



Universidad de San Carlos de Guatemala  
Facultad de Ingeniería  
Escuela de Ciencias

**DISEÑO DE INVESTIGACIÓN DE MODELO MATEMÁTICO DE DENSIDAD POBLACIONAL  
DE LA PLAGA *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, julio de 2014

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

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

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA  
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR

**MARIELA LIZETH BENAVIDES LÁZARO**

ASESORADO POR EL MA. ING. AGR. DAVID ORLANDO ÁVILA VÁSQUEZ

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

**LICENCIADA EN MATEMÁTICA APLICADA**

GUATEMALA, JULIO DE 2014

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERÍA



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

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
POR

**MARIELA LIZETH BENAVIDES LÁZARO**

ASESORADO POR MA. ING. AGR. DAVID ORLANDO ÁVILA VÁSQUEZ

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

**LICENCIADA EN MATEMÁTICA APLICADA**

GUATEMALA, 15 DE JULIO DE 2014

## HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

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

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ciencias, con fecha 18 de enero 2014.

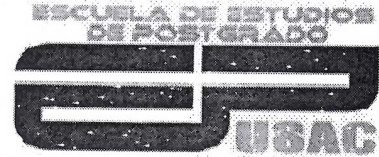


**Mariela Lizeth Benavides Lázaro**



**USAC**  
**TRICENTENARIA**  
 Universidad de San Carlos de Guatemala

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



**MOD-MEAPP-0005-2014**

000557

Guatemala, 14 de junio de 2014.

Directora  
 Mayra Virginia Castillo Montes  
 Licenciatura en Matemática Aplicada  
 Presente.

Estimada Directora:

Reciba un atento y cordial saludo de la Escuela de Estudios de Postgrado. El propósito de la presente es para informarle que se ha revisado los cursos aprobados del primer año y el Diseño de Investigación de la estudiante **Mariela Lizeth Benavides Lázaro** con carné número **2008-19245**, quien opto la modalidad del **“PROCESO DE GRADUACIÓN DE LOS ESTUDIANTES DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA OPCIÓN ESTUDIOS DE POSTGRADO”**. Previo a culminar sus estudios en la **Maestría en Energía y Ambiente**.

Y si habiendo cumplido y aprobado con los requisitos establecidos en el normativo de este Proceso de Graduación en el Punto 6.2, aprobado por la Junta Directiva de la Facultad de Ingeniería en el Punto Decimo, Inciso 10.2, del Acta 28-2011 de fecha 19 de septiembre de 2011, firmo y sello la presente para el trámite correspondiente de graduación de Pregrado.

Sin otro particular, atentamente,

“Id y enseñad a todos”

**Ing. Juan C. Fuentes M.**  
 M.Sc. Hidrología  
 Colegiado No. 2,504

Msc. ing. David Orlando Avila Vásquez  
 Asesor(a)

Msc. Ing. Juan Carlos Fuentes Montepique  
 Coordinador de Área  
 Desarrollo social y energético

**DAVID ORLANDO AVILA V**  
 Ingeniero Agrónomo  
 Colegiado 2201

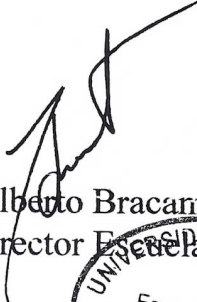
Dra. Mayra Virginia Castillo Montes  
 Directora  
 Escuela de Estudios de Postgrado



Cc: archivo  
 /db



El Director de la Escuela de Ciencias de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, después de conocer el dictamen del asesor, con el visto bueno de la Coordinadora de la Carrera de Licenciatura en Matemática Aplicada al trabajo de graduación del estudiante *Mariela Lizeth Benavides Lázaro*, titulado “DISEÑO DE INVESTIGACIÓN DE MODELO MATEMÁTICO DE DENSIDAD POBLACIONAL DE LA PLAGA *Ceratitis capitata* (Wiedemann) Y ANÁLISIS DE LAS CONSECUENCIAS AMBIENTALES PROVOCADAS POR EL MANEJO INTEGRADO DE LA PLAGA”, procede a la autorización del mismo.

  
Ing. Edwin Adalberto Bracamonte Orozco  
Director Escuela de Ciencias



Guatemala, 15 de julio de 2014

EABOP/scvs



Universidad de San Carlos  
de Guatemala



Facultad de Ingeniería  
Decanato

DTG. 329.2014

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 Ciencias, al Trabajo de Graduación titulado: **DISEÑO DE INVESTIGACIÓN DE MODELO MATEMÁTICO DE DENSIDAD POBLACIONAL DE LA PLAGA Ceratitis capitata (Wiedemann) Y ANÁLISIS DE LAS CONSECUENCIAS AMBIENTALES PROVOCADAS POR EL MANEJO INTEGRADO DE LA PLAGA**, presentado por la estudiante universitaria **Mariela Lizeth Benavides Lázaro**, y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, se autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:

Ing. Murphy Dlympo Paiz Recinos  
Decano

Guatemala, 15 de julio de 2014

/gdech



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERÍA



**NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA**

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
VOCAL I	Ing. Alfredo Enrique Beber Aceituno
VOCAL II	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL III	Inga. Elvia Miriam Ruballos Samayoa
VOCAL IV	Br. Narda Lucia Pacay Barrientos
VOCAL V	Br. Walter Rafael Véliz Muñoz
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

**TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO**

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
EXAMINADOR	Lic. Carlos Augusto Morales Santacruz
EXAMINADOR	Lic. William Roberto Gutiérrez Herrera
EXAMINADOR	Lic. Francisco Bernardo Raúl de la Rosa
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez



## **ACTO QUE DEDICO A:**

<b>Dios</b>	Por darme la oportunidad de vivir hasta el momento y permitirme mejorar continuamente.
<b>Mis padres</b>	Roberto Benavides y Gloria Lázaro de Benavides, por apoyarme en todo momento, por confiar en mí y por darme las herramientas para alcanzar mis metas.
<b>Mis hermanos</b>	José Benavides Lázaro y Diana Benavides Lázaro, por siempre ayudarme, darme ánimo y estar a mi lado en buenos y malos momentos.
<b>Mi sobrino</b>	Juan David Reyes Benavides, por ser la luz que ilumina mi hogar, por llenarme de paz en los momentos de angustia.
<b>Mi abuela</b>	Evangelina López, por ser el ángel que me protege desde el cielo.
<b>Amigos</b>	Por apoyarme en cada momento.
<b>Maestros</b>	Maestros de la carrera y profesionales con los que tuve la bendición de trabajar, por sus enseñanzas y por despertar en mí el deseo de aprender cada día más.

## ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES .....	V
GLOSARIO .....	VII
1. INTRODUCCIÓN .....	1
2. ANTECEDENTES .....	5
3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	11
3.1. Descripción del problema .....	11
3.2. Formulación del problema .....	14
3.2.1. Pregunta central .....	14
3.2.2. Preguntas auxiliares .....	14
3.3. Delimitación del problema .....	15
4. JUSTIFICACIÓN .....	17
5. OBJETIVOS .....	21
6. NECESIDADES A CUBRIR Y ESQUEMA DE SOLUCIÓN.....	23
7. ALCANCE DE LA INVESTIGACIÓN .....	25
7.1. Análisis de las partes interesadas .....	25

8.	MARCO TEÓRICO .....	29
8.1.	Aspectos generales <i>Ceratitis capitata</i> .....	29
8.1.1.	Descripción.....	29
8.1.1.1.	Ciclo biológico .....	30
8.1.1.2.	Ecología .....	34
8.1.2.	Distribución geográfica.....	35
8.1.3.	Hospederos .....	39
8.2.	Métodos de control de plaga .....	41
8.2.1.	Control de aspersión .....	42
8.2.2.	Control autocida .....	43
8.2.3.	Control etológico .....	44
8.2.4.	Control mecánico .....	46
8.2.5.	Control legal .....	46
8.2.6.	Control biológico.....	47
8.2.7.	Control cultural .....	47
8.3.	Impactos ambientales del Programa MOSCAMED .....	48
8.3.1.	Contaminación de suelos .....	49
8.3.2.	Contaminación del agua.....	50
8.3.3.	Contaminación atmosférica .....	50
8.3.4.	Impactos ecológicos.....	51
8.3.5.	Efectos en la salud.....	52
8.4.	Aspectos generales Programa MOSCAMED en Guatemala.....	55
8.4.1.	Áreas de trabajo en Guatemala.....	56
8.5.	Matemática y su aplicación en la agricultura.....	58
9.	PROPUESTA ÍNDICE DE CONTENIDOS .....	63

10.	METODOLOGÍA.....	65
10.1.	Variables e indicadores .....	65
10.2.	Tipo de estudio .....	65
10.2.1.	Investigación documental (fase 1) .....	66
10.2.2.	Recolección de datos (fase 2) .....	68
10.2.3.	Análisis de información y generación de productos (fase 3).....	69
11.	TÉCNICAS DE ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN .....	73
12.	CRONOGRAMA.....	75
13.	RECURSOS NECESARIOS Y FACTIBILIDAD DEL ESTUDIO .....	77
13.1.	Factibilidad de estudio .....	78
14.	BIBLIOGRAFÍA .....	79



# ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

## FIGURAS

1. Mosca adulta ( <i>Ceratitis capitata</i> ).....	30
2. Huevo de mosca del mediterráneo ( <i>Ceratitis capitata</i> ) .....	31
3. Larva mosca del mediterráneo ( <i>Ceratitis capitata</i> ).....	32
4. Pupa mosca del mediterráneo ( <i>Ceratitis capitata</i> ) .....	33
5. Ciclo biológico de mosca del mediterráneo ( <i>Ceratitis capitata</i> ).....	33
6. Área de trabajo en Guatemala .....	56

## TABLAS

I. Distribución geográfica <i>Ceratitis capitata</i> Oceanía y Caribe .....	35
II. Distribución geográfica <i>Ceratitis capitata</i> África y Asia .....	36
III. Distribución geográfica <i>Ceratitis capitata</i> Islas del Atlántico y América .	37
IV. Distribución geográfica <i>Ceratitis capitata</i> Europa.....	38
V. Hospederos comunes de <i>Ceratitis capitata</i> .....	39
VI. Hospederos comunes de <i>Ceratitis capitata</i> .....	40
VII. Cultivos de mayor importancia y estimación de producción agrícola Guatemala 2013 .....	41
VIII. Singularidades.....	70
IX. Escala de vulnerabilidad de regiones.....	71
X. Recursos necesario para la investigación.....	77





## GLOSARIO

<b>Apical</b>	Pertenciente o relativo a un ápice o punta, o localizado en ellos.
<b>Bioacumulación</b>	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.
<b>Espiráculo</b>	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.
<b>Hospederos</b>	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.
<b>Oviposición</b>	Acto de poner o depositar huevos por el miembro femenino de los animales ovíparos.
<b>Romos</b>	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.

## 1. 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 presente investigación se empleará modelación matemática, así como análisis estadístico para definir la densidad poblacional de la mosca efectividad de los métodos, 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 definiendo los criterios para su aplicación y los procedimientos involucrados para emplearlo; en el tercer capítulo se desplegará el estudio crítico del impacto ambiental del Programa MOSCAMED en Guatemala; para finalizar, en el cuarto capítulo, se empleará análisis estadístico y modelación matemática para definir la densidad poblacional debida a los métodos y vulnerabilidad de las regiones en Guatemala.

El resultado a obtener de la investigación será la creación de un modelo de densidad de población de la mosca en función de condiciones físicas al incluir dentro de las principales variables a estudiar temperatura, velocidad del viento, humedad relativa, horas sol y el efecto de los métodos de control empleados.

Se pretende determinar herramientas técnicas para el monitoreo e implementación de medidas de mejora en los sistemas ejecutados, agregando a esto el análisis técnico de los procedimientos empleados en los distintos métodos, se determinarán los insumos para que pueda analizarse en un futuro los cambios necesarios para que se reduzcan los efectos nocivos al ambiente manteniendo la efectividad del sistema de control.

La investigación constará de dos fases, la primera abarcará una inspección general y análisis de degradación ambiental de los métodos relevantes para la erradicación de la plaga, y con posterioridad, en la segunda fase se utilizará análisis de datos estadísticos y modelación matemática para determinar la efectividad de los métodos empleados por medio de la estimación de la densidad de la población de la plaga en Guatemala, además se analizará la vulnerabilidad de las distintas regiones de Guatemala, para establecer los métodos de acción.



## 2. ANTECEDENTES

La mosca del mediterráneo (*Ceratitis capitata*) fue detectada inicialmente en América en 1901, en Brasil. Posteriormente la plaga 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).

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 el 15 de noviembre de 1975, 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 y con esto crear un filtro que impida que se disperse hacia la México (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) de fecha 6 de mayo de 1998, 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 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 económica del programa, si los resultados no se divulgan apropiadamente se genera desconcierto en las poblaciones y posteriormente rechazo, como lo indican Espinoza, Chulím y Juárez (2006) en su análisis de la evolución y permanencia del programa en las regiones fronterizas entre México y Guatemala realizado 20 años después del inicio del programa, 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, lo que muestra la dificultad de aceptación del programa.

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, métodos moleculares de análisis, así como las condiciones artificiales necesarias para la producción de machos estériles empleada como método de control, pero no se definen los lineamientos para controlar las regiones con comportamiento similar al empleado en laboratorio.

Las investigaciones en Guatemala 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.

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 y con esto lograr regresiones para definir correlación entre factores externos y el ciclo biológico de la plaga.

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

No se posee un estudio exacto que determine los niveles de vulnerabilidad de la plaga en Guatemala, por lo que es necesario definir las variables que condicionan favorablemente a la plaga, así como analizar históricamente los brotes de ésta a nivel regional.

El objetivo es obtener resultados que permitan reconocer las regiones de Guatemala a las cuales se les debe prestar mayor atención, e implementar medidas preventivas, en Argentina a través de la Secretaría de la Convención Internacional de Protección Fitosanitaria (2004) se desarrolló un estudio similar pero incluyendo diversidad de plagas cuarentenarias, incluyendo el análisis de riesgos ambientales y organismos vivos, por medio del cual se determinarán los factores que se necesitan para crear un mapa de vulnerabilidad que resulte fiable.

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 herramienta de esta índole para que el programa determine la evolución progresiva de la plaga bajo diversas circunstancias, así como eficiencia teórica de los métodos de control empleados, con lo que no es posible determinar si los impactos ambientales generados con la aplicación de algunos métodos en realidad implica una reducción en la población de la plaga de las modificaciones en la ejecución de los procesos, siendo necesario analizar investigaciones extranjeras, como antecedente de la presente investigación.

Para poder 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 general sobre los factores externos que actúan sobre la dinámica poblacional así como la importancia de generar tablas de vida de la especie analizada, lo cual será un paso inicial importante al definir los parámetros que se incluirán dentro de los modelos, además se presenta en la investigación algunos modelos generales de dinámica poblacional de plagas al aplicar control biológico.

Xavier Picó (2002) plantea de igual forma 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 de conservación, lo que 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 poder 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.

### **3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

#### **3.1. Descripción del problema**

La mosca del mediterráneo (*Ceratitis capitata*) es una de las plagas agrícolas más destructivas del mundo. Según estudio desarrollado por el Departamento de Cultivos y Ciencias Agroambientales, de la Universidad de Puerto Rico, su rango de hospederos se estima en más de 260 especies de flores, frutas y vegetales, además tiene gran capacidad de reproducción, puede poner hasta 20 huevos diarios y hasta 400 huevos durante su ciclo de vida.

Según Reporte de la Organización Europea y Mediterránea para la Protección de Plantas (EPPO) del 9 de septiembre de 2006, el único país centroamericano que se considera libre de la plaga es Belice, Guatemala por el contrario se clasifica como un país con presencia de la plaga aunque con distribución restringida.

En Guatemala la presencia de la plaga se enfrenta a través del manejo Integrado de plagas (MIP) que combina una variedad de técnicas de control para reducir y mantener las poblaciones de plagas en niveles aceptables.

“El método de control para esta plaga es prácticamente en todos los países que la padecen, basado en pulverizaciones cebo a base de insecticida” (Ros, J.P. 1990, p.704). Las regulaciones a nivel mundial han variado, pero 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 establecimiento de la plaga descontrolado implica entonces, el empleo indiscriminado de métodos de control que permitan regular la densidad poblacional de la plaga sin considerar el entorno, con carácter urgente sin considerar factores externos, con lo que se degradan suelos, agua y aire continuamente 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.

Los diversos métodos de control conllevan efectos en el ambiente, y de no conocerlos y tratar de frenarlos, siendo 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. Por lo que es necesario determinar ¿cuáles son las ventajas, desventajas y consecuencias ambientales de los métodos de control que se emplean en Guatemala para la erradicación de la plaga *Ceratitis capitata*?, ¿cuáles son los modelos matemáticos que pueden generarse para describir la dinámica poblacional de la mosca al efectuar medidas de control?, y con esto generar los insumos para que se determine posteriormente, según su efectividad, si es necesaria la implementación de métodos que degraden el ambiente.



La institución oficial, según convenios internacionales, que en Guatemala tiene por función el control y erradicación de la mosca del mediterráneo (*Ceratitis capitata*), se denomina Programa MOSCAMED, el cual se enfoca en la detección de la plaga y supresión de brotes o detecciones. (Sitio web MOSCAMED Guatemala).

La evaluación económica del Programa Moscamed en Guatemala, realizada por el Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura, (2013) establece que una región infestada por la plaga implica problemas económicos a gran escala, debido a los controles legales que se manejan, limitando las actividades económicas de pequeños y grandes productores, e incluso se restringe la salida de frutos para consumo propio en áreas cuarentenarias, lo que provoca conflictos a nivel social.

La desinformación provoca inconformidad y genera creencias populares que fortalecen el desapruebo del programa, con lo que no se permite el ingreso de personal del programa para la ejecución de métodos de control distintos a las aspersiones, contaminando periódicamente las regiones infestadas.

Existen diversos métodos de control desarrollados para la erradicación de la plaga, que se integran para la ejecución de un sistema integrado de control de plagas, verificando por medio de muestreo y trampeo. A nivel mundial de acuerdo a 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.

Es necesario difundir las medidas básicas al reconocer frutos contaminados, así como determinar la dinámica poblacional según los métodos planteados, para analizar cada método y reducir el impacto ambiental, los problemas económicos y sociales a raíz de la infestación de la plaga.

### **3.2. Formulación del problema**

La rápida infestación de la plaga y la problemática ambiental, económica y social generada a partir de los métodos de control, dan la pauta de la importancia de generar insumos que permitan reducir el impacto a diversos ecosistemas generado tanto por la mosca como por quienes ejecutan acciones para frenar su esparcimiento.

#### **3.2.1. Pregunta central**

¿Qué herramientas técnicas pueden definirse para analizar el impacto ambiental del sistema integrado de plagas para la erradicación de la mosca del mediterráneo en Guatemala?

#### **3.2.2. Preguntas auxiliares**

Existen varios puntos de inicio para definir herramientas técnicas que sirvan de apoyo para el control de las actividades desarrolladas por el programa de erradicación, por esto resulta necesario estudiar cada método de control empleado, determinar hasta qué punto una región del país puede verse afectada, así como emplear información existente para generar elementos de apoyo para el monitoreo y control del manejo integrado de la plaga, formulando para ello las siguientes preguntas auxiliares de investigación.

- ¿Cuáles son los procedimientos empleados y consecuencias ambientales de los métodos de control para la erradicación de la plaga *Ceratitis capitata* en Guatemala?
- ¿Qué nivel de vulnerabilidad presenta Guatemala debido a los factores físicos y ambientales que condicionan favorablemente la propagación de la mosca del mediterráneo?
- ¿Cuáles son los modelos matemáticos que pueden generarse para describir la dinámica poblacional de la mosca al efectuar medidas de control?

### **3.3. Delimitación del problema**

La determinación de modelos matemáticos poblacionales, para un futuro análisis de efectividad de los métodos de erradicación, se realizará únicamente dentro de las regiones tratadas por el Programa MOSCAMED en Guatemala. Aunque la investigación tratará la problemática a nivel nacional, únicamente se realizará con un nivel de desagregación regional, según las ocho regiones establecidas en la división política de la República de Guatemala. El análisis ambiental se realizará puntualmente en cada método de control del sistema integrado del control de la plaga.



## 4. JUSTIFICACIÓN

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, para lo cual, es necesario analizar diversos aspectos que permitan determinar la vulnerabilidad del país tales como temperatura y humedad relativa, se espera generar un mapa de vulnerabilidad regional y con esto plantear la ejecución de 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 trampeo, 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 contra posición de las consecuencias ambientales de cada método.

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 de los pobladores aledaños al efecto de químicos en el ambiente, 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, por lo que es necesario estudiar las condiciones ambientales que se ven afectadas por el manejo integrado de la plaga, y determinar que métodos de control es necesario limitar para disminuir los efectos al medio ambiente, por lo que el trabajo realizado es relevante a nivel social.

Mediante análisis estadístico datos se determinarán modelos de la dinámica poblacional de la mosca en conjunto con un análisis ambiental, siendo este también un problema económico, la presente investigación se desarrolla dentro de las líneas de métodos estadísticos para la monitorización de la contaminación ambiental, e impactos económicos y financieros ambientales las cuales forman parte integral de la Maestría de Energía y Ambiente.





## 5. OBJETIVOS

### General

Determinar herramientas técnicas para analizar el impacto ambiental del sistema integrado de plagas para la erradicación de la mosca del mediterráneo *Ceratitis capitata* (Wiedemann) en Guatemala.

### 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. Analizar la vulnerabilidad regional de Guatemala ante la plaga por medio de análisis estadístico de factores físicos y ambientales que condicionan favorablemente el establecimiento de esta.
3. Establecer modelos de densidad poblacional de *Ceratitis capitata* (Wiedemann) al aplicar los distintos métodos de control, para generar insumos para el análisis de variaciones al sistema integrado de plagas que permitan efficientar los mecanismos empleados e implementar métodos alternativos para reducir las consecuencias perjudiciales al ambiente.



## **6. NECESIDADES A CUBRIR Y ESQUEMA DE SOLUCIÓN**

Actualmente se poseen métodos de identificación de regiones afectadas por la mosca del mediterráneo, lo cual se realiza ante la alerta de probabilidad de dispersión del insecto, pero puede darse que exista alguna región que no se ha analizado por suponer que la mosca no pudo dispersarse dados los controles legales empleados.

El presente trabajo pretende generar información útil para identificar las regiones que poseen vulnerabilidad para que sean monitoreadas, así como proponer y analizar distintos modelos matemáticos con el fin de aislar las características más importantes de la dinámica de la plaga y de los métodos de control más empleados por el Programa MOSCAMED.

Con lo que se espera obtener una herramienta para proponer o validar estrategias de control de la plaga una herramienta técnica que facilite la toma de decisiones ante la alerta de frutos dañados por la mosca del mediterráneo.

A nivel laboral, el programa MOSCAMED en Guatemala posee dificultades de aceptación en las comunidades, por lo que para solventar la problemática social, se tratará de analizar la posibilidad de sustituir en la medida de lo posible el empleo de método de control químico por métodos alternos que permitan reducciones progresivas de la plaga, esto al generar una herramienta que permita al programa determinar la densidad poblacional de la mosca posterior a la aplicación de los métodos de control.



## **7. ALCANCE DE LA INVESTIGACIÓN**

Los alcances de la presente investigación están dirigidos al estudio a nivel nacional y en diferentes áreas, la primera fase posee carácter exploratorio y descriptivo, y en su segunda fase se pretende dirigirse 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, así como definir los métodos a emplear según la región y con esto apoyar la erradicación de la plaga en Guatemala.

### **7.1. Análisis de las partes interesadas**

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 desea generar herramientas técnicas que puedan 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.
- De igual forma la creación de una herramienta técnica que permita determinar factores físicos que condicionen favorablemente al establecimiento de la plaga puede ser de utilidad para monitorear áreas del país con riesgo alto de infestación.
- 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 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).

Por medio de la descripción de los elementos involucrados en el establecimiento, detección y tratamiento de la plaga, así como el modelo que se pretende presentar, se logrará que el estudiante, personas, asociaciones o cualquier organización interesada en el tema posea claridad en el problema tratado y 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.





## **8. MARCO TEÓRICO**

### **8.1. Aspectos generales *Ceratitis capitata***

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

#### **8.1.1. Descripción**

Su nombre común es mosca del mediterráneo (*Ceratitis capitata*), es de clase insecta, de orden díptera (poseen sólo dos alas membranosas y no cuatro como el resto de los insectos) y pertenece a la familia *Tephritidae*, en forma general se puede identificar, basado en las caracterizaciones de Raimundo (1991), Guzmán-Plazola (2010) y Franqui (2003) 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.

Un rasgo particular es su forma de caminar, mantienen siempre sus alas extendidas. 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).

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 1. **Mosca adulta (*Ceratitis capitata*)**



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

#### **8.1.1.1. 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 poder 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 2. **Huevo de mosca del mediterráneo (*Ceratitis capitata*)**



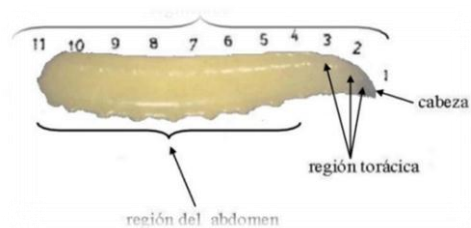
Fuente: FRANQUI, Rosa Amelia. *Mosca del mediterráneo*. p. 1.

- 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. Las crestas orales tienen 9 a 13 hileras de dientes cortos y con ligera curvatura, sus ganchos bucales son negros y fuertemente endurecidos.

Posee 3 segmentos torácicos y cada uno posee distintos elementos característicos. Contiene una serie de protuberancias progresivas en sus espínulas con 9 a 13 hileras de espínulas pequeñas. De igual forma posee 8 segmentos abdominales particulares. Los haces espiraculares traseros y abdominales contienen 6 a 9 pelos.

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 en el suelo por medio de túneles para empezar a pupar.

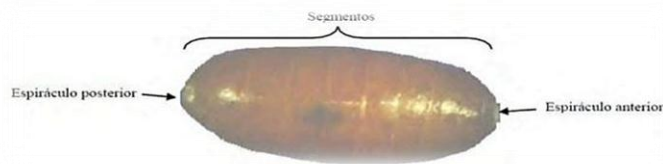
Figura 3. **Larva mosca del mediterráneo**  
***Ceratitis capitata***



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.

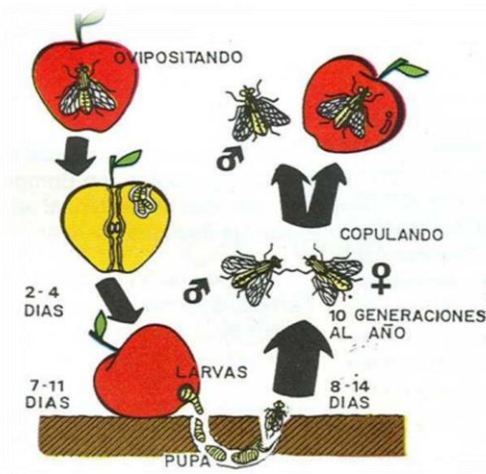
Figura 4. **Pupa mosca del mediterráneo (*Ceratitis capitata*)**



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 46 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 5. **Ciclo biológico de mosca del mediterráneo (*Ceratitis capitata*)**



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

### 8.1.1.2. 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, humedad relativa con un alto porcentaje, constantes veranos húmedos y calurosos, así como inviernos que presenten temperatura templada, al complementar los factores físicos con los caracteres genéticos se determina la densidad poblacional de la especie.

Siendo entonces en la noche y en períodos de lluvias 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
- Cuando los adultos emergen del suelo

Los factores ecológicos que más influyen en el desarrollo de la mosca del Mediterráneo en una región son el clima, asociaciones de hospedantes cuyos frutos maduran en forma escalonada durante todo o gran parte del año y las sustancias alimenticias indispensables para la fertilidad y maduración de sus huevecillos.

### 8.1.2. 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. En general, se ha encontrado en casi todas las áreas tropicales y sub-tropicales” (Kerns, David. 2004, p.1).

En las siguientes tablas se muestran los países en los que fue reportada *Ceratitis capitata* hasta en 1992, de acuerdo a White y Elson-Harris, así como la distribución geográfica de la plaga, según reporte de EPPO 2006.

Tabla I. **Distribución geográfica *Ceratitis capitata*  
Oceanía y Caribe**

Oceanía (1992)	Oceanía (2006)	Estado	Caribe (1992)	Caribe (2006)	Estado
Australia	Australia	según región	Bermuda	Antillas Holandesas	K
	Nueva Zelanda	E	Jamaica	Jamaica	K
	Islas Marianas del Norte	J		Puerto Rico	E
<p>X =Presente sin detalles  A= Presente, ampliamente distribuida  B=Presente, distribución restringida  C=Presente, pocas ocurrencias  D=Ausente, o ya no está presente  E=Ausente, plaga erradicada  F=Ausente, únicamente interceptada  H=Ausente, confirmada mediante evaluación  J=Ausente, con registro inválido  K=Ausente, no confiable</p>					

Fuente: elaboración propia.

Tabla II. **Distribución geográfica *Ceratitis capitata***  
**África y Asia**

África (1992)	África (2006)	Estado	Asia (1992)	Asia (2006)	Estado
Angola	Angola	B	Arabia Saudita	Afganistán	K
Argelia	Argelia	A	India	Arabia Saudita	X
Benín	Benín	X	Israel	Bihar	D
Burkina Faso	Botswana	X	Jordania	Corea	F
Burundi	Burkina Faso	X	Líbano	India	K
Camerún	Burundi	B	Siría	Israel	A
Congo	Cabo Verde	X	Turquía	Jordania	X
Costa de Marfil	Camerún	X		Líbano	A
Egipto	Congo	B		Siría	A
Etiopía	Costa de Marfil	X		Yemen	X
Gabón	Egipto	A	X =Presente sin detalles A= Presente, ampliamente distribuida B=Presente, distribución restringida C=Presente, pocas ocurrencias D=Ausente, o ya no está presente E=Ausente, plaga erradicada F=Ausente, únicamente interceptada H=Ausente, confirmada mediante evaluación J=Ausente, con registro inválido K=Ausente, no confiable		
Ghana	Etiopía	X			
Guinea	Gabón	X			
Kenia	Ghana	X			
Liberia	Guinea	B			
Libia	Kenia	A			
Madagascar	Liberia	X			
Malawi	Libia	B			
Mali	Madagascar	B			
Marruecos	Malawi	X			
Mozambique	Mali	X			
Níger	Marruecos	A			
Nigeria	Mauricio	X			
Reunión	Mozambique	B			
Senegal	Níger	X			
Seychelles	Nigeria	B			
Sudáfrica	Reunión	B			
Sudán	Santa Helena	B			
Tanzania	Senegal	X			
Togo	Seychelles	B			
Tunisia	Sierra Leona	X			
Uganda	Sudáfrica	A			
Zaire	Sudán	X			
	Tanzania	A			
	Togo	X			
	Tunisia	A			
	Uganda	X			
	Zimbawe	A			

Fuente: elaboración propia.



Tabla III. **Distribución geográfica *Ceratitis capitata***  
**Islas del Atlántico y América**

Islas del Atlántico (1992)	Islas del Atlántico (2006)	Estado	América (1992)	América (2006)	Estado
Azores	Azores	X	Argentina	Argentina	B
Cabo Verde	Madeira	X	Bolivia	Belice	E
Islas Canarias	Santo Tomás y Príncipe	X	Brasil	Bermuda	E
Madeira			Chile	Bolivia	X
Santa Helena			Colombia	Brasil	X
Santo Tomás			Costa Rica	Chile	E
<p>X =Presente sin detalles  A= Presente, ampliamente distribuida  B=Presente, distribución restringida  C=Presente, pocas ocurrencias  D=Ausente, o ya no está presente  E=Ausente, plaga erradicada  F=Ausente, únicamente interceptada  H=Ausente, confirmada mediante evaluación  J=Ausente, con registro inválido  K=Ausente, no confiable</p>			Ecuador	Colombia	X
			El Salvador	Costa Rica	A
			Estados Unidos (California, Florida, Hawái y Texas)	Ecuador	B
			Guatemala	Estados Unidos (California, Florida, Hawái, Texas)	B
			México	Estados Unidos (California, Florida, Hawái, Texas)	B,E,E,A,E
			Nicaragua	Guatemala	B
			Panamá	Honduras	B
			Paraguay	México	C
			Perú	Nicaragua	X
			Uruguay	Panamá	X
			Venezuela	Paraguay	A
				Perú	X
				Surinam	H
				Uruguay	A
				Venezuela	X

Fuente: elaboración propia.

Tabla IV. **Distribución geográfica *Ceratitis capitata* Europa**

Europa (1992)	Europa (2006)	Estado	
Albania	Albania	X	
Alemania	Alemania	D	
Austria	Austria	F	
Bélgica	Bélgica	D	
Chipre	Bulgaria	C	
España	Chipre	A	X =Presente sin detalles
Francia	Croacia	B	A= Presente, ampliamente distribuida
Grecia	Eslovaquia	F	B=Presente, distribución restringida
Hungría	Eslovenia	B	C=Presente, pocas ocurrencias
Italia	España	A	D=Ausente, o ya no está presente
Malta	Federación Rusa, Sur de Rusia	C	E=Ausente, plaga erradicada
Portugal	Francia (Corsa y Francia continental)	B	F=Ausente, únicamente interceptada
Suiza	Grecia	A	H=Ausente, confirmada mediante evaluación
Ucrania (sur)	Holanda	D	J=Ausente, con registro inválido
Yugoslavia	Hungría	D	K=Ausente, no confiable
	Italia(Serdeña, Sicilia)	X	
	Lituania	F	
	Luxemburgo	D	
	Malta	A	
	Noruega	F	
	Portugal	X	
	Reino Unido	D	
	República Checa	F	
	Suecia	F	
	Suiza	B	
	Turquía	A	
	Ucrania	E	

Fuente: elaboración propia.

### 8.1.3. Hospederos

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

Tabla V. 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 y melocotón	Lucky nut	Pitanga
Guanábana	Berenjena	Egyptian carissa	Mamey	Plátano enano
Guayaba	Cacao	Feijoa	Mandarina	Pomarosa
Higo	Café	Fresa	Mango en todas sus 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	Capulín	Granadilla	Marañón	Tangelo

Fuente: elaboración propia.

Tabla VI. **Hospederos comunes de *Ceratitis capitata***

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	Ciruela	Jitomate	Nogal Inglés	Uva de playa
Uva de playa	Ciruela amarilla	Kei Apple	Nopal de las Indias fig-pickly	Zapote
	Ciruela americana	Kiwi	Nopal de oreja de elefante	Zapote amarillo
	Ciruela de Java	Laurel de las Indias	Nuez myrobolana	Zapote blanco
	Ciruela judía	Lima	Palma datilera	
	Ciruela Kaffir	Lima dulce	Papaya	

Fuente: elaboración propia.

Los cultivos más importantes producidos en Guatemala se presentan en la siguiente tabla, y en comparación con la información obtenida del compendio en la tabla anterior, se puede determinar que la producción agrícola en Guatemala se vería afectada por la infestación de la plaga.

Tabla VII. **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	1165900	Aguacate	2115900	Arveja china	892300	Banano	70283300
Arroz	706600	Limón	2664500	Brócoli	1531900	Cacao	289400
Frijol	4966700	Mango	2526000	Cebolla	2981500	Café	5581700
Maíz	38178400	Manzana	484600	Chile Pimiento	1227500	Azúcar	60596800
Trigo	34300	Melocotón	575500	Papa	11504800	Cardamomo	837900
		Melón	12545200	Repollo	1280100		
		Naranja	3530300	Tomate	7061300		
		Piña	5369700	Zanahoria	1715900		
		Plátano	4345500				

Fuente: elaboración propia.

Siendo estos datos oficiales 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.

## 8.2. Métodos de control de plaga

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, a continuación se describen a grandes rasgos dichos métodos para poder estudiarlos detenidamente en el desarrollo de la investigación.

### 8.2.1. 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) al igual que la información publicada en el sitio web del Programa MOSCAMED en Guatemala medio por el cual se difunde la información del programa desde el 2010 hasta la fecha, indica que el cebo utilizado actualmente es GF-120 NF *Naturalyte* 0,02 C.B., que 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*.

En su preparación se le adicionan atrayentes alimenticios específicos para atraer 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 debido a la alta concentración de acetato de amonio en dicho producto.

De acuerdo a los procedimientos recomendados por autoridades y fabricantes del producto (Dow AgroSciences, 2014), el producto GF-120 NF *Naturalyte* 0,02 CB 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.

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.

### **8.2.2. 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 logrando que estos sean atractivos para las hembras.

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, esto se realiza ya que por medio de estudios de la genética de la especie se ha determinado que a altas temperaturas solo emergen huevecillos que producirán machos, los procesos permiten la producción de adultos machos en frío, con lo cual se puede control mejor la liberación.

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.

### 8.2.3. 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 trapeo 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 (*Ceratitis capitata*) al determinar el área que se desea analizar según el avance estimado de la mosca se realiza:

- 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.

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

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 (*Cook and Cunningham*).

Para hacer comparaciones de niveles poblacionales de la plaga en espacio y tiempo, donde se puede tener diferentes densidades de trapeo 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.

#### **8.2.4. 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.

#### **8.2.5. Control legal**

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.

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.

### **8.2.6. 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.

### **8.2.7. 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.

Según Hernández (2012), con base en la información del Organismo Internacional Regional de Sanidad Agropecuaria (OIRSA) las recomendaciones puntuales que permiten reducir elementos que amplíen la oportunidad de infestación:

- 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.

Además se busca mantener comunicación directa entre las instituciones encargadas del control de la plaga y los pobladores de las regiones tratadas, con lo que se busca proveer de conocimientos que incentiven el respeto de los controles legales, así como el entendimiento de los procedimientos desarrollados en campo, evitando con esto el surgimiento de rumores que generen problemática social.

### **8.3. Impactos ambientales del Programa MOSCAMED**

En el manejo integrado de plagas se aplica un grupo de métodos de control, dependiendo de los procesos realizados, cada método de control puede o no generar cierto impacto al ambiente de la región tratada.

El objetivo principal de esta mezcla de métodos es la implementación de procesos sucesivos que permitan una reducción progresiva de la plaga, aunque el caso de los procesos de erradicación de la mosca del mediterráneo (*Ceratitis capitata*), la investigación de métodos que limiten el uso de insecticidas (Ros, 1996) es un claro ejemplo de los intentos por reducir la aplicación de los métodos que desequilibran en mayor medida el ambiente, aún se aplican en alguna proporción, el método de control químico es el procedimiento que afecta en mayor medida el entorno de una población.

Es de conocimiento general, 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 químicos, 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.

### **8.3.1. 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 se corre el riesgo de la volatilación del producto llegando de igual forma al suelo.

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.

### **8.3.2. Contaminación del agua**

El plaguicida mediante difusión o disolución en agua puede afectar los mantos freáticos o los cuerpos de agua superficiales. El plaguicida se disuelve en agua, 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, además 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*.

### **8.3.3. Contaminación atmosférica**

Como se indica en el análisis del impacto ambiental del programa (1988) es posible que al disolverse en el agua, el plaguicida pueda posteriormente evaporarse junto con esta, lo que resulta en una permanencia de los componentes de este en la atmósfera.

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.

#### **8.3.4. Impactos ecológicos**

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.

Se estimó que de 10 apicultores, considerando que cada uno tenía control de 40 a 400 colonias en el área del programa MOSCAMED, todos comunicaron que las aspersiones de MOSCAMED causaban deterioro en sus colonias. Análisis que no se ha realizado con el plaguicida empleado actualmente, ya que aunque se indique que el producto posee atrayentes para la mosca del mediterráneo, con lo cual no se afectan otras especies, pero a nivel social aún existen reclamos al respecto.

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.

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. 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).

### **8.3.5. 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 GF-120 NF *Naturalyte* (2014) de 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 materia, 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.

Es importante determinar si actualmente se están empleando las medidas de seguridad correspondientes, ya que en 1988 se comprobó que los principales riesgos del *malation* (plaguicida empleado en 1988) contra la salud de los trabajadores de MOSCAMED parecían estar asociados con la mezcla, carga y aplicación terrestre. “Inspecciones practicadas por el equipo de AIA de CICP de las instalaciones y operaciones de campo de MOSCAMED y entrevistas con los trabajadores indicaron que hay escasez de equipo y ropa de seguridad” (CICP, 1988, p. 77).

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.

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.

De acuerdo a 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.

#### **8.4. Aspectos generales Programa MOSCAMED en Guatemala**

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.

Según información publicada por el Programa MOSCAMED en Guatemala, a través de su página web, 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).

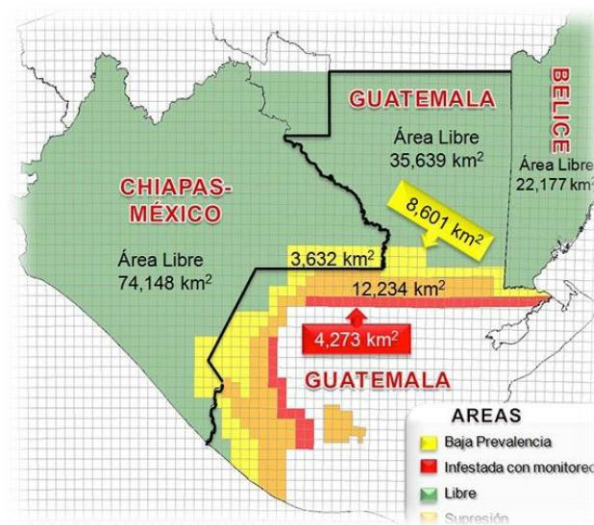
Las actividades de trabajo del Programa MOSCAMED en Guatemala se orientan a detectar oportunamente la presencia de la mosca del Mediterráneo y suprimir con una integración de controles los brotes o detecciones de la plaga en las áreas de influencia, clasificación de distintas áreas dentro del país dependiendo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

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. Se posee también 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.

#### 8.4.1. Áreas de trabajo 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.

Figura 6. Área de trabajo en Guatemala



Fuente: GUZMÁN, Remigio. *Ficha técnica*. p. 17

- 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 como medida protectora.
- 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.
- Área de supresión de mosca del mediterráneo: área donde se detectan brotes y detecciones de la plaga a nivel general, se ejecutan medidas de control para mantener la supresión de la plaga.
- 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.

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. Con lo que, de 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 el control y erradicación de la mosca del Mediterráneo se utiliza control por aspersiones, control mecánico, control legal y control autocida.

### **8.5. Matemática y su aplicación en la agricultura**

“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.

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.

Por medio de la modelización matemática se busca reproducir la realidad empleando conceptos matemáticos, para explicar o comprender los fenómenos naturales, o encontrar respuestas a dificultades derivadas de casos particulares que difieren del comportamiento natural de un fenómeno.

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 matemático lleva implícita la simplificación de muchos aspectos del problema real.

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 de 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.

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.

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,  $\alpha$  la tasa de crecimiento exponencial,  $\beta$  la tasa de migración y  $x_0$  la densidad poblacional en el tiempo  $t_0$ ” (Delgadillo, Kú y Vela, 2006, p.9).

A partir de esto 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.

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.

## 9. PROPUESTA ÍNDICE DE CONTENIDOS

### ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

LISTA DE SÍMBOLOS

GLOSARIO

RESUMEN

PLANTEAMIENTO DE PROBLEMA

OBJETIVOS

RESUMEN DE MARCO METODOLÓGICO

INTRODUCCIÓN

#### 1. CAPÍTULO I: ASPECTOS GENERALES

##### 1.1. Aspectos generales *Ceratitits capitata*

##### 1.1.1. Descripción general

##### 1.1.1.1. Ciclo biológico

##### 1.1.2. Distribución geográfica

##### 1.1.2. Hospederos

##### 1.2. Programa MOSCAMED

##### 1.2.1. Fundamentos del Programa en Guatemala

##### 1.2.2. Programa MOSCAMED a nivel nacional

##### 1.1.3. Programa MOSCAMED a nivel internacional

2.    **CAPÍTULO II: MANEJO INTEGRADO DE PLAGAS**
  - 2.1.    Descripción general de los métodos de control
  - 2.2.    Lineamientos empleados para definir las áreas de acción
  
3.    **CAPÍTULO III: IMPACTO AMBIENTAL**
  - 3.1.    Control químico
  - 3.2.    Control autocida
  - 3.3.    Control etológico
  - 3.4.    Control legal
  - 3.5.    Control biológico
  - 3.6.    Control cultural
  - 3.7.    Otros métodos
  
4.    **CAPÍTULO IV: EFECTIVIDAD Y VULNERABILIDAD**
  - 4.1.    Matemática y su aplicación en la agricultura
  - 4.2.    Modelo matemático para evaluar la eficiencia de los métodos de control de plagas
  - 4.3.    Métodos estadísticos de correlación de variables
  - 4.4.    Regresión
  - 4.5.    Análisis de datos para establecer vulnerabilidad
  
5.    **PRESENTACIÓN DE RESULTADOS**
  
6.    **DISCUSIÓN DE RESULTADOS**

CONCLUSIONES

RECOMENDACIONES

BIBLIOGRAFÍA Y REFERENCIAS

ANEXOS

## **10. METODOLOGÍA**

### **10.1. Variables e indicadores**

La investigación está enfocada a la generación de herramientas técnicas para el monitoreo y 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 por medio de:

- Vulnerabilidad por región
  - Indicador: temperatura, humedad, ubicación, cultivos, velocidad del viento.
  
- Efectividad de métodos de control
  - Indicador: total poblacional de la plaga, tasa de crecimiento poblacional, grado de satisfacción de pobladores.
  
- Densidad poblacional
  - Indicador: nacimientos, muertes, migración, área infestada.

### **10.2. Tipo de estudio**

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

Se formulará posteriormente la problemática ambiental generada por cada método de control de la plaga y posteriormente se examinará la información básica obtenida, se describirán los métodos empleados, situaciones sociales generadas a partir de estos, así como la identificación de la relación que existe entre variables físicas y ambientales involucradas en el comportamiento de la plaga.

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

Se pretende alcanzar un estudio inferencial, para evaluar la densidad población afectada por los métodos de control de la plaga, empleando para esto modelos de crecimiento poblacional fundamentado en la teoría de ecuaciones diferenciales. Se trabajará con un diseño no experimental al emplear datos que fueron recabados por el programa en la observación de los fenómenos en su contexto natural.

#### **10.2.1. Investigación documental (fase 1)**

Se revisarán 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 realizará inicialmente una investigación documental para obtener un panorama general sobre la mosca del mediterráneo (*Ceratitis capitata*) para comprender la gravedad del establecimiento de la plaga.

Se estudiarán los métodos de control para la erradicación de la plaga empleados en Guatemala, así como métodos adoptados en programas extranjeros, se analizarán 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.

Al obtener información de los procedimientos empleados en cada método de control, se procederá a evaluar los impactos ambientales generados por cada uno de estos, se investigarán los efectos y repercusiones de su implementación, analizando las características físicas, químicas y valores toxicológicos de los distintos compuestos empleados por el programa, así como de las acciones alternativas ejecutadas por los pobladores.

Se espera describir con esto cada uno de los métodos empleados actualmente por el programa, así como métodos alternativos que puedan complementar las acciones realizadas, si el análisis de la agrupación de diversas fuentes de información resulta pobre, se procederá a definir los lineamientos necesarios para obtener información auxiliar por medio de entrevistas a expertos o encuesta.

### **10.2.2. Recolección de datos (fase 2)**

Se solicitará el apoyo del Programa MOSCAMED en Guatemala, del Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología (INSIVUMEH), del Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación (MAGA) y del Banco de Guatemala (BANGUAT) para obtener datos de las variables cuantitativas, es decir los datos necesarios para el estudio de correlación se obtendrán por medio de fuentes secundarias de información.

En particular, los datos referentes al establecimiento y distribución de la mosca, serán solicitados en la sede central del Programa MOSCAMED en Guatemala, solicitando previamente a dicha institución los registros de detección así como monitoreo de la plaga por medio de un control etológico, de igual forma se plantea la posibilidad de gestionar el acompañamiento para verificar los procedimientos de evaluación de la eficiencia de los controles empleados.

En el caso de los datos físicos y ambientales para analizar la vulnerabilidad de las distintas regiones del país se empleará de igual forma análisis documental. Inicialmente se analizarán las bases de datos para verificar inconsistencias o eliminar valores extremos que pueda considerarse generarán sesgo en la interpretación de los datos.



### **10.2.3. Análisis de información y generación de productos (fase 3)**

La escala de vulnerabilidad empleada se generará a partir de los datos obtenidos a nivel nacional de las variables de estudio, así como variables que se integren al análisis dependiendo de los datos observados.

Dependiendo de las bases de datos que se obtengan, así como características particulares de las regiones se deja abierta la posibilidad de introducir variables distintas a las planteadas inicialmente al momento de obtener los resultados.

La vulnerabilidad es el grado de debilidad o exposición de una región dado un conjunto de elementos frente a la infestación de la plaga, se estudiará inicialmente según las variables que se determine poseen correlación con el fenómeno y luego se incluirán las medidas implementadas actualmente.

En el primer caso se expresa en términos de probabilidad, en porcentaje de 0 a 100. Se emplearán las siguientes categorías de vulnerabilidad producto de la adaptación de rango determinados por el Instituto Nacional de Defensa Civil de Perú (2006), 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 realizarán a través de variabilidad de los datos en comparación con los valores promedios que condicionan favorablemente a la plaga. Para el segundo caso se trabajará con una adaptación de categorías implementadas por el Instituto de Hidráulica Ambiental de la Universidad de Canabria.

Para 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, medida del valor ambiental que cuantifica el daño ambiental. Su valor se logra al localizar la existencia de alguna protección de ámbito local, regional, nacional, y/o internacional (No protegido =1, Protegido =2).

$I^{SG}$  Indicador de singularidad, se define según la importancia relativa del ecosistema en términos de las variables correlacionadas con el establecimiento de la plaga, es decir, según las condiciones que posea. Para lo cual:

Tabla VIII. **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: elaboración propia.

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

Determinando las siguientes categorías:

Tabla IX. **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
$\geq 8$	Muy vulnerable	3

Fuente: elaboración propia.

Posteriormente, se analizará la información obtenida por medio de parámetros de estadística descriptiva, para determinar variables a integrar en la delimitación de los modelos de densidad poblacional, se definirá 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 cada método de control, determinando las suposiciones a incluir en cada caso.

Al obtener los modelos matemáticos, se procederá, contrastando con las estimaciones que se han generado por medio de muestreo, a interpretar la correspondencia del modelo a los fenómenos reales estudiados.

De obtener resultados con diferencias representativas según intervalos de confianza realizados con las estimaciones del Programa en Guatemala, se incluirán al modelo variables según condiciones regionales para establecer un modelo que corresponda a la observación reflejada en las bases de datos del programa.

Con los datos obtenidos tanto de la población estimada de moscas en las diversas regiones como caracterización de las regiones en función de variables que condicionan el establecimiento de la plaga, se realizará análisis de correlación de los datos para validar los modelos generados.

## 11. TÉCNICAS DE ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN

Se emplearán herramientas para la solución de ecuaciones diferenciales por medio de análisis numérico empleando los datos históricos obtenidos para obtener una estimación de la densidad poblacional, método que se analizará dependiendo del tipo de ecuación diferencial resultante para el modelo, por otra parte, se realizará análisis de regresión y se examinará la correlación de las variables por medio del coeficiente de correlación para la utilización de elementos que determinen la vulnerabilidad regional.

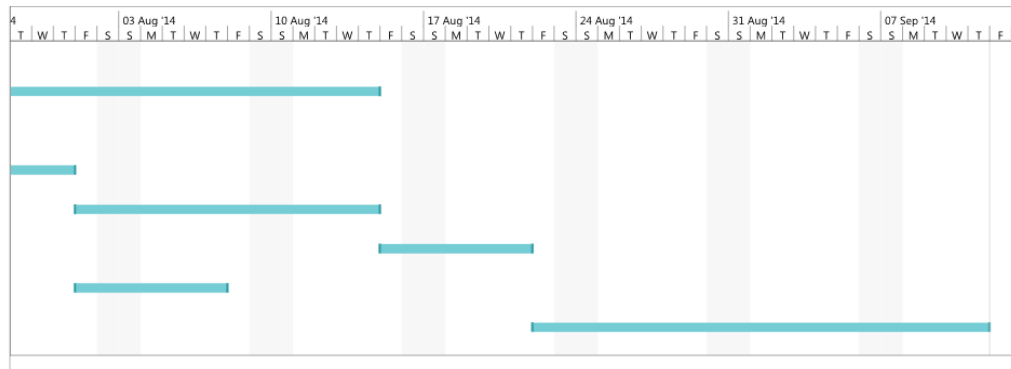
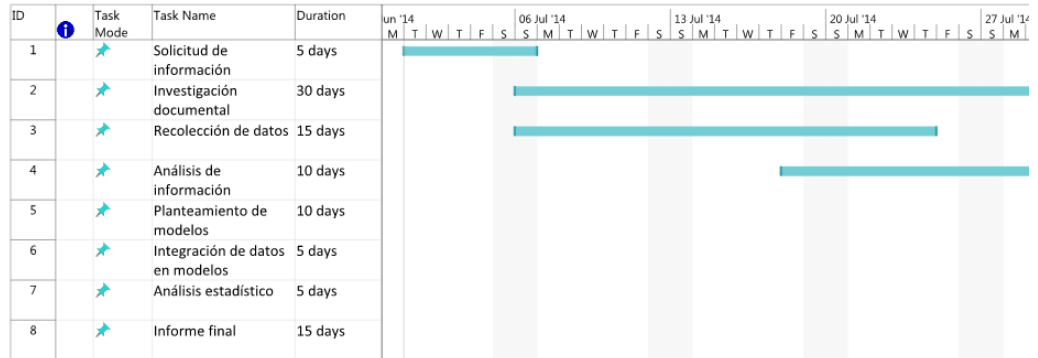
Para el análisis de la información se realizarán varias pruebas con los datos que se posean, modelando iterativamente hasta encontrar un modelo que se ajuste a los datos de campo con un error mínimo de 5 a 10 por ciento.

Para el análisis estadístico y de bases de datos se empleará el programa IBM SPSS Statistics, así como R dependiendo de la base de datos obtenida, se realizarán ensayos para la solución numérica de las ecuaciones diferenciales obtenidas mediante *Wolfram Mathematica*, y para realizar los mapas de vulnerabilidad se empleará *ArcGIS* para lo cual se solicitará el apoyo de cartógrafos.

Al finalizar esta fase se pretende contar con un mapa de vulnerabilidad a nivel regional, así como modelos matemáticos que reproduzcan la dinámica poblacional de la *Ceratitis capitata* (mosca del mediterráneo) al introducir a su ciclo natural los procedimientos empleados en los distintos métodos de control.



## 12. CRONOGRAMA







### 13. RECURSOS NECESARIOS Y FACTIBILIDAD DEL ESTUDIO

Tabla X. Recursos necesarios para la investigación

Ítem	Costo (por mes)	Tiempo (meses)	Total (quetzales)
<b>1. Recurso humano</b>			
1.1 Asesor	200	6	1200
1.2 Estudiante	-----	6	0
1.3 Cartógrafo	1000	1	1000
<b>2. Materiales, equipo e insumos</b>			
2.1 Energía eléctrica	100	6	600
2.2 Internet	150	6	900
2.3 Computadora	-----	6	0
2.4 Impresora	-----	6	0
2.5 Tinta para impresora	30	3	90
2.6 Fotocopias	100	3	300
2.7 Gasolina	500	6	3000
2.8 Útiles de oficina	70	6	420
<b>3. Visita técnica ( a centro MOSCAMED)*</b>			
3.1 Viáticos	2500	2	5000
<b>Total proyecto</b>			<b>12510</b>

Fuente: elaboración propia.

### **13.1. Factibilidad de estudio**

La información a emplear en la investigación es de carácter público, las instituciones encargadas del monitoreo y control de la plaga, poseen disposición de compartir los resultados obtenidos, el análisis de las variables físicas de las distintas regiones del país es información pública, por lo que se considera factible ejecutar la primera fase de la investigación, en relación a las fases siguientes, únicamente se necesita el empleo de fórmulas estadísticas y de programas de análisis numérico, de los cuales se poseen programas libres que no necesitan la compra de licencias o permisos.

## 14. BIBLIOGRAFÍA

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. Charlín, Raimundo. (1991) *La mosca de la fruta Ceratitis capitata*. Universidad de Chile. Chile. Pp. 41-47. Disponible en: [http://mazinger.sisib.uchile.cl/repositorio/ap/ciencias\\_agronomicas/c200616151lamoscadelafrutaceratiscapitata.pdf](http://mazinger.sisib.uchile.cl/repositorio/ap/ciencias_agronomicas/c200616151lamoscadelafrutaceratiscapitata.pdf)
3. Delgadillo, Sandra. Kú, Roberto y Vela, Luz. (2006) *Modelación matemática del control de plagas en un cultivo de brócoli*. Departamento de Matemáticas y Física, Universidad Autónoma de Aguascalientes. Aguascalientes, México.
4. Diéguez, E. Servín. 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.
5. Dierksmeyer, Gonzalo. (2001). *Plaguicidas, residuos, efectos y presencia en el medio*. La Habana, Cuba.
6. Dirección Nacional de Prevención, Instituto Nacional de Defensa Civil. (2006) *Manual Básico para la Estimación del Riesgo*. Lima, Perú.

7. EPPO. (2006). *Distribution maps of quarantine pests for Europe. Ceratitis capitata. European and Mediterranean Plant Protection Organization.*
8. EPPO. (2009). *Ceratitis capitata in: EPPO A2 List of pests recommended for regulation as quarantine pests. Data Sheets on Quarantine Pests.*
9. Espinoza, José, Chulím, Néstor, Ramírez, Juárez. (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.
10. Fischbein, Deborah. (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.
11. Franqui Rivera, Rosa Amelia. (2003) Mosca del Mediterráneo (*Ceratitis capitata* Wiedemann). Puerto Rico: Departamento Cultivos y Ciencias Agroambientales, Colegio de Ciencias Agrícolas, Universidad de Puerto Rico.
12. Gómez, Herberth. (2005) *Las moscas de la fruta.* [Boletín de Sanidad Vegetal 44]. Bogotá, Colombia: Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural.

13. Guzmán-Plazola, Remigio. (2010) *Ficha técnica Ceratitis capitata (Wiedemann) Mosca del mediterráneo*. México: SAGARPA, SENASICA, SINAVEF.
14. Hernández Ramírez, Juan. (2012). *La mosca del mediterráneo*. Recuperado 18 de enero 2014. Revista digital nova. Disponible en: [http://www.revistanova.org/index.php?option=com\\_content&view=article&id=50:mosca-del-mediterraneo&catid=35:ciencias-naturales&Itemid=143](http://www.revistanova.org/index.php?option=com_content&view=article&id=50:mosca-del-mediterraneo&catid=35:ciencias-naturales&Itemid=143)
15. [http://www.tropicoverde.org/Proyecto\\_TV/doc\\_pdf/Boletin%20Moscamed.pdf](http://www.tropicoverde.org/Proyecto_TV/doc_pdf/Boletin%20Moscamed.pdf)
16. <http://www.moscamed-guatemala.org.gt/>
17. Kerns, David. (2004). *La Mosca Del Mediterráneo Ceratitis capitata (Wiedemann)*. Arizona, Estados Unidos: The University Of Arizona College Of Agriculture And Life Sciences Tucson, Arizona. Disponible en: [ag.arizona.edu/pubs/insects/az1352S.pdf](http://ag.arizona.edu/pubs/insects/az1352S.pdf)
18. 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.
19. Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación, Dirección de Planeamiento (2013). *El agro en cifras 2013*. Guatemala, Guatemala: MAGA.

20. 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 (Díptera: Tephritidae) basada en los registros del Museo de Insectos de Interés Agrícola del INIA – CENIAP.* (Pp. 51-54). Venezuela.
21. 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.
22. Porras, Luis y Lecuona, Roberto. (2008) En Agronomía Costarricense 32 (2). *Estudios de Laboratorio para el control de Ceratitis capitata (Wiedemann) con Beauveria bassiana.* (Pp. 119-128). Costa Rica.
23. Programa Regional MOSCAMED Guatemala, México y Estados Unidos. (2006) *Manual de aspersión para el control de la mosca del mediterráneo (Ceratitis capitata Wied.).*
24. 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.*

25. Regalado Méndez, Alejandro, Peralta Reyes, Ever y González Rugerio, Carlos. (2008) *Ensayos Cómo hacer un modelo matemático*. Temas de Ciencia y Tecnología vol. 12 número 35 mayo - agosto 2008, 9 – 18.
26. 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.*
27. Ros, Alemany, Castillo, Crespo, 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).
28. Samayoa Morales, Noé. (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.
29. Samayoa Sandoval, Laura Conzuelo. (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.

30. San Andrés Aura, Victoria. (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.
31. 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.
32. 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.
33. 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



34. Sierra Pacay, Juan Carlos. (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.
35. 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.
36. Sistema Nacional de Vigilancia Epidemiológica Fitosanitaria. (2009) *Desarrollo de Modelos de Pronóstico Multitemporal y Multivariado de Plagas Reglamentadas*. México.
37. Vargas, R y Rodríguez, S. (2007) *Dinámica de Poblaciones*. Perú.
38. Vela, Luz. Delgadillo Sandra y Kú Roberto. (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.
39. Yin Hernández, Xóchitl. (2011). *Informe de gestión ambiental y social (IGAS)*. México: Banco Interamericano De Desarrollo, Programa De Fortalecimiento De Bienes Públicos Rurales.

