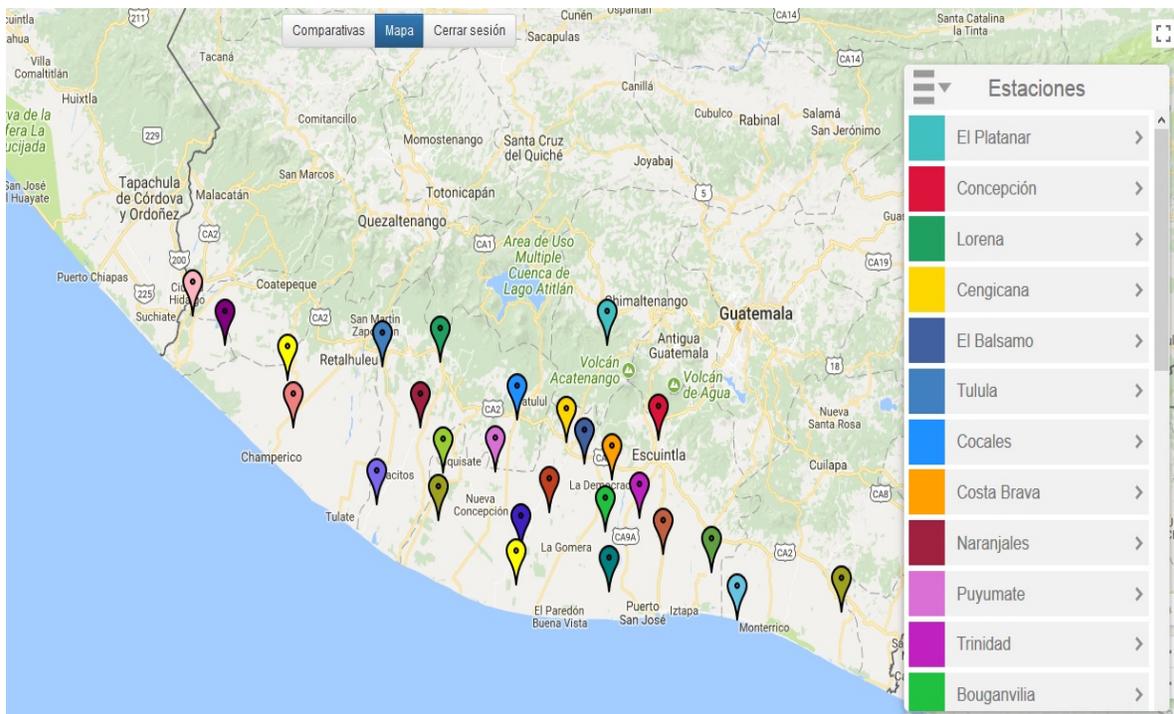


Figura 7. Red de estaciones meteorológicas del ICC. A la derecha se muestra un listado parcial de las 27 estaciones.

Los datos de lluvia y temperatura registrados por las estaciones meteorológicas se agruparon por altitud, basado en los 4 estratos de altitud: alto (500-1600 msnm), medio (300-500 msnm), bajo (<300 msnm) y litoral (cerca del mar), según Morales y Pérez (2016). Los valores promedio de lluvia registrados en dichas estaciones se muestran en el Cuadro 3.

Año	Alto	Medio	Bajo	Litoral	Promedio
2000	1821.4	1341.8	1106.6		1423.3
2001	3451.2	2120.2	707.2		2092.9
2002	3302.5	1629.6	1130.9	1018.1	1770.3
2003	5634.8	4379.9	1337.7	959.0	3077.9
2004	1922.9	1875.7	542.1	378.1	1179.7
2005	5381.6	446.8	1833.1	2450.6	2528.0
2006	4292.6	4280.0	1920.1	1470.0	2990.7
2007	3970.1	3555.2	1413.6	1385.1	2581.0
2008	3760.0	4116.0	1687.3	1518.8	2770.5
2009	3801.3	3382.0	1340.2	1047.7	2392.8
2010	4817.4	4370.4	2433.6	2418.5	3510.0
2011	4389.8	3627.5	2255.5	1873.4	3036.6
2012	3878.2	3390.6	1730.5	980.8	2495.0
2013	4045.4	3563.4	1954.9	1493.9	2764.4
2014	3556.2	3449.2	1897.3	1215.1	2529.5
2015	3252.6	3341.6	1714.5	1225.3	2383.5
2016	3353.2	3677.4	1751.8	1198.1	2495.1
x	3801.8	3091.0	1573.9	1375.5	
				Promedio	2471.8

Cuadro 3. Precipitación pluvial acumulada (mm/año) por año y estrato, en la región sur del país (estaciones climáticas ICC, 2016).

Los valores promedio de precipitación pluvial se muestran en la Figura 8, en la cual se aprecia que el estrato alto tiene el mayor promedio (3,808 mm de lluvia/año) y que este disminuye conforme baja la altitud. El estrato medio registra 3,091 mm de lluvia/año, el estrato bajo 1,573 mm lluvia/año y el litoral 1375.5 mm de lluvia/año.

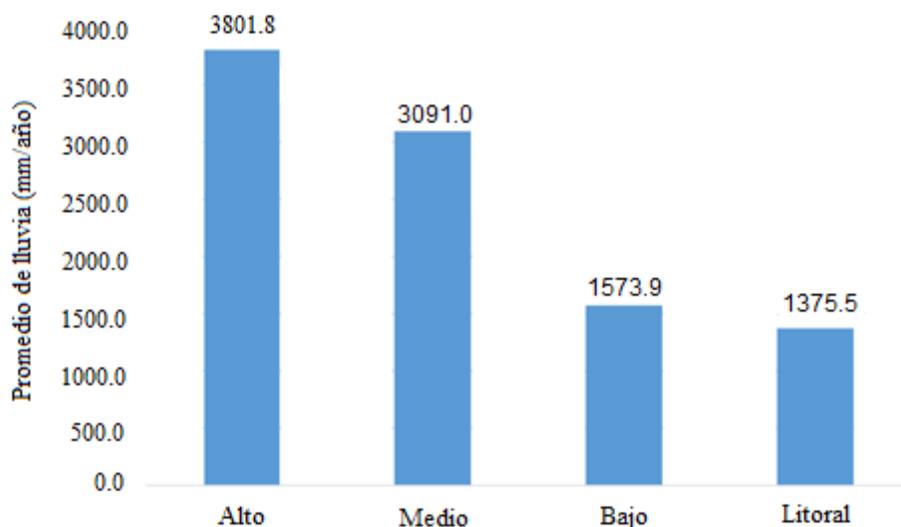


Figura 8. Promedio de precipitación pluvial (mm de lluvia/año) por estrato de altitud, para los años 2000-2016 en la región sur de Guatemala.

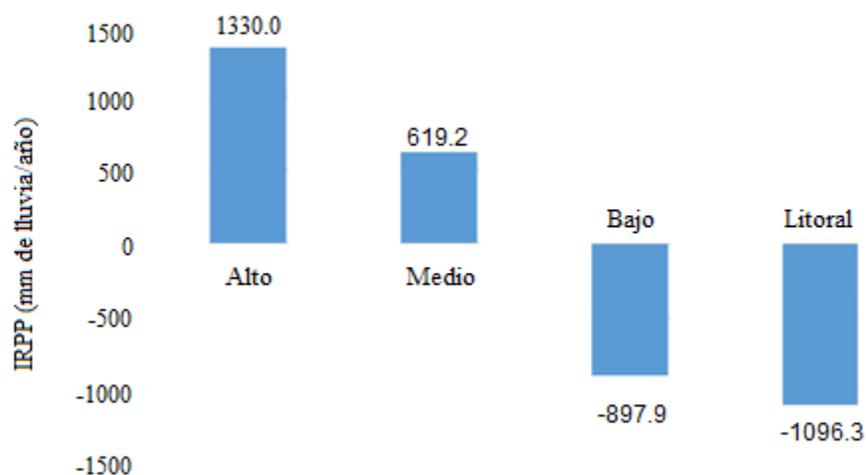


Figura 9. Índice Relativo de Precipitación Pluvial (IRPP, mm de lluvia/año) por estrato de altitud, para los años 2000-2016 en la región sur de Guatemala.

La figura 9 muestra que los estratos alto y medio tienen un IRPP >0, es decir, la precipitación pluvial está por arriba del promedio. Los estratos bajo y litoral tienen IRPP < 0, la precipitación pluvial está por debajo del promedio, por lo que aquí habría un mayor riesgo de que plagas como la mosca med se multipliquen.

Con los promedios registrados en el cuadro 3 se calculó el Índice Relativo de Precipitación Pluvial (IRPP) de acuerdo con la metodología propuesta por Corado y Pérez (2016). Estos índices se presentan en el Cuadro 4.

Año	Alto	Medio	Bajo	Litoral	Promedio
2000	-650.4	-1130.0	-1365.2		-1048.5
2001	979.4	-351.6	-1764.6		-378.9
2002	830.7	-842.2	-1341.0	-1453.7	-701.5
2003	3163.0	1908.1	-1134.1	-1512.8	606.1
2004	-548.9	-596.1	-1929.7	-2093.7	-1292.1
2005	2909.8	-2025.0	-638.7	-21.2	56.2
2006	1820.8	1808.2	-551.7	-1001.8	518.9
2007	1498.3	1083.4	-1058.2	-1086.7	109.2
2008	1288.2	1644.2	-784.6	-953.0	298.7
2009	1329.5	910.2	-1131.6	-1424.1	-79.0
2010	2345.6	1898.6	-38.2	-53.3	1038.2
2011	1918.0	1155.7	-216.3	-598.4	564.8
2012	1406.4	918.8	-741.3	-1491.0	23.2
2013	1573.6	1091.6	-516.9	-977.9	292.6
2014	1084.4	977.4	-574.5	-1256.7	57.7
2015	780.8	869.8	-757.3	-1246.5	-88.3
2016	881.4	1205.6	-720.1	-1273.7	23.3

Cuadro 4. Índice Relativo de Precipitación Pluvial (mm/año) por año y estrato, en la región sur del país (ICC, 2016).

Los resultados del IRPP se grafican en las figuras 10 a 14. Un IRPP positivo (> 0) indica lluvia por arriba del promedio global. IRPP negativo (< 0) indica lluvia por debajo del promedio global.

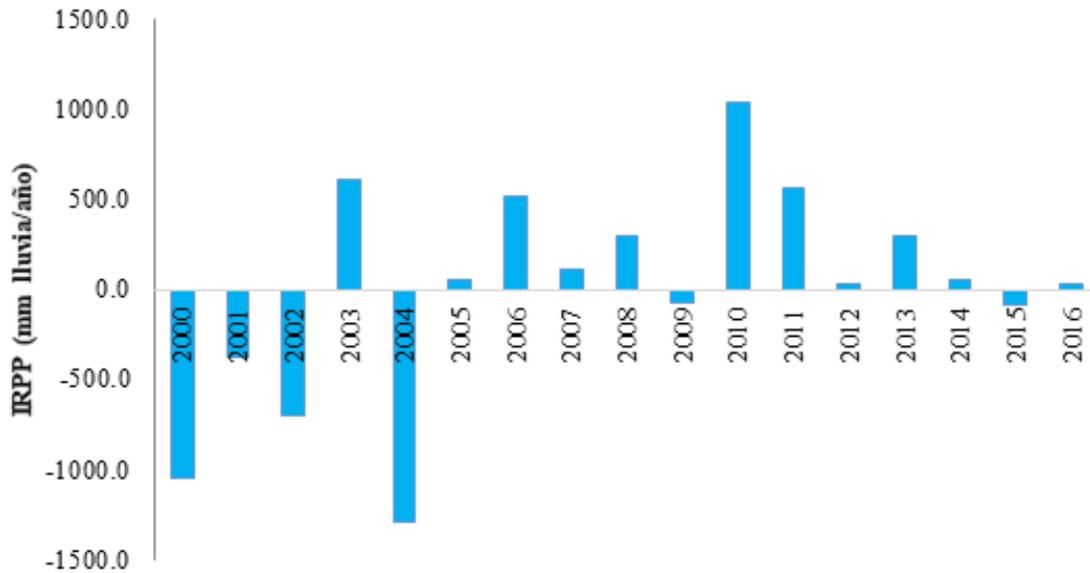


Figura 10. Balance de lluvia global (IRPP, mm de lluvia/año) en la región sur de Guatemala.



Figura 11. Balance de lluvia (IRPP, mm de lluvia/año) en el estrato alto de la región sur de Guatemala.



Figura 12. Balance de lluvia (IRPP, mm de lluvia/año) en el estrato medio de la región sur de Guatemala.

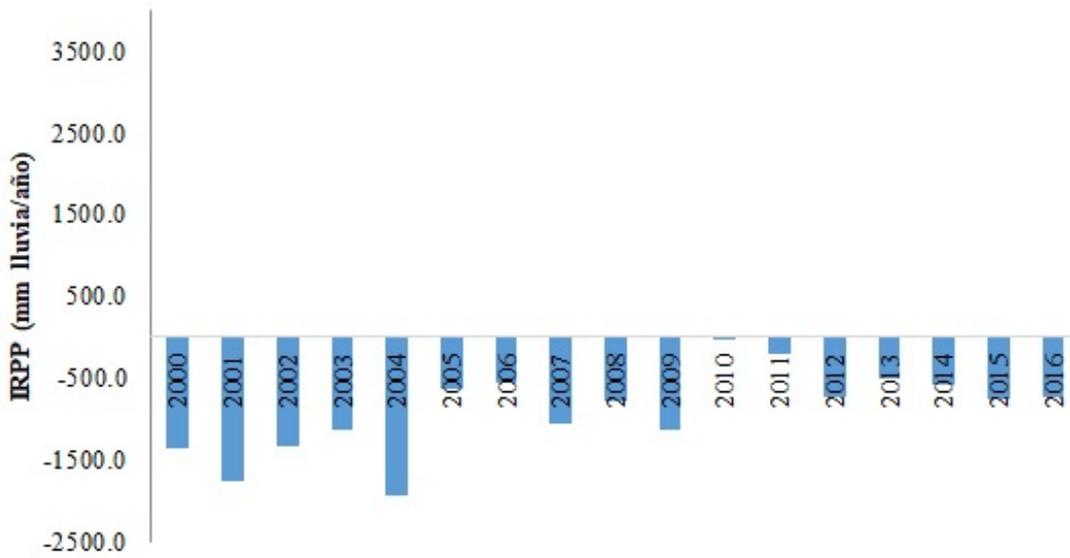


Figura 13. Balance de lluvia (IRPP, mm de lluvia/año) en el estrato bajo de la región sur de Guatemala.

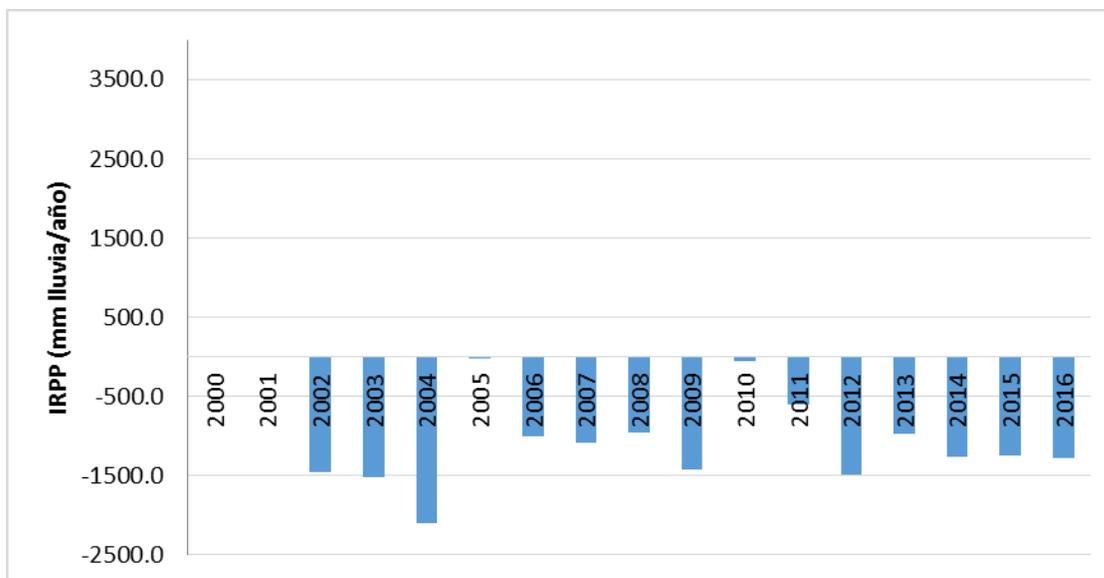


Figura 14. Balance de lluvia (IRPP, mm de lluvia/año) en el estrato litoral de la región sur de Guatemala.

Cuando los datos promedio se analizan por año (Figura 10), muestran que la región sur de Guatemala experimentó un evento de déficit pluvial entre los años 2000 a 2004. El IRPP promedio osciló entre -378.9 a -1292.1 mm de lluvia, con una sola excepción (el año 2006 con un IRPP = 606.1 mm de lluvia/año). También, se registra un evento con exceso de precipitación pluvial, entre los años 2010 a 2011, con IRPP entre 564.8 a 1038.2 mm de lluvia/año. La tendencia de los años más recientes es registrar un IRPP más cercano a 0, lo cual significa que en la región sur del país se han registrado valores de precipitación cercanos al promedio, sin excesos ($IRPP > 0$) o déficit ($IRPP < 0$).

Al analizar los datos por estrato y año, se confirman las tendencias mostradas en la figura 9, que muestra un valor de lluvia superior al promedio ó un IRPP positivo para los estratos alto y medio (el mismo patrón se aprecia en las figuras 11 y 12, donde predominan los valores positivos para el IRPP) y un déficit de lluvia ó IRPP negativo en los estratos bajo y litoral (que concuerda con los valores mostrados en las figuras 13 y 14, donde predominan los valores negativos para el IRPP).

En cuanto al análisis de la temperatura, la tendencia mostrada en todas las estaciones meteorológicas es a presentar temperaturas mínimas entre 15 y 18°C, máximas entre 31 y 37°C y temperaturas promedio entre 23 y 28°C. Un patrón que llama la atención es que conforme pasan los años, estos tres valores (temperatura mínima, máxima y promedio) muestran una tendencia al incremento, lo cual es consistente con el fenómeno del calentamiento global (Figuras 15 a 17).

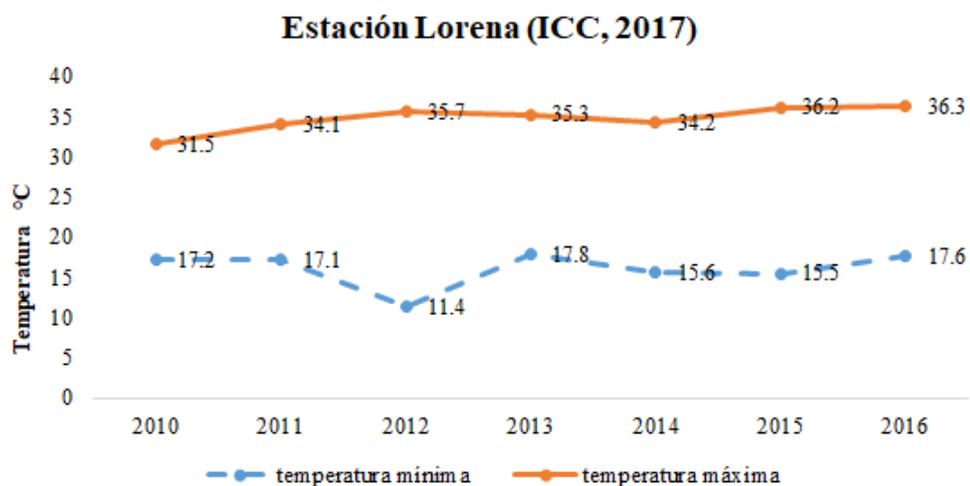


Figura 15. Temperatura ambiental registrada en la Estación Lorena (ICC, 2017). En el período 2010-2016 la temperatura mínima se ha incrementado 0.4°C, la máxima 4.8°C y la temperatura promedio 2.6°C.

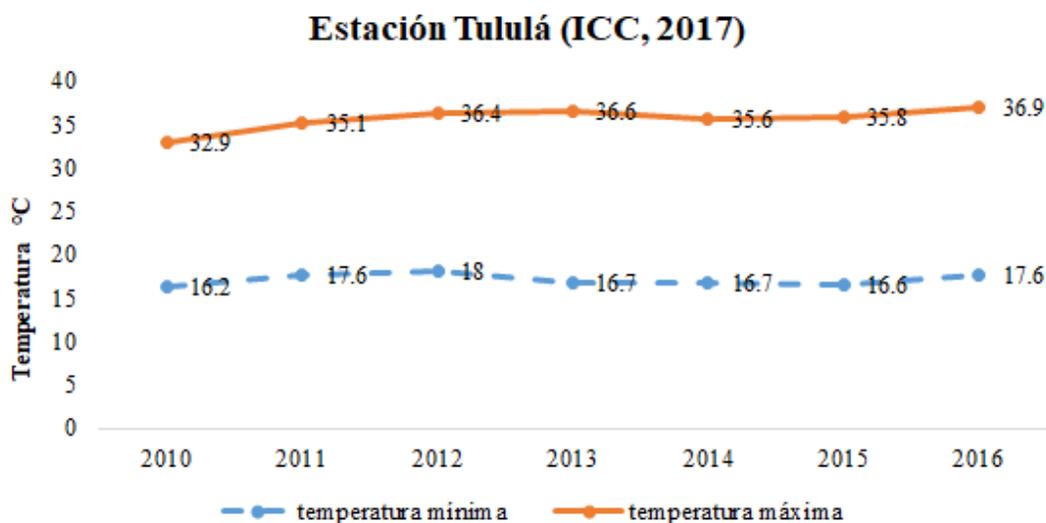


Figura 16. Temperatura ambiental registrada en la Estación Tululá (ICC, 2017). En el período 2010-2016 la temperatura mínima se ha incrementado 1.4°C, la máxima 4.0°C y la temperatura promedio 2.7°C.

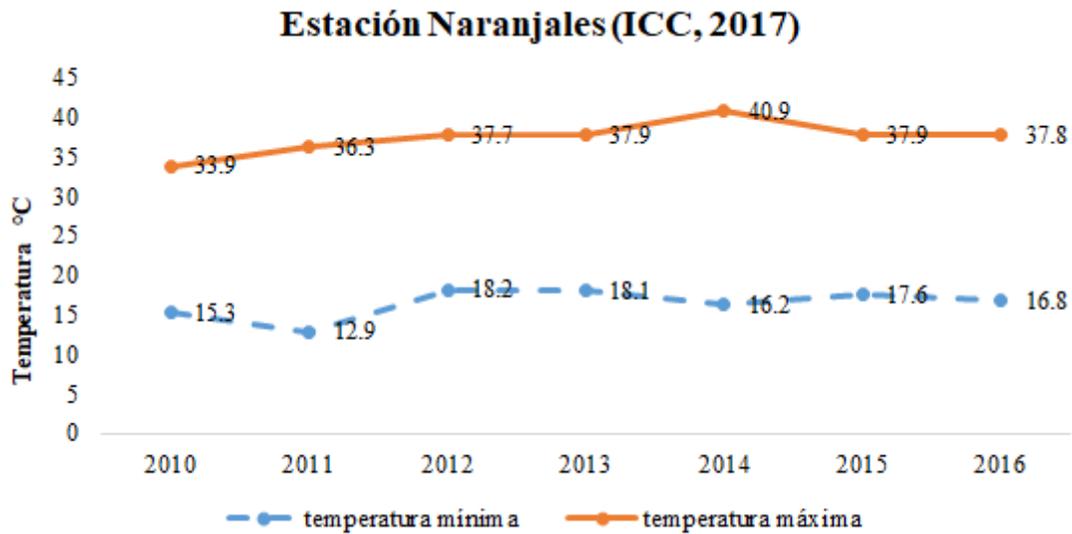


Figura 17. Temperatura ambiental registrada en la Estación Naranjales (ICC, 2016). En el período 2010-2016 la temperatura mínima se ha incrementado 1.5°C, la máxima 3.9°C y la temperatura promedio 2.7°C.

Los principales resultados de la caracterización de la lluvia y temperatura en la región sur del país se resumen a continuación:

- a. Los estratos alto y medio reciben más lluvia que el promedio ($IRPP > 0$), mientras que los estratos bajo y litoral reciben menos lluvia/año que el promedio ($IRPP < 0$). Esto puede significar un mayor riesgo de infestación de plaga de moscamed en los estratos bajo y litoral, debido a que la lluvia es uno de los principales factores naturales de mortandad.
- b. Los promedios anuales de lluvia muestran un déficit de precipitación pluvial entre los años 2000 a 2004 y un exceso de precipitación pluvial cerca del año 2010. Debería haber un incremento en los niveles de plaga en el primer evento y una reducción en el segundo.
- c. Del año 2010 al 2016, la tendencia observada en todas las estaciones climáticas ha sido incrementar la temperatura mínima entre 0.5 a 1.5°C, la temperatura máxima entre 4 a 5°C y la temperatura promedio entre 2.5 a 2.8°C, como lo muestran los ejemplos en las figuras 15 a la 17. De acuerdo con la teoría del modelo de días grados, un incremento en la temperatura ambiental significaría ciclos de vida más cortos para las plagas, es decir, más generaciones de moscamed por año.

6.2 Caracterización de las detecciones y brotes de moscamed en la región sur del país

El Cuadro 5 muestra un resumen de las detecciones de adultos mediante trampeo y brotes de larvas colectadas de frutos en la región Suroccidente de Guatemala. En los registros históricos del Programa Moscamed se documentan niveles de plaga récord superiores a las 170,000 capturas/año en el período 2000-2004 para dicha región geográfica (Corado y Pérez, 2016). El Cuadro 5 muestra que los niveles de plaga se reducen después del año 2010 (evento de alta precipitación pluvial).

Año	Adultos	Larvas	Rel A/L
2008	88,300	6,559	13
2009	113,297	1,096	103
2010	81,598	485	168
2011	5,397	56	96
2012	5,229	576	9
2013	19,054	944	20
2014	32,727	270	121
2015	6,357	89	71
2016	31,944	44	726

Cuadro 5. Total de detecciones de adultos fértiles en trampas y capturas de larvas de moscamed en muestreo de frutos, en la región Sur de Guatemala 2008-2016 (Morales y Pérez, 2016).

Uno de los resultados más notables en este cuadro es que no hay una relación constante o proporcional entre el número de adultos fértiles y el número de larvas colectadas (Rel A/L), que varía desde valores de 9 adultos/larva hasta 726 adultos/larva. El número de adultos capturados por año es altamente variable (entre 5,229 a 113,297 adultos por año), al igual que el número de larvas (entre 44 a 6,559 larvas por año).

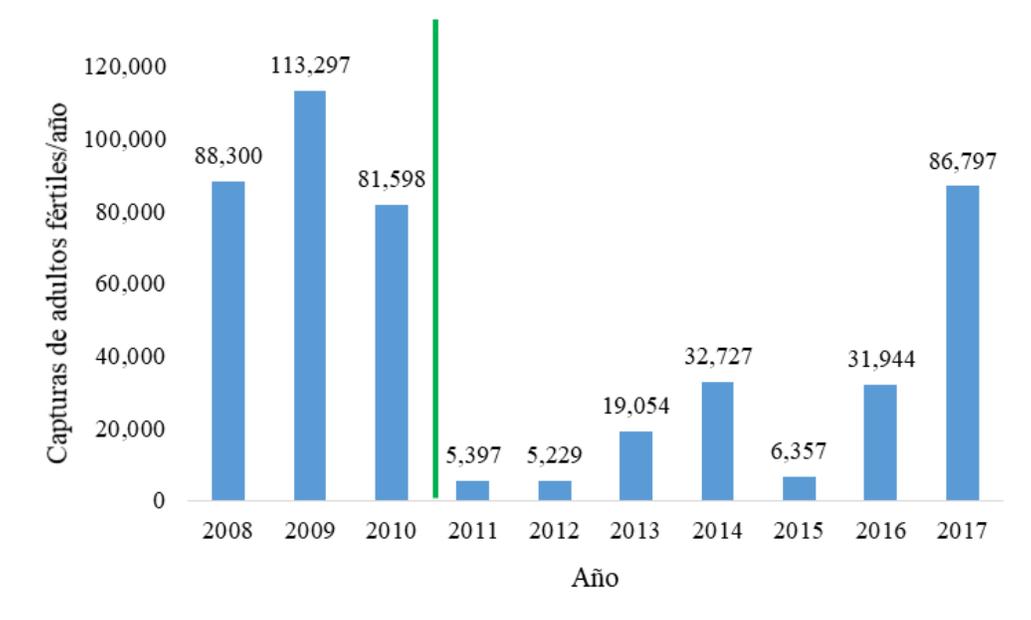


Figura 18. Capturas de adultos fértiles/año en la región Suroccidente de Guatemala (Morales y Pérez, 2016). La línea vertical divide los años después del evento de exceso de precipitación pluvial en el año 2010. Para el año 2017 se muestra un valor proyectado, basado en datos parciales del Programa Moscamed.

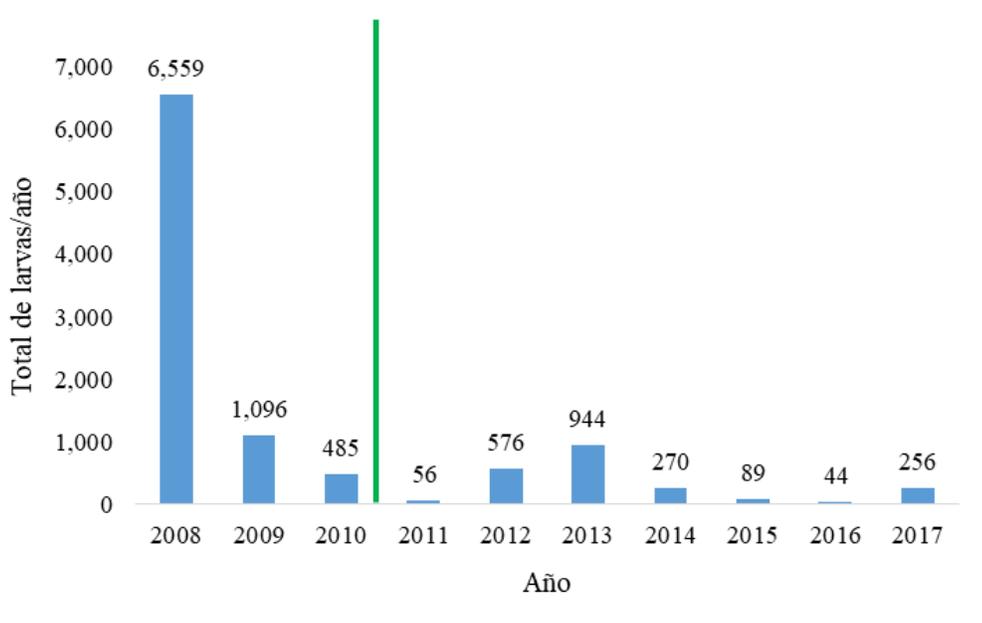


Figura 19. Total de larvas/año detectadas en frutos en la región Suroccidente de Guatemala (Morales y Pérez, 2016). La línea vertical divide los años después del evento de exceso de precipitación pluvial en el año 2010. Para el año 2017 se muestra un valor proyectado, basado en datos parciales del Programa Moscamed.

Mediante un análisis de regresión se estimó la relación entre las larvas detectadas (brotes) y los adultos fértiles capturados (detecciones) por año. Aunque la recta de regresión sugiere una correlación positiva entre ambas variables (al aumentar la detección de larvas, aumentaría la captura de adultos), el coeficiente de regresión es bajo ($R^2 = 0.2546$), lo cual sugiere que las larvas provenientes de frutos (infestación en los cultivos) no se convierten proporcionalmente en adultos.

Se pueden proponer diversas hipótesis para explicar este resultado: puede haber migración u otros mecanismos que causan una desproporción en la relación entre número de adultos y número de larvas (Rel A/L) o bien, hay factores naturales que suprimen (como la lluvia) o incrementan fuertemente las poblaciones de adultos (como el incremento de temperatura ambiente atribuido al calentamiento global).

A estas causas naturales, hay que añadir el efecto de las acciones del Programa Moscamed, que realiza acciones en áreas extensas, que tienen efecto sobre las poblaciones de plaga en campo, tales como: supresión mediante un cebo atrayente de moscas del Mediterráneo y liberación de machos estériles que neutralizan la capacidad de reproductiva de la plaga, las hembras silvestres.

Los resultados de la caracterización de detecciones y brotes de moscamed en la región sur del país se resumen a continuación:

- a. Las capturas/año de adultos (detección) son altas en el período 2008-2010, siguiendo el evento de déficit de precipitación pluvial (años 200-2004) que registró niveles altos record de plaga en campo, por arriba de las 170,000 capturas/año. Después del año 2010 (evento de alta precipitación pluvial) las capturas de adultos se reducen drásticamente.
- b. Las colectas/año de larvas en frutos (brotes) son altas en el año 2008. Desde entonces se han mantenido en niveles bajos.
- c. Aunque los análisis de regresión sugieren una correlación positiva, a mayor número de larvas (brotes) aumenta el número de adultos (detecciones), el coeficiente de regresión es muy bajo ($R^2 = 0.1787$) y la relación adulto/larva (A/L) es muy variable, desde valores de 9 adultos/larva hasta 726 adultos/larva.

6.3 Relación entre las variables climáticas y los niveles de plaga de mosca del Mediterráneo

En los registros históricos del Programa Moscamed se documenta que durante el período 2000-2004, el cual muestra un déficit de precipitación pluvial ($IRPP < 0$), se detectaron niveles récord de moscamed en campo, mayores de 170,000 capturas por año. En los años que siguen al 2010, se documenta un exceso de precipitación pluvial ($IRPP > 0$), las capturas de moscamed en campo presentan bajos niveles, por debajo de las 5,400 capturas/año (Corado y Pérez, 2016).

Por otro lado, Morales y Pérez (2016) reportan que al analizar el incremento de la temperatura promedio entre los años 2010 a 2016 en la región suroccidente del país y compararlas con las detecciones o capturas de Mosca del Mediterráneo en los sistemas de trampeo, los niveles de plaga en campo responden a cambios en las variables de precipitación pluvial y temperatura. A mayor temperatura, mayores niveles de plaga en campo. A mayor precipitación pluvial, menos plaga.

El nivel total de plaga detectada (Cuadro 5, adultos fértiles) no correlaciona con el índice relativo de precipitación pluvial promedio de la región sur de Guatemala ($R^2 = 0.0333$). Al analizar el total de adultos versus el IRPP por estrato de altitud, los coeficientes de regresión son bajos en el estrato alto ($R^2 = 0.0444$), medio ($R^2 = 0.2275$) y litoral ($R^2 = 0.0378$). Sin embargo, se obtiene una interesante relación al analizar el total de plaga versus el índice relativo de lluvia para el estrato bajo de la región sur (resultado que se muestra en la figura 20), mientras mayor es el déficit hídrico, más alta es la cantidad total de plaga detectada.

El mejor ajuste ($R^2 = 0.6298$) se logra mediante una regresión polinómica cuadrática, lo cual significa que en la parte baja de la región sur del país, la mosca aumenta exponencialmente (al cuadrado) conforme aumenta el déficit hídrico. Este resultado podría ser de interés para el Programa Moscamed, ya que podría ser una herramienta predictiva para modelar el comportamiento de la plaga en campo y su relación con las variables climáticas, tales como la lluvia, al menos en la parte baja de la región Sur de Guatemala.

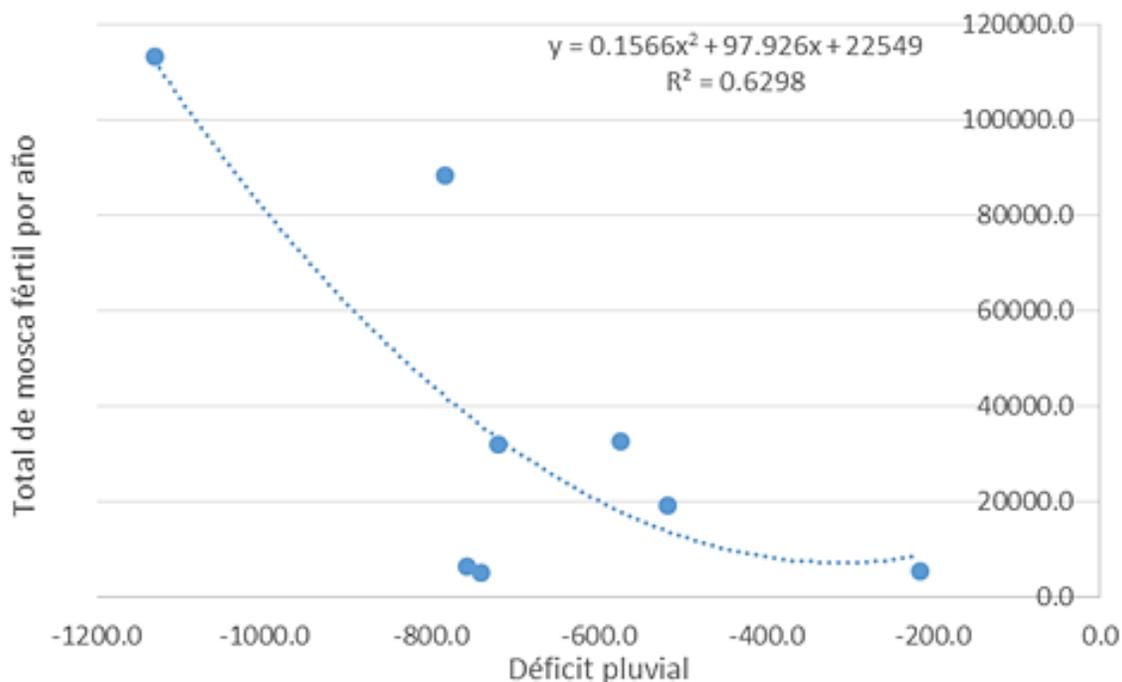


Figura 20. Relación entre las detecciones de adultos fértiles por año y el déficit pluvial (IRPP) en el estrato bajo de la región Sur de Guatemala.

En resumen, se plantean los siguientes resultados para esta sección:

- a. Los registros históricos del Programa Moscamed sugieren que los eventos de déficit de precipitación pluvial pueden estar relacionados con altos niveles de plaga de moscamed en campo. Por el contrario, un exceso de lluvia reduce las detecciones de adultos fértiles de plaga en los años siguientes.
- b. No hay una relación directa entre el número de adultos fértiles capturados en trampas y las larvas detectadas en brotes, de frutos. La relación de adultos/larva (A/L) es altamente variable y el coeficiente de regresión es bajo ($R^2 = 0.1787$).
- c. En el estrato bajo de altitud se registró una correlación entre el número de capturas de adultos fértiles y el déficit hídrico ($IRPP < 0$), mientras mayor es el déficit hídrico, más alta es la cantidad total de plaga detectada. El mejor ajuste ($R^2 = 0.6298$) se logra mediante una regresión polinómica cuadrática, lo cual significa que en la parte baja de la región sur del país, la mosca aumenta exponencialmente (al cuadrado) conforme aumenta el déficit hídrico.

VII. CONCLUSIONES

Se describió la variabilidad del clima en la región sur de Guatemala, para el período 2000-2016, y se determinó que existen períodos de baja precipitación pluvial y alta temperatura, que pueden incrementar las poblaciones de plagas, como la mosca del Mediterráneo, ya que estas condiciones podrían permitir que la plaga se multiplique y disperse más fácilmente.

El Índice Relativo de Precipitación Pluvial (IRPP) muestra que, en promedio, los estratos alto y medio de la región sur tienen un registro de lluvia por arriba del promedio ($IRPP > 0$), mientras los estratos bajo y litoral presentan un registro de lluvia por debajo del promedio ($IRPP < 0$), por lo que es más probable que la plaga se desarrolle en los estratos con $IRPP < 0$.

La temperatura en la región sur del país tiene una tendencia al incremento del año 2010 al 2016, la mínima se incrementa entre 0.5 a 1.5°C, la máxima entre 4.0 a 5.0°C y la temperatura promedio entre 2.5 a 2.8°C. Este incremento es consistente con la teoría del calentamiento global y puede significar que la plaga de moscamed tenga ciclos de vida más cortos y más generaciones de plaga por año.

Según los datos obtenidos, en el estrato bajo de la región sur, se registró una correlación entre el número de capturas de adultos fértiles y el déficit hídrico: mientras mayor es el déficit hídrico ($IRPP < 0$), más alta es la cantidad total de plaga detectada. El mejor ajuste ($R^2 = 0.6298$) se logra mediante una regresión polinómica cuadrática.

VIII. RECOMENDACIONES

Se recomienda evaluar el uso del IRPP como un indicador de riesgo para las infestaciones de plaga de moscamed. Aparentemente los estratos con lluvia por arriba de un umbral tienen menor dependencia a incrementar la plaga cuando se presenta un déficit hídrico.

Se recomienda considerar que ante un incremento en la temperatura promedio en la región sur del país, como el documentado para el período 2010-2016, puede incrementarse la severidad de los brotes de moscamed, ya que a mayor temperatura su ciclo de vida sería más corto y tendería a haber más generaciones de plaga por año.

Se recomienda revisar las metodologías de muestreo de larvas, ya que los totales de larva por año no muestran una relación con las detecciones de adultos fértiles. Este resultado no es muy lógico, ya que debería haber una mayor correlación entre ambas variables.

IX. BIBLIOGRAFIA

- Allen, M.L., Berkebile, D.R. & Skoda, S.R. (2004). Postlarval fitness of transgenic strains of *Cochliomyia hominivorax* (Diptera: Calliphoridae). *Journal of economic entomology*, 97(3): 1181–1185.
- Alphey, L.S., (2007). Engineering insects for the Sterile Insect Technique, pp 51-60 in Vreysen, M.J.B., Robinson, A.S., & Hendrichs, J. (Eds) *Area-Wide Control of Insect Pests*. The Netherlands, Springer.
- Benedict, M.Q. & Robinson, A.S. (2003). The first releases of transgenic mosquitoes: an argument for the sterile insect technique. *Trends in Parasitology* 19(8):349-355.
- Cáceres, C., Cayol, J.P., Enkerlin, W., Franz, G., Hendrichs, J., Robinson, A.S., & Barnes, B.N. (2004). Comparison of Mediterranean fruit fly (*Ceratitis capitata*) (Tephritidae) bisexual and genetic sexing strains: development, evaluation and economics. In *Proceedings of the 6th International Symposium on fruit flies of economic importance*, Stellenbosch, South Africa, 6-10 May 2002 (pp. 367-381). Isteg Scientific Publications.
- Catteruccia, F., Godfray, H.C.J. & Crisanti, A. (2003). Impact of genetic manipulation on the fitness of *Anopheles stephensi* mosquitoes. *Science*, 299: 1225-1227.
- Copeland R. S., Wharton, R. A., Luke, Q., Meyer, M. (2002). Indigenous Hosts of *Ceratitis capitata* (Diptera:Tephritidae) in Kenya. *Annals of Entomological Society of America* 95(6): 672 – 694.
- Corado, M. 2007. Efectos de la temperatura sobre el desarrollo biológico del estadio de pupa y la calidad del insecto adulto de Mosca del Mediterráneo, *Ceratitis capitata* (Wied.) en el proceso de cría masiva. Universidad Rural de Guatemala, Guatemala. 38pp.
- Corado, M. y Pérez, R.. 2016. Propuesta para el análisis e integración de datos climáticos y fenológicos como herramientas predictivas en las operaciones de campo del Programa Moscamed Guatemala. Moscamed, Guatemala. 40 pp.

- Dyck, V.A., Hendrichs, J. & Robinson, A.S. (2005). *Sterile Insect Technique: Principles and Practice in Area-Wide Integrated Pest Management*. Dordrecht, The Netherlands, Springer.
- Enkerlin, W., Lopez, L., Celedonio, H. (1996). Increased accuracy in discrimination between captured wild unmarked and released dye-marked adults in fruit fly (Diptera: Tephritidae) sterile released programs. *Journal of Economic Entomology*, 89:946–49.
- Facchinelli, L., Valerio, L., Ramsey, J. M., Gould, F., Walsh, R. K., Bond, G., Robert, M. A., Lloyd, A. L., Jame, A. A., Alphey, L. & Scott, T. W. (2013). Field Cage Studies and Progressive Evaluation of Genetically-Engineered Mosquitoes. *PLOS Neglected Tropical Diseases*, 7 (1): 1-12.
- FAO/IAEA/USDA (2003) *Manual for product quality control and shipping procedures for sterile mass-reared tephritid fruit Flies*. International Atomic Energy Agency, Vienna, Austria.
- Fisher, K. (1998). Genetic sexing strains of Mediterranean fruit fly (Diptera: Tephritidae); optimizing high temperature treatment of mass-reared temperature-sensitive lethal strains. *Journal of Economic Entomology*, 91:1406-1414.
- Fisher, K., & Caceres, C. (2000). A filter rearing system for mass reared genetic sexing strains of Mediterranean fruit fly (Diptera:Tephritidae). pp. 543-550. In Tan, K. H. (Eds) *Area-Wide Management of Fruit Flies and Other Major Insect Pests*. University Sains Malaysia Press. Penang, Malaysia.
- Franz, G. (2005). Genetic sexing strains in Mediterranean fruit fly, an example for other species amenable to large-scale rearing for the sterile insect technique, pp 427-451 in Dyck, V.A., Hendrichs, J. & Robinson, A.S. (Eds) *Sterile Insect Technique: Principles and Practice in Area-Wide Integrated Pest Management*. Dordrecht, The Netherlands, Springer.
- Franz, G. & Robinson, A. (2011). Molecular technologies to improve the effectiveness of the sterile insect technique. *Genética*, 139(1): 1–5.

- Hagler, J. R. & Jackson, C.G. (2001). Methods for marking insects: current techniques and future prospects. *Annual Review of Entomology*, 46: 511-543.
- Handler, A.M. (2002). Prospects for using genetic transformation for improved SIT and new biocontrol methods. *Genetica*, 116(1):137–149.
- Handler, A.M. & Harrell, R.A. (2001). Transformation of the Caribbean fruit fly, *Anastrepha suspensa*, with a piggyBac vector marked with polyubiquitin-regulated GFP. *Insect biochemistry and molecular biology*, 31(2):199–205.
- Harvey-Samuel, T., Ant, T., Gong, H., Morrison, N. I., Alphey, L. (2014). Population-level effects of fitness costs associated with repressible female-lethal transgene insertions in two pest insects. Oxitec Ltd. *Evolutionary Applications* published by John Wiley & Sons Ltd. p. 597-606.
- Hendrichs, J., Franz, G., & Rendón, P. (1995). Increased effectiveness and applicability of the sterile insect technique through male-only releases for control of Mediterranean fruit flies during fruiting seasons. *Journal of Applied Entomology*, 119: 371-377.
- Hendrichs, J., Robinson, A. S., Cayol, J.P., Enkerlin, W. (2002). Medfly area wide sterile insect technique programmes for prevention, suppression or eradication: The importance of mating behavior studies. *Florida Entomologist* 85 (1): 2-8.
- Irvin, N., Hoddle, M.S., O’Brochta, D.A., Carey, B. & Atkinson, P.W. (2004). Assessing fitness costs for transgenic *Aedes aegypti* expressing the GFP marker and transposase genes. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 101(3): 891–896.
- Knipling, E.F. (1955). Possibilities of insect control or eradication through the use of sexually sterile males. *Journal of Economic Entomology*, 48(4): 459–462.
- Knipling, E.F. (1979). The basic principles of insect population suppression and management. Agriculture Handbook Number 512. SEA, USDA, Washington, DC, USA.

- Marrelli, M.T., Moreira, C.K., Kelly, D., Alphey, L. & Jacobs-Lorena, M. (2006). Mosquito transgenesis: what is the fitness cost?. *Trends in Parasitology*, 22(5): 197–202.
- Meza-Hernández JS & Díaz-Fleischer F (2006) Comparison of sexual compatibility between laboratory and wild Mexican fruit flies under laboratory and field conditions. *Journal of Economic Entomology*, 99:1979–86.
- McInnis, D.O., Lance, D.R. & Jackson, C.G. (1996) Behavioral resistance to the sterile insect technique by Mediterranean fruit fly (Diptera: Tephritidae) in Hawaii. *Annals of the Entomological Society of America*, 89:739–744.
- McInnis, D., Rendón, P. & Komatsu, J. (2002). Mating and remating of medflies (Diptera: Tephritidae) in Guatemala: Individual fly marking in field cages. *Florida Entomologist*, 85(1):126-137.
- Morales, J. y Pérez, R.. 2016. Análisis del efecto de condiciones climáticas en el comportamiento de las poblaciones silvestres de Mosca del Mediterráneo, *Ceratitis capitata* (Wied). (Díptera: Tephritidae) en la región suroccidental de Guatemala. *In prep.* CUNSURORI, Guatemala. 15 pp.
- Perez, R. 2016. La mosca del Mediterráneo, *Ceratitis capitata* (Wied): Biología y hábitos. Moscamed, Guatemala, 37 pp.
- Rendón, P., McInnis, D.O., Lance, D.R. & Stewart, J. (2000). Comparison of medfly male-only and bisexual releases in large scale field trials. 517-525. In Tan, K. H. (Eds) *Area-Wide Management of Fruit Flies and Other Major Insect Pests*. University Sains Malaysia Press. Penang, Malaysia.
- Robinson, A.S., Franz, G. & Atkinson, P.W. (2004). Insect transgenesis and its potential role in agriculture and human health. *Insect Biochemistry and Molecular Biology*, 34(2): 113–120.
- Robinson, A.S., & Hendrichs, J. (2005). Prospect for the future development and application of the Sterile Insect Technique, pp 737-754 in Dyck, V.A., Hendrichs, J. & Robinson,

- A.S. (Eds) *Sterile Insect Technique: Principles and Practice in Area-Wide Integrated Pest Management*. Dordrecht, The Netherlands, Springer.
- Schetelig, M. F., Caceres, C., Zacharopoulou, A., Franz, G., Wimmer, E. A. (2009). Conditional embryonic lethality to improve the sterile insect technique in *Ceratitis capitata* (Diptera: Tephritidae). *BMC Biol* 7:4.
- Schroeder, W. J., & Mitchell, W.C. (1981). Marking tephritidae fruit fly adults in Hawaii for release recovery studies. *Proceedings of the Hawaiian Entomological Society*, 23: 437-440.
- Scolari, F., Schetelig, M.F., Bertin, S., Malacrida, A.R., Gasperi, G. and Wimmer, E.A. (2008). Fluorescent sperm marking to improve the fight against the pest insect *Ceratitis capitata* (Wiedemann; Diptera: Tephritidae). *New Biotechnology*, 25(1):76–84.
- Scolari, F., Siciliano, P., Gabrieli, P., Gomulski, L.M., Bonomi, A., Gasperi, G. & Malacrida, A.R. (2011). Safe and fit genetically modified insects for pest control: from lab to field applications. *Genetica*, 139(1): 41–52.
- Wimmer, E.A. (2005). Eco-friendly insect management. *Nature biotechnology*, 23(4): 432–433.