

Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Estudios de Postgrado
Programa de Maestría en Energía y Ambiente

**MODELO MATEMÁTICO DE DENSIDAD POBLACIONAL DE *Ceratitis capitata*
(Wiedemann) Y ANÁLISIS DE LAS CONSECUENCIAS AMBIENTALES PROVOCADAS POR
EL MANEJO INTEGRADO DE LA PLAGA**

Mariela Lizeth Benavides Lázaro

Asesorado por el MA. Ing. Agr. David Orlando Ávila Vásquez

Guatemala, noviembre de 2015

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL I	Ing. Ángel Roberto Sic García
VOCAL II	Ing. Pablo Christian De León Rodríguez
VOCAL III	Inga. Elvia Miriam Ruballos Samayoa
VOCAL IV	Br. Raúl Eduardo Ticún Córdova
VOCAL V	Br. Henry Fernando Duarte García
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

JURADO EVALUADOR QUE PRACTICÓ EL EXAMEN DE DEFENSA

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
EXAMINADORA	Dra. Mayra Virginia Castillo Montes
EXAMINADOR	Ing. Juan Carlos Fuentes Montepeque
EXAMINADOR	Ing. Pablo De León Rodríguez
SECRETARIO	Ing. Pablo De León Rodríguez



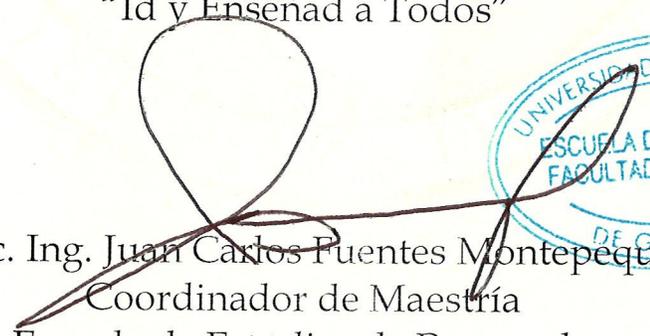
FACULTAD DE
INGENIERÍA - USAC
ESCUELA DE
ESTUDIOS DE POSTGRADO

Escuela de Estudios de Postgrado
Facultad de Ingeniería
Teléfono 2418-9142 / 24188000 Ext. 86226

APT-2015-048

Como Coordinador de la Maestría en Energía y Ambiente y revisor del Trabajo de Graduación titulado **"MODELO MATEMÁTICO DE DENSIDAD POBLACIONAL DE CERATITIS CAPITATA (WIEDEMANN) Y ANÁLISIS DE LAS CONSECUENCIAS AMBIENTALES PROVOCADAS POR EL MANEJO DE LA PLAGA"** presentado por la Licenciada en Matemática **Mariela Lizeth Benavides Lázaro**, apruebo y recomiendo la autorización del mismo.

"Id y Enseñad a Todos"


MSc. Ing. Juan Carlos Puentes Montepeque
Coordinador de Maestría
Escuela de Estudios de Postgrado



Guatemala, Noviembre de 2015.

Cc: archivo
/la



FACULTAD DE
INGENIERÍA - USAC
ESCUELA DE
ESTUDIOS DE POSTGRADO

Escuela de Estudios de Postgrado
Facultad de Ingeniería
Teléfono 2418-9142 / 24188000 Ext. 86226

APT-2015-048

El Director de la Escuela de Estudios de Postgrado de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen y dar el visto bueno del revisor y la aprobación del área de Lingüística del Trabajo de Graduación titulado **"MODELO MATEMÁTICO DE DENSIDAD POBLACIONAL DE CERATITIS CAPITATA (WIEDEMANN) Y ANÁLISIS DE LAS CONSECUENCIAS AMBIENTALES PROVOCADAS POR EL MANEJO DE LA PLAGA"** presentado por la Licenciada en Matemática **Mariela Lizeth Benavides Lázaro** correspondiente al programa de Maestría en Energía y Ambiente; apruebo y autorizo el mismo.

"Id y Enseñad a Todos"



MSc. Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
Director
Escuela de Estudios de Postgrado

Guatemala, Noviembre de 2015.

Cc: archivo
/la



FACULTAD DE
INGENIERÍA - USAC
EP
ESCUELA DE
ESTUDIOS DE POSTGRADO

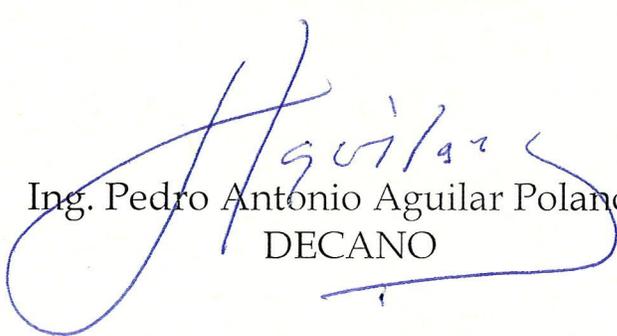
Escuela de Estudios de Postgrado
Facultad de Ingeniería
Teléfono 2418-9142 / Ext. 86226

Ref. APT-2015-048

El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Postgrado, al Trabajo de Graduación de la Maestría en Energía y Ambiente titulado: **"MODELO MATEMÁTICO DE DENSIDAD POBLACIONAL DE CERATITIS CAPITATA (WIEDEMANN) Y ANÁLISIS DE LAS CONSECUENCIAS AMBIENTALES PROVOCADAS POR EL MANEJO DE LA PLAGA"** presentado por la Licenciada en Matemáticas **Mariela Lizeth Benavides Lázaro**, procede a la autorización para la impresión del mismo.

IMPRÍMASE.

"Id y Enseñad a Todos"


Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
DECANO

Guatemala, Noviembre de 2015.



Cc: archivo
/la

ACTO QUE DEDICO

Dios

Porque a pesar de las dificultades, me dio fuerza para no decaer.

Mis padres

Roberto Benavides y Gloria Lázaro de Benavides, por la confianza que me brindan continuamente, su apoyo y por ser los pilares de mi vida.

Mis hermanos

José y Diana Benavides Lázaro, por estar a mi lado en buenos y malos momentos, por ayudarme a sobreponerme ante el cansancio.

Mi sobrino

Juan David Reyes Benavides, por ser el ángel que llena mis días de felicidad con su sonrisa.

Mi abuela

Evangelina López, por haber tenido grandes expectativas sobre mí, por darme paz con su recuerdo.

Amigos

Por permitirme desahogar las presiones y hacer más llevadero el cansancio.

AGRADECIMIENTOS

Escuela de Estudios de Postgrado, Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala

Por darme la oportunidad de adquirir conocimientos para ser un mejor profesional y lograr dar aportes en la aplicación de la temática estudiada durante el desarrollo de la maestría, por el aprendizaje técnico y las experiencias profesionales.

Mis profesores

Por compartir sus experiencias laborales, impulsar y motivar el pensamiento lógico, la creación de propuestas propias y el análisis de casos.

Profesionales asesores y revisores del presente trabajo

Por el apoyo, correcciones, consejo y apertura para el desarrollo del presente trabajo así como por su constante motivación en la conclusión de este proceso.

Programa MOSCAMED en Guatemala

Por el apoyo y apertura en facilitar documentación importante para el análisis de los elementos principales de estudio

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	V
LISTA DE SÍMBOLOS.....	IX
GLOSARIO.....	XI
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	XIII
ANTECEDENTES.....	XVII
JUSTIFICACIÓN.....	XXIII
OBJETIVOS.....	XXVII
ALCANCE DE LA INVESTIGACIÓN.....	XXIX
RESUMEN DEL MARCO METODOLÓGICO.....	XXXI
RESUMEN.....	XXXV
INTRODUCCIÓN.....	XXXVII
1. MARCO TEÓRICO.....	1
1.1. Descripción general de la plaga.....	1
1.1.1. Ciclo biológico.....	3
1.1.2. Ecología.....	5
1.2. Distribución geográfica.....	6
1.3. Hospederos.....	7
1.4. Fundamentos del Programa MOSCAMED.....	8
1.4.1. Áreas de trabajo en Guatemala.....	10
1.5. Manejo integrado de plagas <i>Ceratitis capitata</i>	14
1.5.1. Control de aspersion.....	14
1.5.2. Control autocida.....	16
1.5.3. Control etológico.....	17

1.5.4.	Control mecánico.....	20
1.5.5.	Control legal	21
1.5.6.	Control biológico.....	22
1.5.7.	Control cultural	24
1.6.	Aspectos específicos método de aspersión.....	25
1.6.1.	Especificaciones del cebo utilizado en la aspersión.....	26
1.6.2.	Especificaciones de la aspersión	28
1.7.	Impacto ambiental	30
1.7.1.	Medidas de mitigación	36
1.8.	Herramientas técnicas de apoyo para el control de plagas	38
1.8.1.	Estimación del tamaño poblacional	42
2.	DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN	45
2.1.	Análisis de los aspectos generales de la especie y la problemática económica de estos	45
2.2.	Impactos ambientales del manejo integrado de la plaga	48
2.2.1.	Contaminación de suelos	48
2.2.2.	Contaminación del agua	49
2.2.3.	Contaminación atmosférica	50
2.2.4.	Impactos ecológicos	51
2.2.5.	Efectos en la salud	52
2.2.6.	Análisis comparativo – actividades del Programa.....	56
2.3.	Herramientas para el análisis del manejo integrado de plagas	59
2.3.1.1.	Vulnerabilidad frente a la plaga.....	59
2.3.2.	Modelos densidad poblacional.....	62

2.3.2.1.	Erradicación de la plaga por medio de minimización de acciones de aspersión e implementación de otros métodos	73
3.	PRESENTACIÓN DE RESULTADOS	75
4.	DISCUSIÓN DE RESULTADOS	89
	CONCLUSIONES	99
	RECOMENDACIONES.....	101
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	103
	ANEXOS	111

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Mosca del mediterráneo (alas extendidas)	2
2.	Mosca adulta <i>Ceratitis capitata</i>	2
3.	Huevo de mosca del mediterráneo <i>Ceratitis capitata</i>	3
4.	Larva mosca del mediterráneo <i>Ceratitis capitata</i>	4
5.	Pupa mosca del mediterráneo <i>Ceratitis capitata</i>	4
6.	Ciclo biológico de mosca del mediterráneo <i>Ceratitis capitata</i>	5
7.	Áreas de trabajo 2010 2011 y 2014	13
8.	Transporte empleado en aspersión terrestre.....	15
9.	Método de aspersión terrestre	15
10.	Producción de insecto estéril	16
11.	Preparación de moscas en frío para liberación	17
12.	Muestreo por trampeo.....	19
13.	Extracción de muestreo por trampeo	20
14.	Control mecánico.....	20
15.	Control legal.....	21
16.	Decomiso de frutas cuarentenarias	22
17.	Fruto con presencia de larva	24
18.	Aspersión terrestre....	26
19.	Aspersión aérea.....	27
20.	Abejas muertas el día de aspersión	31
21.	Promedio de abejas muertas por colmena	32
22.	Monitoreo del tamaño de gota.....	38
23.	Producción de moscas	53

24.	Zonas de amortiguamiento – únicamente aspersion terrestre	55
25.	Relación gráfica de datos reales contra modelación	83
26.	Relación gráfica de datos reales contra modelación	83
27.	Relación gráfica de datos reales contra modelación	84
28.	Relación gráfica de datos reales contra modelación	84
29.	Relación gráfica de datos reales contra modelación	85

TABLAS

I.	Hospederos comunes de <i>Ceratitis capitata</i>	7
II.	Hospederos comunes de <i>Ceratitis capitata</i>	8
III.	Resultados análisis de colmenas – Variable dependiente: Abejas Muertas.....	33
IV.	DHS de Tukey – Abejas muertas	33
V.	Cultivos de mayor importancia y estimación de producción agrícola Guatemala 2013.....	46
VI.	Impacto de la plaga en principales cultivos – Guatemala 2013	46
VII.	Presupuesto asignado al PM en Guatemala (millones de dólares) ..	47
VIII.	Actividades de detección dentro del Programa Moscamed 2000-2011	56
IX.	Actividades de control dentro del Programa Moscamed en Guatemala de 2000 a 2011	57
X.	Singularidades.....	61
XI.	Escala de vulnerabilidad de regiones	62
XII.	Análisis de importancia económica	75
XIII.	Resultados análisis SPSS, Correlación, colinealidad y regresión lineal.....	77
XIV.	Resultados análisis SPSS, Correlación, colinealidad y regresión lineal.....	79

XV.	Estaciones INSIVUMEH.....	86
XVI.	Clasificaciones de vulnerabilidad	86

LISTA DE SÍMBOLOS

c	coeficiente de competitividad
$q(\lambda)$	ecuación auxiliar
m_x	edad de fecundidad
μ	fertilidad media
b_i	fracción de hembras que se espera pasen a siguiente clase
$p_{\alpha,n-1}$	hembras adultas
β	hembras adultas que sobreviven a siguiente período
F_t	hembras fértiles en tiempo t
p_{n-1}	hembras jóvenes en tiempo n-1
α	hembras jóvenes sobrevivientes
I^p	indicador de grado de protección
I^{SG}	indicador de sensibilidad
I^S	indicador de singularidad
$\lim_{\lambda \rightarrow \infty}$	límite cuando lambda tiende a infinito
$\ln x$	logaritmo natural de x
M_t	machos fértiles en tiempo t
L	matriz de Leslie
I	migraciones
S	número de machos estériles
M	número de machos fértiles
k	número de nacimientos
$P(\lambda)$	polinomio característico

\dot{x}	primera derivada de x
a_i	promedio de hijas hembras en cada clase
h_x	proporción de huevos que nacen
l_x	sobrevivientes en edad x
φ	tasa de agregación
a	tasa de crecimiento en modelo exponencial
λ	tasa de crecimiento modelo de Knipling
β	tasa de migración en modelo exponencial
S^*	tasa de liberación crítica
t	tiempo
λ_i	valor propio de polinomio característico
v_i	vector propio
v^{ECO}	vulnerabilidad ecológica

GLOSARIO

Apical	Perteneiente o relativo a un ápice o punta, o localizado en ellos.
Autocida	Empleo de insectos estériles para combatir a su propia especie.
Bioacumulación	Es el proceso de acumulación de sustancias químicas en organismos vivos de forma que estos alcanzan concentraciones más elevadas que las concentraciones en el medio ambiente o en los alimentos.
Espiráculo	Son las pequeñas aberturas exteriores de las tráqueas. Se encuentran en los costados del insecto y suelen ser veinte (10 pares), cuatro en el tórax, y dieciséis en el abdomen.
Foliar	Que está relacionado con las hojas de las plantas.
Hospederos	Aquel organismo que alberga a otro en su interior o lo porta sobre sí, ya sea en una simbiosis de parásito, un comensal o un mutualista.
MTD	Moscas capturadas por trampa por día.

Oviposición	Acto de poner o depositar huevos por el miembro femenino de los animales ovíparos.
R^2	Coeficiente que determina la calidad del modelo para replicar los resultados, y la proporción de variación de los resultados que puede explicarse por el modelo.
R^2 corregido	El coeficiente de determinación corregido en un modelo de regresión lineal mide el porcentaje de variación de la variable dependiente (al igual que el coeficiente de determinación) pero teniendo en cuenta el número de variables incluidas en el modelo.
Romos	Que no tiene punta o que no la tiene aguda.
Sensilas	Son receptores de estímulos no luminosos, generalmente en forma de pelo, aunque pueden ser fosetas o hendiduras en la cutícula.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La mosca del mediterráneo es una de las plagas agrícolas más destructivas del mundo. Según estudio del Departamento de Cultivos y Ciencias Agroambientales, Universidad de Puerto Rico, el rango de hospederos se estima en más de 260 especies de flores, frutas y vegetales, además posee gran capacidad de reproducción, puede poner hasta 20 huevos diarios.

Aunque las regulaciones a nivel mundial han variado, se continúa con la implementación de insecticidas por parte del agricultor. En muchos casos los pequeños productores no tienen una idea clara de las medidas de reacción al identificar la plaga, con lo que se continúa contaminando suelos, agua y dañando las plantaciones. “El método de control para esta plaga es basado en pulverizaciones cebo a base de insecticida” (Ros, J.P. 1990, p.704).

El establecimiento descontrolado de la plaga implica el empleo indiscriminado de métodos de control que permitan regular la densidad poblacional de la plaga aunque sin considerar el entorno ni factores externos, con lo que se degradan suelos, agua y aire continuamente, esto hasta reducir la infestación a niveles controlables por métodos alternos, siendo entonces las aspersiones de cebo intensas en ciertas regiones al encontrar brotes no controlados de la plaga.

La mosca del mediterráneo se enfrenta a través del Manejo Integrado de Plagas (MIP) que combina técnicas de control para reducir y mantener las poblaciones de plagas en niveles aceptables.

Los diversos métodos de control conllevan efectos en el ambiente, y de no conocerlos y tratar de frenarlos, resultan nocivos y progresivos, es difícil proponer cambios que no afecten el ambiente al ejecutar acciones empleadas para solventar la problemática económica y agrícola del esparcimiento de la plaga.

Además, si no se posee una idea clara de la densidad poblacional de la mosca resulta complicado determinar la situación actual a la que se enfrenta, para esto resulta importante identificar ¿qué modelo matemático de densidad poblacional puede emplearse para analizar los procedimientos empleados en el sistema integrado de plagas y reducir el impacto ambiental generado en la erradicación de la mosca del mediterráneo en Guatemala?, definiendo la dinámica poblacional de la mosca al efectuar medidas de control. Y con esto generar los insumos para que se determine posteriormente la implementación de métodos que reduzcan la degradación del ambiente.

Existen varios puntos de inicio para definir herramientas que sirvan de apoyo para el control de las actividades desarrolladas por el programa de erradicación, por esto resulta necesario estudiar los métodos de control empleados, así como usar información existente para generar elementos de apoyo para el monitoreo y control de la plaga, formulando para ello las preguntas auxiliares de investigación descritas a continuación.

- ¿Cuáles son los procedimientos iniciales empleados y consecuencias ambientales del sistema integrado para la erradicación de la plaga *Ceratitis capitata* en Guatemala?

- ¿Cuáles son los modelos matemáticos que pueden generarse para describir la dinámica poblacional de la mosca al efectuar medidas de control?
- ¿De qué forma los modelos matemáticos que describen la dinámica poblacional de la mosca reducen el impacto ambiental en el sistema integrado de plagas?

ANTECEDENTES

Existen diversos métodos de control desarrollados para la erradicación de la plaga, que se combinan para la ejecución de un sistema integrado de control de plagas, verificando por medio de muestreo y trampeo. De acuerdo con la investigación de Ros, Alemany y Castillo (1996) se pretende reforzar los métodos que reduzcan o provoquen la total ausencia de tratamientos químicos en las plantaciones de frutas, o modificar las técnicas de aspersión para reducir el impacto ambiental causado, para lo cual es necesario poseer fundamentos básicos al respecto de cuáles son las ventajas y desventajas de los diversos métodos de control.

La mosca del mediterráneo *Ceratitis capitata* presentó su brote en Guatemala en 1975, en dicho año la problemática resultó alarmante a nivel agrícola y económico, por lo que, por medio del Acuerdo Gubernativo del 19 de mayo de 1975, en Guatemala se declaró de carácter urgente establecer medidas para el control de la plaga (Sierra, 2001).

Posteriormente, el 22 de abril de 1975 se da el primer reporte de mosca del mediterráneo en Guatemala, generando un Convenio de Cooperación Técnica y Financiera entre el Gobierno de Guatemala y el Gobierno de los Estados Unidos Mexicanos, cuya aprobación por parte del Congreso de la República de Guatemala se da mediante el Decreto No. 21-76, el 9 de junio de 1976, con el objetivo de combatir la plaga en las áreas infestadas de Guatemala (Sierra, 2001).

En 1984 se integró el Programa MOSCAMED México - Estados Unidos - Guatemala, a nivel nacional el Programa MOSCAMED tiene su base legal en la Ley de Sanidad Vegetal y Animal, Decreto No. 36-98 (Samayoa, 2007), cuyo objetivo es “velar por la protección y sanidad de los vegetales, animales, especies forestales hidrobiológicos. La preservación de sus productos y subproductos no procesados contra la acción perjudicial de plagas y enfermedades de importancia económica y cuarentenaria, sin perjuicio para la salud humana y el ambiente” (Artículo 1. Ley de Sanidad Vegetal y Animal, 1998).

En Guatemala, las investigaciones realizadas en torno al estudio de la mosca del mediterráneo en Guatemala han estado enfocadas en proyectos experimentales en la detección de la plaga (Sierra, Juan Carlos. Detección de estados inmaduros de *Ceratitis capitata*, *Anastrepha ludens* y Mosca negra de las frutas, 2001), lo que proporciona información básica para la caracterización de los aspectos físicos que benefician el establecimiento de la plaga, pero no sienta un precedente del enfoque que se le quiere dar a la investigación.

En general, el enfoque de la temática que involucra el establecimiento y erradicación de la plaga es económico, se han desarrollado estudios de evaluación de los métodos de control con enfoque económico, tanto a nivel nacional como a nivel internacional, (Evaluación económica del Programa MOSCAMED en Guatemala y sus impactos en ese país, México, EE.UU y Belice, desarrollado por SAGARPA, SENASICA e ICCA, junio de 2013), con programas realizados en países como: Puerto Rico, Argentina, México, Chile, entre otros, permitiendo visualizar la importancia de la problemática a nivel mundial.

Debe tomarse en cuenta que aunque se posean elementos para aseverar la importancia del programa, si los resultados no se divulgan apropiadamente se genera desconcierto y rechazo en las poblaciones, como lo indican Espinoza, Chulím y Juárez (2006) en su análisis de la evolución y permanencia del programa entre México y Guatemala, donde se detectó que el 26 por ciento de los productores entrevistados tenían posturas negativas hacia el programa, y del resto, el 93,3 por ciento no tenía conocimiento de las razones de su ejecución.

Se poseen análisis de las condiciones físicas involucradas con el ciclo de vida de la mosca, como lo señala San Andrés (2007) en su trabajo doctoral en relación a las líneas de sexado genético y condiciones artificiales necesarias para la producción de machos estériles, pero no se definen los lineamientos para controlar las regiones con comportamiento similar al empleado en laboratorio.

Se ha investigado el mejoramiento de los controles en la producción (Samayoa, Noé. Manejo y Control de los inventarios a través de código de barras, en la comisión MOSCAMED. 2007), con lo que se generan bases de datos confiables que permiten generar los insumos para análisis estadístico.

El consorcio para la Protección Internacional de Cultivos, en 1988 desarrolló un análisis de impacto ambiental del programa en Guatemala, en él se describen métodos culturales, aspersion de cebo, así como controles reguladores, lo que aporta a la presente investigación una línea base para el análisis ambiental, y permite determinar parámetros de comparación para determinar si se implementaron las recomendaciones en dicho estudio, siendo interesante también describir las variaciones en la problemática ambiental debidas a las modificaciones en el programa.

El objetivo es obtener resultados que permitan reconocer las regiones de Guatemala a las cuales se les debe prestar mayor atención así como herramientas para implementar medidas preventivas, en Argentina a través de la Secretaría de la Convención Internacional de Protección Fitosanitaria (2004) se desarrolló un estudio similar incluyendo diversidad de plagas cuarentenarias y el análisis de riesgos ambientales.

En relación al conocimiento exacto de la densidad poblacional de la plaga y al empleo de modelos matemáticos para esto, no se poseen en Guatemala herramientas de esta índole para que el programa determine la evolución progresiva de la plaga ni eficiencia teórica de los métodos de control empleados, siendo necesario analizar investigaciones extranjeras, como antecedente de la presente investigación.

Para analizar el comportamiento de una especie es necesario determinar los factores involucrados en el ciclo de vida de este, Vargas y Rodríguez, en su estudio de Dinámica Poblacional (2007), proporcionan una descripción sobre los factores que actúan sobre la dinámica poblacional y la importancia de generar tablas de vida de la especie, lo cual es importante al definir los parámetros a emplear en los modelos, además se presentan modelos de dinámica poblacional de plagas al aplicar control biológico.

Xavier Picó (2002) plantea la necesidad de definir previo a cualquier modelo poblacional un gráfico del ciclo vital para el organismo en estudio, en su publicación sobre el desarrollo, análisis e interpretación de los modelos demográficos matriciales para la biología, proporciona una forma distinta de determinar los estados principales de la especie en estudio, además expresa la importancia de la aplicación de modelos matemáticos en el campo de la biología, fortaleciendo con esto la importancia de la presente investigación.

El ensayo presentado por Diéguez, Servín, Loya, entre otros, de la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, México. (2006) *Planeación y Organización del Muestreo y Manejo Integrado de Plagas en Agroecosistemas con un Enfoque de Agricultura Sostenible*, presenta ejemplos de cómo el análisis estadístico y la regresión de variables puede emplearse para definir los efectos de un plaguicida sobre una especie, así como la correlación entre el porcentaje de infestación y los adultos capturados en trampas.

El trabajo realizado por Delgadillo, Kú y Vela (2006), al modelar el control de plagas en un cultivo de brócoli por medio de la introducción de plaguicidas a la dinámica poblacional del gusano dorso de diamante, permite visualizar las múltiples modificaciones que pueden realizarse sobre un modelo de dinámica poblacional inicial bajo circunstancias naturales, para agregar parámetros que particularicen los métodos de control empleados.

El Sistema Nacional de Vigilancia Epidemiológica Fitosanitaria (SINAVEF) de México, en su Desarrollo de Modelos de Pronóstico Multitemporal y Multivariado de Plagas Reglamentadas (2009), presenta resultados para varias plagas de importancia en la región, y en forma específica se analiza un modelo de la dinámica de población de la mosca del mediterráneo, estimando el proceso de desarrollo, al identificar las variables empleadas para este y los supuestos que se plantearon, es posible adaptar sus resultados a Guatemala, para generar el modelo inicial al que se le realizarán variaciones dependiendo del método de control a emplear.

JUSTIFICACIÓN

La presente investigación se desarrolla dentro de las líneas de investigación de métodos estadísticos para la monitorización de la contaminación ambiental, e impactos económicos y financieros ambientales, que forman parte integral de la Maestría de Energía y Ambiente, ya que mediante análisis estadístico se determinarán modelos de la dinámica poblacional de la mosca en conjunto con un análisis ambiental y siendo este también un problema económico los resultados de la investigación logran en consecuencia beneficios económicos.

El daño producido por la plaga *Ceratitis capitata* (moscamed) es irreversible en los frutos y vegetales infestados, la mosca oviposita sus huevecillos en los tejidos blandos de las plantas, si se ingieren alimentos dañados por la larva, esto ocasiona problemas en la salud, ya que la descomposición generada en los tejidos de la plantas permite la invasión de microorganismos, así como de otros insectos. Como resultado de una infestación desmedida y no atacada de la plaga se producen consecuencias a nivel económico debido a los costos asociados a cuarentenas y monitoreo, así como restricciones en las exportaciones.

Es importante poseer un panorama general sobre la problemática dada, y con esto definir las acciones a realizar, que es necesario analizar diversos aspectos que permitan determinar medidas preventivas si la plaga inicia en huertos o microrregiones, beneficiando así a pequeños agricultores y al programa MOSCAMED, ya que se obtiene un indicador para establecer medidas previas a los controles ya definidos por el programa.

Existen diversos métodos de control de la plaga dependiendo de la población estimada según muestreo y trapeo, pero no se ha determinado específicamente por medio de herramientas técnicas la combinación óptima de estas. Se pretende establecer modelos matemáticos que describan la dinámica poblacional de la plaga ante la ejecución del sistema de la plaga, obteniendo información que permita al programa evaluar la ejecución de métodos según su efectividad en la reducción de la población en contraposición de las consecuencias ambientales.

El uso de plaguicidas para atacar la plaga es común, tanto por medio de aspersión directa a la planta como por aspersión aérea, lo que provoca según Dierksmeyer (2001) degradación de suelos, contaminación de agua, atmósfera y exposición a químicos, de los cuales no poseen conocimiento.

Según el estudio de impacto ambiental de la Agencia de los EEUU para el Desarrollo Internacional (1988), los procedimientos empleados en algunos métodos de control poseían impactos ambientales importantes, si se analizan de forma aislada los elementos utilizados en los distintos procesos actuales se poseen ciertas coincidencias, resultando necesario el análisis de los métodos implementados actualmente, para definir el impacto ambiental generado y cómo se puede mitigar ese daño.

Según análisis de la organización Trópico Verde en Guatemala (2006), se ha determinado un grado de rechazo importante de los pobladores, quienes argumentan disminución en la productividad del suelo, aumento en la mortalidad de algunas especies alternas, así como efectos nocivos a la salud, siendo necesario estudiar las condiciones ambientales que se ven afectadas por el MIP, y determinar que métodos de control es necesario limitar para disminuir los efectos al medio ambiente.

Determinar modelos que permitan establecer bases en el empleo de los procedimientos es de utilidad para monitorear áreas del país con riesgo alto de infestación y con esto estimar las cantidades de activo a utilizar, así como los elementos estériles a liberar, por ello la investigación es de beneficio para:

- Comunidades cercanas a sitios tratados: la reducción de técnicas que deterioran el ambiente debida a interacción de un grupo mayor de métodos de control no químicos, reduce los problemas ambientales a los que se ve expuesta la población.
- Estudiantes de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, así como de otras instituciones.
- Proyectos de investigación de la Escuela de Postgrado de la Universidad de San Carlos de Guatemala, de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala y de otras instituciones relacionadas con el tema.
- Instituciones como: Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales, Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación, Instituto de Agricultura, Recursos Naturales y Ambiente (IARNA).

OBJETIVOS

General

Determinar modelos matemáticos de densidad poblacional respecto a los métodos del manejo integrado de plagas para la erradicación de la mosca del mediterráneo *Ceratitis capitata* (Wiedemann) en Guatemala, para evaluar los procedimientos y reducir el impacto ambiental generado.

Específicos

1. Describir los procedimientos empleados y consecuencias ambientales de los métodos del manejo integrado de plagas, para la erradicación de la mosca del mediterráneo, *Ceratitis capitata* (Wiedemann).
2. Establecer modelos matemáticos de la dinámica poblacional de *Ceratitis capitata* (Wiedemann) al aplicar el método de control, por aspersión y método autocida.
3. Analizar los modelos propuestos para mejorar los métodos empleados en el manejo integrado de la plaga, para identificar los beneficios ambientales que se obtienen.

ALCANCE DE LA INVESTIGACIÓN

Los alcances de la investigación se dirigen al estudio a nivel nacional y en diferentes áreas; la primera fase posee carácter exploratorio y descriptivo; su segunda fase, se dirige a un carácter correlacional, al generar herramientas técnicas que sirvan para mejorar el monitoreo de la plaga por medio de análisis estadístico y modelación matemática, y con esto apoyar la erradicación de la plaga en Guatemala.

La presente investigación se dirige principalmente a la descripción de los factores involucrados en el establecimiento de la plaga, la determinación de los elementos ambientales que se ven afectados, además se generan herramientas técnicas que pueden emplearse como factor para la modificación del actual manejo de la plaga, lo que puede ser de interés para diversos sectores, presentando a continuación algunas de éstas.

- Personas dedicadas a actividades económicas relacionadas con agricultura, la investigación proveerá información de relevancia, ya que es posible ejecutar medidas de control a nivel micro para evitar la expansión de la plaga.
- Programa MOSCAMED: actualmente se poseen conflictos sociales, debido a la desinformación de la población, por lo que la recabación de información permitirá que los interesados se informen de las medidas empleadas.

Por medio de la descripción de los elementos involucrados en el establecimiento, detección y tratamiento de la plaga, así como el modelo que se presenta, se logrará que el estudiante, personas, asociaciones o cualquier organización interesada en el tema posea claridad en el problema tratado, adquiera fundamentos para analizar de forma clara y objetiva la importancia de utilizar sistemas de control integrados que reduzcan la contaminación en suelos, agua y atmósfera.

La determinación de modelos matemáticos poblacionales, para un futuro análisis de efectividad de los métodos de erradicación, se realiza únicamente dentro de las regiones tratadas por el Programa MOSCAMED en Guatemala. Aunque la investigación trata la problemática a nivel nacional, únicamente se realiza con un nivel de desagregación regional, según las ocho regiones establecidas en la división política de la República de Guatemala.

El manejo integrado de plagas consta de diversos métodos, pero para determinar los procedimientos a emplear es esencial el método de aspersión para poder aplicar métodos que es posible desarrollar únicamente con una reducción inicial. El análisis se enfoca en el método de aspersión y en el método autocida (insecto estéril), por lo que se desarrollan únicamente generalidades de cada método de control del sistema integrado para el control de la plaga para posteriores investigaciones.

RESUMEN DEL MARCO METODOLÓGICO

La investigación se enfocó en la generación de herramientas técnicas para el monitoreo, análisis de la erradicación de la plaga y las consecuencias ambientales generadas por la ejecución del Programa MOSCAMED en Guatemala, siendo necesario para evaluar el progreso de la investigación, así como sus resultados, el análisis de:

- Efectividad de métodos de control
- Densidad poblacional
- Vulnerabilidad por región frente a la plaga

La presente investigación se trabajó en dos etapas; la primera dirigida a una investigación exploratoria y descriptiva, ya que se pretendió proporcionar un panorama general, al examinar los elementos relacionados con el establecimiento y la erradicación de la plaga en Guatemala.

Posteriormente, se formuló la problemática ambiental generada por el método de control por aspersión, se examinó la información básica obtenida, se describieron con ello los procedimientos empleados, situaciones sociales generadas a partir de estos, así como la relación que existe entre variables físicas y ambientales involucradas en el comportamiento de la plaga.

En la segunda etapa, se analizó el grado de relación que existe entre la densidad poblacional de la especie y las condiciones del medio donde se establece, evaluando con esto, la vulnerabilidad del país ante la infestación de la plaga.

Se alcanzó un estudio inferencial, para evaluar la densidad poblacional afectada por el métodos de control por aspersión, logrando identificar la proporción adecuada de cebo a asperjar, empleando para esto modelos de crecimiento poblacional fundamentado en la teoría de ecuaciones diferenciales. Se trabajó con un diseño no experimental al emplear datos que fueron recabados por el programa en la observación de los fenómenos en su contexto natural.

Se revisaron publicaciones del Programa MOSCAMED en Guatemala, del Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología (INSIVUMEH), del Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación (MAGA), del Banco de Guatemala (BANGUAT), Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales (MARN), del Ministerio de Economía (MINECO), así como de los entes encargados de monitorear y accionar ante la plaga en México, Chile, Uruguay, Puerto Rico, Estados Unidos y de otros países en los que se posea una evolución histórica al respecto.

Se estudiaron los métodos de control para la erradicación de la plaga empleados en Guatemala, así como métodos adoptados en programas extranjeros, se analizaron publicaciones relacionadas con el empleo de diversos métodos de control, con la finalidad de recalcar la necesidad de disminuir la ejecución de aspersiones como método base para el tratamiento de la plaga. Se describió con esto cada uno de los métodos empleados actualmente por el programa, así como métodos alternativos que puedan complementar las acciones realizadas.

Posteriormente, se definió un modelo inicial de la dinámica de la población bajo condiciones naturales y según la recopilación de información documental, se establecerán los parámetros a incluir para la definición del modelo específico para mejorar el método de control.

Al obtener los modelos matemáticos, se procedió a interpretar la correspondencia del modelo a los fenómenos reales estudiados y con esto definir los parámetros para los umbrales de empleo de método de aspersión y la aplicación del método de insecto estéril.

RESUMEN

Las plagas provocan daños económicos, sobre todo en un país agrícola como Guatemala, pero las soluciones a esta problemática también afectan el entorno, existiendo impactos reales que es necesario mitigar, en la presente investigación se analizaron los métodos de erradicación de la mosca del mediterráneo *Ceratitis capitata*, plaga que presentó su brote en Guatemala en 1975, se estudiaron los elementos contaminantes involucrados en su ejecución así como la comparación de los diversos impactos generados, se logró reconocer medidas técnicas que permiten reducir el empleo de los métodos de mayor impacto.

El sistema de erradicación de la plaga consta de diversos métodos, complementar el análisis biológico de una plaga determinada con el análisis del fenómeno dado, a través del empleo de matemáticas resulta beneficioso para abordar el estudio de esta, adhiriendo análisis de variables y el comportamiento real de la especie.

Se analizaron diversos modelos que permiten optimizar la aplicación de los procedimientos en el manejo integrado de la plaga, enfocándose en el período destinado a la aspersion y el período apropiado para la liberación de machos estériles, se expone la forma en la que la aplicación de los modelos permite disminuir el impacto ambiental, así como el empleo de energía para la administración de los productos en aspersiones aéreas.

INTRODUCCIÓN

Guatemala posee una gama amplia de cultivos, según estimaciones del Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación (MAGA) para 2013, los principales frutos cultivados en Guatemala son: aguacate, limón, mango, manzana, melocotón, melón, naranja, piña y banano. (Dirección de Planeamiento del MAGA, 2013), según informe de la Dirección General de Sanidad Vegetal (SENASICA) México en 2010, los frutos mencionados son hospedantes comunes de *Ceratitis capitata* (mosca del mediterráneo), plaga que afecta de forma irreversible y cuyo control implica un conjunto de métodos según el grado de infestación y la región afectada.

En Guatemala, según la Encuesta Nacional de Empleo e Ingresos 2012 (ENEI) realizada por el Instituto Nacional de Estadística (INE), el porcentaje de población ocupada en actividades económicas relacionadas con agricultura es de 32,3 por ciento, siendo la principal fuente de empleo, el manejo de la plaga se da a nivel regional y a nivel individual por pequeños agricultores, el ente oficial para el control de *Ceratitis capitata* es el Programa MOSCAMED, los métodos de control conllevan procesos que pueden generar consecuencias ambientales, por lo que la problemática no es sólo agrícola, sino económica y ambiental.

La presente investigación involucra, dentro de las líneas de investigación de la Maestría de Energía y Ambiente diversas temáticas, tales como: impactos económicos de la problemática ambiental, análisis de contaminación ambiental en particular debida a los métodos de control de la plaga y empleo de métodos estadísticos para la monitorización de esta.

En la investigación se empleará modelación matemática, así como análisis estadístico para definir la densidad poblacional de la mosca, así como los parámetros necesarios para optimizar la implementación de la aspersión, lo que permitirá analizar las acciones actuales dentro de esta temática e implementar cambios efectivos reduciendo el uso de elementos que degradan el ambiente, ya que es importante conocer el comportamiento de las condiciones físicas y ambientales que contribuyen al establecimiento de la plaga en el país, así como emplear herramientas técnicas para el análisis de efectividad de los métodos de control ejecutados.

El trabajo de investigación se desarrollará en cuatro capítulos; el primero de ellos, abordará la descripción de aspectos generales acerca de la especie, el programa MOSCAMED y la problemática a nivel internacional; el segundo describirá los métodos de control empleados en el manejo integrado de plagas, cada método se examinará en forma general, determinando generalidades de los criterios para su aplicación y los procedimientos involucrados para emplearlo; el tercer capítulo se enfocará en el estudio crítico del método de control por aspersión, haciendo énfasis en el impacto ambiental generado por los procedimientos involucrados; para finalizar, en el cuarto capítulo, se empleará análisis estadístico y modelación matemática para definir la densidad poblacional debida al método, así como elementos técnicos que permitan optimizar el empleo de la aspersión, presentando como agregado final un análisis general de la vulnerabilidad de las regiones en Guatemala.

El resultado a obtener de la investigación será la creación de un modelo de dinámica de la población de la mosca que permita la optimización de la aplicación del método de aspersión, así como recomendaciones para la reducción del impacto ambiental generado por el MIP.

1. MARCO TEÓRICO

Para afrontar un problema es necesario conocer como mínimo los elementos relacionados con su origen, de lo contrario es complicado lograr un aporte sin poseer algún punto de partida, para lo cual se trata inicialmente de conocer la especie que genera el problema planteado, así como localizar parámetros para el posterior empleo de herramientas estadísticas y matemáticas.

1.1. Descripción general de la plaga

Su nombre común es mosca del mediterráneo *Ceratitis capitata*, es de clase insecta, de orden díptera y pertenece a la familia *Tephritidae*. Es la primera de la lista de las moscas de importancia económica mundial, por su impacto en la fruticultura.

Basado en las caracterizaciones de Raimundo (1991), Guzmán-Plazola (2010) y Franqui (2003), se pueden identificar, ya que poseen rasgos específicos, su longitud está dentro del rango de 3,5 a 5,5 centímetros, los adultos llegan a ser únicamente un tercio del tamaño de las moscas caseras, su cuerpo es de un color amarillo brillante, son de color café oscuro tendiente a negro, poseen líneas marfil con negro en la parte dorsal del tórax, abdomen amarillo a grisáceo con bandas plateadas, alas anchas y cortas con una longitud de 4 a 6 milímetros, transparentes con manchas amarillo, café y negro en la pared basal y apical.

Es sencillo separar a los machos y a las hembras, los machos poseen en la cabeza unas setas de color negro, las cuales poseen una forma de diamante y en el caso de las hembras son reconocidas por la presencia de patrones en las alas, regularmente de tonos amarillentos, además la mitad apical del escutelo es completamente negra. (Guzmán-Plazola, 2010).

Figura 1. **Mosca del mediterráneo (alas extendidas)**



Fuente: Programa Visión Rural. (2011) Mosca del mediterráneo. [Archivo de video].

La mosca del mediterráneo es una “plaga agrícola con gran habilidad de adaptación, puede tolerar climas templados y en casos extremos puede permanecer en estado de pupa por largos períodos, por lo que ha logrado establecerse en algunas localidades de Europa” (Franqui, 2003, p.1).

Figura 2. **Mosca adulta *Ceratitís capitata*.**



Fuente: SAGARPA, SENASICA, et Al. *Ficha técnica Ceratitís capitata (Wiedemann). Mosca del mediterráneo*, 2010. p. 1.

1.1.1. Ciclo biológico

La mosca del mediterráneo atraviesa por cuatro estados en su ciclo biológico, cada uno posee características específicas que permiten identificarla y que necesitan que ciertos elementos del medio se cumplan para desarrollarse, a continuación se describen.

- Huevo: son ovipositados por la hembra adulta debajo de la cutícula de la fruta u hortaliza en grupos de 3 a 10 huevos. Son lisos de color blanco brillante con una longitud aproximada de 1 milímetro, bastante delgados y ligeramente curvos (Guzmán-Plazola, 2010 y Franqui, 2003).

Figura 3. Huevo de mosca del mediterráneo (*Ceratitis capitata*).

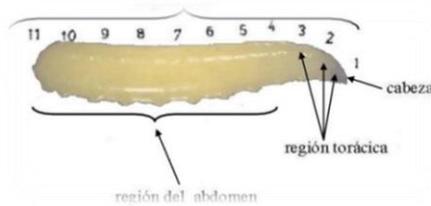


Fuente: FRANQUI, Rosa Amelia. *Mosca del mediterráneo*. p. 1.

- Larva: blanca y de forma cilíndrica, puede alcanzar hasta un centímetro de largo. Según ficha técnica de la mosca del mediterráneo *Ceratitis capitata* efectuada en conjunto con SAGARPA, SENASICA, SINAVEF, y la colaboración del Doctor Guzmán-Plazola, en la cabeza el órgano sensorial tiene tres pequeñas sensilas en forma de clavija.

Según estudio de la Universidad de Arizona, la larva puede llegar a medir hasta un centímetro de largo y requiere de 7-24 días para llegar a su último estadio. Cuando madura, sale a la superficie de la fruta, cae al suelo y se incrusta por medio de túneles para empezar a pupar.

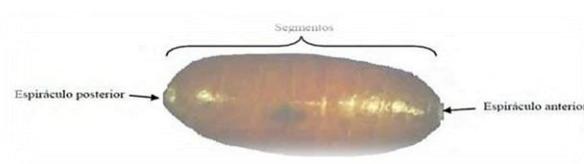
Figura 4. **Larva mosca del mediterráneo (*Ceratitis capitata*)**



Fuente: SAGARPA, SENASICA, et Al. Ficha técnica *Ceratitis capitata* (Wiedemann) Mosca del mediterráneo. p. 9.

- Pupa: según Franqui (2003) y Guzmán-Plazola (2010) presenta variaciones dependiendo del sexo, pero ambas tienen una apariencia similar a una cápsula cilíndrica la pupa macho es de color marrón (café rojizo) amarillento y la de la hembra es blanca, posee alrededor de 11 segmentos iguales.

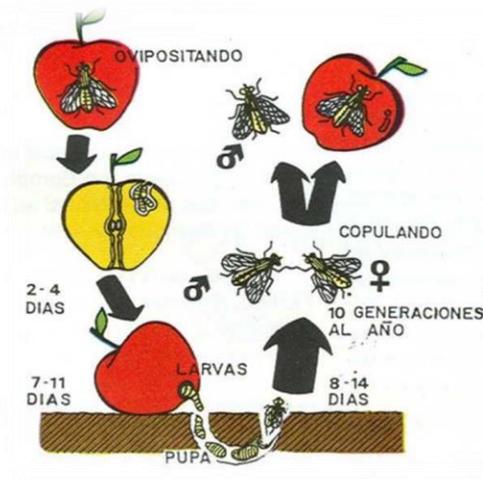
Figura 5. **Pupa mosca del mediterráneo (*Ceratitis capitata*)**



Fuente: SAGARPA, SENASICA, et Al. Ficha técnica *Ceratitis capitata* (Wiedemann) Mosca del mediterráneo. p. 9.

- Adulto: “la mosca crece dentro de la pupa y emerge aproximadamente en 8 a 14 días dependiendo de la temperatura. Es necesario un intervalo de 2 a 3 días antes de que una mosca hembra recién emergida inicie la oviposición” (Kerns, 2004, p.2). Se puede entonces, analizar los tiempos del ciclo de vida de la mosca, dependiendo de la temperatura de la región.

Figura 6. **Ciclo biológico de mosca del mediterráneo *Ceratitis capitata*.**



Fuente: CHARLÍN, Raimundo. *La mosca de la fruta*. p. 1

1.1.2. Ecología

En un estudio de 1991, Charlín explica que la mosca del mediterráneo está sujeta a ciertas condiciones físicas y biológicas del medio en el que cumple su ciclo de vida, pero principalmente se ve influida por el clima, siendo las condiciones óptimas para su desarrollo elevadas temperaturas, constantes veranos húmedos y calurosos, así como inviernos que presenten temperatura templada.

En la noche y en períodos de lluvias son inactivas y en contraposición, en días cálidos y secos, o posterior a noches sin rocío altamente activas. Además busca sustancias alimenticias azucaradas, proteínas y vitaminas. La familia de los *Tephritidos*, conocidos como moscas de la fruta, como explica Gómez (2005) posee factores generales que se consideran para definir teóricamente su dispersión:

- Desaparecimiento de la fruta hospedante
- El establecimiento de condiciones estacionales favorables
- Momento en que los adultos emergen del suelo

1.2. Distribución geográfica

“Es originaria de Sur-Sahara, África. Desde 1880 se ha esparcido en el Mediterráneo, sur de Europa, Medio Oriente, Oeste de Australia, Sur y Centro América y Hawái.” (Kerns, David. 2004, p.1). En 1955 fue detectada en Costa Rica, se dispersó a Nicaragua, Honduras, El Salvador y finalmente a Guatemala en 1975. (Sierra, 2001).

El hábitat ha sido descrito en variedad de condiciones físicas, desde las regiones costeras hasta más de 2 000 metros sobre el nivel del mar (Copeland, et al, 2002). En los últimos 100 años se ha dado una importante distribución alrededor del mundo, se cree que su rápido aparecimiento se debe a las actividades humanas como el transporte de fruta, viveros de plantas y en menor medida a migración natural y la corriente del viento (Back & Pemberton, 1918).

1.3. Hospederos

Según compendio realizado por SAGARPA, SENASICA y SINAVEF, así como estudio realizado por INIA- CENIAP con registros del Museo de Insectos de Interés Agrícola, se genera la siguiente tabla hospederos comunes.

Tabla I. Hospederos comunes de *Ceratitis capitata*

2004 - INIA-CENIAP, Venezuela	2010- SAGARPA, SENASICA, SINAVEF			
Nombre común	Nombre común			
Aguacate	Ackee	Comida de iguana	Limón	Papaya enana
Almendrón	Aguacate	Cuachilote	Limpon real	Pera
Café	Algodón	Cuajilote	Litchi	Pera leconte
Canistel	Almendra tropical	Custard Apple	Loganberry	Persimo
Durazno	Bell pepper	Durazno, nectarina	Lucky nut	Pitanga
Guanábana	Berenjena	Egyptian carissa	Mamey	Plátano enano
Guayaba	Cacao	Feijoa	Mandarina	Pomarosa
Higo	Café	Fresa	Mango - variedades	Pomarrosa
Icaco	Café libérica	Fruta de pan	Mangostin	Pomelo
Jobo	Caimito	Fruto azul de la pasión	Manzana comoen	Red mombin
Mandarina	Calamondin	Garcinia	Manzana de agua	Sándalo
Mango	Cape gooseberry	Gold Apple	Manzana Malaya	Sapote verde
Manzana	Capulín	Granada	Manzana paraíso	Satin leaf
Merey		Granadilla	Marañón	Tangelo

Fuente: elaboración propia, con datos de SAGARPA, SENASICA y SINAVEF y de INIA-CENIAP.

Tabla II. Hospederos comunes de *Ceratitis capitata* (continuación
Tabla I)

2004 - INIA- CENIAP, Venezuela	2010- SAGARPA, SENASICA, SINAVEF			
Nombre común	Nombre común			
Naranja	Carambola	Guanabana	Mediar	Tangerina
Níspero	Cereza de Jerusalem	Guayaba	Membrillo	Tangor
Níspero del Japón	Cereza de Surinam	Guayaba fresa	Mora	Tejocote
Pera	Cereza española	Higo	Nance	Tomate de árbol
Pomagás o Perita de Agua	Chabacano	Huesito	Naranja agria	Tomatillo
Pomarrosa	Chicozapote	Icaco	Naranja china o japonesa	Toronja
Semeruco	Chile Pimiento de Cayena	Imbe	Naranja dulce	Tuna
Tamarindo culí	Chile Tabasco	Jaboticaba	Níspero	Uva
Uva	Ciruella	Jitomate	Nogal Inglés	Uva de playa
Uva de playa	Ciruella amarilla	Kei Apple	Nopal de las Indias fig-pickly	Zapote
	Ciruella americana	Kiwi	Nopal de oreja de elefante	Zapote amarillo
	Ciruella de Java	Laurel de las Indias	Nuez myrobolana	Zapote blanco
	Ciruella judía	Lima	Palma datilera	Piña
	Ciruella Kaffir	Lima dulce	Papaya	Banano

Fuente: elaboración propia, con datos de SAGARPA, SENASICA y SINAVEF y de INIA-CENIAP.

1.4. Fundamentos del Programa MOSCAMED

En 1987, Eskafi y Cunningham reportaron que se recolectó mosca del mediterráneo de 38 especies de plantas locales, de estas la más extendida y donde mayor número de larvas se recolectaron fue el cinturón cafetalero de Guatemala, lo cual resulta preocupante debido a la importancia de la producción de café en la economía nacional.

Como indica Samayoa (2009) el Programa MOSCAMED es la institución oficial encargada del control y erradicación de la mosca del Mediterráneo en el territorio guatemalteco y debe su funcionamiento a los convenios internacionales que el Gobierno de la República de Guatemala suscribió con los Gobiernos de las Repúblicas de los Estados Unidos de América y México, mismos que se encuentran debidamente aprobados por el Congreso de la República de Guatemala por medio de Decretos Ley.

El objetivo general es erradicar la mosca del Mediterráneo en Guatemala, para obtener la categoría fitosanitaria de país libre de la plaga, con creación anticipada de áreas libres definidas con potencial e interés de desarrollo agrícola para exportación (Programa MOSCAMED en Guatemala, 2014).

Las actividades de trabajo del Programa MOSCAMED en Guatemala se orientan a detectar oportunamente la presencia de la mosca del Mediterráneo y suprimir con una integración de controles los brotes o detecciones de la plaga en las áreas de influencia, clasificación de distintas áreas dentro del país dependiendo de la presencia de la plaga y las medidas que deben ejecutarse en estas. (Programa MOSCAMED en Guatemala, 2014).

El Programa posee centros de trabajo en diversas regiones a nivel nacional, se poseen varios centros de operaciones Santa Elena, Petén; Fray Bartolomé de las Casas, Alta Verapaz, Huehuetenango, Retalhuleu y Chimaltenango. También posee una planta de producción de mosca del mediterráneo estéril, ubicada en Barberena, Santa Rosa, y un centro de recepción, empaque y liberación de adulto frío en Retalhuleu. (Programa MOSCAMED en Guatemala, 2014).

1.4.1. Áreas de trabajo en Guatemala

Los principales impactos en Centroamérica provocados por la infestación de la plaga, además de las pérdidas directas, según Informe del Programa Moscamed a la comisión coordinada por el Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales en 2011 son: 1. La pérdida del potencial agrícola en relación a la diversificación en la agricultura del país. 2. Una importante reducción en la exportación de productos agrícolas dadas las disposiciones cuarentenarias ejecutadas como prevención de la plaga.

Es necesario entonces identificar las áreas que se necesita controlar con mayor énfasis, y tener claridad en las áreas propensas a infestación de la plaga, por lo cual por parte del Programa MOSCAMED en Guatemala, se definen las distintas áreas de trabajo, según las características del lugar, así como el grado de infestación estimado de la plaga, siendo estas: área libre, área de baja prevalencia, área de supresión y área de monitoreo.

- Área libre de mosca del mediterráneo: no hay presencia de la mosca del Mediterráneo, pero se pueden presentar detecciones aisladas, en esta área se refuerzan los puestos de cuarentena interna.
- Área de baja prevalencia de mosca del mediterráneo: se encuentran brotes y detecciones aisladas de la mosca del Mediterráneo, se ejecutan medidas de control para conservar la supresión y el aislamiento de la plaga, medidas de vigilancia, control o erradicación.

- Área de supresión de mosca del mediterráneo o área con manejo integrado de plaga: área donde se detectan brotes y detecciones de la plaga a nivel general, se ejecutan medidas técnicas de control para mantener la supresión de la plaga, bajo un plan de trabajo.
- Área infestada con acciones de monitoreo de la mosca del mediterráneo: únicamente se detectan los datos poblacionales para determinar la distribución geográfica y la oscilación poblacional de la mosca, o potencialmente infestada, donde se desconoce la presencia o ausencia.

Según estudio realizado por SENASICA en el 2010, Guatemala poseía un área libre de 35 639 kilómetros cuadrados, 8 601 kilómetros cuadrados de baja prevalencia (brotes aislados), 12 234 kilómetros cuadrados de supresión (detecciones recurrentes todo el año), y un área infestada (acciones de detección para determinar fluctuación) de 4 273 kilómetros cuadrados.

Para finales de 2010, según Programa Moscamed, se alcanzó un área de influencia de 60 758 kilómetros cuadrados, área libre se mantuvo en 35 650 kilómetros cuadrados, el área de baja prevalencia en 8 601 kilómetros cuadrados, el área de supresión en 12 234 kilómetros cuadrados y el área infestada con acciones de monitoreo 4 273 kilómetros cuadrados.

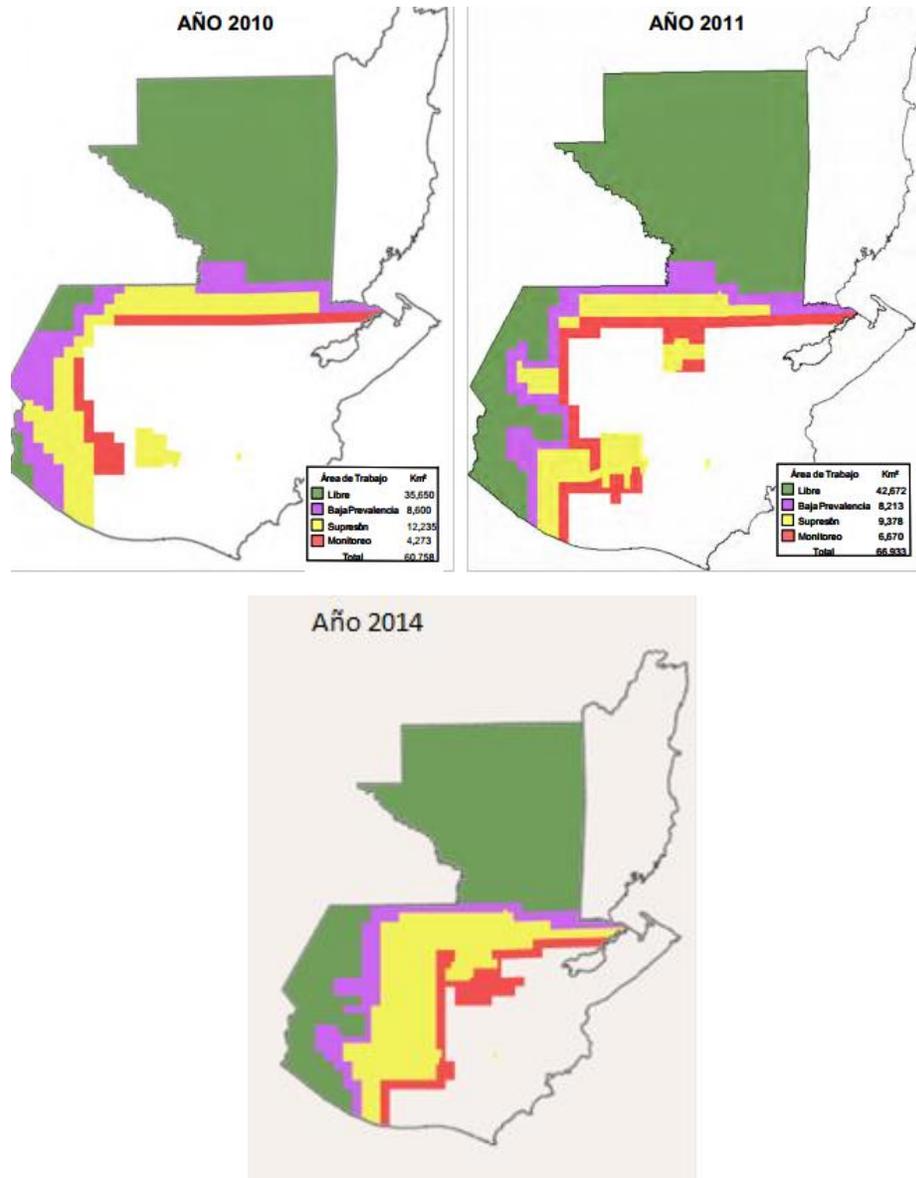
Según Memoria de Labores 2011, del Programa Moscamed, el área de trabajo aumentó a 66 933 kilómetros cuadrados, el área libre abarcó para 2011, un área de 42 672 kilómetros cuadrados, área de baja prevalencia 8 213 kilómetros cuadrados, el área de supresión 9 378 kilómetros cuadrados y el área infestada con acciones de monitoreo 6 670 kilómetros cuadrados.

Con un total de extensión territorial de 108 889 kilómetros cuadrados, no se han clasificado 48 143 kilómetros cuadrados. Según el Programa MOSCAMED en Guatemala, se ha alcanzado para el año 2013, un área libre de 46 495 kilómetros cuadrados, 7 995 kilómetros cuadrados de baja prevalencia, 19 760 kilómetros cuadrados de supresión, y un área infestada de 6 276 kilómetros cuadrados.

Según Programa MOSCAMED (2014), las actividades del programa incluyen divulgación en fincas y comunidades para iniciar las acciones correspondientes en las áreas de trabajo, posteriormente la determinación de la ubicación de la mosca del Mediterráneo silvestre, se realiza por medio de trampas con atrayentes sexuales, alimenticios y visuales que capturan adultos de mosca del Mediterráneo y por muestreo de frutos hospedantes con presencia de estados inmaduros como huevecillos y larvas.

Para 2014, según Memoria de labores Programa MOSCAMED 2014, se alcanzó 46 495 kilómetros cuadrados de área libre, 7 995 kilómetros cuadrados de área de baja prevalencia, 19 760 kilómetros cuadrados de área de supresión y 6 276 kilómetros cuadrados de área de monitoreo, comprendiendo entonces en área de trabajo un 74% del territorio nacional.

Figura 7. Áreas de trabajo 2010, 2011 y 2014



Fuente: Programa MOSCAMED En Guatemala, MAGA, USDA, SAGARPA. Memoria de labores 2014. p.3.

1.5. Manejo integrado de plagas *Ceratitis capitata*

La presencia de plagas como la mosca del mediterráneo tiene gran importancia e impacto económico a nivel mundial, por lo que las medidas preventivas y de erradicación son a nivel regional e internacional.

En Guatemala el Programa MOSCAMED emplea un manejo integrado de plagas, que incluye un conjunto de métodos de control de acuerdo a las características de la región, así como de la población estimada de moscas, se emplea control por aspersiones, control mecánico, control legal y control autocida, se describen a continuación generalidades de los métodos para estudiarlos en el desarrollo de la investigación.

1.5.1. Control de aspersión

El manual de aspersión para el control de la plaga de la mosca del mediterráneo del programa regional en el que se incluye a Guatemala (2006) indica que el cebo utilizado es un compuesto de origen natural, su componente activo es el *spinosad*, el cual se produce a partir de fermentación de proteínas y azúcares, por medio de la bacteria *Sacharopolyspora spinosa*.

Se le adicionan atrayentes alimenticios específicos para adultos de las moscas de la fruta, por lo que este producto no afecta a los insectos benéficos tales como abejas y parasitoides; los cuales son repelidos por la alta concentración de acetato de amonio en el producto. (Manual de aspersión, Programa MOSCAMED, 2006)

Figura 8. **Transporte empleado en aspersión terrestre.**



Fuente: Programa Visión Rural. (2011) Mosca del mediterráneo [Archivo de video].

De acuerdo con procedimientos recomendados por autoridades y fabricantes del producto (Dow AgroSciences, 2014), el producto empleado para las aspersiones debe mantenerse en una bodega con adecuada ventilación y seguridad, mantener el producto lejos de alimentos, semillas y fuentes de agua, tales como: ríos, lagos, entre otros. Almacenar el producto en su recipiente original en un lugar fresco y evitar contacto con rayos solares.

Figura 9. **Método de aspersión terrestre.**



Fuente: Programa Visión Rural. (2011) Mosca del mediterráneo [Archivo de video].

La aspersión es aérea o terrestre dependiendo de la población estimada de moscas en relación a los resultados obtenidos en el muestreo, así como la superficie a tratar, la cercanía de las comunidades y fuentes de agua.

1.5.2. Control autocida

Es un control de plagas mediante la producción y liberación masiva de machos de mosca del mediterráneo estériles, para reducir progresivamente la plaga, ya que las hembras reducirán el número de huevos ovipositados, como se indica en el manual de control autocida del Programa Regional MOSCAMED (2009), los machos producidos en laboratorio poseen condiciones alimenticias apropiadas logran que estos sean atractivos para las hembras.

Figura 10. **Producción de insecto estéril**



Fuente: Producción de insecto estéril. Programa Visión Rural. (2011) Mosca del mediterráneo [Archivo de video].

En la Técnica del Insecto Estéril (TIE) se utiliza alta tecnología en la producción de mosca del Mediterráneo estéril de la cepa TSL (producción de mosca solo machos) efectuada mediante la eliminación de huevecillos de las hembras, los procesos permiten la producción de adultos machos en frío, con lo cual se puede controlar mejor la liberación. (Manual de control autocida, Programa MOSCAMED, 2006)

La técnica ha alcanzado altos estándares de calidad en la Planta de Producción El Pino; Barberena, Santa Rosa, la cual es la planta más grande del mundo en producción de insecto estéril y certificada con la Norma ISO 9001-2008 de acuerdo a la empresa SGS (MAGA, SAGARPA, USDA, 2011).

Las densidades de liberación varían 500 a 6 000 adultos por hectárea, densidades calculadas mensualmente con base al método Rendón 2008, utilizando las densidades más altas en las áreas de mayor presión de la plaga, pero debe considerarse que este método se emplea en las áreas con bajos niveles de infestación. (MAGA, SAGARPA, USDA, 2011)

Figura 11. **Preparación de moscas en frío para liberación**



Fuente: Preparación de moscas en frío para liberación. Programa Visión Rural. (2011) Mosca del mediterráneo [Archivo de video].

1.5.3. Control etológico

De acuerdo a informes de la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación y Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria (2012), consiste de las distintas técnicas de trapeo para el monitoreo y panorama general de establecimiento de la plaga para ubicar a la plaga en su estado adulto como mosca del mediterráneo silvestre.

Para ubicar a la plaga se realizan procesos para estimar cantidad de moscas en una región como medida de verificación de controles empleados, identificar la categoría de infestación, así como para determinar el método de control a emplear, por medio de trampeo si se desea obtener información de la mosca en estado adulto o de muestreo si se desea a nivel larvario.

Según el manual del sistema de detección por muestreo de frutos hospedantes de la mosca del mediterráneo 2012 *Ceratitis capitata* al determinar el área que se desea analizar según el avance estimado de la mosca se realizan los siguientes procedimientos.

- Muestreo general: se recogen los frutos que según investigaciones anteriores se clasifican como hospedantes con alta probabilidad de infestación, regularmente son frutos de pericarpio suave.
- Muestreo sistemático: se mantiene una vigilancia de los frutos que se identificaron como infestados anteriormente.
- Muestreo dirigido: en el caso de procedimiento de erradicación de brotes y detecciones en área libre se recogen frutos para mantener un monitoreo estricto, determinar la dispersión, concretar el área real de un brote.

En el muestreo se definen criterios específicos como tomar los frutos directamente del árbol y totalmente maduros, no tomar muestras del suelo, dar prioridad a hospederos de mayor preferencia de la plaga, nunca tomar frutos golpeando o sacudiendo el árbol y sobre todo llevar un control riguroso de los elementos muestreados. (Programa MOSCAMED, 2011)

Adicional a esto se efectúa el muestreo por trampeo para detectar la mosca en estado adulto, según manual del sistema de detección por trampeo de la mosca del mediterráneo (Programa MOSCAMED, 2012) consiste en establecer y sostener una red de trampeo efectivo y ubicado de acuerdo a los niveles de riesgo de la plaga, sujeto a revisiones periódicas semanales o catorcenales.

Figura 12. **Muestreo por trampeo**



Fuente: Muestreo por trampeo. Programa Visión Rural. (2011) Mosca del mediterráneo [Archivo de video].

Según el informe del Programa MOSCAMED a la comisión del MARN 2011, Se utilizan diferentes tipos de trampas, dentro de las cuales están: Jackson, panel amarillo, trampa seca de base abierta (OBDT) o también conocida como fase IV y C & C (*Siglas en Inglés para Cook and Cunningham*).

Para hacer comparaciones de niveles poblacionales de la plaga en espacio y tiempo, donde se puede tener diferentes densidades de trampeo y variaciones en los días de exposición, se utiliza el M.T.D, que es moscas capturadas por trampa y por día, el cual puede ser fértil o estéril, y por cada tipo de trampa. (Programa MOSCAMED, 2011)

Figura 13. **Extracción de muestreo por trampeo**



Fuente: Programa Visión Rural. (2011) Mosca del mediterráneo [Archivo de video].

1.5.4. Control mecánico

Es la recolección y destrucción de fruta infestada, la cual se entierra para evitar que los huevos y larvas maduren. El objetivo según el manual para el control mecánico del Programa Regional MOSCAMED (2009) es eliminar los estados inmaduros de la mosca del Mediterráneo, que podrían estar en la fruta disponible en los árboles hospederos que se ubiquen en el kilómetro cuadrado de la detección o brote. Al mismo tiempo se elimina el sustrato potencial de oviposición.

Figura 14. **Control mecánico**



Fuente: Programa Visión Rural. (2011) Mosca del mediterráneo [Archivo de video].

1.5.5. Control legal

Consiste en el establecimiento de leyes y reglamentos para imposibilitar el movimiento de frutos infestados hacia áreas libres de mosca del mediterráneo, con lo que se traslada junto con el fruto, la larva de la mosca.

Con base en el Manual de control legal del Programa Regional MOSCAMED (2006), el método legal es efectuado mediante puestos de cuarentena ubicados en las principales carreteras del país, con esto se pretende regular el traslado de fruta procedente de áreas infestadas sin ninguna acción de control hacia áreas libres o de baja prevalencia, evitando con esto el ingreso de frutas o vegetales contaminados, que puedan retroceder los avances en la región.

Figura 15. Control legal



Fuente: Programa Visión Rural. (2011) Mosca del mediterráneo [Archivo de video].

Según sitio web del programa actualmente funcionan siete puestos de cuarentena interna ubicados en: Canchacán, San Luis Petén; Poite, San Luis Petén; Los Olivos, Sayaxché, Petén; Vista Hermosa, Alta Verapaz; Pucal en Huehuetenango; Las Palmas, Suchitepéquez y Los Encuentros, en Sololá.

Figura 16. **Decomiso de frutas cuarentenarias**



Fuente: Decomiso de frutas cuarentenarias. Programa Visión Rural. (2011) Mosca del mediterráneo [Archivo de video].

1.5.6. Control biológico

Es el método empleado mediante otras especies o microorganismos que ataquen a la plaga, los cuales mediante procesos controlados pueden esparcirse en las regiones infestadas, y con esto se replicará un proceso natural entre las especies, métodos de este tipo se explican en la investigación de Porras (2008), donde se explica la introducción de *Beuveria bassiana* al ecosistema de la mosca, ya que cuando la larva de la mosca deja el fruto y cae al suelo, esta se torna vulnerable a la acción de estos microorganismos, con lo que no se llega a estado adulto.

Los métodos de control biológico son empleados para reducir la densidad poblacional de organismos que produzcan un daño, resulta llamativo ya que logra una reducción inicial de la plaga sin dejar residuos en el lugar de aplicación y actuando de forma específica y permanente sobre la población tratada, es necesario realizar estudios previos para considerar la ecología, biología y el comportamiento no sólo de la plaga a tratar sino de todos sus enemigos naturales.

Se desea con la implementación de métodos de control biológico alcanzar resultados en forma permanente, regulando a la especie en forma controlada, se trata de soluciones a la problemática de forma constante no temporal como en el caso de la aspersion.

Es posible hacer uso de este método en forma clásica, la cual únicamente consiste en la incorporación de un enemigo natural en el área a trabajar, dado que la mosca del mediterráneo es una plaga de fácil adaptación, resulta conveniente este método, ya que dado que la plaga no se encuentra en sus regiones nativas, en dichas regiones no encontrará una regulación natural normal.

Existe la posibilidad de realizar tratamientos biológicos que sirvan para regulación inmediata (control biológico aumentativo) obteniendo resultados similares que con la aspersion, o considerando únicamente debido a la evidencia de enemigos naturales presentes en el área únicamente tratar el área de modo que se proteja y aumente la abundancia de estos, con lo que las acciones se dirigen a la mejora de las condiciones del hábitat para la permanencia y aumento de los elementos naturales que atacan a la plaga.

En Guatemala, la comisión MOSCAMED está produciendo parasitoides a nivel experimental, cuenta con 6 especies de parasitoides de la Mosca del Mediterráneo para las cuales el programa está desarrollando tecnología para su cría masiva, para 2013 aún no se había implementado este método.

1.5.7. Control cultural

Como indica Hernández (2012) en su publicación electrónica en la revista Nova el control cultural consiste en proveer al agricultor de procesos básicos que puedan reducir la vulnerabilidad del área cultivada, así como prevenir la dispersión de la plaga por medio de frutas contaminadas.

Figura 17. Fruto con presencia de larva



Fuente: Programa Visión Rural. (2011) Mosca del mediterráneo [Archivo de video].

Se describen a continuación las recomendaciones puntuales que según Hernández (2012) permiten reducir elementos que amplíen la oportunidad de infestación, con base en la información del Organismo Internacional Regional de Sanidad Agropecuaria (OIRSA).

- Cosechar la fruta inmediatamente después de identificar tonos amarillos o indicadores de maduración, ya que si se mantiene la fruta en el árbol estará expuesta al ataque de las moscas.
- Al observar fruta caída, recogerla y depositarla en un hueco, esparcir insecticida y colocar una caja de tierra de cincuenta centímetros sobre ella, realizar dicho procedimiento con un mínimo de dos veces por semana.
- Mantener los árboles frutales libres de maleza.

1.6. Aspectos específicos método de aspersión

El objetivo principal de la mezcla de métodos para el control de plagas es la implementación de procesos sucesivos que permitan una reducción progresiva de la plaga.

En el caso de los procesos de erradicación de la mosca del mediterráneo *Ceratitis capitata* la investigación de métodos que limiten el uso de insecticidas es un claro ejemplo de los intentos por reducir la aplicación de métodos que desequilibran en mayor medida el ambiente (Ros, 1996), aunque aún se aplica en alguna proporción el método de control químico, el cual es el procedimiento que afecta en mayor medida el entorno de una población.

Figura 18. **Aspersión terrestre**



Fuente: Programa Visión Rural. (2011) Mosca del mediterráneo [Archivo de video].

Según Informe 2011, del Programa MOSCAMED, regularmente se tiene la necesidad de mezclar los métodos terrestres y aéreos al inicio del verano, ya que la mosca tiene mejores condiciones para reproducirse, se busca reducir el riesgo de migración de moscas hacia regiones no infestadas.

1.6.1. Especificaciones del cebo utilizado en la aspersión

De acuerdo con las especificaciones del Manual de aspersión para el control de la mosca del mediterráneo, para la preparación de la mezcla se emplea un 40% de producto plaguicida y 60% de agua. El ingrediente activo spinosad posee una dosis baja de aplicación (0.36 gr/ha), posee baja volatilidad y alto coeficiente de absorción, posee una alta dosis letal media, es decir la dosis en miligramos del ingrediente activo por kilogramo del individuo necesarias para provocar la muerte.

Las toxicidades agudas oral y dermal reportadas por la Agencia de Protección Ambiental, varían según la fuente del ingrediente activo y sus concentraciones. Según Thompson et al (2002) Spinosad es de toxicidad relativamente baja para mamíferos y aves, y ligeramente tóxico para los peces. El DL₅₀ oral y dermal aguda en ratas y conejos es mayor de 5 000 mg/kg, lo cual lo ubica en la categoría toxicológica “ligeramente peligroso”, según la clasificación aceptada para Guatemala.

Figura 19. **Aspersión aérea**



Fuente: Programa Visión Rural. (2011) Mosca del mediterráneo [Archivo de video].

Spinosad presenta una presión de vapor baja y por lo tanto no se considera volátil (Dow AgroSciences, Guía de aprendizaje), tampoco posee acciones vaporizantes o fumigantes, se presentan en los anexos, clasificaciones y especificaciones del producto elaboradas por Dow AgroSciences, donde se detalla con mayor precisión lo descrito anteriormente.

1.6.2. Especificaciones de la aspersión

Según Manual para la aspersión, se poseen acciones de pre-aspersión que consisten en mayor parte actividades administrativas para iniciar con la aspersión, como verificación del equipo, adquisición de equipo, suministro y materiales, la adquisición del plaguicida, contratación de servicios de aeronaves, reclutamiento de personal de acuerdo a la experiencia y aptitudes, preparación de monitoreo ambiental y control de la percepción de los pobladores de la región a tratar.

Según Manual de aspersión se emplean medidas de seguridad para la manipulación de los componentes de la mezcla, así como de las medidas preventivas para evitar el derrame del producto, se procede a homogenizar la mezcla utilizando bombas estacionarias recicladoras.

Se presenta un resumen de las especificaciones para la aspersión detalladas en el Informe del Programa Moscamed a la Comisión coordinada por el Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales (2011):

Se suministra el volumen requerido según la programación, se aplican normas de seguridad durante el abastecimiento, se verifica la descarga y se desarrollan controles internos para monitorear la cobertura de aplicación y diámetro, así como la cantidad de aplicaciones.

Debe tomarse en consideración que aunque la aeronave sobrevuele varias áreas, no todas serán asperjadas, de igual forma se debe tener especial cuidado en centros poblados, cuerpos de agua, cultivos no hospederos, así como a los apiarios, así como establecer zonas en las cuales únicamente se realicen aspersiones terrestres.

Se desarrolla la limpieza de las pistas, identificación de factores potencializadores y restrictivos del proceso, se analiza el impacto en términos del control de la plaga y recomendaciones para los próximos proyectos. Se debe incluir dentro de todo proyecto, divulgación apropiada a la población, publicando los resultados principales, indicando el período de las aspersiones, así como dar énfasis en el agradecimiento por la colaboración y apoyo en la ejecución del programa.

Se poseen las siguientes especificaciones en lo que respecta a las aeronaves:

- Si se poseen bloques pequeños en zonas planas se emplearán helicópteros, con los siguientes parámetros:
 - Grados de aplicación 1 galón de mezcla por hectárea
 - Ancho de cobertura 30 metros
 - Gotas por metro cuadrado 80 a 100
 - Diámetro de gota 3 a 6 milímetros
 - Altura de vuelo 100 a 150 pies/copa de árboles

- Si se poseen bloques grandes en zonas planas con hospederos continuos, se emplearán aéreo naves de ala fija (aviones), con los siguientes parámetros:
 - Grados de aplicación 1 galón de mezcla por hectárea
 - Ancho de cobertura 60 metros
 - Gotas por metro cuadrado 80 a 100
 - Diámetro de gota 3 a 6 milímetros
 - Altura de vuelo 400 a 500 pies/copa de árboles

Los residuos del producto provenientes de las aspersiones en avión son utilizados posteriormente en aplicaciones en helicóptero, y posterior a esto los residuos en los helicópteros son aplicados en forma terrestre. Los desechos sólidos del proceso, son triturados y el producto de trituración es llevado a hornos.

1.7. Impacto ambiental

El plaguicida se disuelve en agua, por lo que puede absorberse en el sedimento o concentrarse en los organismos acuáticos afectando la cadena alimentaria (Dierksmeyer, 2001). El riesgo de contaminación medioambiental puede darse sobre todo por *spinosad*, empleado en las aspersiones para el control, el que podría verterse por accidente en cursos de agua.

Se determinó en el estudio de impacto ambiental en 1988 realizado por el Consorcio para la Protección Internacional de Cultivos (CICP), en las áreas en que actúa el programa MOSCAMED, parte del agua potable puede proceder de pequeños estanques o es posible que los pobladores empleen tanques para captar el agua en los techos, y aunque actualmente ya no se emplea malation (plaguicida químico empleado por el programa en el momento de realizar el estudio), la dinámica es la misma para el *spinosad*.

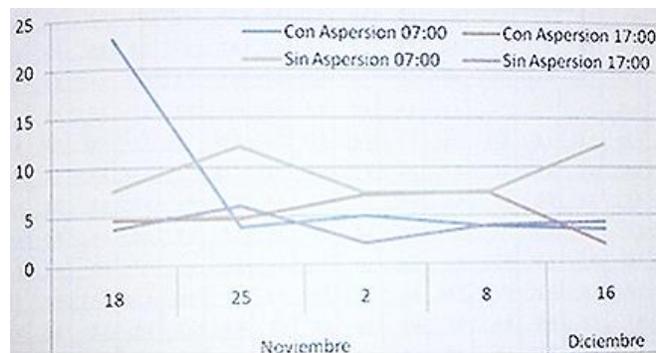
De igual forma, se establece en la evaluación de impacto ambiental que para el año 2002, se estimó que los ríos también recibirían directamente un aproximado de 681 litros de mezcla por aplicación, 65 gr de ingrediente activo por aplicación y un total de 455 gramos durante las 7 aplicaciones de la temporada.

En relación al producto empleado para el control por aspersiones, en el estudio de impacto ambiental de 1988 se declara por medio de información dada por funcionarios del Programa Regional para el Control de la Abeja Africanizada en Guatemala, que se poseen razones para considerar que las abejas aumentaron su mortalidad y disminuyeron la producción de miel por las aspersiones realizadas por el programa MOSCAMED.

Bajo esta suposición, el Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación, bajo la unidad de normas y regulaciones, realizó una investigación, para determinar el efecto del SUCCESS 0.02 CB sobre las abejas en marzo del 2000.

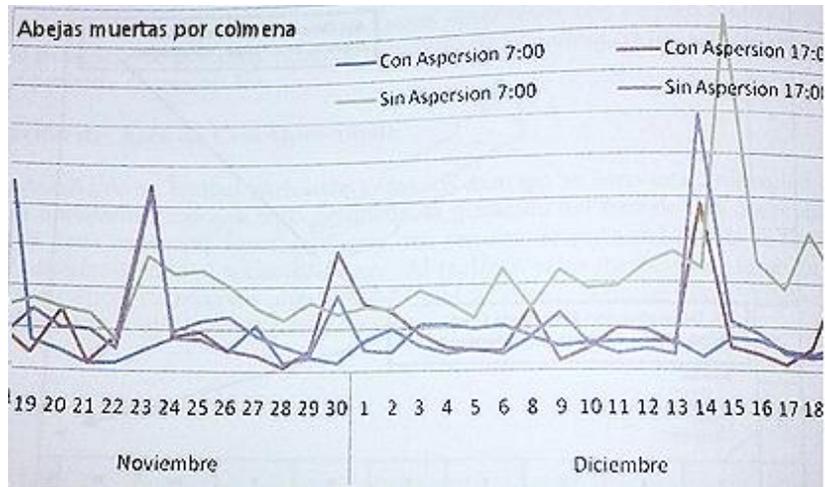
Se realizaron análisis estadísticos de la mortalidad diaria de abejas por colonia antes y después de la aspersión y fuera del área de aspersión, las evaluaciones se realizaron en las aldeas Sombrerito Bajo y Caserío Los Pérez, del municipio Nuevo Progreso, del departamento de San Marcos, del 16 de febrero al 3 de marzo de 2000, siendo una zona predominantemente cafetalera localizada entre 400 y 600 metros sobre el nivel del mar.

Figura 20. Abejas muertas el día de aspersión



Fuente: Comisión Técnica Interinstitucional MARN, MSPAS, MAGA, 2011. p.299.

Figura 21. Promedio de abejas muertas por colmena



Fuente: Comisión Técnica Interinstitucional MARN, MSPAS, MAGA, 2011. p.298.

El Programa realizó también un análisis de un estudio realizado por técnicos guatemaltecos del producto empleado para la aspersión verificando la sobrevivencia de las abejas *Apis mellifera* en áreas asperjadas con cebo contra la mosca del mediterráneo *Ceratitis capitata*, actividad realizada en noviembre de 2009, tratando que las colmenas fueran uniformes en cuanto a población de abejas.

Se estudiaron las abejas muertas por colmena, por día de aspersión, por colmena en el área asperjada y en la no asperjada; posteriormente se realizó análisis de varianza con número de abejas muertas a las 7 y a las 17 horas en cada colmena durante 5 días en que no hubo aspersión, obteniendo como resultado que no existía diferencia significativa entre áreas asperjadas y no asperjadas. Los resultados estadísticos se detallan a continuación.

Tabla III. **Resultados análisis de colmenas – Variable dependiente: abejas muertas**

Fuente	Suma de cuadrados tipo III	GI	Media cuadrática	F	Significación
Día	541,380	4	135,345	2.157	0.076
Área	1,445	1	1,445	0.023	0.88
Hora	788,045	1	788,045	12.561	0.001
Día * Área	1,214,180	4	303,545	4.836	0.02
Día * Hora	753,580	4	188,395	3.003	0.244
Área * Hora	85,805	1	85,805	1.368	0.007
Día * Área * Hora	916,420	4	229,105	3.652	
Error	11,292,500	180	62,736		
Total corregida	15,593,355	199			

Fuente: Comisión Técnica Interinstitucional MARN, MSPAS, MAGA, 2011. p.300.

Tabla IV. **DHS de Tukey – Abejas muertas**

Día	N	Subconjunto
	1	1
02/12	40	5.40
16/12	40	5.55
08/12	40	5.65
25/11	40	6.70
18/11	40	9.77
Significación		0.10

Fuente: Comisión Técnica Interinstitucional MARN, MSPAS, MAGA, 2011. p.300.

Estudios como estos agregan el despoblamiento de colmenas y los bajos rendimientos son causados por una diversidad de factores ambientales, genéticos, patógenos y de manejo. Por ejemplo, los laboratorios de patología apícola indican que las abejas de diversas regiones de Guatemala padecen enfermedades (bacterianas, virales, micóticas y parasitarias) de impactos negativos.

Dado que las aspersiones son monitoreadas constantemente, y la investigación realizada para evaluar la problemática denunciada por la municipalidad y representantes de la sociedad civil de San Antonio Suchitepéquez en marzo 2010, se obtienen diversos análisis de laboratorio:

- Análisis de Laboratorio Centro de Transferencia de Tecnología Apícola de Samalá, los cuales indican prevalencia significativa de Varroasis y Nosemiasis en apiarios, a lo largo de los años 2009 y 2010. (Ver resultado en Anexo)
- Análisis de Laboratorio de patología apícola MAGA, Quetzaltenango, los cuales indican una incidencia de patologías en un 50% y 69% de los apiarios analizados, así como la existencia de diagnósticos apícolas realizados por apicultores de departamentos ajenos a las aspersiones de MOSCAMED. (Ver resultados en Anexo)

El método de control autocida también genera incógnitas que deben estudiarse detenidamente, “existe cierta preocupación de que las moscamed parcialmente irradiadas, parcialmente fértiles, producidas como resultado de una esterilización incompleta, puedan producir nuevas variaciones genéticas” (CICP, 1988, p.92), otra interrogante es la posibilidad de liberación accidental de moscas no esterilizadas, generando un incremento en la población.

Se determinó que estas otras especies insectívoras se alimentan de moscamed estériles cuando las moscas todavía están en las bolsas de liberación, según entrevistas del equipo de AIA de CICP. “Teóricamente, el efecto podría ser dañino si, por ejemplo, diluyera la presión de los animales de presa sobre las plagas o cambiara la producción reproductiva de los insectívoros” (CICP, 1988, p.93).

El control etológico también impacta los ecosistemas mediante la colocación de trampas. Los trabajadores de MOSCAMED encargados de las trampas tanto en su colocación como monitoreo pueden ocasionar alteraciones dentro de los ecosistemas, además, ciertos insectos pueden ser atrapados por el adhesivo en las trampas y posteriormente mueren, tanto al ser atraídos o porque accidentalmente caen en las trampas (CICP, 1988).

De acuerdo con la hoja de seguridad del bromuro de metilo (2008), de la empresa ANASAC de Chile, se poseen riesgos específicos para la salud, siendo estos:

- Irritación en las vías respiratorias, ojos y piel.
- Al darse la ingestión se provocarán náuseas, vómitos, apatía, vértigo, cefalea, alteración visual y del lenguaje.
- Si una persona posee irritaciones o ulceraciones y dermatitis, los problemas serán agravados debido a la exposición.

1.7.1. Medidas de mitigación

Se definió por la comisión de MOSCAMED, en el Estudio de Evaluación de Impacto Ambiental de las Aspersiones Aéreas desarrollado en 2002, diversas medidas de mitigación en lo que respecta a las aspersiones efectuadas con Success 0.02 CB, entre las cuales se tiene:

- Suspender temporalmente las aspersiones al presentarse alta probabilidad de lluvia.
- Verificar las áreas objeto de aspersiones, con ello determinar las áreas donde exista peligro de contaminar cuerpos de agua, establecer zonas donde únicamente debe realizarse aspersión terrestre.
- Determinar mecanismos de verificación y certificación de los productos.
- Establecer zonas de exclusión de aspersión, considerando centros poblados.

Durante la ejecución de las aspersiones tanto aéreas como terrestres, la comisión MOSCAMED, realiza medidas correctivas, determinadas según resultados obtenidos en diversas investigaciones realizadas desde la aplicación del programa en Guatemala.

Las acciones se desarrollan en períodos continuos posteriores a los tratamientos con el plaguicida, presentadas en el Informe Técnico Comisión MOSCAMED 2011, se realiza un proceso aleatorio de muestreo con las áreas tratadas, por medio de muestreo de áreas con polígonos de muestreo, se realiza la recolección de muestras tanto de cultivos u otras plantas expuestas a las aspersiones, se realizan de igual forma, muestras de agua superficial, agua estancada, se procede entonces, a realizar pruebas de residuos de spinosad.

“El método de aspersiones áreas, por su característica de ser extensivo, constituye una alteración a la vida particular y propiedad privada, interrumpiendo temporalmente, el derecho de las personas de disfrutar un ambiente libre de agentes extraños a su vida cotidiana”. (COMISIÓN MOSCAMED, 2002). Aseveración que se mantiene vigente y que se fortalece dadas las denuncias realizadas por la sociedad civil ante las diversas teorías de cómo los procedimientos afectan a las poblaciones aledañas.

Siendo importante mantener prácticas que reduzcan la desconformidad de los pobladores de sitios donde se ejecute el manejo de la plaga, por lo que se desarrolla control de calidad, siendo los parámetros a considerar para el control de calidad, según el manual de monitoreo de aspersiones, los siguientes:

- Número de gotas por metro cuadrado (mayor de 80 gotas por metro cuadrado)
- Ancho de cortina de aplicación: 30 metros para helicópteros, 35 metros para tipo avión turbo Trush y 60 metros para aeronave tipo avión turbo jet.
- Tamaño de gota (3 a 6 milímetros de diámetro)
- Velocidad de viento (menor de 10 kilómetros/hora)
- Distribución uniforme de gotas en la cortina de aplicación
- Altura de vuelo de la aeronave: avión 135 a 140 nudos/hora y helicóptero 60 millas terrestres por hora.
- Porcentaje de humedad relativa. (menor de 85%)
- Horario de aplicación, dependiendo la época del año.

Uno de los parámetros de mayor importancia en relación a los impactos ambientales es el tamaño de gota, una gota útil de la mezcla será aquella entre 3 a 6 milímetros, serán aceptables aquellas entre 7 y 10 milímetros, mientras que si se encuentran gotas mayores de 10 milímetros se debe de recalibrar el equipo.

Figura 22. **Monitoreo del tamaño de gota**



Fuente: Programa Visión Rural. (2011) Mosca del mediterráneo [Archivo de video].

1.8. Herramientas técnicas de apoyo para el control de plagas

“Un modelo matemático es la representación abstracta de algún aspecto de la realidad. Su estructura está conformada por todos aquellos aspectos que caracterizan la realidad modelizada, y las que las relaciones existentes entre los elementos antes mencionados” (Regalado, Reyes y Gonzáles, 2008, p.9).

Por lo que es posible afirmar que el modelo matemático proveerá, al generarse apropiadamente y realizando un análisis de correlación con datos reales, una herramienta para explicar el comportamiento real de los fenómenos que con este se estudien.

“Una de las razones para obtener un modelo es la adecuación del cálculo del supuesto comportamiento de un proceso para determinadas condiciones, el cálculo depende de la aplicación” (Regalado, Reyes y Gonzáles, 2008, p.10). Se debe tener claro las aplicaciones que se le darán a las estimaciones realizadas a través de los modelos, ya que de esto dependerá la precisión y factores involucrados en este. De manera general, la modelación matemática puede describirse de forma sistemática, según Dreyer (1993) por medio de los siguientes pasos a seguir:

- **Identificación:** se pretende determinar las interrogantes que el modelo debe ser capaz de resolver, formular el problema en palabras y documentar los datos que se consideren.
- **Suposición:** dada la variedad de parámetros involucrados, se debe analizar el problema, y lograr con esto determinar que elementos son importantes y cuáles deben ser ignorados. Con todo ello deben hacerse suposiciones que no le quiten por completo el realismo al caso estudiado.
- **Construcción:** al poseer los elementos básicos que se permitan comprender el caso, se procede a traducir al lenguaje matemático el problema, así como todos los supuestos, obteniendo el grupo de variables a emplear y un conjunto de ecuaciones (o inecuaciones).
- **Análisis o resolución:** se procede a la solución del problema matemático planteado, se debe obtener con esto funciones por medio de las cuales las variables dependientes se expresarán en términos las variables independientes. Debe también obtener información acerca de los parámetros que intervienen en el modelo.

- Interpretación: la solución matemática debe ser validada con la realidad, realizando algún procedimiento para observar si se ajusta a lo conocido acerca del problema real, pero mediante un análisis de los resultados obtenidos, pero a nivel interpretativo. Con esto pueden modificarse algunas suposiciones que puedan generar ruido en la creación del modelo, o modificar el método empleado de obtener resultados ilógicos.
- Validación e implementación: una vez interpretada la solución, se debe validar pero numéricamente, verificando que concuerda con los datos disponibles sobre el problema, posteriormente se usa el modelo para describir el problema, se pueden por tanto realizar predicciones sobre los valores de las variables, al realizar esto, se debe prestar atención a los valores permitidos del modelo.

Al modelar es necesario idealizar los elementos que componen el fenómeno real, esto debido a que en la naturaleza existen casos que se tornan complejos al verlos desde todas las perspectivas posibles, en general los problemas reales dependen de multitud de parámetros o variables y pueden manifestar interrelación con otros procesos, por lo cual, el diseño de un modelo lleva implícita la simplificación de muchos aspectos del problema real.

La dinámica de una especie puede trabajarse en relación a la evolución de la especie por medio de suponer que se da un crecimiento exponencial, el modelo básico de “la dinámica de la densidad de población de plagas sin ningún control es $\dot{x} = \alpha x + \beta$, cuya solución es $x(t) = \frac{1}{\alpha} (e^{\alpha(t-t_0)}(\alpha x_0 + \beta) - \beta)$, donde $x(t)$ es la densidad de la población, α la tasa de crecimiento exponencial, β la tasa de migración y x_0 la densidad poblacional en el tiempo t_0 ” (Delgadillo, Kú y Vela, 2006, p.9).

En el caso de la investigación de Delgadillo, Kú y Vela en 2009, se analizó el comportamiento de la plaga que afecta el brócoli, posterior a suponer un comportamiento exponencial, se agregan diversas variables, como se puede observar en el modelo al introducir el empleo de insecticidas.

“Suponiendo que en determinado tiempo $t = T$ se aplica un insecticida, el cual tiene una efectividad proporcional al tamaño de la población al momento de la aplicación. El modelo es: $\dot{x} = \alpha x + \beta - \gamma x \delta(t - T)$ ” (Delgadillo, Kú y Vela, 2006, p.9). La población analizada por Delgadillo, Kú y Vela (2006) posee un ciclo de vida distinto a la mosca del mediterráneo, por lo que el modelo de dinámica poblacional inicial debe adaptarse o modificarse completamente al crear una estructura gráfica de los factores importantes que deben considerarse en el modelo que se desea proponer.

Las variables implementadas en el modelo de densidad poblacional de *Ceratitis capitata* generado por el SINAVEF (2009), incluyen la cantidad de elementos de cada estado de la mosca en la región estudiada, oviposición de la hembra, tasa de mortalidad estimada para cada estado, la cantidad de individuos que debido a la temperatura pasan de un estado a otro en función de los días, número de hembras fértiles, unidades de calor acumuladas por día, temperatura promedio para el desarrollo de la mosca, así como temperatura mínima y máxima de la región.

1.8.1. Estimación del tamaño poblacional

Existen diversos métodos de estimación, la cual puede ser absoluta o relativa. El método de estimación absoluta por recaptura es útil para especies que poseen longevidad alta, consiste en la captura de dos muestras en tiempos distintos, los individuos son marcados y liberados, se realizan capturas continuas, marcando nuevamente y contando a los individuos que permanecen.

Algunos métodos comunes de recaptura son índice de Lincoln (Peterson), el índice de Jolly-Seber el cual considera muertes y migración pero considerando esta permanente, estimador hipergeométrico de Joint que posee restricciones que no corresponden a la realidad de la plaga, por ejemplo, se supone que no existe movilización de los individuos fuera del área en que fueron capturados.

Para la estimación relativa del tamaño poblacional por monitoreo y detección o muestreo de hospederos, es común emplear trampeo para estimar el tamaño poblacional, generando una idea general de la abundancia, distribución espacial, para determinar ausencia o presencia de la plaga, las trampas se utilizan con un muestreo aleatorio estratificado, en lugares donde la plaga tiene probabilidades de ocurrencia; un indicador comúnmente empleado que permite generar una idea de la población, es el promedio de insectos atrapados durante un día en las trampas colocadas.

Otra técnica empleada es el muestreo de frutos, y estimar mediante la presencia de larvas por fruto. Teniendo las estimaciones relativas, se utiliza regresión lineal de mínimos cuadrados construyendo una relación entre la población y los indicadores obtenidos.

Por otro lado se pueden mencionar modelos matemáticos como, el modelo de Matriz de Leslie, el cual es un modelo poblacional que no trata a todos los individuos de la población de igual forma, toma consideraciones relacionadas con la especie considerando la existencia de individuos jóvenes que no se reproducen, diferencias reproductivas, clases de edad, entre otros.

Los modelos discretos matriciales de crecimiento poblacional son los más empleados para el análisis del comportamiento de grupos determinados, entre ellos se encuentran el Modelo de Leslie y el Modelo Geométrico; ambos modelos requieren del establecimiento de hipótesis que producen cierto marco de error dependiendo del grupo analizado, ya que puede que todas o algunas de las hipótesis se cumplan o no.

El modelo de Leslie describe el crecimiento de la parte femenina de una población clasificando a las hembras por edades en intervalos de igual número de años. Suponiendo que la edad máxima alcanzada por una hembra de una población sea t años y que esta población se divide en n clases de edades. Cada clase, es evidente que tendrá $t = n$ años de duración. Suponiendo que en el momento inicial se conoce la cantidad de hembras en nuestro grupo de estudio, se nombra $x_i(0)$ al número de hembras existentes en el intervalo i -ésimo en el momento inicial, construyendo un vector de la forma:

$x(0) = \{x_1(0), x_2(0), x_3(0), \dots, x_n(0)\}$, denominado como vector de la distribución inicial de las edades.

Para estimar la población de moscas del mediterráneo y su interacción, se construye su tabla de vida, asumiendo que el intervalo de tabulación es de un día, tomando como día cero el momento en que los huevos son ovipositados, la proporción de individuos que permanecen vivos para el día x posterior a ser ovipositados se denota por l_x siendo entonces los sobrevivientes en la edad x .

La edad específica de fecundidad m_x es el número de huevos fértiles puestos por hembras en edades entre x y $x + 1$, h_x es la proporción de huevos que nacen, con lo que se obtiene la fertilidad media como:

$$\mu = \frac{\sum l_x h_x m_x}{\sum l_x}$$

Vargas et al. (1984) determinó el total de mortalidad de huevos pre-adultos, larvas y pupas de *Ceratitis capitata* es 31 por ciento, las longitudes de los estados de la mosca en huevo, larva y pupa son aproximadamente 2.3, 7.2 y 9.5 días respectivamente.

En el caso del Modelo Knipling's, la característica principal de este modelo, es la proporción de machos fértiles a todos los machos de la población:

$$\left(\frac{M}{S + M} \right)$$

Donde: M es el número de machos FÉRTILES (o hembras, asumiendo una correspondencia 1:1) y S el número de machos estériles. El modelo de Knipling (1955) para insectos estériles posee una modificación con las generaciones que no se traslapa, utilizando el factor de fertilidad definido anteriormente, con lo que: $F_{t+1} = \lambda F_t \left(\frac{M_t}{S + M_t} \right)$ donde, F_t y M_t son las cantidades de machos y hembras fértiles en un tiempo t y λ es la tasa de crecimiento por generación.

Esto produce un estado estable cuando $F = 0$ (donde $S > 0$) y un estado inestable positivo para F cuando $S = S^*$, la tasa de liberación crítica, es decir el umbral que permita la erradicación se da sí $S > S^*$.

2. DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN

2.1. Análisis de los aspectos generales de la especie y la problemática económica de estos

Las actividades económicas correspondientes a la agricultura, ganadería, caza, silvicultura y pesca a lo largo de los últimos 10 años han representado en promedio el 12% del Producto Interno Bruto (PIB) del país, según estructura porcentual del PIB medido por el origen de la producción para los años 2001-2012, analizando datos publicados por el Banco de Guatemala, en general las únicas actividades que presentan mayor aporte son las Industrias Manufactureras, la agrupación de Comercio al por mayor y al por menor y para algunos años lo correspondiente a Servicios Privados.

La agricultura es una actividad económica importante para la economía nacional, resulta apropiado resaltar la relevancia económica del Programa de acuerdo a la forma en que la plaga afecta los cultivos más importantes producidos en el país. Para ello se presentan en la siguiente tabla, los cultivos de mayor importancia para el país.

Estos datos oficiales fueron obtenidos por el Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación, es necesario considerar que puede existir producción a nivel micro que no se está tomando en cuenta en los datos generales, y de igual forma puede haber cultivos que quedan fuera de los principales, pero que también son afectados por la plaga.

Tabla V. **Cultivos de mayor importancia y estimación de producción agrícola Guatemala 2013**

Granos básicos	Producción (quintales)	Frutas	Producción (quintales)	Hortalizas	Producción (quintales)	Productos de exportación	Producción (quintales)
Ajonjolí	1,165,900	Aguacate	2,115,900	Arveja china	892,300	Banano	70,283,300
Arroz	706,600	Limón	2,664,500	Brócoli	1,531,900	Cacao	289,400
Frijol	4,966,700	Mango	2,526,000	Cebolla	2,981,500	Café	5,581,700
Maíz	38,178,400	Manzana	484,600	Chile Pimiento	1,227,500	Azúcar	60,596,800
Trigo	34,300	Melocotón	575,500	Papa	11,504,800	Cardamomo	837,900
		Melón	12,545,200	Repollo	1,280,100		
		Naranja	3,530,300	Tomate	7,061,300		
		Piña	5,369,700	Zanahoria	1,715,900		
		Plátano	4,345,500				

Fuente: elaboración propia con datos de Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación, (2013).

Al comparar con la información detallada en el apartado anterior correspondiente a los hospederos de la plaga, se puede determinar que la producción agrícola en Guatemala se vería afectada en más del 50% al considerar hortalizas y frutos.

Tabla VI. **Impacto de la plaga en principales cultivos – Guatemala 2013**

Clasificación	No afectado	Afectado	Total
Frutas	0%	100%	100%
Hortalizas	75%	25%	100%
Productos de exportación	45%	55%	100%
Total de cultivos	41%	59%	100%

Fuente: elaboración propia.

Según la evaluación económica del Programa Moscamed en Guatemala publicada en 2013, se presenta la siguiente serie de datos que permite visualizar el comportamiento de los recursos empleados para el desarrollo del programa en Guatemala.

Tabla VII. **Presupuesto asignado al PM en Guatemala (millones de dólares)**

AÑO	MAGA ¹	USDA ²	SAGARPA ^{2,3}	TOTAL
2006	2.72	21.21	3.04	26.97
2007	3.16	17.52	3.65	24.33
2008	2.74	21.61	4.63	28.98
2009	2.03	17.55	2.48	22.06
2010	2.60	18.77	9.53	30.90
2011	2.23	16.36	2.89	21.48

¹ Incluye exoneración de impuestos.

² No incluye aportaciones en especie.

³ Se transfirieron a 2012 saldos de ejercicios anteriores (2010 y 2012) por un monto de US\$2.15 millones para las operaciones.

Fuente: SAGARPA, SENASICA e ICTA, con datos del Programa Moscamed, junio 2013.p.34.

Al analizar los datos, se logran generar comparaciones con el presupuesto asignado, considerando que para determinar el monto para cada año se emplean las mismas consideraciones en relación al personal a emplear y el desarrollo de los diversos proyectos de difusión, recursos empleados y ejecución de los métodos de detección y control de la plaga, y que la tasa de variación de la actividad económica analizada no presenta un cambio drástico en lo que respecta al PIB, la tabla con los resultados se presenta en el siguiente apartado.

2.2. Impactos ambientales del manejo integrado de la plaga

Es importante identificar los impactos del manejo de la plaga, ya que aunque algunos puedan parecer leves, al ejecutar procedimientos de forma indiscriminada y ante un avance repentino de la infestación de la plaga, puede darse un uso indiscriminado de los métodos empleados en el manejo integrado de la plaga.

2.2.1. Contaminación de suelos

Al aplicar los plaguicidas por medio de una aspersión foliar, aspersión terrestre indicada en el Manual de aspersión para el control del programa a nivel regional (2006), es decir, en forma directa sobre las hojas de las plantas, si se da la acción de lluvias posterior a la aspersión de igual forma el plaguicida llegará al suelo, por otro lado se da la aspersión aérea con la cual se corre el riesgo de la volatilización del producto llegando de igual forma al suelo.

La adsorción en los suelos es un proceso reversible en la cual las moléculas de los plaguicidas se enlazan a la superficie de las partículas del suelo. De acuerdo al tipo de suelo, la adsorción será distinta, por lo que resulta más apropiado establecer rangos de adsorción.

El Spinosad posee un coeficiente de adsorción de 5-323, lo cual indica una adsorción moderada a alta como se describe en el apartado anterior. Por lo que la característica relevante para el estudio del impacto en el suelo, la constituye la existencia de buen drenaje y alta fertilidad. El relieve de la parte alta de los polígonos que deben asperjarse podría consolidar condiciones para una mayor escorrentía y con ello facilitar el arrastre del ingrediente activo a los cuerpos de agua, incluyendo humedales y esteros.

En el caso del método de control autocida, las bolsas de liberación del insecto estéril, según Manual de control autocida (2009), poseen una coloración especial, al no tener un tratamiento adecuado, pueden contener restos de pigmentos empleados para la coloración de las moscas y pueden ser absorbidos por el suelo.

Por lo que, los aspectos fundamentales para la reducción del impacto a los suelos es el diseño de drenajes apropiados, reduciendo de igual forma el riesgo de contaminación de mantos freáticos, así como ejercer medidas estrictas para evitar el riesgo de la posible ocurrencia de derrames focalizados altamente concentrados.

2.2.2. Contaminación del agua

El plaguicida mediante difusión o disolución en agua puede afectar los mantos freáticos o los cuerpos de agua superficiales. Aunque el potencial de lixiviación de Spinosad es muy bajo debido al moderado coeficiente de adsorción, por lo que se tendría bajo estos parámetros solubilidad moderada en agua, es importante poseer buenas prácticas para el suministro del producto, reduciendo así el impacto potencial del plaguicida en el agua.

Considerando que la toxicidad del Spinosad en peces es de leve a moderada, se posee un riesgo en las especies acuáticas, lo cual en general puede afectarse en un porcentaje significativo únicamente si se aplica de forma incorrecta el producto sin considerar las zonas de no aspersion en áreas específicas de la cuenca hidrográfica.

Con relación al contacto directo, el producto puede caer directamente sobre superficies de agua, se considera un riesgo dada la existencia de superficies dentro de los polígonos de aspersión que incluyen cabeceras de cuencas y la posibilidad de existencia de tanques de captación de agua para consumo humano.

Si se da un arrastre del producto por corrientes superficiales, debido a la ocurrencia de lluvias, es posible que se pueda dar una contaminación marítima, de no aumentarse la velocidad de arrastre, el producto tiende a degradarse o a ser adsorbido por los suelos.

2.2.3. Contaminación atmosférica

Es posible que al disolverse en el agua, el plaguicida pueda posteriormente evaporarse, lo que resulta en una permanencia en la atmósfera. Aunque no se considera de gran importancia, se posee un impacto debido al ruido ocasionado por las aeronaves durante las rutas de vuelo, por lo cual es de suma importancia la difusión de los procedimientos a emplear a nivel general a los pobladores de las regiones tratadas.

En el caso del producto empleado para el control legal, el bromuro de metilo, según hoja de datos de seguridad del producto (2008), es un gas tóxico, que administrado inapropiadamente contaminaría en grandes magnitudes.

Se establece que los límites permisibles considerados son 0, 8 partes por millón o 3,1 miligramos por metro cúbico, resultando necesario mantener control sobre la cantidad a la que se exponen tanto los empleados del programa como los afectados por el decomiso y aspersión.

2.2.4. Impactos ecológicos

Dados los niveles de toxicidad y la forma en la que afectan diversas especies, se concluye que organismos distintos a las plaga *Ceratitis capitata*, no poseen efectos significativos, dado que la toxicidad del producto de acuerdo a las concentraciones empleadas, no afecta a los mamíferos, pájaros, reptiles y anfibios, siendo la exposición de las especies poco significativa, dada la aplicación por rocío que se realiza, cabe resaltar que de no aplicarse apropiadamente puede considerarse un producto que puede ocasionar algún tipo de daño a las especies anteriormente mencionadas.

Cualquier organismo invertebrado que sea atraído con el cebo puede ser afectado, por lo que se reconoce un potencial efecto negativo en este tipo de poblaciones no objetivo. Aunado al método de control autocida, una consecuencia potencial de las liberaciones sobre organismos que no son el objetivo de los métodos de control serían cambios en la estructura natural de diversas especies, ya que las moscas pueden funcionar en los ecosistemas como fuente temporal de alimento para animales insectívoros, tales como hormigas.

Al optar por la implementación de métodos de control biológico para reducir la población de moscas del mediterráneo se reduce el impacto ecológico que puede conllevar el uso desmedido del método autocida, logrando un equilibrio en el entorno natural de las especies, aunque de igual forma debe de contarse con lineamientos específicos para evitar que el control aplicado por la introducción de especies modifiquen el ecosistema del área trabajada.

Por medio de un análisis periódico es posible establecer de acuerdo a las densidades poblacionales calculadas y la reducción requerida en qué proporción resulta necesario hacer uso de control biológico como herramienta de reducción inicial, logrando con ello una disminución en el empleo desmedido de aspersiones.

Es necesario recalcar la importancia de mantener claro que los métodos de control no son estáticos y que no es necesario realizar los mismos procedimientos en todas las áreas de trabajo, pudiendo realizar estudios únicamente en las regiones en que se necesite una mayor reducción para disminuir el empleo de aspersiones, así como la liberación de insectos estériles o incluso implementar el método biológico para equilibrar la incorporación de moscas al área tratada.

2.2.5. Efectos en la salud

De acuerdo a la ficha de Dow AgroSciences (2014) con respecto al producto empleado para las aspersiones, al ser inhalado genera intoxicación, por lo que es necesario trasladar a la persona afectada inmediatamente a un centro de salud.

Resulta complicado para los pobladores el tratar a una persona que sufra de intoxicación, puesto que incluso en las especificaciones del producto se indica que no existe antídoto definido. En la hoja de datos del producto asperjado (2014) se tienen recomendaciones para los empleados que trabajen con él en relación a una adecuada estructura de normas de seguridad industrial, se determina necesaria la protección de los ojos, si durante la operación se sienten malestares por los vapores, se recomienda utilizar respirador.

Se establece necesaria la protección de la piel, esto con el uso de guantes impermeables al producto (hule, neopreno o viton), protección del sistema respiratorio y se determina que los niveles de concentración del material en el aire, deberán ser mantenidos, por debajo de los límites de exposición permitidos, siendo este 0,3 miligramos por metro cúbico.

Y para los encargados de la aplicación y otras personas que manejen el material, se recomienda usar el equipo de protección, se debe realizar la preparación del producto a favor del viento y es indispensable mantener controles rigurosos para evitar comidas o bebidas durante el manejo, por último se recomienda al terminar las labores descontaminar el equipo y bañarse.

En el caso de la producción de moscas estériles, “el pigmento color naranja que se usa para marcar las moscas estériles en el laboratorio de crianza de San Miguel Petapa es moderadamente tóxico si se inhala” (CICP, 1988, p.102). Siendo importante definir las normas que deben seguir los encargados de los procesos empleados en los laboratorios de producción de moscas.

Figura 23. **Producción de moscas**



Fuente: Programa Visión Rural. (2011) Mosca del mediterráneo [Archivo de video].

El control legal, es decir, los puestos de cuarentena y los procesos que ahí se desarrollan tienen un impacto en la salud de los trabajadores del Programa, MOSCAMED usan aún el fumigante bromuro de metilo para tratar la fruta en las estaciones de cuarentena, siendo este un componente sumamente tóxico para la salud humana, su peligrosidad aumenta, ya que en bajas concentraciones resulta imperceptible, siendo inoloro e insaboro.

“Experimentos con animales y observaciones clínicas muestran que se puede tolerar dosis bastante elevadas durante períodos breves” (CICP, 1988, p.104). Con lo que aumenta la peligrosidad, ya que el empleado no notará que se encuentra expuesto a una sustancia tóxica, lo que dificulta el tratamiento respectivo.

Se presenta a continuación un resumen de las medidas de mitigación que se debe recalcar en el empleo de los procedimientos realizados por el programa, para mitigar los posibles impactos.

1. Planificación de las aspersiones de acuerdo a los pronósticos del tiempo, evitando el lavado del follaje de la vegetación por las lluvias.
2. Establecer zonas de amortiguamiento donde únicamente se permita realizar aspersiones terrestres, en correspondencia con el riesgo de contaminación de cursos de agua por la caída directa del producto, de igual forma considerar dirección del viento para evitar este tipo de contaminación provocada por el desvío del producto.

Figura 24. **Zonas de amortiguamiento – únicamente aspersión terrestre**



Fuente: Programa Visión Rural. (2011) Mosca del mediterráneo [Archivo de video].

3. Utilizar equipo de protección para el personal que labora en la carga de aviones, así como en sectores cercanos a las pistas de despegue, mitigando el impacto auditivo.
4. Verificar las dosificaciones del producto, en relación a la mezcla empleada, con especies no analizadas que se identifiquen en la región, para conservar dentro de los límites permisibles de riesgo de contaminación.
5. Monitorear la dosis y forma de aplicación del producto.
6. Realizar programas informativos y de concientización para los pobladores de regiones en las cuales se aplica el programa.
7. Capacitar a todo el personal que labora en el Programa, para que tenga conocimiento exacto de los procedimientos empleados, así como composición de los productos utilizados.

8. Mantener vigilancia sanitaria en los apiarios, manteniendo informados a los apicultores.
9. Realizar análisis para sustituir el empleo del fumigante bromuro de metilo en los puestos de control.

2.2.6. Análisis comparativo – actividades del Programa

Para tomar decisiones, se realiza inicialmente como se ha mencionado anteriormente, un proceso de detección involucrando diversos aspectos, los cuales se detallan a continuación.

Tabla VIII. **Actividades de detección dentro del Programa Moscamed 2000-2011**

ACTIVIDAD	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
Área Total (Km2)	60,800	65,400	64,400	55,250	55,200	51,936	50,686	59,525	55,704	60,869	60,758	66,933
No. de trampas	9,883	12,201	12,507	9,918	8,770	9,029	9,458	11,643	13,004	14,817	16,785	17,829
Moscas fértiles	41,914	352,668	760,190	522,685	4,632	20,157	4,248	198,246	89,588	114,215	106,798	71,687
kg. de fruta muestreada	29,768	40,861	49,572	34,643	28,709	18,984	25,512	25,970	26,207	18,891	23,000	21,548
Larvas detectadas	12,330	14,517	107,031	6,186	809	1,612	765	20,848	5,289	957	777	363

Fuente: SAGARPA, SENASICA e ICTA, con datos del Programa Moscamed (datos sin publicar), junio 2013. p.37.

Considerando que se pretende que la tendencia sea aumentar la cobertura del programa se realiza un análisis de los datos de la serie para determinar la relación entre trampas, moscas fértiles y larvas detectadas en relación con el área trabajada, logrando analizar como variable dependiente las moscas fértiles y larvas, en relación con las trampas empleadas y el área tratada.

Para el efecto se utiliza análisis de correlación, regresión identificando el tipo de relación entre las variables, así como medidas de tendencia, para determinar la ecuación que permita simular de mejor forma la tendencia y relación entre las variables y obtener estimaciones para los años de los cuales no se posee información.

Por otro lado, se posee información similar al respecto de las actividades de erradicación de la plaga, para realizar análisis de los procesos, de los efectos ambientales que implican así como el desgaste de los involucrados.

Tabla IX. Actividades de control dentro del Programa Moscamed en Guatemala de 2000 a 2011

ACTIVIDAD	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
Químico (litros de ingrediente activo)	175.24	397.07	157.91	156.48	48.91	70.12	26.04	102.37	84.72	82.15	91.16	45.72
Mecánico (toneladas de fruta destruida)	387	582	577	388	142	322	127	200	89	83	103	91
Autocida (millones de moscas estériles)	15,202	20,843	39,267	38,924	23,980	44,327	43,343	30,316	35,255	32,421	44,220	34,588
Biológico (millones de parasitoides)												
Cuarentena (miles de vehículos inspeccionados)	507	872	1,168	1,623	2,300	3,129	3,061	3,424	3,563	3,808	3,811	3,867
Cuarentena (Tons. de frutas destruidas)	20	35	44	88	62	69	95	67	62	60	50	50

Fuente: SAGARPA, SENASICA e ICTA, con datos del Programa Moscamed, 2013. p.38.

Por medio de la información anterior se generan estimaciones de la cantidad de moscas afectadas por el ingrediente activo, empleando para ello los datos técnicos del producto y la relación con el área trabajada para los diversos años. Se estima en relación con el ciclo de vida de la mosca del mediterráneo la cantidad de moscas que se logra evitar en la región tratada debido a la aplicación del método autocida.

Se analiza la relación entre la cantidad de vehículos inspeccionados, la cantidad de frutos destruidos y la detección de moscas, se verifica inicialmente que los datos presenten una tendencia normal, esto se realiza por medio de prueba de bondad de ajuste, para lograr determinar si los avances en el programa se ven reflejados en los resultados del método legal, proponiendo con ello como resultado de la investigación un método para determinar la efectividad de los procedimientos del programa.

Para quienes se dedican al cultivo que “los pesticidas o plaguicidas son sustancias químicas destinadas a matar, repeler, atraer, regular o interrumpir el crecimiento de plagas” (Dierksmeyer, Gonzalo, 2001, p.45), por lo que en algunos casos se tiende al abuso o a la mala administración de dichos elementos, con lo que es lógico intuir que se generarán problemas ambientales.

De acuerdo a Samayoa (2009), aunque existen otros métodos empleados que contaminan el ambiente en menor medida, no es posible aseverar que esta contaminación no es importante o no debe investigarse al respecto, ya que de alguna forma en un futuro puedan ser la causa de problemas importantes que desequilibren la estructura y el desarrollo natural de nuestro entorno.

Siendo el método inicial que da la pauta para la planificación y ejecución de los métodos subsiguientes, es necesario que se optimice el empleo de este y se logre reducir o aumentar la cantidad de elemento activo utilizado en relación a la cantidad de elementos estimados en las regiones a tratar. De acuerdo con las especificaciones del método y las características de la especie, se determina que las variables principales relacionadas con la aspersion son: moscas detectadas y moscas tratadas por la aspersion.

Por lo cual resulta un indicador de comparacion contra los otros métodos de erradicacion empleados en el Manejo Integrado de la Plaga realizar periódicamente el cálculo de la cantidad de litros a asperjar dependiendo de los ajustes realizados en las estimaciones de la poblacion de mosca a tratar.

2.3. Herramientas para el análisis del manejo integrado de plagas

2.3.1.1. Vulnerabilidad frente a la plaga

Como se explica en el marco teórico referente a las características de la plaga, se determina la importancia que posee analizar las condiciones del ambiente en las diversas regiones del país, y como las características particulares de cada lugar son propicias para la infestacion de la plaga.

Se emplea análisis de correlacion de variables por medio de SPSS para determinar en qué magnitud las condiciones ambientales han sido elementos que impacten en la cantidad de moscas detectadas. Así como el análisis general de cada variable por medio de sus medidas de tendencia, analizando con ello la estabilidad de las variables dentro de la serie de tiempo analizada, así como la tendencia esperada para los años de los que no se posee informacion.

Por medio de la información obtenida, se procede a generar una escala de vulnerabilidad por medio de los datos obtenidos a nivel nacional de las variables de estudio por medio de la información analizada del INSIVUMEH, así como del Programa MOSCAMED.

La vulnerabilidad, en este caso, es el grado de debilidad o exposición de una región, dado un conjunto de elementos frente a la infestación de la plaga *Ceratitidis capitata*, se presentan dos análisis, uno que abarca únicamente las variables que se determine poseen correlación con el fenómeno y otro en el que se incluyen las medidas implementadas actualmente en la región, en el primer caso se expresa en términos de probabilidad, en porcentaje de 0 a 100.

Se emplean las siguientes categorías, producto de la adaptación a rangos determinados por el Instituto Nacional de Defensa Civil de Perú para determinar vulnerabilidad ambiental y ecológica:

- Vulnerabilidad baja (<25%)
- Vulnerabilidad media (de 26 a 50%)
- Vulnerabilidad alta (51 a 75%)
- Vulnerabilidad muy alta (76 a 100%)

Dichos porcentajes se realizan a través de variabilidad de los datos en comparación con los valores promedios que condicionan favorablemente a la plaga, siendo estos humedad relativa y temperatura, considerando análisis de laboratorio realizado por la Dirección General de la Producción Agraria los parámetros óptimos para la reproducción de la especie son $T = 22^{\circ}\text{C} \pm 1$, $H.R = 67\% \pm 4$.

Para el segundo caso, se trabaja con una adaptación de categorías implementadas por el Instituto de Hidráulica Ambiental de la Universidad de Cantabria. Par lo cual se define la Vulnerabilidad Ecológica como:

$$V^{ECO} = f(I^P, I^{SG}, I^S) = (I^P + I^{SG})I^S$$

Donde,

I^P Indicador del grado de protección, considerando la existencia de procedimientos de protección, cuantificando daño ambiental. (No protegido =1, Protegido =2)

I^{SG} Indicador de singularidad, determinando la importancia relativa del ecosistema en términos de las variables correlacionadas con el establecimiento de la plaga. Para lo cual:

Tabla X. **Singularidades**

Singularidad en relación a variables %	Singularidad	I^{SG}
76-100%	Muy singular	3
51-75%	Moderadamente singular	2
26-50%	Poco singular	1
0-25%	No singular	0

Fuente: Análisis de Vulnerabilidad, IH. Cantabria, 2012. p.29.

I^S El indicador de sensibilidad o tolerancia, es una medida de los cambios en la biodiversidad estructural y principales característica del ecosistema. (No sensible =1, sensible =2)

Determinando las siguientes categorías:

Tabla XI. **Escala de vulnerabilidad de regiones**

$(I^P + I^{SG})I^S$	Vulnerabilidad Ecológica	V^{ECO}
< 4	No vulnerable	1
$4 \leq (I^P + I^{SG})I^S < 8$	Vulnerable	2
≥ 8	Muy vulnerable	3

Fuente: Análisis de Vulnerabilidad, IH. Cantabria, 2012. p.27.

2.3.2. Modelos densidad poblacional

Los modelos matemáticos y en particular, los modelos aplicados a la biología pueden ser implementados como herramienta para entender la dinámica de un fenómeno, en particular se pueden evaluar distintos escenarios de un mismo fenómeno por medio de modificaciones al modelo, agregando variables y su efecto por medio de coeficientes que determinen su relevancia en el fenómeno.

Los métodos de control de plagas pueden beneficiarse de los acercamientos que se pueden realizar por medio de modelos matemáticos para describir la dinámica de una población, el realismo a los métodos se obtiene por medio de la adaptación de características biológicas, climáticas y ecológicas.

El control adecuado de plagas es importante porque de ellos depende la posibilidad de comercializar un cultivo, así como reducir costos en el empleo de sucesivos controles para reducir paulatinamente la plaga.

Al plantear y analizar distintos modelos matemáticos y compararlos con datos estadísticos de la forma real en la que se ha desarrollado la plaga, es posible extraer las características más importantes de la dinámica de ésta y de los mecanismos de control comúnmente usados, lo que permite tener una herramienta para proponer o validar estrategias de control de la plaga.

A partir del modelo de Delgadillo se modifica el modelo agregándole los factores involucrados en los distintos métodos de control y aplicando los modelos a los datos estadísticos que se tienen en los registros administrativos del programa, se analiza la correspondencia del modelo planteado a la dinámica poblacional a la realidad.

Para obtener información estimada de las poblaciones u otra información relacionada con la dinámica poblacional de la especie, la población general debe ser muestreada, lo cual permite al equipo de control de la plaga, evaluar la distribución espacial, determinar si existen lugares específicos donde los insectos se congregan, así como cualquier dato que permita describir la forma en la que se desarrolla la especie.

Como se menciona en apartados anteriores, la fortaleza del Programa se debe al éxito que se ha logrado obtener con el empleo de la técnica del insecto estéril, pero este método posee restricciones en la población máxima estimada para la cual puede emplearse, siendo necesario realizar una reducción preliminar de la población para que el método autocida pueda atacar a la población natural de moscas del mediterráneo, que se encuentren en un área determinada.

Por lo que, para analizar el comportamiento de la plaga ante el manejo integrado de la plaga y proponer análisis que permitan mejorar los procedimientos reduciendo los potenciales impactos ambientales descritos en el capítulo anterior, es necesario obtener información de variables específicas, siendo estas: tamaño de la población, fecundidad, supervivencia, habilidad de competencia de los machos estériles, fertilidad posterior a la esterilización, dispersión y migración.

Se hace especial énfasis en estudiar el comportamiento de la especie y determinar la forma en la que está crece en un intervalo de tiempo dado, con lo cual es posible obtener los límites máximos y mínimos que puede obtener la población de una especie, y el tiempo que se posee para aplicar los métodos evitando un crecimiento poblacional descontrolado y como resultado una reducción significativa en la producción frutícola del país.

Para planificar las diversas medidas a emplear para erradicar una plaga es necesario no sólo tener una idea general del tamaño de la población, además es importante tener una idea general de la distribución espacial así como los periodos de tiempo en los que ocurren algunos eventos, obteniendo herramientas para analizar los cambios en la especie.

Partiendo del modelo exponencial poblacional $\dot{x} = \alpha x + \beta$ donde $x(t)$ es la densidad de la población, α la tasa de crecimiento exponencial, β la tasa de migración, se agregan factores correspondientes a la tasa de mortalidad γ , la proporción de moscas afectadas por el químico μ , teniendo entonces la ecuación modificada $\dot{x} = (\alpha - \gamma) x + \beta - \mu$. El inconveniente al emplear un modelo poblacional de este tipo recae en no considerar el crecimiento poblacional proveniente de los otros estados de la plaga (huevos y larvas), lo cual se corrige mediante la consideración simultánea de estos.

Considerando que los modelos matriciales utilizados en estadística permiten estimar cambios en el tamaño de las poblaciones a lo largo del tiempo como respuesta a cambios ambientales, económicos, climáticos, sociales e identificar las tasas vitales que determinan mayoritariamente esos cambios, tomando en cuenta no sólo la población adulta sino las otras fases que impactan posteriormente en la densidad poblacional adulta.

Los resultados obtenidos se deben siempre entender en términos probabilísticos y las decisiones que se tomen a raíz de su análisis estarán sujetas a un determinado riesgo. El comportamiento de una población lleva implícita una serie de procesos poblacionales que deben de ser considerados, fecundidad, mortalidad y supervivencia, dispersión.

Éstos emplean el conocimiento de valores y vectores propios para distintas etapas del desarrollo del método, ya que el estudio de un determinado grupo en relación a la cantidad de elementos que tiene, no implica únicamente establecerlo en un tiempo determinado, por el contrario, se necesita analizar el comportamiento continuo que se tiene.

Lo que se realiza en el método de Leslie, es observar el comportamiento del vector mientras transcurre el tiempo en intervalos determinados, haciendo observaciones en tiempos discretos.

El modelo de Leslie requiere que la duración entre dos tiempos consecutivos de observación sea igual a la duración de los intervalos de edad. Por tanto, cada hembra de la clase $(i + 1)$ en el tiempo t_{k+1} , en el tiempo anterior estuvieron en la clase anterior, i.e. en t_k estuvieron en la clase (i) y así sucesivamente; suponiendo que no hay nacimientos ni defunciones.

Ya que establecer que no existen nacimientos ni defunciones como hipótesis implicaría un margen de error mayor, se establecen parámetros demográficos para estas situaciones:

- El promedio de número de hijas que tiene una hembra en cada clase se denota como a_i donde el subíndice indica la clase. ($i = 0,1,2, \dots, n$)
- Y a la fracción de hembras que se espera que pasen a la siguiente clase b_i , donde el subíndice indica la clase anterior a la que se quiere analizar si se pasa o no. ($i = 0,1,2, \dots, n - 1$)

De lo anterior, se tiene que $a_i \geq 0$ y que $0 < b_i \leq 1$. Sabiendo que $b_i \neq 0$, ya que siempre se tendrá que al menos una hembra pasará a la siguiente clase; y la definición de a_i garantiza que siempre habrán nacimientos; lo cual concuerda con las situaciones que ocurren en la naturaleza sin importar el grupo analizado.

El número de hembras de la primera clase en el tiempo t_k vendrá dado, únicamente por las nacidas entre los tiempos t_{k+1} y t_k .

Se puede escribir, $x_1(k) = a_1x_1(k-1) + a_2x_2(k-1) \dots + a_nx_n(k-1)$. Por otro lado, el número de hembras en la clase de orden $i + 1$ con $i = 0,1,2, \dots, n - 1$; en el tiempo t_k es igual al número de hembras de la clase de orden i en el tiempo t_{k+1} que todavía están vivas en el tiempo t_k .

En notación matricial se tiene que:

$$\begin{pmatrix} x_1(k) \\ x_2(k) \\ \vdots \\ \vdots \\ x_n(k) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} a_1 & a_2 & \cdots & a_{n-1} & a_n \\ b_1 & 0 & \cdots & 0 & 0 \\ 0 & b_2 & \cdots & 0 & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ 0 & 0 & \cdots & b_{n-1} & 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x_1(k-1) \\ x_2(k-1) \\ \vdots \\ \vdots \\ x_n(k-1) \end{pmatrix}$$

Escribiendo la matriz de una forma vectorial:

$$x(k) = Lx(k - 1) = L^k x(0)$$

Donde L será la denominada matriz de Leslie:

$$L = \begin{pmatrix} a_1 & a_2 & \cdots & a_{n-1} & a_n \\ b_1 & 0 & \cdots & 0 & 0 \\ 0 & b_2 & \cdots & 0 & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ 0 & 0 & \cdots & b_{n-1} & 0 \end{pmatrix}$$

Empleando este método matricial al conocer la distribución inicial, se puede determinar la distribución de hebras para cualquier tiempo t_i . La aplicación de los vectores y valores propios se da, ya que no es suficiente estimar para diversos tiempos la cantidad de elementos de la población, porque esto no constituye mayor aporte, sino es necesario encontrar un comportamiento de la población estudiada, para lo cual se trabaja con los valores y vectores propios de la matriz de Leslie "L".

Se obtienen los valores propios mediante el polinomio característico de la matriz. De estudios obtenidos anteriormente en el análisis de la matriz de Leslie, se tiene que:

$$P(\lambda) = |L - \lambda I| = \begin{vmatrix} a_1 - \lambda & a_2 & \cdots & a_{n-1} & a_n \\ b_1 & -\lambda & \cdots & 0 & 0 \\ 0 & b_2 & \cdots & 0 & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ 0 & 0 & \cdots & b_{n-1} & -\lambda \end{vmatrix} = 0$$

De esto el polinomio característico de la matriz L es:

$$\lambda^n - a_1\lambda^{n-1} - a_2b_1\lambda^{n-2} - a_3b_1b_2\lambda^{n-3} - \dots - a_nb_1b_2 \dots b_{n-1} = 0$$

Para lograr resolver esta ecuación se emplea una ecuación auxiliar $q(\lambda)$.

$$q(\lambda) = \frac{a_1}{\lambda} + \frac{a_2b_1}{\lambda^2} + \frac{a_3b_1b_2}{\lambda^3} + \dots + \frac{a_nb_1b_2 \dots b_{n-1}}{\lambda^n}$$

De donde: $P(\lambda) = 0$ es equivalente a $q(\lambda) = 1$, entonces analizando la ecuación $q(\lambda)$ se analiza también el comportamiento de la ecuación del polinomio de la matriz.

$q(\lambda)$ decrece para los valores $\lambda > 0$,

Si $0 < \lambda_1 < \lambda_2 \rightarrow q(\lambda_2) < q(\lambda_1)$.

$$\lim_{\lambda \rightarrow 0} q(\lambda) = +\infty$$

$$\lim_{\lambda \rightarrow \infty} q(\lambda) = 0$$

De esto la matriz de Leslie tiene un único valor propio positivo para el cual $q(\lambda) = 1$, por lo que su polinomio característico tiene una única raíz. De la definición de valor propio, se puede obtener el vector propio asociado a λ_1 ; siendo este:

$$v_1 = \left(1, \frac{b_1}{\lambda_1}, \frac{b_1b_2}{\lambda_1^2}, \frac{b_1b_2b_3}{\lambda_1^3}, \dots, \frac{b_1b_2 \dots b_{n-1}}{\lambda_1^{n-1}} \right)$$

Si λ_1 es el único valor propio positivo de una matriz de Leslie L y si λ_i es cualquier otro valor propio (real o complejo) de L, entonces: $|\lambda_i| \leq \lambda_1$.

Por lo tanto, si la población femenina tiene dos clases de edad fértil sucesivas, entonces la matriz de Leslie correspondiente tiene un valor propio positivo dominante. Si los intervalos analizados son suficientemente pequeños sucederá siempre. Dados los análisis de la matriz y las ecuaciones de predicción encontradas anteriormente puesto que v_1 es el vector propio dominante se tiene que:

$$x(k) \cong \lambda^k x(0)$$
$$x(k) \cong \lambda x(k - 1)$$

Para valores grandes de tiempo, cada vector de la distribución de las edades es un múltiplo escalar de la distribución inmediatamente anterior, siendo esta constante el valor propio positivo dominante de la matriz de Leslie.

Y la proporción de hembras en cada una de las clases será constante, siendo las clases consideradas en la especie los estados de la mosca, larva, pupa y adulto.

Este modelo tiene sus bases en el modelo más simplista de análisis de dinámica de poblaciones, el Modelo Geométrico Escalar, que consiste en suponer que la población de determinada especie varía con velocidad constante, correspondiendo en forma general a una progresión geométrica; lo cual numéricamente no significa un gran apoyo, ya que se tendría que efectuar múltiples veces para encontrar información que realmente fuese valiosa.

Para evitar las complicaciones innecesarias del Modelo Geométrico Escalar, se desarrolló el Modelo Geométrico Matricial que, si bien es cierto posee algunas limitaciones, ayuda a efectuar un mejor análisis de las poblaciones. Este modelo implica ciertos aspectos iniciales que se deben de considerar en cualquier grupo estudiado, como:

El número de hembras y machos de la especie analizada es el mismo.

$p_{j,n-1}$ denota la cantidad de hembras jóvenes en el tiempo $n - 1$.

$p_{a,n-1}$ denota la cantidad de hembras adultas en el mismo período.

α denota el número de hembras jóvenes que sobreviven para llegar a la madurez.

k el número de nacimientos (únicamente se toman en cuenta las crías hembras).

β el número de adultas que sobreviven al siguiente período de estudio.

Los datos anteriores pueden ser descritos por medio de un modelo discreto de ecuaciones diferenciales de primer orden, de la siguiente manera:

$$p_{j,n} = kp_{a,n-1}.$$

$$p_{a,n} = \alpha p_{j,n-1} + \beta p_{a,n-1} \text{ o escrito en forma matricial;}$$

$$p_n = Ap_{n-1}; p_n = \begin{bmatrix} p_{j,n} \\ p_{a,n} \end{bmatrix}; A = \begin{bmatrix} 0 & k \\ \alpha & \beta \end{bmatrix}; p_0 = \begin{bmatrix} p \\ q \end{bmatrix} \text{ donde } p = p_{j,0}, q = p_{a,0}$$

Utilizando las bases del Modelo Geométrico Escalar, se tiene que:

$$p_n = A^n p_0$$

Ya que se tiene una matriz A que afecta la dinámica de la población, analizando los valores propios de ésta, utilizando el método para matrices 2×2 se tiene:

$$\lambda_1 = \frac{\beta + \sqrt{\beta^2 + 4k\alpha}}{2}, \lambda_1 > 0$$

$$\lambda_2 = \frac{\beta - \sqrt{\beta^2 + 4k\alpha}}{2}, \lambda_2 < 0$$

De las hipótesis, $0 < \alpha, \beta > 1, k > 0$ entonces se asegura que los valores propios son escalares reales y distintos, por lo que la matriz es diagonalizable, de donde:

$$A = PDP^{-1} \text{ siendo } P = \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ \frac{\lambda_1}{k} & \frac{\lambda_2}{k} \end{bmatrix} \text{ y } D = \begin{bmatrix} \lambda_1 & 0 \\ 0 & \lambda_2 \end{bmatrix}, \text{ por tanto:}$$

$$A^n = PD^nP^{-1} = \frac{1}{\frac{\lambda_2}{k} - \frac{\lambda_1}{k}} \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ \frac{\lambda_1}{k} & \frac{\lambda_2}{k} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \lambda_1^n & 0 \\ 0 & \lambda_2^n \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \frac{\lambda_2}{k} & -1 \\ -\frac{\lambda_1}{k} & 1 \end{bmatrix}$$

Ya que $p_n = A^n p_0$, entonces:

$$p_n = \left\{ \left(p \frac{\lambda_2}{k} - q \right) \left(\frac{\lambda_1}{k} + 1 \right) \lambda_1^n - \left(p \frac{\lambda_1}{k} - q \right) \left(\frac{\lambda_2}{k} + 1 \right) \lambda_2^n \right\}$$

En cualquier tiempo n , para una población que cumpla, al menos en su mayoría con las hipótesis establecidas. Es posible estudiar qué es lo que ocurrirá a largo plazo cuando $n \rightarrow \infty$, analizando bajo qué condiciones las poblaciones se estabilizaran, extinguirán o crecerán indefinidamente.

$$\text{Denotando } a_1 = \frac{1}{\frac{\lambda_2}{k} - \frac{\lambda_1}{k}} \left(p \frac{\lambda_2}{k} - q \right), a_2 = \frac{1}{\frac{\lambda_2}{k} - \frac{\lambda_1}{k}} \left(q - p \frac{\lambda_1}{k} \right) \text{ y } v_1 = \begin{bmatrix} 1 \\ \frac{\lambda_1}{k} \end{bmatrix}, v_2 = \begin{bmatrix} 1 \\ \frac{\lambda_2}{k} \end{bmatrix},$$

Como los valores propios son reales de distinto signo, $\lambda_1 = |\lambda_1| > |\lambda_2|$, es decir, λ_1 es un valor propio dominante, de donde: $p_n \cong a_1 \lambda_1^n v_1$, para un n muy grande. Esto indica que a largo plazo, el comportamiento de la población se encuentra en función del valor propio dominante de la matriz de condiciones iniciales; es decir, a largo plazo la distribución de edades se estabiliza, y el Modelo Geométrico Escalar se aproxima al Modelo Geométrico Matricial.

Considerando la teoría de algebra lineal denotada anteriormente y la información obtenida por medio de la recopilación documental mencionada en el presente documento es posible realizar una aproximación inicial de la matriz de Leslie que permita analizar la densidad poblacional de la plaga.

Se analiza la relación entre los diversos estados de la mosca y su relación con los estados anteriores, logrando con esto determinar la matriz de Leslie que permita estimar el cambio en las poblaciones de un área determinada para un período t, dado que el comportamiento de la plaga se da de la siguiente forma:

$$H_{t+1} = a A_t ; L_{t+1} = b H_t ; A_{t+1} = c L_t$$

Dado que la longitud de los estados no es constante deben considerarse las diferencias entre un estado y otro, así como la relación que presentan según análisis previos en relación a la proporción de elementos que pasan de un estado a otro.

Por otro lado, en el caso de la adherencia de machos estériles se emplea el modelo de Knipling cuyo valor crítico S^* se encuentra asumiendo que la población está sujeta a un estado estable por los machos estériles, con lo que $F_{t+1} = F_t$, resolviendo para S = elementos estériles a incluir, entonces $S^* = (\lambda - 1)M$. Con lo que la tasa de agregación para la erradicación es:

$$\varphi = \frac{S}{M} = \lambda - 1$$

Considerando que no sólo estarán presentes los machos estériles, se debe tener presente que los éstos deben poseer condiciones para competir con los machos nativos. Definiendo c como un coeficiente de competitividad de machos estériles, con lo que el equilibrio de la población está dado por:

$$F_{t+1} = \lambda F_t \left(\frac{F_t}{cS + F_t} \right)$$

Modelo cuyo estado estable se alcanza cuando $F = M = 0$ entonces $S > 0$. El valor crítico es entonces $S^* = (\lambda - 1)F/c$. Agregando la posibilidad de migraciones I tanto de hembras como de machos:

$$F_{t+1} = \lambda(F_t + I) \frac{(F_t + I)}{(F_t + I + cS)}$$

2.3.2.1. Erradicación de la plaga por medio de minimización de acciones de aspersión e implementación de otros métodos

Si se mantiene la población y las aspersiones de cebos fueran 100% eficaces para matar los adultos, una serie aspersiones podría ser capaz de erradicar la población de la plaga sin utilizar los demás métodos de control.

Sin embargo, este no es el caso de lo que sucede en la realidad al aplicar el método. Por lo general, hay adultos que no son afectados por los aerosoles porque están bajo hojas, en los agujeros, son resistentes, o de otro modo inaccesibles a la acción del insecticida. Es útil conocer la efectividad aproximada de cada pulverización, con el fin de no perder de vista el tamaño probable de la población después de cada aplicación, por lo que para determinar la cantidad óptima en el uso del método de aspersión y con esto reducir los impactos generados por la aspersión así como reducir el consumo de energía en los procesos involucrados.

Combinando las soluciones de los estados estables para el modelo de Leslie, la efectividad del cebo de la aspersión y la solución de estado estable para el Modelo de Knipling es posible definir la información que debe poseerse para optimizar los recursos y reducir el empleo de las aspersiones de modo que

la población restante pueda ser atacada por medio del método autocida y lograr una reducción progresiva de la plaga.

Posteriormente, se tendrá únicamente que recalcar las medidas de control mecánico y se deberá de lograr una reducción en el control legal, disminuyendo con esto el empleo del bromuro de metilo, al reducir significativamente los puestos de control dado que las áreas libres aumentarán considerablemente.

3. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

El trabajo realizado en el país por el programa implica una serie de métodos y con ello gastos en equipo, personal operativo, personal administrativo, instalaciones, entre otros, por lo cual resulta importante contrastar la magnitud de recursos empleados en comparación con la importancia económica de la erradicación de la plaga en Guatemala.

Tabla XII. **Análisis de importancia económica**

ACTIVIDADES ECONÓMICAS	Agricultura, ganadería, caza, silvicultura y pesca	Cultivo de Café	Cultivo de Banano	MAGA	USDA	SAGARPA	TOTAL PRESUPUESTO
2006	25,890.3	3,677.0	2,390.3	20.7	161.1	23.1	204.8
2007	29,975.7	4,277.0	2,976.2	24.2	134.3	28.0	186.5
2008	32,991.1	4,850.8	3,166.1	20.7	163.1	34.9	218.7
2009	35,902.1	4,742.7	4,029.3	16.5	143.0	20.2	179.8
2010	36,821.3	5,548.8	3,505.9	20.9	151.0	76.7	248.6
2011	41,088.7	6,919.9	4,265.9	17.3	127.2	22.5	166.9

Fuente: elaboración propia, con datos de BANGUAT y Programa MOSCAMED, 2011.

Para el análisis se empleó el tipo de cambio promedio obtenido de la compra promedio ponderado del mercado institucional de divisas para cada año, publicado por el Banco de Guatemala, cantidades en millones de quetzales.

Dada la importancia económica de la permanencia del programa, es necesario mantener una mejora constante en los procedimientos empleados, por lo que por medio de la información proporcionada por el programa, tanto en la fase de detección como en la fase de erradicación, se presenta el análisis de comparación de resultados contra los procedimientos empleados.

Se analiza correlación lineal por medio del índice de correlación de Pearson, el cual se emplea para medir el grado de relación de dos variables siempre y cuando ambas sean cuantitativas. El valor del índice varía en el intervalo $[-1,1]$, donde:

- Si $r = 1$, existe una correlación positiva perfecta, por medio de una relación directa, lo que implica que cuando una de ellas aumenta, la otra también lo hace en alguna proporción.
- Si $0 < r < 1$, existe una correlación positiva.
- Si $r = 0$, no existe relación lineal, con lo que pueden existir todavía relaciones no lineales entre las dos variables, por lo que podría optarse por analizar el comportamiento de las variables y generar regresiones con tendencia logarítmica, exponencial o polinomial.
- Si $-1 < r < 0$, existe una correlación negativa.
- Si $r = -1$, existe una correlación negativa perfecta con lo que se tiene una relación inversa.

En los casos en que no se logró obtener ninguna relación lineal, se analizan de igual forma otras curvas, para poder estimar el comportamiento de los datos.

- CONTRASTE DE DATOS DE QUÍMICO EMPLEADO EN RELACIÓN A LAS MOSCAS FÉRTILES

Tabla XIII. **Resultados análisis SPSS, correlación, colinealidad y regresión lineal**

Correlaciones			
		QUÍMICO	FÉRTILES
Correlación de Pearson	QUÍMICO	1	0.491
	FÉRTILES	0.491	1
Sig. (unilateral)	QUÍMICO	.	0.052
	FÉRTILES	0.052	.
N	QUÍMICO	12	12
	FÉRTILES	12	12

Estadísticos descriptivos			
	Media	Desviación estándar	N
QUÍMICO	119.82	99.222	12
FÉRTILES	190585.7	237162.8	12

Resumen del modelo						
Modelo	R	R^2	R^2 ajustado	Error estándar de la estimación	Estadísticos de cambio	
					Cambio en R^2	Cambio en F
1	.491 ^a	0.241	0.166	90.633	0.241	3.184

Resumen del modelo				
Modelo	Estadísticos de cambio			
	gl1	gl2	Sig. Cambio en F	
1	1	10	0.105	1.661

ANOVA						
Modelo		Suma de cuadrados	GI	Media cuadrática	F	Sig.
1	Regresión	26150.97	1	26150.97	3.184	.105 ^b
	Residuo	82143.53	10	8214.353		
	Total	108294.5	11			

Coeficientes						
Modelo		95.0% intervalo de confianza para B		Correlaciones		
		Límite inferior	Límite superior	Orden cero	Parcial	Parte
1	(Constante)	4.533	156.751			
	FÉRTILES	0	0	0.491	0.491	0.491

Coeficientes			
Modelo		Estadísticas de colinealidad	
		Tolerancia	VIF
1	(Constante)		
	FÉRTILES	1	1

Diagnósticos de colinealidad					
Modelo	Dimensión	Autovalor	Índice de condición	Proporciones de varianza	
				(Constante)	FÉRTILES
1	1	1.643	1	0.18	0.18
	2	0.357	2.145	0.82	0.82

Fuente: elaboración propia, datos MOSCAMED.

- RELACIÓN DE VARIABLES: MOSCAS FÉRTILES, ÁREA MUESTREADA Y TRAMPAS COLOCADAS

Tabla XIV. **Resultados análisis SPSS, correlación, colinealidad y regresión lineal**

Estadísticos descriptivos			
	Media	Desviación estándar	N
FÉRTILES	190585.7	237162.8	12
ÁREA	58955.08	5235.512	12
TRAMPAS	12153.67	3022.588	12

Correlaciones				
		FÉRTILES	ÁREA	TRAMPAS
Correlación de Pearson	FÉRTILES	1	0.378	0.014
	ÁREA	0.378	1	0.683
	TRAMPAS	0.014	0.683	1
Sig. (unilateral)	FÉRTILES	.	0.113	0.483
	ÁREA	0.113	.	0.007
	TRAMPAS	0.483	0.007	.
N	FÉRTILES	12	12	12
	ÁREA	12	12	12
	TRAMPAS	12	12	12

Resumen del modelo						
Modelo	R	R^2	R^2 ajustado	Error estándar de la estimación	Estadísticos de cambio	
					Cambio en R^2	Cambio en F
1	.505 ^a	0.255	0.089	226365	0.255	1.537

Resumen del modelo				
Modelo	Estadísticos de cambio			
	gl1	gl2	Sig. Cambio en F	
1	2	9	0.266	1.399

ANOVA						
Modelo		Suma de cuadrados	Gl	Media cuadrática	F	Sig.
1	Regresión	1.58E+11	2	7.88E+10	1.537	.266 ^b
	Residuo	4.61E+11	9	5.12E+10		
	Total	6.19E+11	11			

Coeficientes						
Modelo		Coeficientes no estandarizados		Coeficientes estandarizados	t	Sig.
		B	Error estándar	Beta		
1	(Constante)	-1217605	844230.7		-1.442	0.183
	ÁREA	31.289	17.852	0.691	1.753	0.114
	TRAMPAS	-35.91	30.921	-0.458	-1.161	0.275

Coeficientes						
Modelo		95.0% intervalo de confianza para B		Correlaciones		
		Límite inferior	Límite superior	Orden cero	Parcial	Parte
1	(Constante)	-3127387	692178.1			
	ÁREA	-9.094	71.672	0.378	0.504	0.504
	TRAMPAS	-105.859	34.039	0.014	-0.361	-0.334

Coeficientes			
Modelo		Estadísticas de colinealidad	
		Tolerancia	VIF
1	(Constante)		
	ÁREA	0.533	1.875
	TRAMPAS	0.533	1.875

Diagnósticos de colinealidad						
Modelo	Dimensión	Autovalor	Índice de condición	Proporciones de varianza		
				(Constante)	ÁREA	TRAMPAS
1	1	2.968	1	0	0	0
	2	0.03	9.998	0.06	0.01	0.62
	3	0.002	35.687	0.94	0.99	0.38

Estadísticas de residuos					
	Mínimo	Máximo	Media	Desviación estándar	N
Valor pronosticado	28658.11	390539	190585.7	119673.2	12
Residuo	-287936	411928.1	0	204754.9	12
Valor pronosticado estándar	-1.353	1.671	0	1	12
Residuo estándar	-1.272	1.82	0	0.905	12

Coeficientes						
Modelo		95.0% intervalo de confianza para B		Correlaciones		
		Límite inferior	Límite superior	Orden cero	Parcial	Parte
1	(Constante)	-3127387	692178.1			
	TRAMPAS	-105.859	34.039	0.014	-0.361	-0.334
	ÁREA	-9.094	71.672	0.378	0.504	0.504

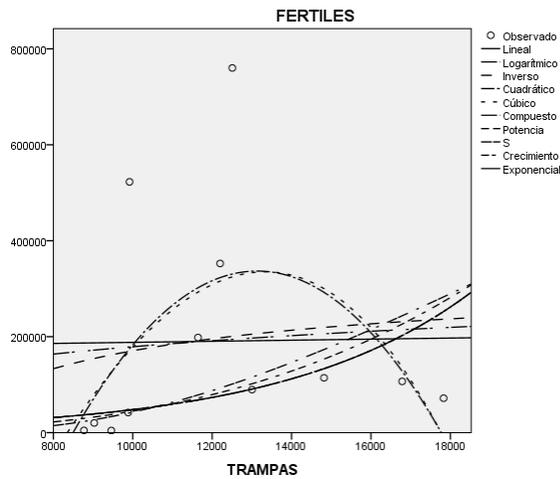
Diagnósticos de colinealidad						
Modelo	Dimensión	Autovalor	Índice de condición	Proporciones de varianza		
				(Constante)	TRAMPAS	ÁREA
1	1	2.968	1	0	0	0
	2	0.03	9.998	0.06	0.62	0.01
	3	0.002	35.687	0.94	0.38	0.99

Estadísticas de residuos					
	Mínimo	Máximo	Media	Desviación estándar	N
Valor pronosticado	28658.11	390539	190585.7	119673.2	12
Residuo	-287936	411928.1	0	204754.9	12
Valor pronosticado estándar	-1.353	1.671	0	1	12
Residuo estándar	-1.272	1.82	0	0.905	12

Fuente: elaboración propia, datos MOSCAMED.

- RELACIÓN DE VARIABLES: TRAMPAS EMPLEADAS Y MOSCAS FÉRTILES ENCONTRADAS

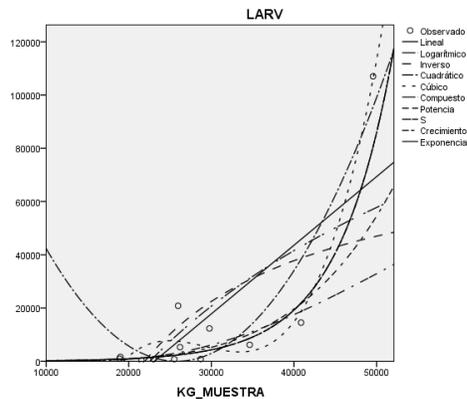
Figura 25. Relación gráfica de datos reales contra modelación



Fuente: elaboración propia, datos MOSCAMED.

- RELACIÓN DE VARIABLES: LARVAS Y KG. DE FRUTA MUESTREADA

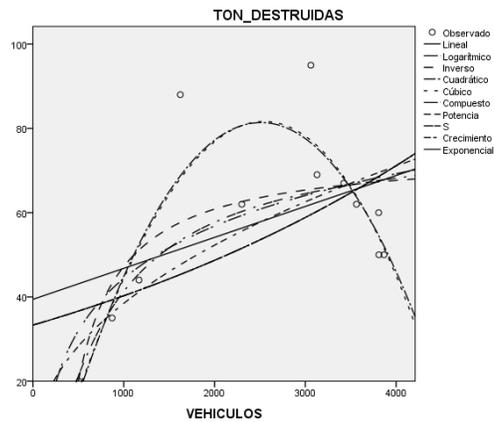
Figura 26. Relación gráfica de datos reales contra modelación.



Fuente: elaboración propia, datos MOSCAMED.

- RELACIÓN DE VARIABLES: TONELADAS DESTRUIDAS CONTRA VEHÍCULOS

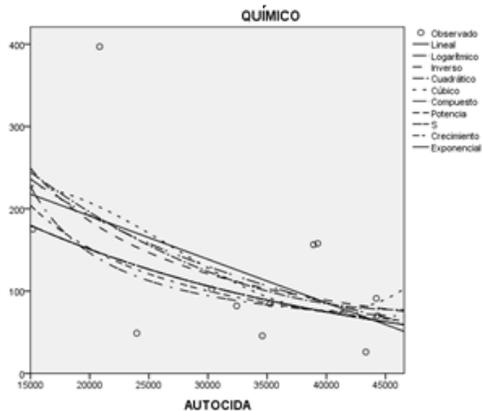
Figura 27. Relación gráfica de datos reales contra modelación



Fuente: Elaboración propia, datos MOSCAMED.

- RELACIÓN DE VARIABLES: MÉTODO QUÍMICO CONTRA APLICACIÓN DE MÉTODO AUTOCIDA

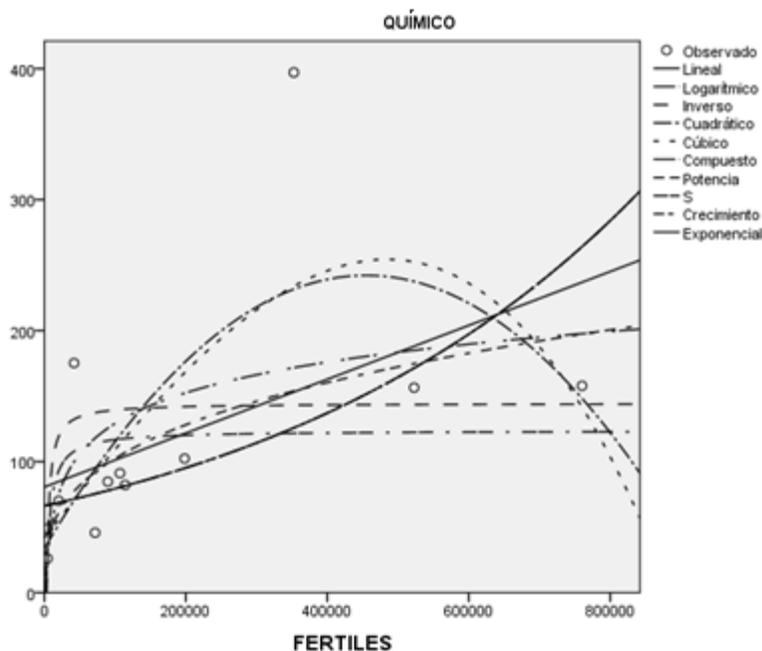
Figura 28. Relación gráfica de datos reales contra modelación



Fuente: elaboración propia, datos MOSCAMED.

- RELACIÓN DE VARIABLES: MÉTODO QUÍMICO CONTRA MOSCAS FÉRTILES ENCONTRADAS

Figura 29. **Relación gráfica de datos reales contra modelación**



Fuente: elaboración propia, datos MOSCAMED.

Aunque se analice el comportamiento de la plaga en forma general, así como la ejecución de los procedimientos, para optimizar los recursos y enfocar el esfuerzo en las regiones que presentan condiciones apropiadas para una infestación rápida que pueda por migración natural o por transporte de fruta contaminada culminar en la reincidencia de la plaga en regiones de baja prevalencia, se presenta por medio del análisis de datos históricos de las diferentes estaciones monitoreadas por INSIVUMEH, la siguiente clasificación según la vulnerabilidad de la región.

Tabla XV. **Clasificación de estaciones meteorológicas INSIVUMEH por región**

ESTACIÓN	DEPTO.	REGION
GUATEMALA	01	Región I
COBÁN	16	Región II
CUBULCO	15	Región II
PANZOS	16	Región II
SAN JERÓNIMO	15	Región II
CAMOTÁN	20	Región III
ESQUIPULAS	20	Región III
LA FRAGUA	19	Región III
LOS ALBORES	02	Región III
MARISCOS	18	Región III
MORAZÁN	02	Región III
PUERTO BARRIOS	18	Región III
ASUNCIÓN MITA	22	Región IV
MONTUFAR	22	Región IV
POTRERO CARRILLO	21	Región IV
SANTA ROSA	06	Región IV

ESTACIÓN	DEPTO.	REGION
PUERTO DE SAN JOSÉ	05	Región V
SABANA GRANDE	05	Región V
SAN MARTIN JILOTEPEQUE	04	Región V
SUIZA CONTENTA	03	Región V
TIQUISTATE ESCUINTLA	05	Región V
QUETZALTENANGO	09	Región VI
RETALHULEU	11	Región VI
SAN MARCOS	12	Región VI
SANTIAGO ATITLÁN	07	Región VI
TECÚN UMÁN	12	Región VI
CUILCO	13	Región VII
HUEHUETENANGO	13	Región VII
NEBAJ	14	Región VII
QUICHÉ	14	Región VII
FLORES	17	Región VIII

Fuente: elaboración propia, datos INSIVUMEH.

Tabla XVI. **Clasificaciones de vulnerabilidad**

REGION	V1	DESCRIPCION	Ip	Isg	Is	Veco	CATEGORIA	DESCRIPCION
Región I	1	Baja	1	0	1	1	1	No vulnerable
Región II	2	Media	2	1	2	6	2	Vulnerable
Región III	4	Muy Alta	2	3	2	10	3	Muy vulnerable
Región IV	3	Alta	2	2	2	8	3	Muy vulnerable
Región V	2	Media	2	1	2	6	2	Vulnerable
Región VI	3	Alta	1	2	1	3	1	No vulnerable
Región VII	3	Alta	1	2	1	3	1	No vulnerable
Región VIII	4	Muy Alta	1	3	1	4	2	Vulnerable

Fuente: elaboración propia, análisis de datos de INSIVUMEH y MOSCAMED.

Por otro lado, analizando los modelos que describen dinámica poblacional se presentan los modelos propuestos que permiten una descripción de utilidad para la ejecución del trabajo de campo empleado dentro del manejo integrado de la plaga, de acuerdo a las características específicas de la plaga:

- Modelo de Leslie

$$x(k) = Lx(k - 1) = L^k x(0)$$

Donde L será la denominada matriz de Leslie, en forma general:

$$L = \begin{pmatrix} a_1 & a_2 & \cdots & a_{n-1} & a_n \\ b_1 & 0 & \cdots & 0 & 0 \\ 0 & b_2 & \cdots & 0 & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ 0 & 0 & \cdots & b_{n-1} & 0 \end{pmatrix}$$

De acuerdo a los cálculos realizados y a la documentación consultada en relación al ciclo de vida de la mosca del mediterráneo, se tiene que la matriz de Leslie a emplear es:

$$L = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 84.09 \\ 0.645 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0.48 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0.366 & 0 \end{pmatrix}$$

De donde los valores propios son:

1.756936780221568 , -1.756936780221568 , 1.756936780221568 i , -1.756936780221568 i

- Modelo de Knipling

Para el modelo de Knipling, el equilibrio de la población está dado por:

$$F_{t+1} = \lambda F_t \left(\frac{F_t}{cS + F_t} \right)$$

El valor crítico es $S^* = (\lambda - 1)F/c$. Considerando las migraciones I tanto de hembras como de machos:

$$F_{t+1} = \lambda(F_t + I) \frac{(F_t + I)}{(F_t + I + cS)}$$

Si la migración se da posterior al apÁREAmiento, la ecuación se transforma en:

$$F_{t+1} = \frac{\lambda F_t^2}{(F_t + cS) + \lambda I}$$

4. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Analizando los principales productos de Guatemala para 2013, se tiene que más del 50% de los productos de mayor importancia son afectados por la plaga, siendo el impacto en las frutas del 100%, la actividad económica en la que se incluyen estos productos representa en el producto interno bruto (en millones de quetzales) un ingreso importante, y analizando únicamente la producción de banano y café estas representan claramente un valor mayor a los gastos presentados en la estimación del presupuesto para los años analizados, mostrando la importancia económica de mantener la vigencia del programa, así como de mejorar los procedimientos actualmente empleados.

Dada la importancia económica del programa, es necesario tanto enfocarse en el empleo adecuado de los recursos para optimizar el empleo de equipo, y en forma paralela a esto reducir los impactos ambientales de las aspersiones, que como se presenta en el desarrollo de la investigación es el método que afecta en mayor medida el entorno de la ejecución del programa.

Por otro lado, aunque el Programa se desarrolle mediante un avance delimitado por las áreas de trabajo y enfocado inicialmente en el departamento de Petén, debido a los convenios internacionales de donde se fundamenta con el fin de mantener el control de la plaga de modo que esta no migre a México y afecte áreas tratadas y consideradas como libres en dicho país, el análisis de vulnerabilidad que considera las variables que condicionan favorablemente a la plaga presenta indicios de que precisamente dicha región resulta de alta vulnerabilidad.

Identificar las regiones propensas a sufrir una fuerte infección de la plaga implica una reducción en las pérdidas económicas debidas a cuarentena, logrando mediante esto tratar la problemática antes de que las consecuencias de la omisión de dichas áreas dentro del análisis supere los límites que afectan a nivel económico las áreas afectadas.

Debe entonces tomarse en cuenta que regiones que aún no se han tratado o que se encuentran dentro de las áreas de monitoreo presentan alta vulnerabilidad al considerar, tanto las condiciones ambientales como la sensibilidad debida al cultivo de varios hospederos de la plaga, así como la ausencia de consideraciones de protección, específicamente en el caso de la región oriental.

Se analizaron datos históricos del programa para generar herramientas para la toma de decisiones empleando teoría estadística, bajo esta metodología al analizar la cantidad de químico asperjado en contraste con la cantidad de moscas fértiles encontradas, tratando de definir la magnitud de producto a utilizar según la población para la cual se desea emplear el método de aspersión, se determinó que las variables presentan correlación positiva, la cual se considera significativa.

Debido a la cantidad de datos analizados, las desviaciones tanto de litros de ingrediente activo como de moscas fértiles encontradas en relación al área muestreada resulta mayor al promedio de las variables con lo que se obtiene un coeficiente de variación que refleja alta dispersión, por lo cual no es posible determinar apropiadamente un promedio de litros empleados.

Dadas las variaciones en el ingrediente activo así como en los métodos de aspersión, los datos no resultan apropiados para generar una relación, lo cual se ve reflejado en el valor de R^2 ajustado, donde se observa que el modelo lineal no explica apropiadamente el fenómeno, con lo que no es posible estimar por medio de la información analizada la cantidad de litros de ingrediente activo empleando únicamente el dato de moscas fértiles encontradas.

Por otro lado existe correlación significativa entre las trampas empleadas y el área a trabajar, siendo esta positiva. Los datos para ambas variables poseen desviaciones aceptables en relación al promedio, logrando coeficientes de variación de 25% en el caso de las trampas y menor al 10% en el caso del área trabajada, por lo que se procede a analizar en pares las variables estudiando los resultados para relaciones de tipo:

- Lineal
- Logarítmico
- Inverso
- Cuadrático
- Cúbico
- Potencia
- Exponencial

Sin considerar que existe una tendencia lineal, en el caso de las trampas empleadas y las moscas fértiles encontradas, como se puede observar en la figura 26 del apartado de presentación de resultados, el modelo que mejor se ajusta es el cuadrático, aunque no se encuentra un modelo de regresión que se pueda considerar como válido.

Por otro lado, la cantidad de larvas encontradas (denotada por y), posee relación con los kg de fruta muestreados (denotados por x), siendo esta una tendencia cúbica, presentando valor de R^2 de 0.98. Dado que este dato sobreestima la población, se analiza el R^2 corregido que provee de una estimación más adecuada siendo este 0.94, con lo que el modelo resultante es:

$$y(x) = (1.36 * 10^{-8})x^3 - 0.01x^2 + 34.02x - 310848.58$$

Se analiza el caso de los litros de químico a emplear (denotado por y) según las moscas fértiles encontradas (denotadas por x), para lo cual como se ve en la comparación de datos observados contra modelos, el modelo que mejor se ajusta es:

$$\ln(y) = 0.32 \ln(x) + 2.48$$

Dicho modelo presenta significancia de 0.005, lo cual indica que el modelo de regresión es válido, el R^2 para el modelo es 0.75, aunque no se posee información suficiente para rechazar la hipótesis nula que indica que el coeficiente constante es nulo, siendo necesario tomar dicha ecuación como un punto de partida, para posteriormente nutrir la base de datos y realizar nuevamente el análisis.

En el caso de la cantidad de fruta destruida en toneladas (denotada por y), en relación al total de vehículos inspeccionados (denotado por x), se encontraron los siguientes modelos:

$$y(x) = -(1.60 * 10^{-5})x^2 + 0.080x - 19.51$$

Con $R^2 = 0.86$, realizando ajuste para obtener una mejor estimación R^2 ajustado = 0.68.

$$\ln(y) = \frac{-668.21}{x} + 4.39$$

Con $R^2 = 0.83$, realizando ajuste para obtener una mejor estimación se obtiene $R^2_{\text{corregido}} = 0.65$.

Utilizando los modelos antes mencionados, será necesario para reducir el impacto generado por la aspersion así como la reducción en recursos, determinar la densidad población estimada que determine la mejor aproximación a la realidad y posteriormente emplear el modelo logarítmico propuesto y determinar los litros de activo a utilizar.

Se mantiene el énfasis en la necesidad de realizar una reducción inicial para implementar métodos de control alternos, ya que aún no se implementan métodos de control biológico, será necesario realizarlo por medio de aspersiones, tratando que esta sea específicamente a la población en función del tiempo específico de la aspersion, se emplea el modelo de Leslie.

Se determina una estimación fina para la población a tratar y con esto obtener la densidad poblacional para proceder a definir los litros de activo a asperjar y las condiciones de la aspersion.

Como se ha descrito anteriormente, una sola pulverización puede reducir efectivamente la población adulta a niveles muy bajos, pero suele aumentar rápidamente en los días siguientes a la pulverización con la emergencia de nuevos adultos de larvas y pupas si no se vieron afectados por el insecticida.

Por lo tanto, a menudo varias aspersiones, o un período prolongado de estaciones de cebo o trampeo masivo, tendrán que reducir el reservorio de reclutas desde las etapas juveniles, antes de la aplicación del método del insecto estéril, puede ser más eficaz.

Con el fin de estimar las velocidades de liberación y proporciones necesarias del SIT para ser eficaz, deben realizarse continuamente ajustes en la tasa de liberación, esto empleando la matriz de Leslie para determinar el crecimiento en la población para cada estado, partiendo de los datos expandidos del muestreo. Además, a largo plazo se puede pensar en que según el método tratado, se tiene que el análisis de los valores y vectores propios nos da un marco de evaluación de la especie estudiada a largo plazo determinando que:

$$\lim_{n \rightarrow +\infty} p_n = \lim_{n \rightarrow +\infty} a_1 \lambda_1^n v_1 = \begin{cases} 0 & \text{si } 0 < \lambda_1 < 1 \\ \begin{bmatrix} a_1 \\ \lambda_1 \\ a_1 \frac{\lambda_1}{k} \end{bmatrix} & \text{si } \lambda_1 = 1 \\ \begin{bmatrix} +\infty \\ +\infty \end{bmatrix} & \text{si } \lambda_1 > 1 \end{cases}$$

El primer caso indica la extinción de la especie, el segundo la estabilización y el último caso el crecimiento desmedido de la especie. Lo que resulta útil para el análisis general del comportamiento de la especie más no para determinar parámetros a emplear para los procedimientos de erradicación de la misma. Al agregar al análisis de la especie la ejecución de métodos previos que alteren la tasa de mortalidad natural se agregará a la tasa de mortalidad natural y con ello se obtienen los resultados de la población a tratar.

Analizando los datos de la matriz de Leslie planteada, se determina que dicha matriz como sus valores propios calculados corresponden únicamente a un punto de partida para posteriores análisis que deben realizarse al comprobar los cambios encontrados por medio del muestreo contra la información estimada, se observa que es necesario revisar los datos históricos correspondientes a las modificaciones en el ciclo de vida de la mosca, tomando en consideración que las tasas de mortalidad utilizadas corresponden a datos teóricos y que deben ser revisados contra ecuaciones que modelan dichas tasas en términos de la temperatura del área afectada.

Con relación a aspectos más inmediatos, para determinar los niveles de la variación poblacional para la aplicación del método autocida actualmente se calcula el índice MTD en cada una de las localidades usando la siguiente fórmula: $MTD = M / (T \times D)$, en donde: M= número de moscas capturadas; T= número de trampas utilizadas; D= número de días de exposición de la trampa, agregando a esto la estimación de los diferentes estados se permitirá una mejor planificación en cuanto a los otros métodos de control.

Según Manual de aspersión del Programa cuando los niveles registrados por el trampeo son altos y exceden de 0.05 MTD, se procede a modificar la población inicial a la que se pretende aplicar el método del insecto estéril, para lo cual se aplica el método de aspersión aérea de cebo alimenticio, obteniendo como resultado una reducción en la tasa de crecimiento de la plaga, tratando de disminuir la densidad poblacional a niveles donde sea posible aplicar método del insecto estéril.

Con lo que agregando a esto, el análisis de la proporción de insecto estéril que hace estable el modelo de Knipling, se logra evaluar un punto de equilibrio analizando en conjunto las tres condiciones, y posteriormente con el valor límite encontrado según las condiciones específicas de cada área debe de realizarse una estimación de la población inicial para determinar el valor crítico a aplicarse.

Considerando necesario un análisis constante de las densidades para optimizar los recursos, así como identificar de manera apropiada el punto límite para el cambio del método empleado se debe mantener claro que los valores se ajustan (aumentando o disminuyendo) semanalmente.

La gama de densidades de moscas estériles a fértiles es 500-6000 por hectárea, por lo que se mantiene la apertura a un estudio constante dado que la distribución de mosca del mediterráneo en la naturaleza se piensa que es irregular, ya que utiliza la distribución binomial negativa para determinar los efectos de la formación de grumos en el velocidad de liberación requerida de machos estériles para la erradicación y encontró que para $k = 0,25$ la tasa de liberación requerida fue cuatro veces mayor que para una población distribuida uniformemente.

La curva de k frente a la tasa de liberación estéril requerida, propuesta por Barclay (1992) es aproximadamente exponencial, con los lanzamientos estériles requeridas creciente a medida que aumenta en gran medida de agregación y k se hace muy pequeña. En la otra dirección, como k aumenta hacia el infinito, se aproxima a la distribución al azar, y la velocidad de liberación requerida no es mucho más que a partir del modelo Knipling. Cuando la distribución espacial es uniforme, la tasa de liberación requerida es exactamente el valor de estado estable del modelo Knipling.

Al reducir el empleo de aspersiones y encontrar el punto de equilibrio para la liberación de machos estériles, se logra reducir los posibles impactos en suelos debido a la absorción del químico, así como se reduce la posibilidad de contaminación de fuentes de agua debido a la escorrentía y de igual forma la evaporación del mismo.

Al poseer una mejor estimación de los elementos a incluir en el ecosistema se reduce el impacto ecológico a especies no objetivo, y considerando el factor por competitividad se mejora la reducción de la plaga logrando avances en las áreas de baja prevalencia, así como en las áreas de supresión, reduciendo la necesidad de monitoreo a vehículos y decomiso de frutas, de igual forma que al mejorar la difusión de los métodos mecánicos se deberá reducir la relación de vehículos inspeccionados y toneladas de fruta destruida.

Por otro lado, al poseer información relevante de los diversos estados de la mosca, en contraposición con los datos de correspondientes a humedad y temperatura se logra determinar la periodicidad de las aspersiones, para lograr una reducción inicial más efectiva.

La información obtenida a través de los modelos propuestos, así como el análisis estadístico logra obtenerse parámetros útiles para la planificación y ejecución de los procesos a desarrollar en el programa, se compara con los datos obtenidos sin tomar en cuenta la información específica del lugar y la evolución continua de la plaga, con lo que se determina que el estudio permite una optimizar el empleo de la aspersión.

Se alcanza un aporte social proporcionando un panorama general de los métodos de control y con ello dando apertura a la investigación de los diversos procedimientos empleados por el programa, logrando con ello difundir de forma clara información relevante para los pobladores de las regiones sujetas a los métodos de control.

Es necesario realizar trabajo multidisciplinario para poder profundizar en el tema, evaluar las herramientas propuestas y lograr con ello visualizar resultados beneficiosos a nivel social, reduciendo significativamente las aspersiones y tomando en consideración las medidas de mitigación, fomentando la apertura de apoyar el programa y de reducir los temores que se poseen en relación a las actividades realizadas.

CONCLUSIONES

1. Los procedimientos empleados en el manejo integrado de plaga dan inicio con la aspersión de producto plaguicida, cuyo compuesto activo es el spinosad, se ejecuta paralelamente el control etológico para evaluar los resultados de la aspersión, y según los resultados obtenidos se procede a la liberación de insecto estéril, además se mantiene control legal por medio de puestos de cuarentena, para regular el traslado de frutas procedentes de áreas infestadas.
2. Las consecuencias ambientales provocadas por el manejo integrado de la plaga son debido a la aspersión, generan contaminación en suelos y agua, aunque se considera que la toxicidad del producto va de leve a moderada, se posee riesgo de afectar especies y fuentes de agua, por lo que es sumamente importante diseñar buen drenaje, controlar el transporte y mantener apropiado tratamiento de los residuos.
3. El modelo matemático para describir la densidad poblacional de la plaga, previo a la aplicación del método de aspersión y determinar la población inicial $x(k)$ a tratar es el método de Leslie en el tiempo t_k

$$x(k) = Lx(k - 1) = L^k x(0)$$

Posteriormente, para determinar el ingrediente activo a asperjar, se plantea el modelo logarítmico $\ln(y) = 0.32 \ln(x) + 2.48$, donde y = litros de ingrediente activo, x = total de moscas fértiles estimadas; siendo necesario mejorar el ajuste al emplear retroalimentación con bases de datos actualizadas.

4. Para definir lineamientos específicos, en el caso del control etológico $y = (1.36 * 10^{-8})x^3 - 0.01x^2 + 34.02x - 310848.58$ donde, y =larvas, x = kg. de fruta muestreada y definir medidas en el control legal según datos de los puestos de cuarentena, empleando $y = -(1.60 * 10^{-5})x^2 + 0.080x - 19.51$, donde y =toneladas de fruta destruida, x =vehículos inspeccionados; así como el modelo de Knipling $F_{t+1} = \frac{\lambda F_t^2}{(F_t + cS) + \lambda I}$ para determinar la cantidad óptima de insecto estéril a liberar, para el cual, F_t es la cantidad de hembras fértiles en un tiempo t , λ es la tasa de crecimiento, c como un coeficiente de competitividad de machos estériles y S los elementos fértiles a incluir al medio.
5. Al implementar los modelos propuestos, se logrará determinar la cantidad de ingrediente activo a asperjar de acuerdo con la cantidad óptima de machos estériles a liberar, reduciendo los litros de activo utilizado, para lograr una optimización de recursos, así como disminución en la contaminación de suelos, aire y agua.

RECOMENDACIONES

1. Mantener vigentes los procedimientos de control del método de aspersión, analizando según la capacidad de liberación de insecto estéril contra la población estimada, empleando los modelos propuestos y determinar la proporción de insectos que deben de tratarse en una fase inicial por este método.
2. Realizar investigaciones donde se aplique inicialmente control biológico para realizar una reducción inicial, y para necesitar menor cantidad de aspersiones previo a la aplicación del método del insecto estéril.
3. Realizar análisis por región, de acuerdo con los datos estadísticos que se poseen en contraste con los resultados que se pueden obtener al adecuar la ecuación diferencial, que describe el comportamiento de la plaga, determinando un patrón de comparaciones para determinar de mejor forma la proporción de moscas a tratar, mediante el método autocida.
4. Divulgar los resultados de laboratorio obtenidos en el análisis del efecto del cebo empleado en el Programa MOSCAMED en la apicultura nacional, reduciendo con esto la problemática social de la aplicación de los métodos, para el control de la plaga.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Agencia de los Estados Unidos para el Desarrollo Internacional. Consorcio para la Protección Internacional de Cultivos, CICP. (1988) *Análisis del impacto ambiental del Programa MOSCAMED en Guatemala.*
2. CCD Steering Committee. (2009). *Colony Collapse Disorder Progress Report.*
3. Charlín, R. (1991). *La mosca de la fruta Ceratitis capitata.* Universidad de Chile. Chile. Pp. 41-47. Recuperado de: http://mazinger.sisib.uchile.cl/repositorio/ap/ciencias_agronomicas/c200616151lamoscadelafrutaceratiscapitata.pdf
4. Comisión MOSCAMED. (2002). *Estudio de Evaluación de Impacto Ambiental de las aspersiones aéreas de Success 0.02 CB para el control de la mosca del mediterráneo.*
5. Comisión Técnica Interinstitucional MARN, MSPAS, MAGA. *Informe Técnico Caso MOSCAMED.* Guatemala, 2011.
6. Delgadillo, S., Kú, R. y Vela, L. (2006). *Modelación matemática del control de plagas en un cultivo de brócoli.* Departamento de Matemáticas y Física, Universidad Autónoma de Aguascalientes. Aguascalientes, México.

7. Diéguez, S., Loya, JG. García, JL, et al. (2006) *Planeación y Organización del Muestreo y Manejo Integrado de Plagas en Agroecosistemas con un Enfoque de Agricultura Sostenible. Departamento de Agronomía UABCS, La Paz. México.*
8. Dierksmeyer, G. (2001). *Plaguicidas, residuos, efectos y presencia en el medio. La Habana, Cuba.*
9. Dirección Nacional de Prevención, Instituto Nacional de Defensa Civil. (2006) *Manual Básico para la Estimación del Riesgo.* Lima, Perú.
10. EPPO. (2006). *Distribution maps of quarantine pests for Europe. Ceratitis capitata. European and Mediterranean Plant Protection Organization.*
11. EPPO. (2009). *Ceratitis capitata in: EPPO A2 List of pests recommended for regulation as quarantine pests. Data Sheets on Quarantine Pests.*
12. Espinoza, J., Chulím, N. y Ramírez, J. (2006). *El Programa MOSCAMED en la región fronteriza México, Guatemala: Algunos factores asociados a su evolución y permanencia.* Ra Ximhai, mayo-agoto, año/vol.2, número 002. Universidad Autónoma Indígena de México. Pp. 435-447.

13. Fischbein, D. (2012). En Serie técnica: "Manejo Integrado de Plagas Forestales" Cambio Rural, Laboratorio de Ecología de Insectos INTA EEA Bariloche Villacide, Cuadernillo nº 15. *Introducción a la teoría del control biológico de plagas*. Ediciones Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. Río Negro, Argentina.
14. Franqui, R. (2003). Mosca del Mediterráneo (*Ceratitis capitata* Wiedemann). Puerto Rico: Departamento Cultivos y Ciencias Agroambientales, Colegio de Ciencias Agrícolas, Universidad de Puerto Rico.
15. Gómez, H. (2005). *Las moscas de la fruta*. [Boletín de Sanidad Vegetal 44]. Bogotá, Colombia: Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural.
16. Guzmán-Plazola, R. (2010). *Ficha técnica Ceratitis capitata (Wiedemann) Mosca del mediterráneo*. México: SAGARPA, SENASICA, SINAVEF.
17. Hernández, J. (2012). *La mosca del mediterráneo*. Recuperado 18 de enero 2014. Revista digital nova. Recuperado de: http://www.revistanova.org/index.php?option=com_content&view=article&id=50:mosca-del-mediterraneo&catid=35:ciencias-naturales&Itemid=143
18. Instituto de Hidráulica Ambiental, Universidad de Cantabria. (2012). *Análisis de Vulnerabilidad Taller "Metodología, Herramientas Y Bases de Datos para la Evaluación de los Impactos del Cambio Climático en Zonas Marino-Costeras de la Región de América Latina y Caribe"*.

19. Kerns, D. (2004). *La Mosca Del Mediterráneo Ceratitis capitata (Wiedemann)*. Arizona, Estados Unidos: The University Of Arizona College Of Agriculture And Life Sciences Tucson, Arizona. Recuperado de: ag.arizona.edu/pubs/insects/az1352S.pdf
20. Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente, Instituto de Hidráulica Ambiental. (2012). *Taller “Metodología, Herramientas y Bases de Datos para la evaluación de los impactos del cambio climático en zonas marino-costeras de la región de américa latina y caribe”*. Santander, España.
21. Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación, Dirección de Planeamiento. (2013). *El agro en cifras 2013*. Guatemala, Guatemala: MAGA.
22. Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación. Unidad de Normas y Regulaciones. (2000). *Efecto del Success 0.02 CB sobre las abejas*.
23. Morales, Pedro, Cermeli, Mario, Godoy, Freddy y Salas, Benigna. (2004). En Boletín de Entomología Venezolana Vol. 19. Lista de hospederos de la mosca del Mediterráneo *Ceratitis capitata* Wiedemann (Diptera: Tephritidae) basada en los registros del Museo de Insectos de Interés Agrícola del INIA – CENIAP. Pp. 51-54. Recuperado de: <http://www.bioline.org.br/pdf?em04004>.
24. Nicol, A. (2010). *Abejas y apicultura en el contexto ambiental de San Antonio Suchitepéquez*.

25. Picó, F.X. (2002) En Ecosistemas, revista científica y técnica de ecología y medio ambiente. Septiembre – Diciembre. Año XI, No. 3. *Desarrollo, análisis e interpretación de los modelos demográficos matriciales para la biología de conservación*. Nijmegen, Holanda.
26. Porras, L y Lecuona, R. (2008) En Agronomía Costarricense 32 (2). *Estudios de Laboratorio para el control de Ceratitis capitata (Wiedemann) con Beauveria bassiana*. (Pp. 119-128). Costa Rica.
27. Proyecto de Desarrollo de la Fruticultura y Agroindustria. (2010). *Evaluación de la problemática denunciada por la municipalidad y representantes de la sociedad civil de San Antonio Suchitepéquez*.
28. Programa Regional MOSCAMED Guatemala, México y Estados Unidos. (2006.) *Manual de aspersión para el control de la mosca del mediterráneo (Ceratitis capitata Wied.)*.
29. Programa Regional MOSCAMED Guatemala, México y Estados Unidos. (2009). *Manual de control de la mosca del mediterráneo (Ceratitis capitata Wied.) por el sistema del adulto frío*.
30. Programa MOSCAMED Guatemala. (2011). *Informe del Programa MOSCAMED a la comisión coordinada por el Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales*.
31. Programa Visión Rural. (2011) Mosca del mediterráneo MOSCAMED [Archivo de video]. Recuperado de:
<https://www.youtube.com/watch?v=LA4Z1u-uGZ0>

32. Regalado, A., Peralta, E. y González, C. (2008). *Ensayos Cómo hacer un modelo matemático*. Temas de Ciencia y Tecnología Volumen. 12, (2008, 35 mayo - agosto). Pp. 9 – 18.
33. Ros, J. P. (1990). En Bol. Sa. Veg. Plagas, 16. *Estudio de diferentes combinaciones de productos atrayentes en las pulverizaciones cebo contra C. capitata Wied.*
34. Ros, A., Castillo, C., Latorre, Moner, Sastre Y Wong. (1996). En Bol. San. Veg. Plagas, 22. *Ensayos para el control de la mosca mediterránea de la fruta Ceratitis capitata Wied. mediante técnicas que limiten los tratamientos insecticidas* (Pp. 703-710).
35. Samayoa, N. (2007). *Manejo y control de los inventarios a través de código de barras, en la comisión MOSCAMED*. Trabajo de Graduación de Ingeniero Industrial. Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala. Guatemala, Guatemala.
36. Samayoa, L. (2009). *Análisis de la legislación que regula el uso de los pesticidas o plaguicidas y efectos que produce en el medio ambiente Guatemalteco*. Trabajo de Graduación de Licenciada en Ciencias Jurídicas y Sociales. Facultad de Ciencias Jurídicas y Sociales, Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala, Guatemala.
37. San Andrés, V. (2007) *Estrategias para la Mejora del Control Autocida de Ceratitis capitata (Wiedemann) (Díptera: Tephritidae) en cítricos*. Tesis doctoral, Escuela Técnica Superior De Ingenieros

Agrónomos, Departamento De Biotecnología, Universidad Politécnica de Valencia.

38. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación e Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura. (2013). *Evaluación económica del Programa Moscamed en Guatemala y sus impactos en ese país, México, EE.UU y Belice*. México: IICA.
39. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación y Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria. (2012). *Manual del sistema de detección por trampeo de la mosca del mediterráneo (Ceratitis capitata Wied.), en Chiapas y Sur de Tabasco, México*. México.
40. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación y Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria. (2012). *Manual del sistema de detección por muestreo de frutos hospedantes de la mosca del mediterráneo (Ceratitis capitata Wied.), en Chiapas, México*. México
41. Sierra, J. (2001). *Detección de estados inmaduros de Ceratitis capitata y mosca negra de las frutas, mediante muestreo de frutas tomando como base la red de trampeo del programa MOSCAMED, en la sede técnica del municipio de Ixcán, departamento del Quiché*. Trabajo de Graduación de Ingeniero Agrónomo. Facultad de Agronomía, Universidad de San Carlos de Guatemala. Guatemala, Guatemala.

42. Sistema Nacional de Vigilancia Epidemiológica Fitosanitaria, Servicio Nacional de Sanidad Inocuidad y Calidad Agroalimentaria, Programa trinacional MOSCAMED y Universidad Autónoma de San Luis Potosí. (2011). *Reporte Epidemiológico 003 Mosca del Mediterráneo Ceratitis capitata*. México.
43. Sistema Nacional de Vigilancia Epidemiológica Fitosanitaria. (2009) *Desarrollo de Modelos de Pronóstico Multitemporal y Multivariado de Plagas Reglamentadas*. México.
44. Vargas, R y Rodríguez, S. (2007) *Dinámica de Poblaciones*. Perú.
45. Vela, L., Delgadillo, S. y Kú, R. (2006) *Modelación matemática del control de plagas en un cultivo de brócoli*. Revista Epígrafe, Revista del Depto. De Matemáticas y Física de la Universidad Autónoma de Aguascalientes.
46. Yin, X. (2011). *Informe de gestión ambiental y social (IGAS)*. México: Banco Interamericano De Desarrollo, Programa De Fortalecimiento De Bienes Públicos Rurales.

ANEXOS

ANEXO 1. Propiedades físicas Spinosad

<u>Estado</u> Sólido cristalino.	<u>Presión de vapor</u> spinosyn A = 2.4×10^{-10} mmHg spinosyn D = 1.6×10^{-10} mmHg
<u>Color</u> Gris claro a blanco.	<u>Punto de Fusión</u> spinosyn A: 84 - 99.5° C spinosyn D: 161.5 - 170° C
<u>Olor</u> Levemente a agua estancada	

<u>Solubilidad en agua</u>			<u>Octanol/Agua (Kow)</u>		
<u>pH</u>	<u>spinosyn A</u>	<u>spinosyn D</u>	<u>pH</u>	<u>spinosyn A</u>	<u>spinosyn D</u>
5.0	290 ppm	29 ppm	5.0	log P = 2.8	log P = 3.2
7.0	235 ppm	0.332 ppm	7.0	log P = 4.0	log P = 4.5
9.0	16 ppm	0.053 ppm	9.0	log P = 5.2	log P = 5.2
			D ₂ H ₂ O	log P = 3.9	log P = 4.4

Fuente: Dow Agro Sciences

ANEXO 2. Perfil toxicológico de Spinosad

Test	Spinosyn A LD50	Cypermethrin LD50	Abamectin LD50
Oral (rata mg/kg)	3783 - >5000	247	10.6 - 11.3
Dermal (conejo mg/kg)	>2000	>2000	--
Irritación dermal (conejo)	no irritante	irritación moderada	--
Oral aguda (pato mg/kg)	>2000	>10,000	84
Oral aguda (quail 96hr mg/kg)	>2000	--	2000
Aguda (trucha 96hr (mg/L))	30	0.025	0.0032
Aguda (carpa 96hr (mg/L))	96	0.0016	0.042
Aguda (<i>Daphnia</i> 48hr (mg/L))	96	0.0013	0.00034
Formulación	Tech.	Tech.	Tech.

Fuente: Dow Agro Sciences

ANEXO 3. Spinosad – Toxicología Humana

Simbolo	Categoría Toxicológica	Ingestión Oral Aguda	Absorción Dermal Aguda	Inhalación Aguda (4hr exp.)	Irritación ocular	Irritación Dermal
Peligro	Categoría I	LD ₅₀ hasta 50 mg/kg	LD ₅₀ hasta 200 mg/kg	LC ₅₀ hasta 0.05 mg/l	Daño en cornea persistente por mas de 21 días	Daño corrosivo en dermis
Cuidado	Categoría II	LD ₅₀ > 50 hasta 500 mg/kg	LD ₅₀ > 200 hasta 2,000 mg/kg	LC ₅₀ > 0.05 hasta 0.5 mg/l	Daño reversible en 8 - 21 días	Irritación severa a las 72 hs. Edema
Precaución	Categ. III	LD ₅₀ > 500 hasta 5,000 mg/kg	LD ₅₀ > 2,000 hasta 5,000 mg/kg	LC ₅₀ > 0.5 hasta 5 mg/l	Daño reversible en 7 días o menos	Moderada irritación a las 72 hs
Precaución	Categ. IV	LD ₅₀ > 5,000 mg/kg	LD ₅₀ > 5,000	LC ₅₀ > 5 mg/l	Efectos mínimos reversibles en menos de 24 hs	Leve irritación a las 72 hs

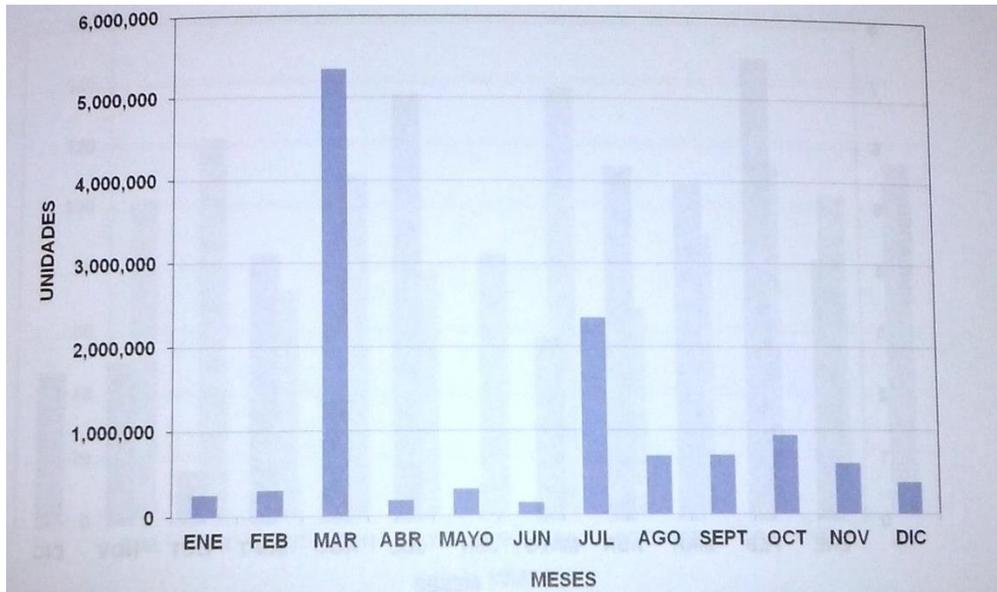
Fuente: Dow AgroSciences

ANEXO 4. Spinosad – Toxicología (Clasificación toxicológica, rangos de LD₅₀ y LC₅₀)

Clasificación Toxicológica	Simbolo Etiqueta	LD 50 Oral (mg/kg)	LD 50 Dermal (mg/kg)	LC 50 Inhalación (mg/L)
I	Peligro	<50	<200	<0.05
II	Cuidado	50 - 500	200 - 2,000	0.05 - 0.05
III	Precaución	500 - 5,000	2,000 - 20,000	>0.5
IV	Precaución	>5,000	>20,000	>5

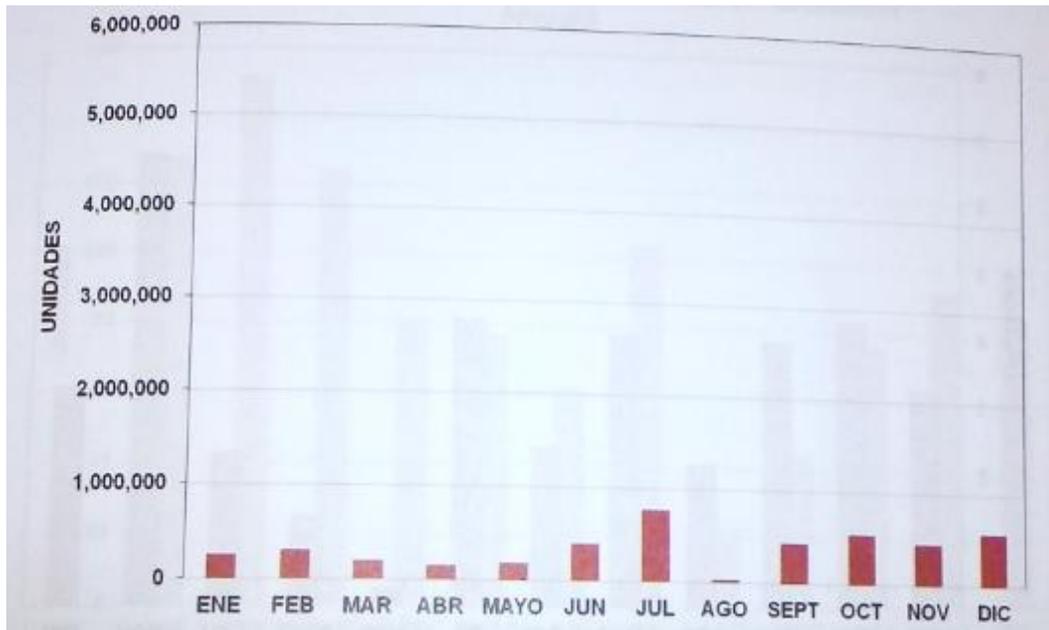
Fuente: Dow AgroSciences

ANEXO 5. Promedio de infestación de Noseamiasis en apiarios, año 2009



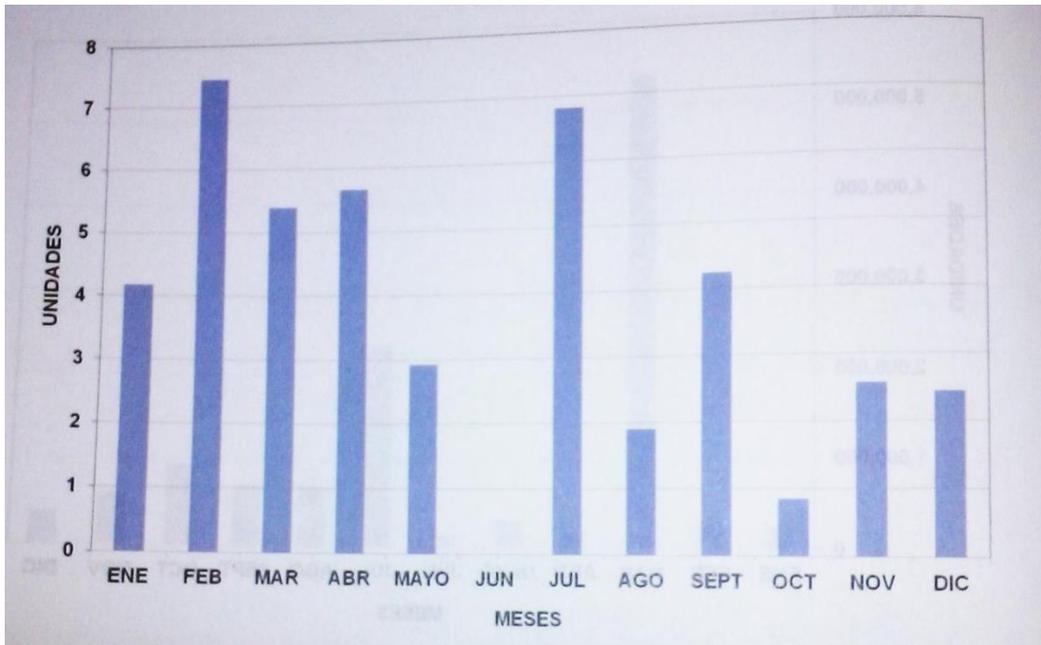
Fuente: Programa MOSCAMED, 2009.

ANEXO 6. Promedio de infestación Noseamiasis en apiarios, año 2010



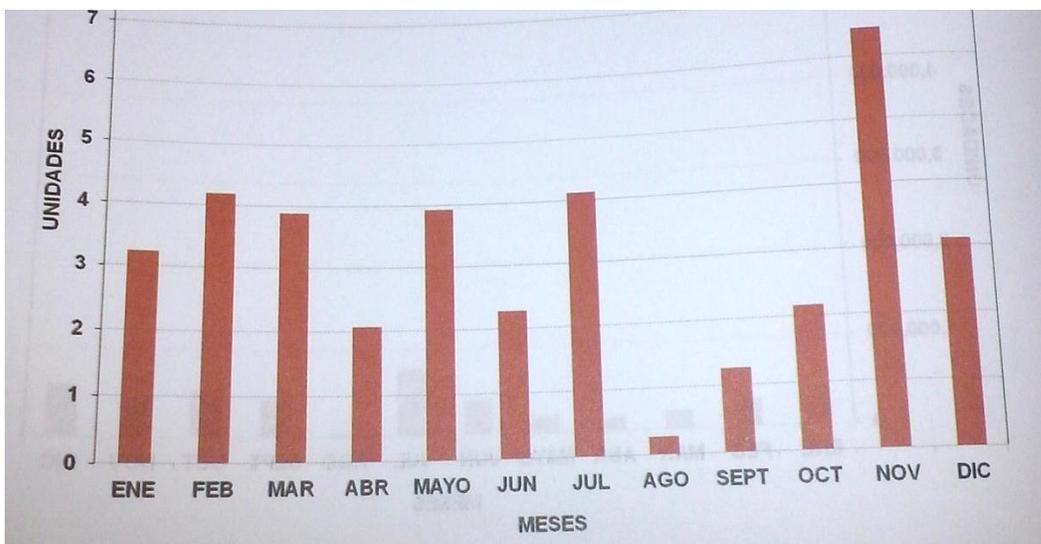
Fuente: Programa MOSCAMED, 2009.

ANEXO 7. Promedio de infestación de Varroasis en apiarios, año 2009



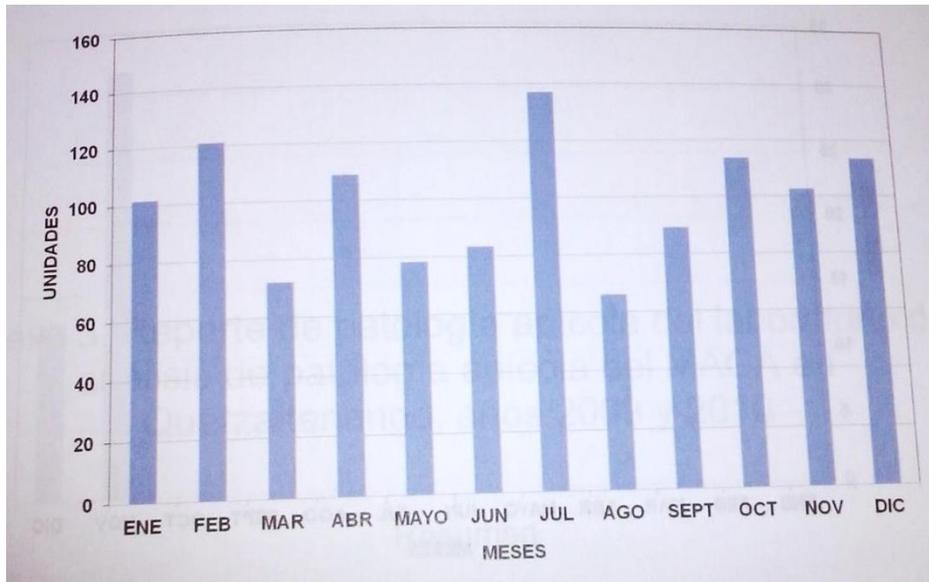
Fuente: Programa MOSCAMED, 2009.

ANEXO 8. Promedio de infestación de Varroasis en apiarios, año 2010



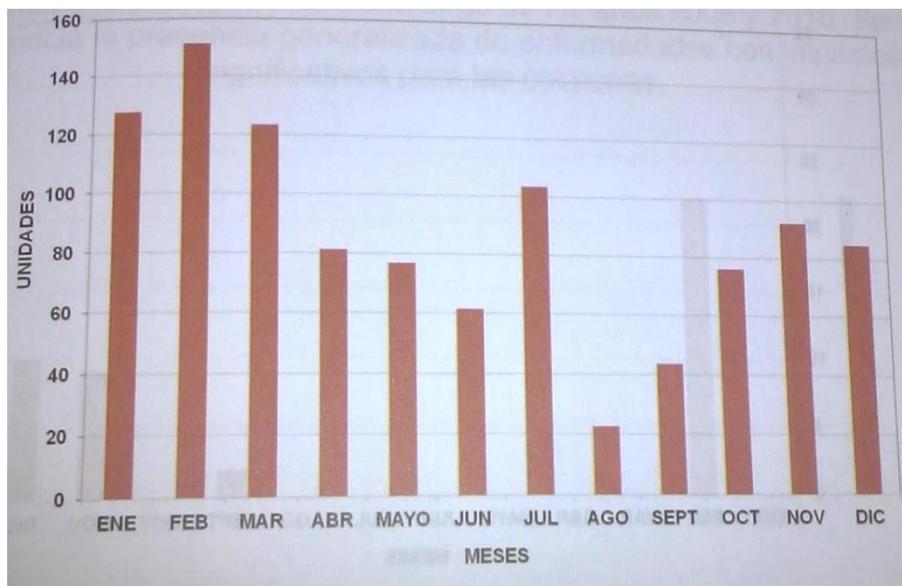
Fuente: Programa MOSCAMED, 2009.

ANEXO 9. Promedio de infestación de Amebiasis en apiarios, año 2009



Fuente: Programa MOSCAMED, 2009.

ANEXO 10. Promedio de infestación de Amebiasis en apiarios, año 2010



Fuente: Programa MOSCAMED, 2009.

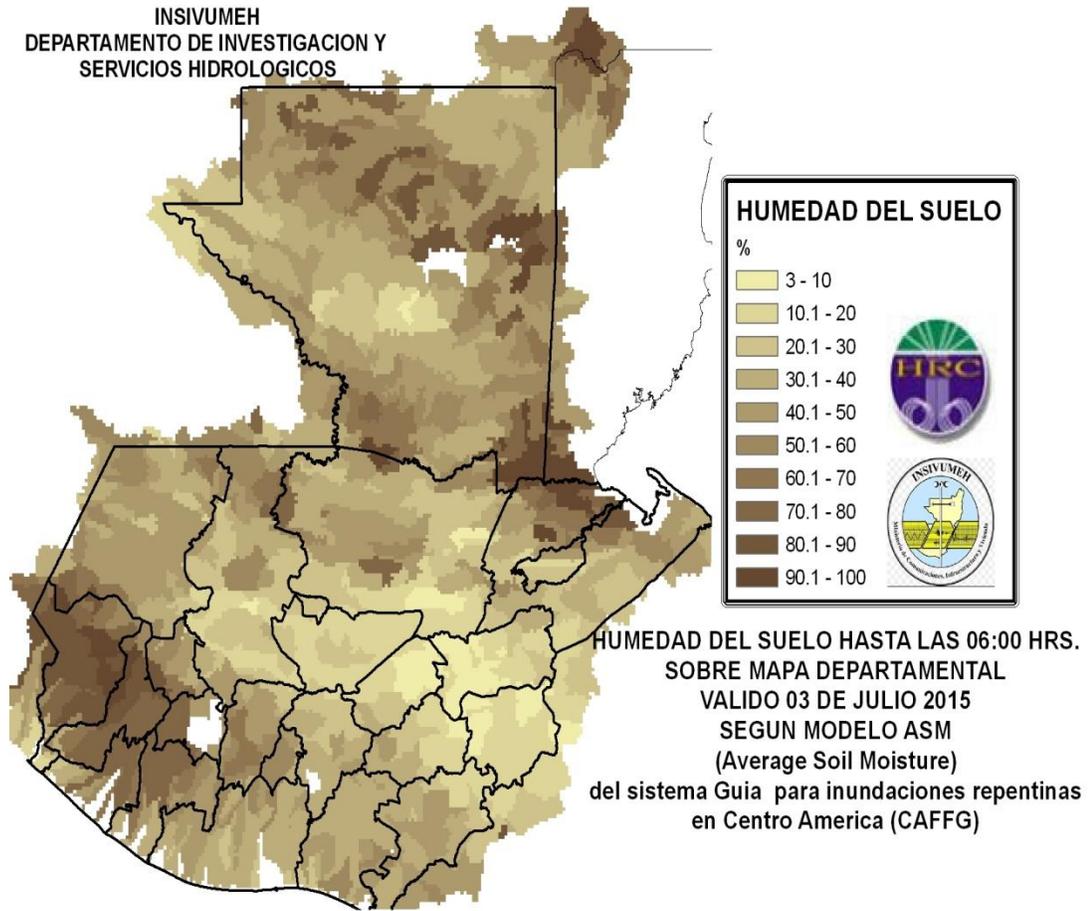
ANEXO 11. Regiones de Guatemala

<i>Departamento</i>	<i>Región</i>
Guatemala	Región I
Alta Verapaz	Región II
Baja Verapaz	Región II
Chiquimula	Región III
El Progreso	Región III
Izabal	Región III
Zacapa	Región III
Jutiapa	Región IV
Jalapa	Región IV
Santa Rosa	Región IV
Chimaltenango	Región V
SacatepEquez	Región V
Escuintla	Región V
Quetzaltenango	Región VI
Retalhuleu	Región VI
San Marcos	Región VI
SuchitepEquez	Región VI
SololA	Región VI
TotonicapAn	Región VI
Huehuetenango	Región VII
Quiche	Región VII
Peten	Región VIII



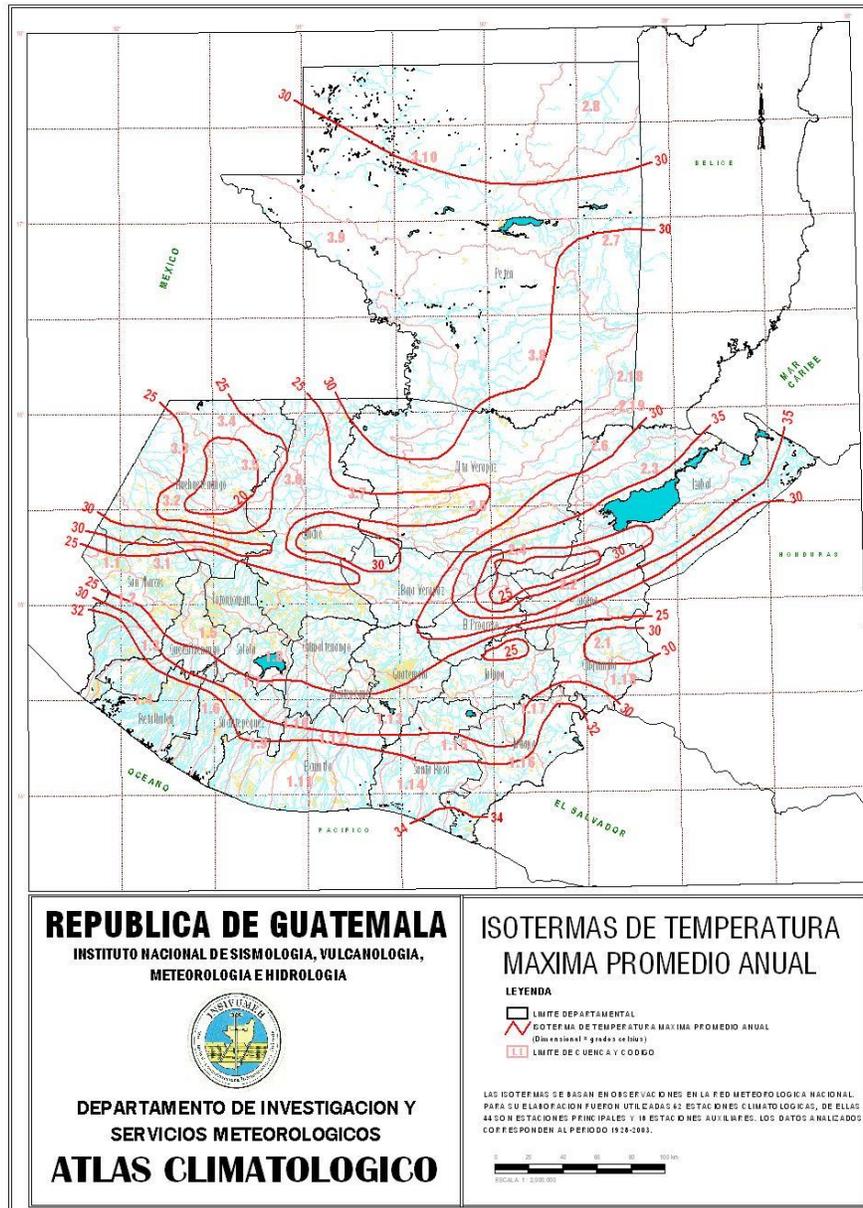
Fuente: Ministerio de Gobernación de Guatemala, 2015.

ANEXO 12. Humedad del suelo, Guatemala



Fuente: INSIVUMEH, 2015.

**ANEXO 13. Isotermas de temperatura máxima promedio anual,
Guatemala**



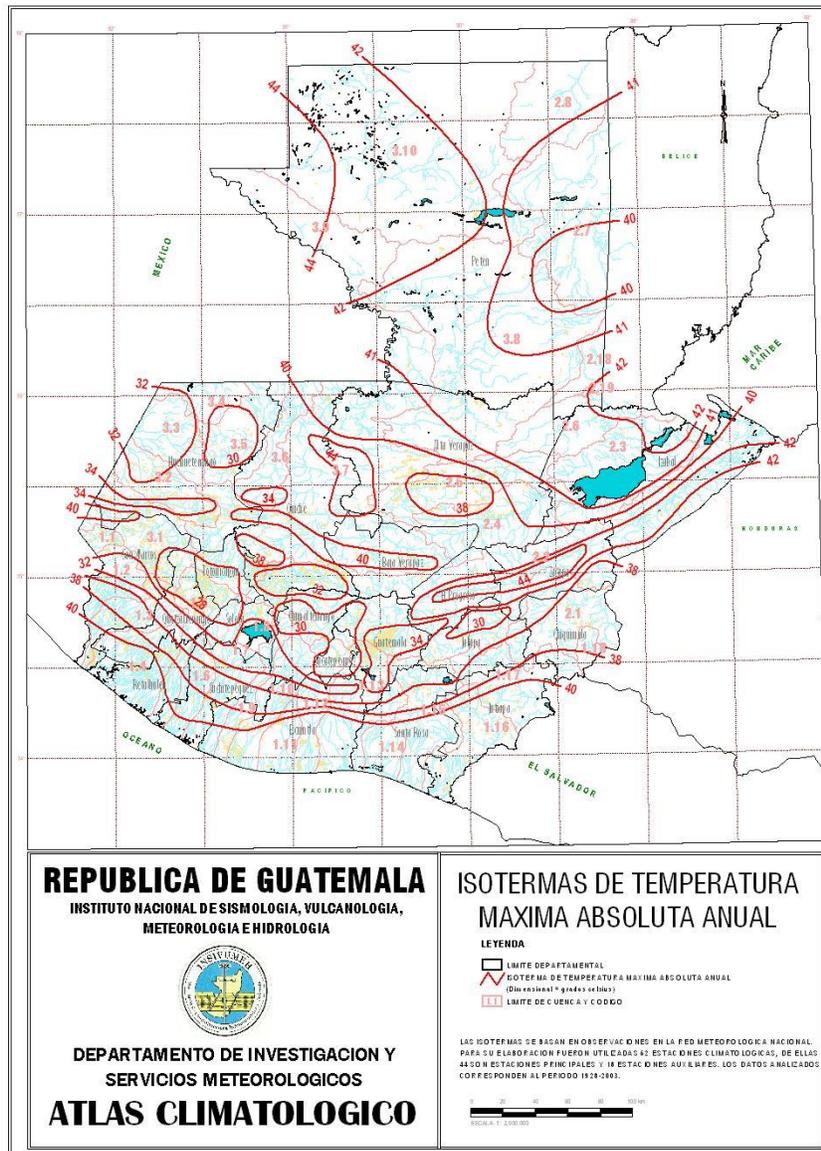
Fuente: INSIVUMEH, 2015.

ANEXO 14. Isotermas de temperatura promedio anual, Guatemala



Fuente: INSIVUMEH, 2015.

ANEXO 15. Isotermas de temperatura promedio anual, Guatemala



Fuente: INSIVUMEH, 2015

**ANEXO 16. Producto Interno Bruto Medido por el origen de la producción. Años 2001-2012
(Estructura Porcentual)**

ACTIVIDADES ECONÓMICAS	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
1. Agricultura, ganadería, caza, silvicultura y pesca	13.9	13.9	13.3	12.9	12.4	11.3	11.5	11.2	11.7	11.1	11.1	10.6
2. Explotación de minas y canteras	0.7	0.9	1.1	1.0	1.2	1.4	1.6	1.8	1.6	2.0	2.8	2.2
3. Industrias manufactureras	19.7	18.5	18.5	18.9	18.7	18.7	18.3	18.5	18.6	18.6	18.6	19.1
4. Suministro de electricidad y captación de agua	2.6	2.6	2.6	2.8	2.6	2.5	2.4	2.3	2.2	2.4	2.0	2.2
5. Construcción	3.9	4.7	4.8	4.7	4.7	5.1	5.1	5.1	4.6	4.0	4.0	4.2
6. Comercio al por mayor y al por menor	12.9	12.7	12.9	13.3	14.8	14.7	15.3	16.5	16.2	17.0	18.1	18.7
7. Transporte, almacenamiento y comunicaciones	5.3	5.1	5.2	5.7	6.1	6.6	7.0	7.5	8.0	7.9	7.8	7.7
8. Intermediación financiera, seguros y actividades auxiliares	2.6	2.6	2.6	2.7	2.7	2.8	3.0	3.2	3.2	3.2	3.1	3.3
9. Alquiler de vivienda	10.2	10.1	10.1	10.0	9.9	9.7	9.2	8.8	9.0	8.7	8.2	8.0
10. Servicios privados	15.5	15.8	15.9	15.6	15.3	15.5	15.1	14.9	14.5	14.3	13.6	13.6
11. Administración pública y defensa	7.4	7.3	7.2	6.8	6.6	6.4	6.5	6.3	7.1	7.3	7.1	7.2
(-) Servicios de Intermediación Financiera Medidos Indirectamente -	2.3	2.3	2.1	2.3	2.3	2.4	2.7	2.8	2.9	2.9	2.9	2.9
(+) Impuestos netos de subvenciones a los productos	7.6	8.1	7.9	7.9	7.4	7.6	7.7	6.9	6.2	6.3	6.3	6.1
PRODUCTO INTERNO BRUTO	100.0											

Fuente: BANCO DE GUATEMALA, 2014.

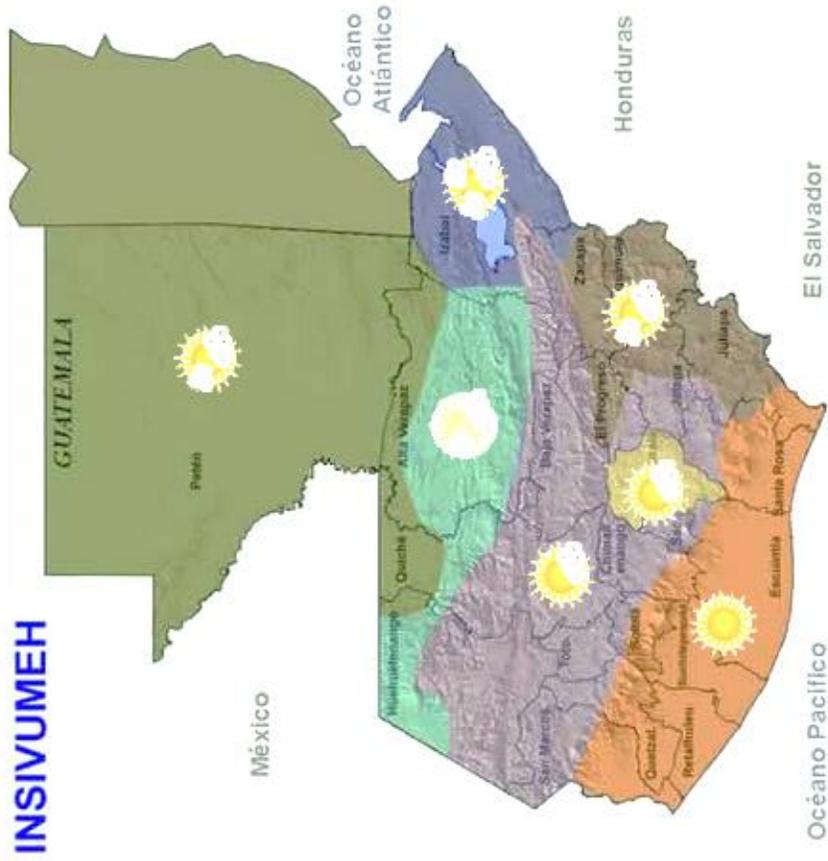
ANEXO 17. Resumen de resultados de Diagnóstico Apícola año 2010, Laboratorio MAGA, Quetzaltenango

RESUMEN	Total de apiarios muestreados	406	Total colmenas muestreadas	9253	Promedio de apiarios con resultados positivos de patología	69%
---------	-------------------------------	-----	----------------------------	------	--	-----

Departamento	Apiarios Muestreados		Varroa		Amebiasis		Nosemiasis		Aethinia tumida (pequeño escarabajo)	
	# de Apiarios	% en relación al total	# positivos	% positivos	# positivos	% positivos	# positivos	% positivos	# positivos	% positivos
Suchitepéquez	29	7%	15	52%	2	7%	1	3%	0	0%
Quetzaltenango	96	24%	51	53%	5	5%	7	7%	0	0%
Huehuetenango	51	13%	23	45%	4	8%	4	8%	0	0%
Retalhuleu	71	18%	38	54%	10	14%	4	6%	0	0%
Sololá	34	8%	17	50%	2	6%	0	0%	0	0%
San Marcos	30	7%	12	40%	3	10%	5	17%	0	0%
Santa Rosa	37	9%	15	41%	5	14%	5	14%	0	0%
Totonicapán	26	6%	22	85%	0	0%	1	4%	0	0%
Quiché	19	5%	15	79%	1	5%	0	0%	0	0%
Escuintla	4	1%	3	75%	0	0%	0	0%	0	0%
Chiquimula	2	0%	1	50%	0	0%	0	0%	0	0%
Jutiapa	2	0%	1	50%	0	0%	0	0%	0	0%
Alta Verapaz	1	0%	0	0%	1	100%	0	0%	0	0%
Promedio de incidencia				52%		13%		4%		0%

Fuente: Programa MOSCAMED, 2010.

ANEXO 18. ZONAS CLIMÁTICAS DE GUATEMALA



Meseta Central	T. Mínima °C	T. Máxima °C
Guatemala	14°	23°
Quetzaltenango	09°	22°
Huehuetenango	12°	24°
Sololá	10°	22°

Costa Sur	T. Mínima °C	T. Máxima °C
Retalhuleu	21°	35°
Pto. San José	19°	34°
Tactic Uman	19°	36°
Costa de Jutiapa	25°	37°
Champsico	22°	34°

Región Oriente	T. Mínima °C	T. Máxima °C
Zacapa	21°	29°
Esquipulas	17°	25°
El Progreso	22°	28°

Región Norte Caribe	T. Mínima °C	T. Máxima °C
El Peten	21°	28°
Coban, Alta Verapaz	14°	18°
Puerto Barrios	22°	26°

