



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE CIUDAD JUÁREZ

Instituto de Arquitectura Diseño y Arte

**“CARACTERIZACIÓN DEL CICLO BIOLÓGICO DE *Cydia pomonella* (L).
MEDIANTE UNIDADES CALOR EN CHIHUAHUA: REGIÓN
MANZANERA 2013-2014.”**

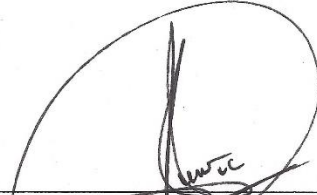
Proyecto de titulación que presenta:

Ana Karen Nájera González

Como requisito parcial para obtener al grado de:

Licenciado en Geoinformática

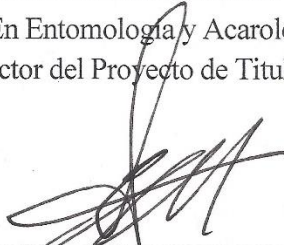
Este proyecto de titulación fue aceptado por el comité revisor designado por la academia del programa de Geoinformática de la Universidad Autónoma de Cd. Juárez, como requisito parcial para optar al grado de Licenciado en Geoinformática.



Mario José Ure Campos
M. en C. En Ciencias de la Productividad Frutícola
Director del Proyecto de Titulación



Juan Luis Jacobo Cuellar
Dr. En Entomología y Acarología
Codirector del Proyecto de Titulación



María Elena Torres Olave
Dra. En Ciencia y Tecnología Ambiental
Sinodal Titular



Manuel Octavio González
M. en C. En Ciencias de la Productividad Frutícola
Sinodal Titular



Elifalet López González
Dr. En Matemáticas
Sinodal Suplente

DEDICATORIA

Dios tu que me has permitido lograr este sueño en mi vida, esta meta tan importante para mí y mi familia agradezco que me hayas acompañado y fortalecido en estos cuatro años, donde muchas veces me sentí desmotivado y tú me ayudabas a construir pensamientos positivos.

A mis padres, porque siempre han sido y seguirán siendo un apoyo y gran ejemplo en mi vida, me han enseñado que el éxito es de las personas perseverantes, que no importa cuántas veces te caigas, lo importante es la persistencia que tengas para lograr tus objetivos. A mis hermanos, porque ellos son un gran ejemplo de solidaridad, cariño, persistencia y apoyo incondicional. A mis mejores amigas, ellas siempre me dieron ánimos y me apoyaron para seguir adelante aunque todo fuera complicado siempre estuvieron a mi lado (KK). Indudablemente ellos son el motivo principal para mi superación personal, nada de lo que eh vivido hasta este momento hubiera sido posible sin su apoyo y amor.

AGRADECIMIENTOS

Indudablemente todas las personas que estuvieron con migo estos cuatro años directa o indirectamente fueron parte fundamental de mi aprendizaje tanto personal como profesional. A mis profesores, porque estuvieron al pendiente de mi desarrollo académico desde los primeros semestres de mi carrera.

Pero siempre hay personas que dejan huella en tu vida y yo estoy muy agradecida con el Director de mi proyecto de titulación Mario I. Uc Campos por haber sido un gran apoyo siempre, porque sin importar el día tenía espacio para ayudarme o darme un consejo siempre con la mejor disposición, por orientarme siempre que tenía dudas y darme ánimos cuando todo era mas complicado. A la Dra. María Elena Torres Olave por asesorarme siempre que fuera necesario, rebasando ambos las labores de un profesor. Pero también estoy especialmente agradecida con mi familia, porque siempre creyeron en mí porque siempre tuvieron la paciencia para aconsejarme y apoyarme.

Agradezco el apoyo del Dr. Juan Luis Jacobo Cuellar por orientarme a encontrar el tema para mi proyecto de titulación y estar al pendiente de mis conflictos durante el proceso.

CARACTERIZACIÓN DEL CICLO BIOLÓGICO DE *Cydia pomonella* L. MEDIANTE UNIDADES CALOR EN CHIHUAHUA: REGIÓN MANZANERA 2013-2014.

Ana Karen Nájera González ¹

Resumen. La palomilla de la manzana (*Cydia pomonella* L.) es una de las principales plagas que afectan al manzano. En Chihuahua, este lepidóptero, incide en todos los municipios con huertos manzaneros, con 0.2 a 40% de daños en el fruto. El ciclo biológico de muchos organismos depende estrechamente de la temperatura, medida en Unidades Calor (UC). Se ha observado que, la *Cydia pomonella* debe acumular cierto número de UC para pasar de una etapa de desarrollo a otra. Por lo tanto, considerando que este lepidóptero tiene un impacto en el sector frutícola, por este motivo es importante caracterizar espacialmente la acumulación de unidades calor y determinar las zonas con los

requerimientos térmicos necesarios para el desarrollo biológico de la palomilla de la manzana. Se generaron bases de datos con la información diaria de las estaciones meteorológicas correspondientes al área de estudio para los años 2013 y 2014; utilizando los SIG se crearon cartografías de la caracterización espacial de UC para el correspondiente periodo. Como conclusión se observa que este tipo de estudios son necesarios para la integración del manejo integrado de plagas.

Palabras clave: UC, palomilla de la manzana, manejo integrado de plagas, sistemas de información geográfica.

BIOLOGICAL CHARACTERIZATION *Cydia pomonella* UNITS BY HEAT IN CHIHUAHUA: MANZANERA REGION 2013-2014

Abstract. The codling moth (*Cydia pomonella* L.) is one of the major pests that affect apple. In Chihuahua, this lepidopteran, affects all municipalities with manzaneros orchards, with 0.2 to 40% damage to the fruit. The life cycle of many organisms is strongly dependent on the temperature, measured in Heat Units (UC). It has been observed that the

Cydia pomonella must accumulate a certain number of UC to move from one stage of development to another. Therefore, considering that this lepidopteran has an impact on the fruit sector, for this reason it is important to spatially characterize the accumulation of heat units and determine areas with the necessary thermal

requirements for biological development of the codling moth. databases were generated with daily information from the meteorological stations to the study area for the years 2013 and 2014; using GIS mapping of spatial characterization of UC for the corresponding period were created. In

conclusion it is noted that such studies are necessary for the integration of integrated pest management.

Keywords: *UC, codling moth, integrated pest management, geographic information systems.*

¹Alumna de la Licenciatura en Geoinformática. Universidad Autónoma de Ciudad Juárez Unidad Multidisciplinaria de la UACJ en Cuauhtémoc. Carretera Cuauhtémoc-Anáhuac Km 6.5, S/N Ejido Cuauhtémoc Anáhuac. Municipio de Cuauhtémoc, Chihuahua .CP 31600. E-mail: anaanjera21@hotmail.com

INTRODUCCIÓN

La carpocapsa (*Cydia pomonella* L.) se considera que es originaria de Eurasia, al igual que su hospedero principal, el manzano (*Malus domestica* Borkh) (Fernández, *et al.*, 2012). Conjuntamente con este cultivo y otras pomáceas, se distribuyó primero hacia el resto de Europa, Asia y posteriormente América, África y Oceanía a través de la dispersión ocasionada por el hombre; este insecto es incapaz de movilizarse a grandes distancias o rebasar barreras geográficas por sí mismo (Sánchez, *et al.*, 2000; citado por (Alton, 2006)).

Los primeros registros de este insecto se remontan a los escritos de *Theophrastus* en el año 371 AC Cato, el gran orador de la antigua Roma, hablaba de “manzanas abichadas” en su tratado de agricultura escrito cerca de 200 años AC (Slingerland, 1898; citado por (Fernandez, 2012)). Sin embargo, no es hasta finales del siglo XIX que comienza a aparecer en forma consistente en la literatura científica. En la actualidad es un insecto cosmopolita presente prácticamente en todos los lugares donde se cultivan sus huéspedes (manzanos, perales, membrilleros y nogales), en los cinco continentes y en ambos hemisferios, limitado principalmente por la presencia de hospederos y la acumulación de un mínimo de 600 unidades calor (UC) por

encima del umbral de 10°C (Shel’Desova, 1967; citado por (Fernandez, 2012)).

La producción de manzana, está distribuida básicamente en seis de diez regiones que comprende el estado de Chihuahua. Las regiones más sobresalientes son Cuauhtémoc y Guerrero, las cuales agrupan la mayor producción. La región de Guerrero, generó una producción que obtuvo menos de 100 mil toneladas, ubicándose en 79,328 toneladas de manzana (Gobierno del Estado de Chihuahua, 2011).

En el Estado de Chihuahua la palomilla incide en todos los municipios con huertos de manzano, con 0.2 a 40% de daños en fruto (Jacobo & Ramírez, 1999; citados por (Jacobo, *et al.*, 2005)). Es la plaga más importante por su persistencia, por los recursos económicos destinados para su control y porque constituye un factor de riesgo en la rentabilidad del cultivo, ya que su daño puede reducir hasta un 44.4% de la producción (Jacobo y Ramírez, 1999 citado por (Jacobo & Ramirez, 2006)).

Manejo Integrado de Plagas (MIP)

El concepto de manejo integrado de plagas (MIP) fue desarrollado primero por los entomólogos por los años 50, como un enfoque aplicaba principios ecológicos en el uso de métodos de control biológico y químico contra insectos dañinos. El MIP

definido como la estrategia que utiliza diferentes técnicas de control (biológico, cultural, físico y químico) tienen como prioridad evitar o reducir el daño que ocasiona una o más plagas sobre un determinado cultivo. Se le da prioridad a los métodos que son más seguros para la salud humana y el medio ambiente (FONTAGRO, 2015).

El MIP es definido como la selección inteligente de tácticas para controlar plagas; asegurando consecuencias económicas, ecológicas y sociológicas sostenibles. El MIP no busca la eliminación completa de las plagas; sino, la reducción de las mismas a niveles por debajo del umbral económico. Permitiendo a los agricultores vigilar y controlar las plagas en sus campos, reduciendo al mínimo absoluto la utilización de plaguicidas, químicos costosos y potencialmente dañinos y peligrosos (FAO, 1998).

En el trabajo realizado por Ramírez *et al.*, (2006) mencionan que la implementación del MIP permite la reducción de costos del manejo de plagas en 26.5 % ya que incrementa los beneficios netos por hectárea a 19.1%; reduciendo el impacto ambiental del uso de plaguicidas en un 78.1%.

Unidades Calor (UC)

El ciclo biológico de muchos organismos depende estrechamente de la temperatura (Bado, 2000); este hecho ha llevado al establecimiento del concepto unidades calor (UC) (INIFAP, 2015), que ha sido utilizado con éxito en la predicción del desarrollo de diferentes organismos en distintas partes del mundo (Gonzalez & Garcia, 2012). Una UC es una unidad que combina el tiempo y la temperatura para estimar el desarrollo de un organismo a partir de un punto a otro en su ciclo de vida. Son el producto acumulado de tiempo y temperatura entre los umbrales de desarrollo para cada día (IPM UC Davis, 2015).

Las plantas deben “acumular” determinada cantidad de calor medida en grados día (GD) desde la germinación hasta la madurez. De igual manera los insectos deben acumular cierto número de unidades calor para pasar de una etapa de desarrollo a otra. Respecto al tiempo, la temperatura es la variable más importante para predecir los eventos del ciclo biológico de un insecto; lo ideal es utilizar unidades calor en lugar de los datos originales de temperatura (Medina & Mena, 2007).

Sistemas de Información Geográfica (SIG)

Los Sistemas de Información Geográfica (SIG), son un sistema de información que trata datos georreferenciados; es decir, procesa información de eventos o entidades

geoespaciales con el fin de generar una información nueva mediante operaciones de manipulación y análisis geoespacial que ayude a la toma de decisiones (Liria, 2008).

Un mapa SIG puede combinar muchas capas de información. De este modo, y para los propósitos del manejo integrado de plagas (MIP), es posible sobreponer los mapas de distribución de ciertas malezas y los patrones de dispersión de los insectos plaga y esto, a su vez, puede relacionarse con el suelo y la información topográfica y los datos climáticos (Kogan & Shenk, 2002).

La integración en un SIG de los mapas temáticos elaborados a partir de las imágenes y otros datos provenientes de diferentes fuentes permitirán establecer aquellas áreas más susceptibles a la plaga, información necesaria para optimizar las aplicaciones de pesticidas en el caso que se requieran y en el momento oportuno (Balmaseda & Romero, 2012). La aplicación de técnicas de SIG junto a las imágenes satelitales representa herramientas importantes para el manejo integrado de plagas (AgroParlamento, 2008). Los Sistemas de Información Geográfica son una herramienta importante para la toma de decisiones en el MIP; permiten representar espacialmente el daño y el impacto de la plaga en la región, con el propósito de generar nueva información, que servirá como base en

la definición de una estrategia de manejo de la plagas (López, *et al.*, 2002).

ANTECEDENTES

Los mayores obstáculos que se han encontrado para procesar datos en programas de muestreo relacionados con el MIP, son la falta de instrumentación y el manejo analítico de datos. Nuevas tecnologías como los SIG, Sistemas de Posicionamiento Global (GPS), la adaptación de la Geoestadística y el surgimiento de programas de computadoras para representar espacialmente densidades poblacionales de insectos, se han empezado a usar con el fin de tomar decisiones (Hernández *et al.*, 2003). Cañedo *et al.*, (2011), mencionan que son de manejo más rápido y precisas. Además, el incremento de estas técnicas espaciales, es una respuesta al aumento en la demanda por considerar el costo ambiental en las decisiones de manejo (contaminación por agroquímicos) (Proyecto Vifinex, 2001).

Kogan & Shenk (2002) concuerdan con lo anterior, mencionan que; una tecnología que es esencial, es llevar el MIP a escalas espaciales operativas más altas, es la aplicación de SIG. De este modo y para los propósitos del MIP, es posible sobreponer los mapas de distribución de ciertas especies y los patrones de dispersión de los insectos y

esto, a su vez, se relaciona con el suelo y la información orográfica y los datos climáticos. (Scatoni *et al.*, 2003; Uruguay, 2005 citados en: Calvo *et al.*, 2011), indican que los programas de producción sustentable que se aplican en fruticultura, requieren siempre de procedimientos de valoración del riesgo de plagas y enfermedades. Es necesario un gran esfuerzo para proporcionar metodologías aplicables y suficientemente precisas si se quiere que las técnicas de producciones integradas u orgánicas, consideradas como el sistema de manejo de cultivos más racional y sostenible se consoliden y difundan en el futuro.

Fernández *et al.*, (2012), mencionan que el monitoreo de las poblaciones es un factor clave para determinar el riesgo de ataque de la carpocapsa y tomar decisiones de control. En este contexto se evaluaron diferentes aspectos de la taxonomía y el monitoreo de *Cydia pomonella* (Figura 1), como un carácter para la rápida diferenciación de machos y hembras, el comportamiento y eficacia de un nuevo atractivo para su monitoreo, el uso de la geoestadística y los Sistemas de Información Geográfica para la interpretación y manejo de grandes cantidades de datos de captura en trampas, el efecto del viento en la distribución espacial de

los adultos y finalmente, se propuso un sistema de vigilancia a nivel regional.

Importancia Económica

En Chihuahua el Comité Estatal de Sanidad Vegetal de Chihuahua (CESAVECH) maneja campañas dirigidas a palomilla de la manzana. A lo largo del desarrollo de la campaña (marzo a octubre) se ha logrado reducir la cantidad de productos a aplicar para el control de plagas, en el 2008 se tenía un gasto de \$ 4,200.00 pesos por hectárea, hoy en día se hace el control con la mitad de esa cantidad, transformándose en menor costo de producción y mayor ganancia para el productor, además de que el control de plagas se ha reflejado en el aumento de producción por hectárea, con productos más sanos y de mejor calidad. De no realizar la campaña, los volúmenes de cosecha se afectarían debido al incremento de plagas, elevando en consecuencia los costos de producción, las pérdidas en promedio serían de un 30% aproximadamente, afectando la economía de la región frutícola del estado (CESAVECH, 2014).

En el estado de Chihuahua la superficie establecida de manzano (*Malus domestica*) es de 27,264 has, de las cuales 24,543 se encuentran en producción y 2,721 has en desarrollo. El volumen de producción promedio para manzano de los últimos tres

ciclos corresponde a 379,500 Tn, con un precio medio rural de \$ 6,105.00 m/n lo que representa un valor de producción aproximada de 2 mil millones de pesos, en beneficio de 2,400 productores involucrados, siendo los principales destinos de comercialización: Ciudad de México, Monterrey y Guadalajara (CESAVECH, 2014).

Descripción y Ciclo Biológico del insecto (*Cydia pomonella* L.)



Figura 1. *Cydia pomonella* (L.) En su estado biológico de Adulto. Fuente: Comité Estatal de Sanidad Vegetal de Nuevo León (2014).

La carpocapsa, como todos los lepidópteros, tiene una metamorfosis completa. Pasa por cuatro estadios biológicos (huevo, larva, pupa y adulto). Su ciclo de vida está sincronizado con la fenología de su hospedero más importante, el manzano, las dos especies han evolucionado en forma conjunta y tienen requerimientos ecológicos similares (Fernandez, 2012).

Huevo: Su tamaño es el de una cabeza de alfiler, aproximadamente 1 mm de diámetro y con forma de disco. Su color varía según en el estado de desarrollo que se encuentren, al inicio son transparentes, luego se tornan de color blanco opaco con una aureola roja y justo antes de eclosionar se puede observar la cabeza negra de la larva (Guerrero, 2014).

Larva: Una larva recién eclosionada mide 2 mm y es de color blanco con la cabeza de color negro. Una larva madura mide 15 mm y es de color rosado con la cabeza negra. Pasan por cinco estadios larvales.

Pupa: De color café, mide de 8 a 12 milímetros, se encuentran protegidas dentro de cocones de seda tejidos por las larvas.

Adulto: Los adultos son alados, de 9 mm de largo, el color del cuerpo alterna bandas de color grisáceo y blanco. En el extremo de cada ala poseen una mancha circular característica de color rojo.

Esta plaga busca los troncos de árboles de manzano para hibernar durante los meses de octubre a febrero, emergiendo en el mes de marzo como adulto después de pupar (Guerrero, 2014).

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Por lo mencionado anteriormente, se destaca que en el estado de Chihuahua no existe una caracterización espacial térmica que determine la acumulación de unidades calor

para la aplicación de algún insecticida o agente biológico para el control de la palomilla de la manzana por variación de unidades calor, basado en un modelo de variables térmicas. Esto puede afectar la eficiencia de la aplicación, aumentar los gastos para el productor y la pérdida total o parcial de la producción.

JUSTIFICACIÓN

Siendo Cuauhtémoc, Guerrero, Bachíniva y Casa Grandes, los municipios en el estado con mayor importancia en la producción de manzana y la *Cydia pomonella* (L.) una plaga de cuidado que ataca principalmente al manzano que puede ocasionar daños realmente severos. La palomilla de la manzana tiene un impacto en el sector económico esta no solo afecta la producción, sino también, a la calidad de la manzana. De no ser atendida la plaga, la producción se podría ver afectada y mermada, además de que no podría tener oportunidad de competitividad para la comercialización en ningún mercado y esto afectaría gravemente a los productores. Por este motivo, es relevante la realización de esta investigación, con el fin de realizar una caracterización espacial térmica de la acumulación de UC para el desarrollo biológico de la palomilla de la manzana además de analizar e identificar las áreas en donde existen las condiciones

térmicas necesarias para aplicar un manejo preventivo, utilizando los SIG en complemento con el manejo integrado de plagas, siendo en la actualidad los SIG una herramienta que ha tomado gran importancia en la investigación de esta índole; ya que, reducen el costo y tiempo en la recolección y procesamiento de datos considerablemente.

OBJETIVO GENERAL

Caracterizar espacialmente la acumulación de unidades calor y determinar las zonas con los requerimientos térmicos necesarios para el desarrollo biológico de la palomilla.

Objetivos Específicos

- Elaborar una base de datos de las variables de temperatura para los años 2013 y 2014.
- Generar interpolaciones y corregirlas por medio del gradiente altitudinal de variables térmicas determinantes para la presencia de *Cydia pomonella* (L).
- Obtener y validar los modelos térmicos diarios (Unidades Calor).
- Crear cartografías de los requerimientos en UC para la palomilla en la región.

Por medio del planteamiento de los objetivos *a priori* descritos se establece la siguiente hipótesis: mediante la utilización de los SIG y variables térmicas (UC) es posible ubicar las áreas con condiciones caloríficas

necesarias para el desarrollo biológico de la palomilla de la manzana, para la aplicación del MIP oportuno.

MATERIALES Y MÉTODOS

El área de estudio de la investigación se localiza en el estado de Chihuahua, México (Figura 2), ubicado en la parte central del norte del país y en sus coordenadas geográficas entre 31° 54' y 25° 29' de Latitud Norte y 103° 16' y 109° 17' de longitud Oeste. Cuenta con una extensión de 253,571 km² ocupando en 12.6% del territorio nacional, siendo el estado más grande de la República Mexicana, está dividido en un total de 67 municipios. Con una altitud que oscila entre los 145 - 3286 msnm (metros sobre el nivel del mar) (INEGI, 2012). El 25.6% de la superficie estatal cuenta con un clima muy seco templado, el 15.4% es clima semiseco templado, 14.3% es un clima muy seco semicálido, el 12.9% por templado subhúmedo con lluvias en verano, el 11.2% contiene un clima semifrío subhúmedo con lluvias en verano y el 20.6% con otro tipo de clima (INEGI, 2012).

La zona de estudio (Figura 2) se centra en la región manzanera del estado de Chihuahua, comprende los municipios de: Casas Grandes, Galeana, Ignacio Zaragoza, Madera, Gómez Farías, Namiquipa, Temósachic, Matachí, Bachíniva,

Cuauhtémoc, Guerrero y Cusihuriachí; ésta región se encuentra en la parte noroeste del Estado de Chihuahua, ubicado en la terminación de la denominada provincia fisiográfica Sierra Madre Occidental (SMO) y altiplanicie chihuahuense, el territorio es de contrastes en extensas llanuras y grandes serranías. Los tipos de suelo que ocupan en mayor extensión son los Feozem, Xerosol y Litosol. Con un clima predominante que van de Seco, muy Seco y Templado Subhúmedo (INEGI, 2005).

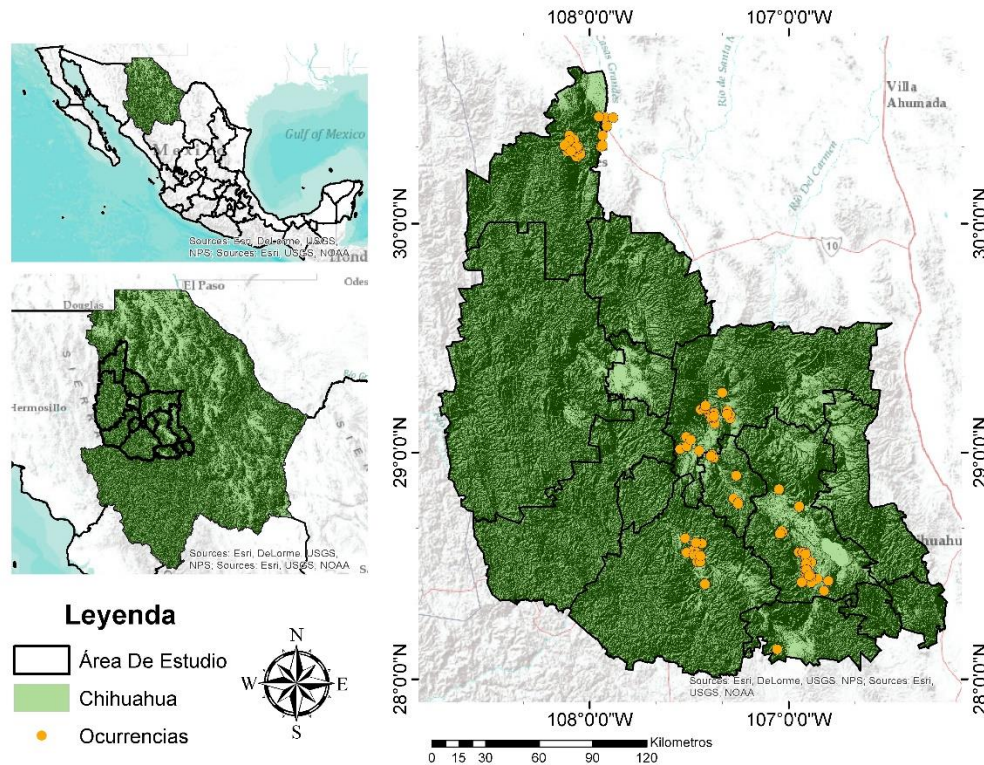


Figura 2. Localización del área de estudio y puntos de ocurrencia de la *C. pomonella* (L.). Fuente: elaboración propia en base a datos proporcionados por Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias.

METODOLOGÍA

Bases de datos

En el proceso de desarrollo de software existen diversas tareas como el diseño, la programación y depuración. La falta de organización e integración de estas fases y los constantes cambios de los requerimientos, afectan el proceso del software que conlleva a inconsistencias entre la transición de una fase a otra y retrasos en la finalización de un producto (Radilla, 2008).

Se generó una base de datos utilizando las variables térmicas de temperatura mínima,

máxima y media, obtenidas de las estaciones meteorológicas de Fundación Produce Chihuahua (2013) y UNIFRUT (2011), incluyendo variables topográficas como el continuo de elevaciones mexicano (CEM 3.0) de una resolución espacial de 15 metros obtenidos de INEGI, publicada en 2015 (<http://www.inegi.org.mx/>).

También se agregaron los datos de ocurrencia de la palomilla de la manzana (Figura 2) proporcionados por el INIFAP (2014).

Se procedió a realizar la depuración de las tablas de temperaturas eliminando datos sin

coordenadas geográficas, incompletos o con información deficiente a la que debería corresponder; cada registro tiene campos denominados con el nombre de: estación meteorológica, latitud (Y), longitud (X),

altitud (Z) y los registros de temperatura máxima, mínima y media diaria, para los meses comprendidos entre abril - septiembre del 2013 y 2014 (Figura 3).

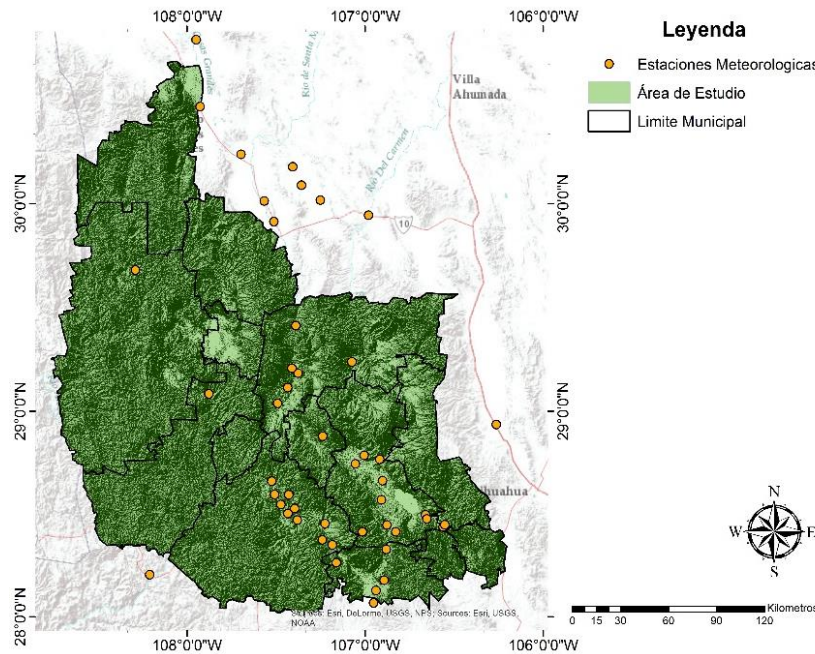


Figura 3. Estaciones meteorológicas para el área de estudio. Fuente: elaboración propia en base a datos obtenidos de UNIFRUT y Fundación Produce Chihuahua.

La base de datos de la plaga (*Cydia pomonella* L.) fue depurada dejando solamente la plaga de la palomilla de la manzana (las trampas cuentan con otros insectos atraídos por las feromonas), se eliminaron las capturas con valores de cero (0), dejando los campos que son necesarios para el estudio en donde contienen información del trapeo de la palomilla tales como; coordenadas geográficas (X - Y), municipio, nombre de la plaga, número de capturas totales > 0 y año de captura,

obteniendo un total de 130 puntos de ocurrencia para el año 2014 y 148 puntos de ocurrencia para el año 2013.

Posteriormente se optó por hacer una extracción de la tabla de atributos de trapeo de la palomilla de la manzana para el año 2013 y 2014, por mes, el siguiente paso fue asignar los valores de X e Y para observar su distribución geográfica por periodos de tiempo.

Las estaciones meteorológicas de donde fueron obtenidos los datos térmicos, fueron

ubicadas espacialmente utilizando el software Google Earth[®], teniendo un total de 49 estaciones que se encuentran dentro del área de estudio, la información de X e Y fue agregada a la base de datos y de la misma manera se agregó la altitud (Z) a cada una de las estaciones.

Preparación de la base de datos

En el paquete de SIG de ESRI ArcMap[®] en su versión 10.2, se generó el área de estudio en base a los municipios de México, los cuales se seleccionaron los correspondientes a la región manzanera. Estos se disolvieron para generar el contorno del área, la cual sirvió como máscara para extraer la zona correspondiente al CEM 3.0.

Contando con el contorno del área de estudio se agregaron las estaciones meteorológicas y se verificó el sistema de referencia espacial, el cual correspondió a GCS WGS 1984 UTM zona 13 Norte.

Después de comprobar que se tuviera el mismo sistema de referencia de las bases de datos, se extrajo una muestra aleatoria del 15%, siendo estas seis estaciones meteorológicas, las cuales fueron utilizadas para validar los modelos de predicción; por lo que, para las interpolaciones quedaron un total de 43 de estaciones meteorológicas.

Interpolación de Temperaturas

Se optó por el método geoestadístico de IDW (Distancia Inversa Ponderada) (ecuación 1) para la generación de las predicciones de las variables climáticas. Éste utiliza los valores medidos en los alrededores de la ubicación de predicción, los valores medidos más cercanos para cada punto medido tiene una influencia local que disminuye con la distancia, da mayor peso al punto más cercano a la ubicación de la predicción y los pesos disminuyen en función de la distancia, de ahí el nombre de distancia inversa ponderada (IDW) (ArcGis, 2014).

Este último utilizado en estudios como el de Machado *et al.*, (2007) los cuales han implementado métodos geoestadísticos para la interpolación de variables climáticas obteniendo resultados satisfactorios; otro estudio en donde también se menciona es el de Milena & Mejía (2007), que si la información sufre de alguna calidad de muestreo o de mediciones de la variable que se interpola, son preferibles los modelos de medias ponderadas (IDW) que son los más utilizados tradicionalmente debido a la sencillez de su manejo y a su robustez.

$$\hat{Z}_j = \sum_{i=1}^n K_{ij} \cdot Z_i$$

Ecuación 1. Método general de la interpolación por IDW. Fuente: elaboración propia en base a ESRI (2014).

Donde: \hat{Z}_j = es el valor estimado para el punto, j , n = es el número de puntos usados en la interpolación, Z_i = el valor en el punto i -ésimo y K_{ij} = el peso asociado del dato i en el cálculo del nodo j .

Ya que la información que se interpoló fue diaria, el proceso se realizó 723 veces; por lo que, el proceso se automatizó mediante un modelo programado en el constructor de modelos de ArcMap. En la Figura 4 se muestra un ejemplo del modelo generado.

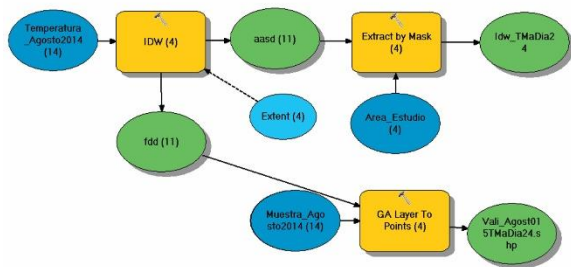


Figura 4. Ejemplo del modelo automatizado de interpolación y validación del método de interpolación de IDW. Fuente: elaboración propia.

Una descripción del modelo se muestra a continuación:

“*Model Builder*” es una aplicación que se utiliza para crear, editar y gestionar modelos. Los modelos son los flujos de trabajo que encadenan las secuencias de las herramientas de geoprocésamiento, alimentando la salida de una herramienta a otra herramienta como entrada. Este modelo también puede ser pensado como un lenguaje de programación

visual para flujos de trabajo de construcción (ESRI, 2014).

En el modelo se integró la interpolación por IDW descrito anteriormente. Dentro de éste se utilizaron las tablas de temperatura mensuales y en base a esta se generaron tres “ráster” o predicciones de temperatura diarios, uno para temperatura mínima, media y máxima.

En el campo de peso se seleccionó la altura de la estación de donde fue tomada la temperatura, sin embargo, crea una elipse exterior y una elipse interior a distancias que depende del factor de suavizado y las longitudes del semieje, que en este caso tendrá un suavizado de 0 y un ángulo de 45° para que abarque por completo los puntos de las estaciones (García & Alatorre, 2015).

El resultado de las interpolaciones se expande al tamaño del área de estudio, se exporta a “raster” y se extrae para el área de estudio; en donde, se realiza el recorte correspondiente para ésta (Figura 5).

Validación de las Predicciones

Para el IDW interpolado resultante de cada día se realizó una validación, ésta para obtener el RMSE (root mean square error) (Ecuación 2) siguiendo la recomendación de Legates y McCabe (1999), para evaluar la capacidad predictiva de los modelos. El error en las predicciones del modelo se cuantificó

en términos de las unidades de la variable calculada. Un valor de RMSE=0 indica un ajuste perfecto (Citados en Ritter *et al.*, 2015).

$$RMSE = \frac{\sqrt{\sum((O_i - P_i)^2)}}{n}$$

Ecuación 2. Ecuación de la raíz del error cuadrático medio (RMSE). Fuente: Ritter *et al.*, (2014).

Donde: N = número de datos, O_i = valor(es) observado (s), P_i = valor(es) predicho (s).

Ajuste de las Predicciones en Base al Gradiente Vertical Térmico (GVT)

Una vez creada la interpolación se procedió a corregir las predicciones en base al GVT (Gradiente Vertical Térmico), según la

Organization of American States (2015) las variaciones de temperatura corresponden a factores locales y de altura, concordando con lo que mencionan Ramos & Aguilar en el 2005, los cuales calculan el gradiente de temperatura de estaciones usando las alturas de éstas y Quevedo & Sánchez (2009) mencionan que a mayor altura es menor la temperatura y viceversa. Para ello se graficaron las temperaturas máximas y mínimas (Figura 6) como variables dependientes y las alturas de las estaciones como variable independiente mediante regresión lineal simple ($Y_i = B_0 + B_1 X_i + e^i$), de la cual se obtuvieron valores de la pendiente.

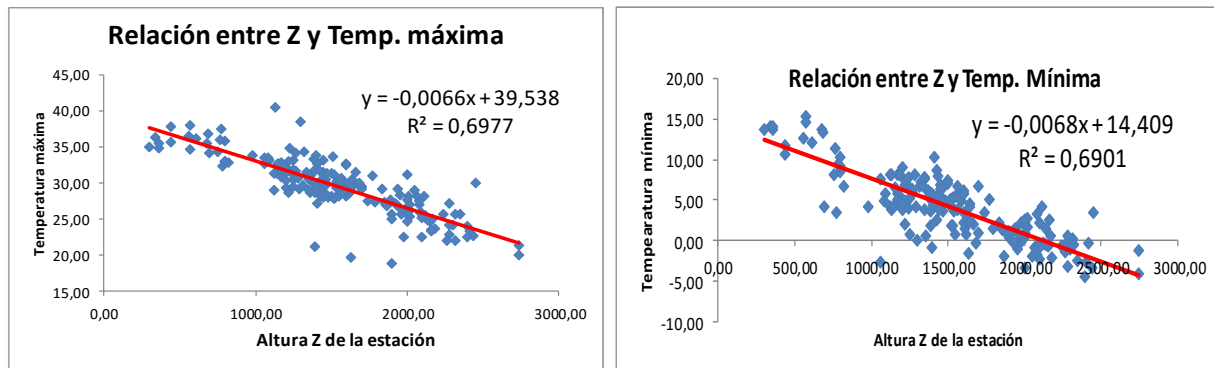


Figura 6. Relación (lineal) entre la altura (Z en metros) y las temperaturas Mínimas y Máximas. Fuente: elaboración propia en base a la información del Servicio Meteorológico Nacional (2010).

El valor de la pendiente (m) en la recta es de -0.0066 para la temperatura máxima y -0.0068 para la temperatura mínima y un valor de Z determinado para el MDE de 1876 msnm. Con estos valores se realizó la

corrección por el GVT aplicando la metodología propuesta por Fries *et al.*, (2009) en la que por medio de un MDE corrige los niveles de humedad; esto se generó por medio de algebra de mapas (Sarria, 2004). Mediante

la ecuación 3 se obtuvieron mapas de temperatura máxima y mínima diaria ajustadas con el GVT (Figura 8).

$$T_{det} = T_{est} + ((r * (Z_{det} - Z_{est})))$$

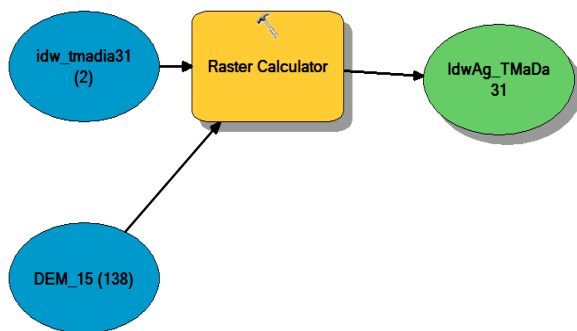
Ecuación 3. Corrección de temperaturas en base al gradiente vertical térmico (GVT). Fuente: elaboración propia en base a Fries *et al.*, (2009).

Donde: T_{det} = temperatura determinada, T_{est} = temperatura de la estación (predicción), r = valor de $m(x)$ en la regresión lineal, Z_{det} = promedio de las alturas de las estaciones o del MDE y Z_{est} = altura de cada estación medida o MDE.

De igual manera como las capas a corregir son muy extensas en número, se generó un modelo (Figura 7) que automatizó el proceso de corrección.

Figura 7. Ejemplo del modelo automatizado de la corrección por GVT para las temperaturas diarias.

Fuente: elaboración propia.



Generación de la Unidades Calor

Cálculo de Unidades Calor

La cantidad calorífica que requiere el insecto, entre los umbrales inferior y superior, para el

desarrollo biológico de su ciclo de vida, son llamadas unidades calor (UC). Estas son el producto acumulado de temperatura máxima y mínima entre los umbrales de desarrollo para cada día. Una UC es un día (24 horas) con la temperatura por encima del umbral inferior de desarrollo en un grado (SIMARBC, 2014; IPM UC Davis, 2016).

Una vez obtenidas las predicciones diarias de temperaturas máximas y mínimas ajustadas al GVT, se procedió a generar el cálculo de la acumulación de UC; para ello se aplicaron y resolvieron mediante álgebra de mapas las ecuaciones cuatro y cinco sugeridas por IPM UC Davis, 2014 y Juszcak *et al.*, 2013, para el caso de la región se ha optado por que la temperatura máxima sea mayor al umbral superior y la temperatura Mínima sea menor al umbral inferior:

$$T_{max} > T_u \text{ and } T_{min} < T_{low}$$

Método 1. Caso seleccionado para el cálculo de unidades calor. Fuente: Juszcak *et al.*, 2013; IPM UC Davis, 2014. Propuesta por Juszcak *et al.*, 2013 & IPM UC Davis, 2014.

Donde: T_{max} = temperatura máxima, T_u = umbral superior, T_{min} = temperatura mínima y T_{low} = umbral inferior.

$$DD = \frac{1}{\pi} \left\{ \left(\frac{T_{max} + T_{min} - T_{low}}{2} \right) (\theta_2 - \theta_1) + \alpha [\cos(\theta_1) - \cos(\theta_2)] + (T_u - T_{low}) \left(\frac{\pi}{2} - \theta_2 \right) \right\},$$

$$\theta_1 = \sin^{-1} \left[\left(T_{low} - \frac{T_{max} + T_{min}}{2} \right) \div \alpha \right], \quad \theta_2 = \sin^{-1} \left[\left(T_u - \frac{T_{max} + T_{min}}{2} \right) \div \alpha \right] \quad \alpha = \frac{T_{max} - T_{min}}{2}$$

Ecuación 4. Ecuaciones para el cálculo de unidades calor para el caso seleccionado. Fuente: Juszczak *et al.*, (2013) & IPM UC Davis, (2014).

Donde: $\pi = 3.1416$, T_{max} = temperatura Máxima, T_{min} = temperatura Mínima, T_u = umbral superior, T_{low} = umbral inferior, \sin = seno, \cos = coseno, \sin^{-1} = seno inverso, $\theta_1 = \sin^{-1} \left(\frac{T_{Low} - ((T_{Max} + T_{Min})/2)}{\alpha} \right)$, $\theta_2 = \sin^{-1} \left(\frac{T_{Upp} - ((T_{Max} + T_{Min})/2)}{\alpha} \right)$ y $\alpha = (T_{max} - T_{min})/2$.

Para poder agregar las ecuaciones tres y cuatro en la calculadora “raster” para el cálculo de UC, fue indispensable desfragmentar la ecuación 4 en métodos para el cálculo individual de los factores que conforman la ecuación mencionada, para esto se generaron 12 cartografías diarias para poder obtener el producto final de UC por día para los meses correspondientes a abril – septiembre para cada año estudiado.

$$\alpha = (T_{max} - T_{min})/2$$

Ecuación 5. Notación para el cálculo de mapa alfa. Fuente: Juszczak *et al.*, (2013) & IPM UC Davis, (2014).

$$T_{mimal} = ((T_{max} + T_{min})/2) - T_{low}$$

Ecuación 6. Ecuación para calcular la suma de la temperatura mínima y máxima dividida entre dos, menos umbral inferior. Fuente: elaboración propia en base a la fórmula propuesta por Juszczak *et al.*, 2013 & IPM UC Davis, 2014.

$$\Delta\theta = \theta_2 - \theta_1$$

Ecuación 7. Notación para la diferencia de Teta2 menos Teta1. Fuente: elaboración propia en base a la fórmula

$$\cos(\theta_1) = \cos \left(\sin^{-1} \left(\frac{T_{Low} - ((T_{Max} + T_{Min})/2)}{\alpha} \right) \right)$$

Método 2. Ecuación en donde se calcula el Coseno de Teta1. Fuente: elaboración propia en base a la fórmula propuesta por Juszczak *et al.*, 2013 & IPM UC Davis, 2014.

$$\cos\theta_2 = \sin^{-1} \left(\frac{T_{Upp} - ((T_{Max} + T_{Min})/2)}{\alpha} \right)$$

Ecuación 8. Ecuación para el cálculo del Coseno de Teta2. Fuente: elaboración propia en base a la fórmula propuesta por Juszczak *et al.*, 2013 & IPM UC Davis, 2014.

$$Act12 = \alpha * (\cos\theta_1 - \cos\theta_2)$$

Método 3. Notación donde se resta del resultado de Coseno de Teta1 menos Coseno de Teta2, multiplicado por alfa. Fuente: elaboración propia

en base a la fórmula propuesta por Juszczak *et al.*, 2013 & IPM UC Davis, 2014.

$$TE2P = \left(\frac{\pi}{2}\right) - \theta 2$$

Método 4. Notación en donde se divide el valor de PI (3.1416) entre dos y al resultado se resta el valor de Teta2. Fuente: elaboración propia en base a la fórmula propuesta por Juszczak *et al.*, 2013 & IPM UC Davis, 2014.

$$Map1 = Tmimal * \Delta\theta$$

Método 5. Notación en donde “Tminimal” es multiplica por diferencia de teta2 menos teta1. Fuente: elaboración propia en base a la fórmula propuesta por Juszczak *et al.*, 2013 & IPM UC Davis, 2014.

$$Map3 = (Tupp - Tlow) * Te2P$$

Método 6. Notación donde se resta el U. Máximo menos el Mínimo, multiplicado por “Te2P”. Fuente: elaboración propia en base a la fórmula propuesta por Juszczak *et al.*, 2013 & IPM UC Davis, 2014.

$$UC = (Map1 + Act12 + Map3) * \left(\frac{1}{\pi}\right)$$

Método 7. Es el método final para el cálculo de UC en donde se realiza una suma del método 3, 5 y 6, multiplicado por uno entre el valor de PI. Fuente: elaboración propia en base a la fórmula propuesta por Juszczak *et al.*, 2013 & IPM UC Davis, 2014.

Validación de Unidades Calor

Posteriormente se optó por un método para la validación de las UC generadas, utilizando la plataforma para el cálculo de UC de la

University of California Agriculture y Natural Resources. Para esto se ingresó a la página oficial de la Universidad de California, en donde fueron ingresadas las temperaturas en grados centígrados (°C), método de cálculo (seno doble), método de corte (horizontal) y se introdujeron los umbrales mínimo y máximo, para el insecto. Se decidió utilizar el método de seno doble con corte horizontal ya que es el que mejor se ajustaba a la zona y menos RMSE arrojaba. Para poder realizar el cálculo de UC en esta plataforma se generaron tablas, con las temperaturas descargadas de las estaciones meteorológicas y fueron añadidas a un archivo de texto en formato *.CSV delimitado por comas; estas son las especificaciones necesarias de la plataforma. Con ello se realizó el cálculo de UC diario para el periodo analizado del 2013 y 2014.

Caracterización del ciclo biológico de la *C. pomonella* (L).

Mediante revisión de literatura sobre el ciclo de desarrollo biológico de la plaga se encontraron las UC que este debe de acumular durante cada estadio y de esta manera generar la caracterización espacial térmica para la *C. pomonella* (L). en los años 2013 y 2014.

Después de realizar una búsqueda de información se eligieron tres tablas, las cuales

contienen información sobre los requerimientos térmicos de la plaga. Al revisar los rangos de UC que manejaba cada tabla respecto al ciclo biológico; se observó una falta de datos por lo cual, se generó una tabla de acumulación de UC por estadios de desarrollo que se ajustará mejor a la caracterización realizada en donde se

incluyeran todas las fases biológicas de la plaga. A continuación se muestran la tabla 1 (B1, B2, B3) obtenidas de IPM UC Davis (2015), De la Fuente, *et al.* (2014) & IPM UC Davis (1999) respectivamente, de las cuales fueron tomados los datos de UC para generar la tabla final de los requerimientos térmicos de la *C. pomonella* (L).

Tabla 1. Requerimientos de Unidades Calor de *Cydia pomonella* por estados de desarrollo. Fuente: elaboración propia en base a datos de estadios biológicos de *C. pomonella* propuesta por IPM UC Davis, (1999); De la Fuente, *et al.*, (2014) & IPM UC Davis (2015).

HOSPEDERO: PERA Y (B1) MANZANA	DD (°C)
Huevo	87.8
Larva	261.7
Pupa	239.4
Final de generación (huevo a adulto)	588.9
Eclosión de huevo	32.2
Finaliza generación (huevo a huevo)	621.1

(B3) EVENTO	Requerimiento de UC (°F)
Ovoposición	30 - 79
Eclosión de huevo	111 - 214
Periodo larval	330 - 640
Periodo pupal	302 - 586
Finaliza actividad de generación	743 - 1440

(B2) EVENTO	UNIDADES CALOR (°F)
Ovoposición	50 - 100
Salida huevecillos 1a generación.	250
70% emergencia adulto y 20% salida huevecillos 1a generación	360
Finaliza actividad 1a generación.	1000
Salida huevecillos 2a generación	1200
70% emergencia adulto 20% salida huevecillos 2a generación	1400
Finaliza actividad 2 generación	2100

En la tabla 1 (B1) se muestra la estimación de acumulación de UC para el desarrollo biológico de la palomilla de la manzana obtenidas por (IPM UC Davis, 2015).

La tabla 1 (B2) indica los requerimientos de UC que debe acumular *C. pomonella* (L). para pasar de un estadio a otro, esto sugerido por (De la Fuente Saucedo, *et al.*, 2014). En el apartado (B3) de la Tabla 1 se hace referencia al número de UC que tiene que acumular la *Cydia pomonella* para pasar de un estado biológico a otro (IPM UC Davis, 1999).

Una vez generados los mapas de unidades calor diarios se realizó una suma mensual de los mapas diarios para ambos años. Para generar la caracterización del año 2013 se realizó una suma de las UC de todo el mes de abril a mayo y en base a la tabla dos de los requerimientos de UC (Tabla 2) se realizó una reclasificación de la información obtenida, de la misma manera se sumaron los meses de junio, julio, agosto y septiembre; ya que, de esta manera se cumplían con el número de UC para observar el ciclo completo de la palomilla de la manzana y se reclasificaron de acuerdo a la tabla mencionada.

Tabla 2. Requerimiento de Unidades Calor para el desarrollo del ciclo biológico de la *C. pomonella* Fuente: elaboración propia (construida

en base a los datos obtenidos por los autores IPM UC Davis (2015), De la Fuente, *et al.* (2014) & IPM UC Davis (1999).

EVENTO	UNIDADES CALOR (°C)
Ovoposición	30 – 100
Salida huevecillos 1a generación.	100 – 240
Larva y pupa 1a. generación	240 – 360
70% emergencia adulto y 20% salida huevecillos 1a generación	360 – 588.9
Finaliza actividad 1a generación.	588.9 – 1000
Larva y pupa 1a. generación	1000 – 1200
salida huevecillos 2a generación	1200 – 1400
70% emergencia adulto 20% salida huevecillos 2a generación	1400 – 2100
Finaliza actividad	2100

RESULTADOS

Del resultado de la interpolación de temperatura por medio del IDW (Figura 5) se obtuvo una interpolación diaria para la temperatura mínima y máxima para los meses comprendidos entre abril – septiembre de los años 2013 y 2014.

En la figura 5 se muestra el modelo interpolado de la temperatura mínima para el día 20 de agosto del 2014; en ésta se aprecia la distribución térmica para el área de estudio con valores que van de 6.24°C a 15.58°C.

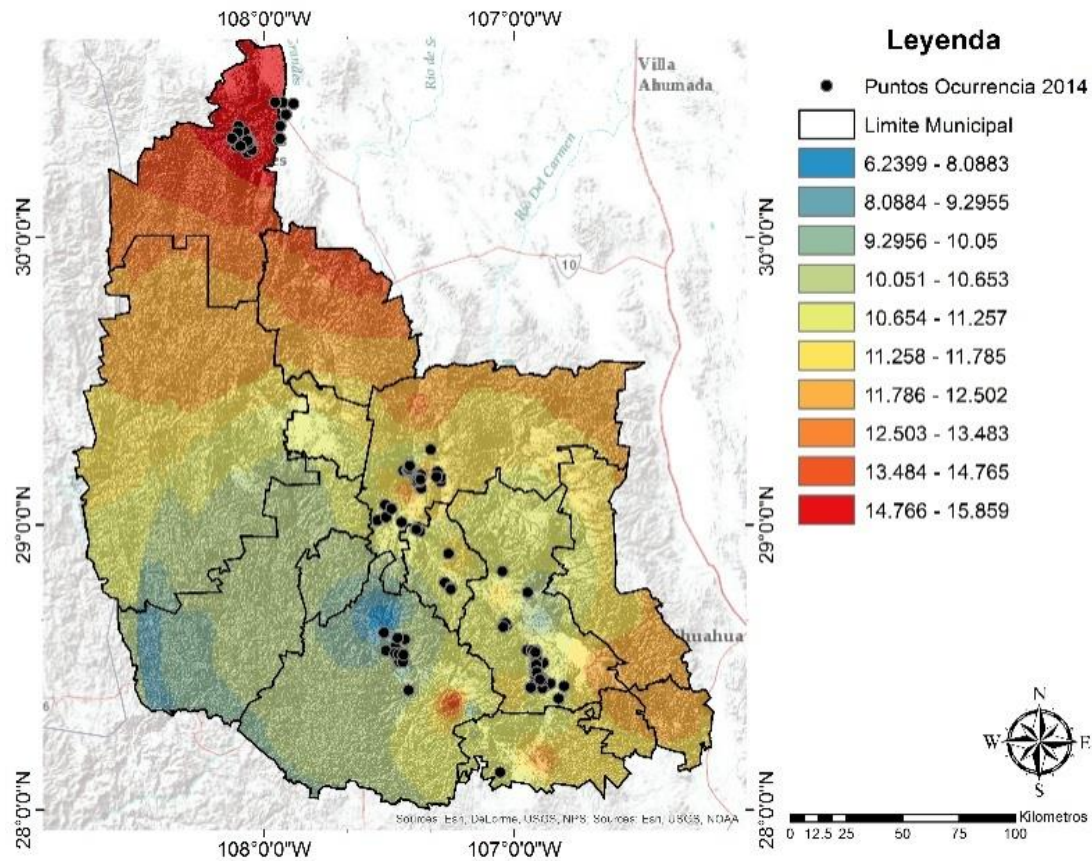


Figura 5. Modelo de predicción para la temperatura Mínima para el día 20 de agosto del 2014 generado a partir del interpolador IDW. Fuente: elaboración propia a partir de los métodos geoestadísticos empleados.

Mediante el GVT se corrigieron las interpolaciones obtenidas, a modo de ejemplo se muestra la figura 8 que representa el día 20

de agosto del año 2014. Este proceso se realizó para cada día de cada mes de cada año.

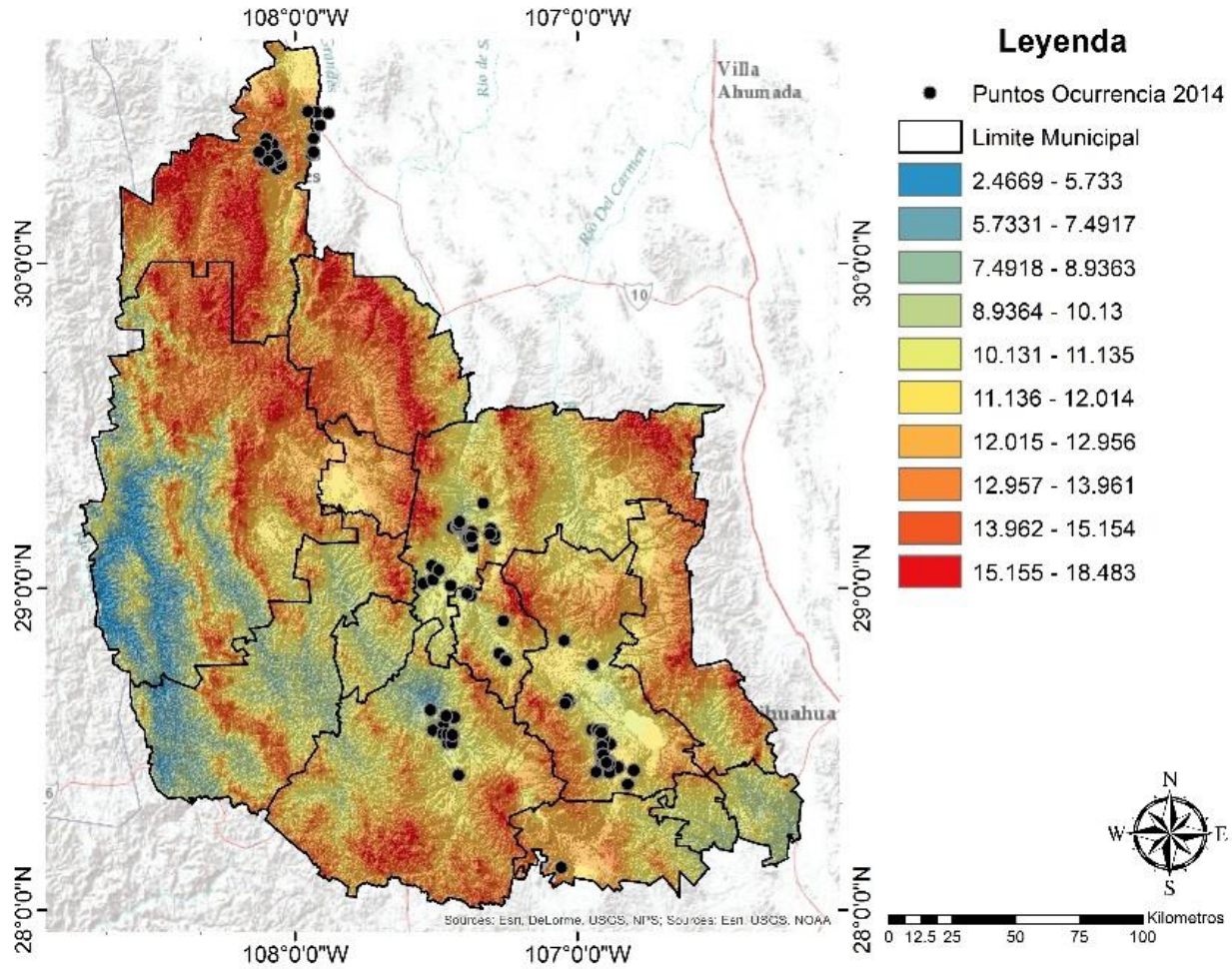


Figura 8. Predicción de IDW corregida por el Gradiente Vertical Térmico de temperatura mínima para el día 20 de agosto 2014. Fuente: elaboración propia a partir de los métodos geoestadísticos empleados.

Al momento de observar los resultados entre la figura 5 y la figura 8 en donde en esta última es el resultado del ajuste en base a la fórmula de corrección por GVT, se puede observar claramente que en las partes en donde denota un gradiente térmico más elevado; la temperatura va disminuyendo y viceversa. Como se había mencionado la altura es un factor fundamental para la variable de temperatura.

Validación

Para validar las capas generadas a partir de la corrección de las interpolaciones se utilizó el método propuesto por Legates y McCabe (1999) utilizando el RMSE (Citados por Ritter *et al.*, 2015), a continuación se muestran las tablas de validación mensual para cada uno de los años predichos en el modelo.

Tabla 3. Tabla de validación utilizando el RMSE para el año 2013. Fuente: elaboración propia en base a los resultados obtenidos por el ajuste del GVT y la extracción de valores para cada estación empleada.

AÑO	MES	PROMEDIO(°C)
2013	Abril	2.1584
2013	Mayo	1.6127
2013	Junio	1.5666
2013	Julio	1.0852
2013	Agosto	1.3876
2013	Septiembre	1.0457

El cálculo del RMSE (Tabla 3) a partir de la temperatura observada y la temperatura predicha en el modelo corregido, se integran 12 fechas distintas para cada mes, en abril del 2013, el RMSE promedio para las temperaturas mínimas es de 2.89 °C y para la temperatura máxima es de 1.41 °C; mientras que en el mes de mayo del 2013, se presenta un error promedio para la temperatura mínima de 2.11°C y para la temperatura máxima un promedio de error de 1.11°C. En el mes de junio del 2013 el error promedio para la temperatura mínima que es de 1.64°C y el error promedio para la temperatura máxima es de 1.48°C. El mes de julio del 2013, se observa que el promedio del RMSE en la temperatura mínima de 1.01°C y para la temperatura máxima es de 1.15°C. En la validación del mes de agosto del 2013 el

promedio del RMSE en la temperatura ínima es 1.49 y para la temperatura máxima es 1.28°C. En el mes de septiembre del 2013, en el caso de la temperatura mínima que el error promedio es de 1.21°C y para la temperatura máxima es de 0.88°C.

Enseguida se presentan los resultados de la validación de la predicción de temperaturas para los meses comprendidos entre abril – septiembre del año 2014. Comparando los resultados predichos en el modelo y la temperatura observada en las estaciones meteorológicas que representan el área de estudio.

Tabla 4. Tabla de validación por medio del RMSE para el año 2014. Fuente: elaboración propia en base a los resultados obtenidos por el ajuste del GVT y la extracción de valores para cada estación empleada.

AÑO	MES	PROMEDIO (° C)
2014	Abril	1.9818
2014	Mayo	1.3511
2014	Junio	1.7399
2014	Julio	0.7983
2014	Agosto	0.8629
2014	Septiembre	0.9227

Para la generación de la tabla 4 se tomaron muestras de manera aleatoria de todos los meses comprendidos entre abril – septiembre del año 2014 de donde se promedió la

variación de temperatura que existe entre el modelo predictivo y la temperatura observada de las diferentes estaciones meteorológicas analizadas. El promedio del RMSE en el mes de abril del 2014 para la temperatura mínima es 2.24°C y para la temperatura máxima es 1.71°C . Presentando un promedio del error para la temperatura mínima del mes de mayo del 2014 de 1.69°C y para la temperatura máxima un error promedio de 1.00°C . En el mes de junio del 2014 el error promedio para la temperatura mínima fue 1.4332°C y en la temperatura máxima de 2.04°C . En el mes de julio del año 2014 el promedio del error para la temperatura mínima es 0.68°C y para la temperatura máxima es 0.91°C ; mientras que, en el mes de agosto del 2014 y el promedio del RMSE para la temperatura mínima es 0.97°C y para la temperatura máxima es 0.75°C ; Finalmente, el mes de septiembre del 2014, presenta un promedio de 0.70°C para la temperatura mínima y para la temperatura máxima el error promedio es de 1.14°C .

Generación De Cartografías De Unidades Calor

Cartografías de UC en el año 2013.

Las cartografías mostradas en la figura 9 son el resultado de la acumulación mensual de UC para el mes de abril, mayo y junio del año 2013. Los valores para el mes de abril (A1) oscilan entre el 16.33 UC y 330.37 UC, las zonas representadas en diferentes tonalidades de azul, son las que acumularon menos UC en el mes y están ubicadas principalmente en el municipio de Madera y las zonas donde se calculó mayor acumulación mensual de UC se representan en tonos más cálidos. Mientras tanto en el mes de mayo (A2) del 2013 se observa una mínima acumulación de 35.04 UC y un máximo acumulado de 425.50 UC. En el mes de junio (A3) se observa un incremento de UC en la zona de estudio, presentando como mínima acumulación 132.7 UC y 540.4 UC la máxima acumulación.

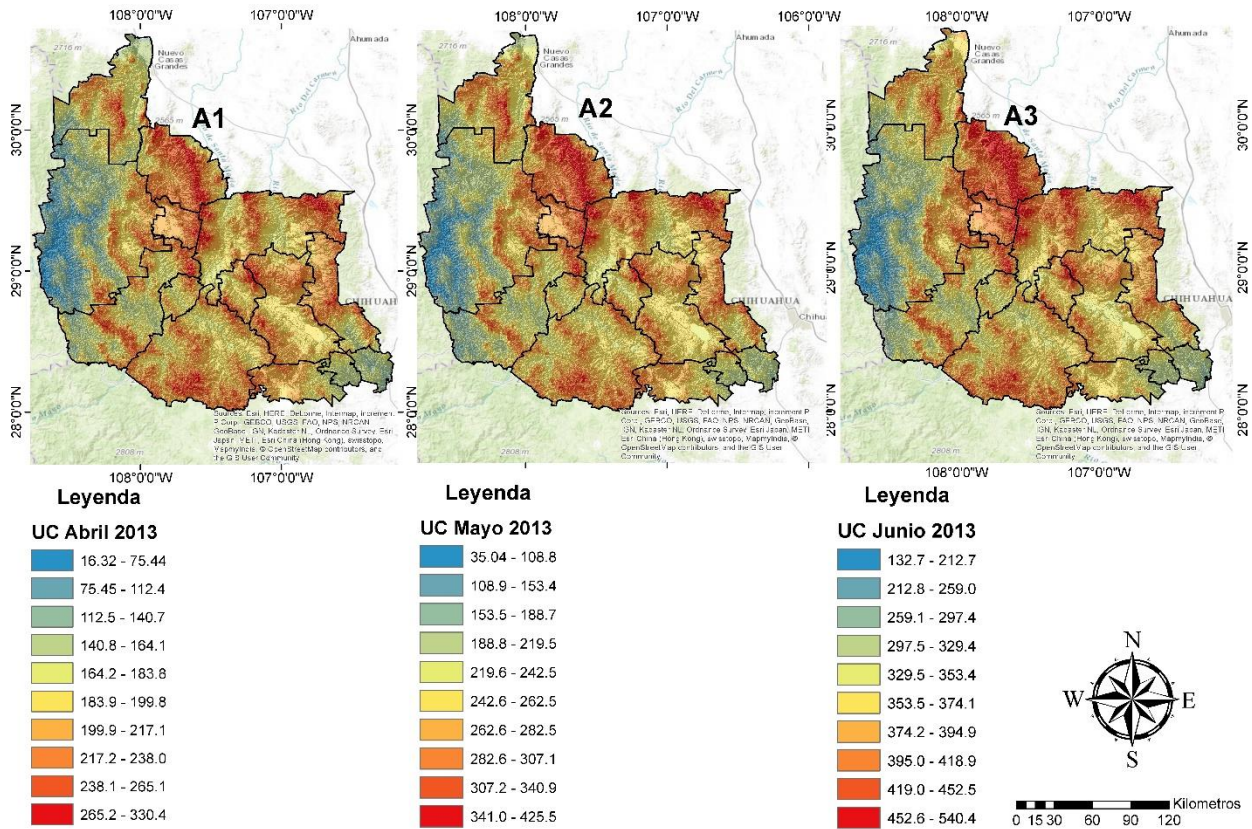


Figura 9. Cartografía climática de acumulación de UC en los meses de abril, mayo y junio del año 2013. Fuente: elaboración propia a partir de la suma de acumulación diaria de UC para cada mes del 2013.

En la figura 10 se presentan las cartografías climáticas de acumulación de UC para los meses de julio, agosto y septiembre del 2013, los valores en el mes de julio (A4) del 2013 van desde 2.26 hasta una acumulación máxima de 588.50 UC, siendo uno de los meses con mayor acumulación de UC en este año. En el mes de agosto (A5) la acumulación de UC oscila entre los valores de 49.85 –

551.50. En el mes de septiembre (A6) se observa una disminución de UC en la zona de estudio teniendo como valor mínimo de acumulación 31.66 UC y una máxima acumulación de 488.20 UC. Los valores más altos se concentran principalmente en los municipios de Ignacio Zaragoza y Gómez Farías.

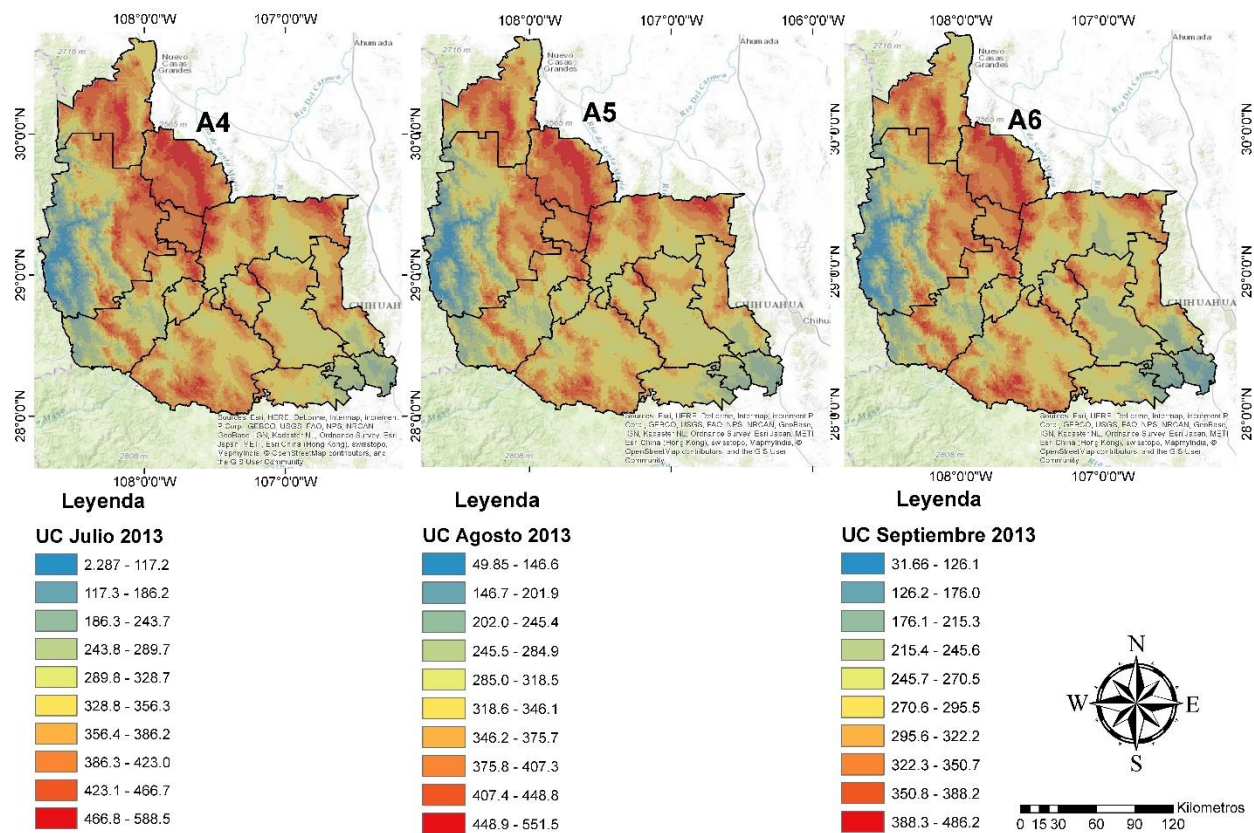


Figura 10. Cartografía climática de la acumulación de UC mensual para los meses de Julio, Agosto y Septiembre del año 2013. Fuente: elaboración propia a partir de la suma de acumulación diaria de UC para cada mes del 2013.

Cartografías de UC año 2014

A continuación se presentan las cartografías climáticas de UC para los meses correspondientes entre abril – septiembre del año 2014 en la región manzanera de Chihuahua.

En la figura 11 muestra el resultado de la cartografía climática de acumulación de UC en los meses de abril, mayo y junio del año 2014, representando en una tonalidad de azul fuerte las zonas con menor acumulación de

UC y en los tonos más cálidos se representa la mayor acumulación. En el mes de abril (A7) el valor más bajo es de 0 UC llegando a un valor máximo para este mes de 392.09 UC. En el mes de mayo (A8) se observa un valor mínimo de la acumulación de 31.53 UC y la acumulación mensual llega hasta las 453.40 UC; mientras que, en el mes de junio (A9) se incrementa la temperatura presentando valores que oscilan entre los 142.40 – 532.20 UC, siendo Namiquipa en el mes de junio el mes con menos acumulación de calor.

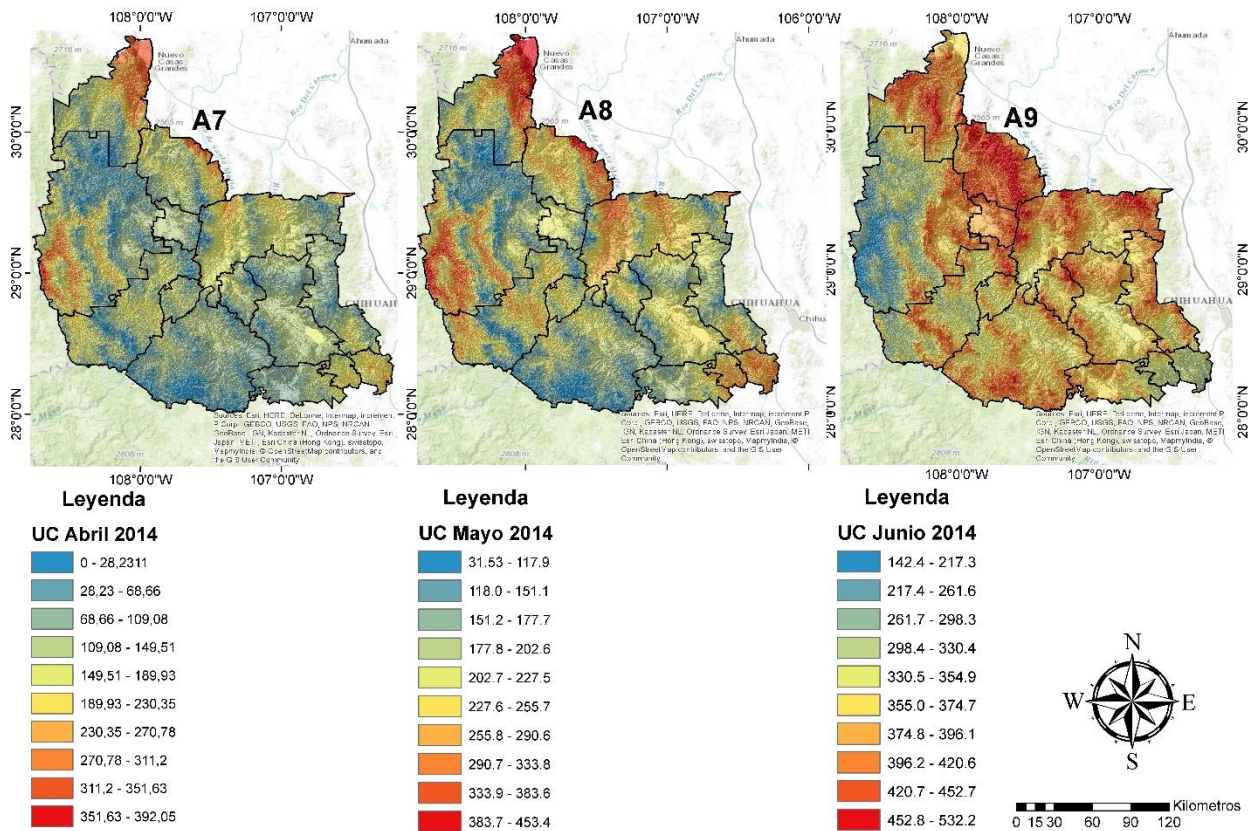


Figura 11. Cartografía climática de acumulación de Unidades Calor para los meses de abril, mayo y junio del año 2014. Fuente: elaboración propia a partir de la suma de acumulación diaria de UC para cada mes del 2014.

El resultado de las cartografías climáticas de acumulación de UC para los meses de julio, agosto y septiembre del año 2014 se muestra en la figura 12. Siendo julio (A10) el mes con la máxima acumulación de UC en el periodo semestral analizado en este estudio, con la mínima acumulación de 24.95 UC y la máxima de 555.82 UC presentándose en los municipios de Ignacio Zaragoza y Gómez

Farías principalmente. En el mes de agosto (A11) se observa que la acumulación se calor va disminuyendo en comparación al mes de julio (A10), con un rango de valores que oscila entre 0 – 515.10 UC acumuladas. Mientras que en el mes de septiembre se presenta la disminución de UC con un valor mínimo de 12.25 UC y una acumulación máxima en la zona de estudio de 489.70 UC.

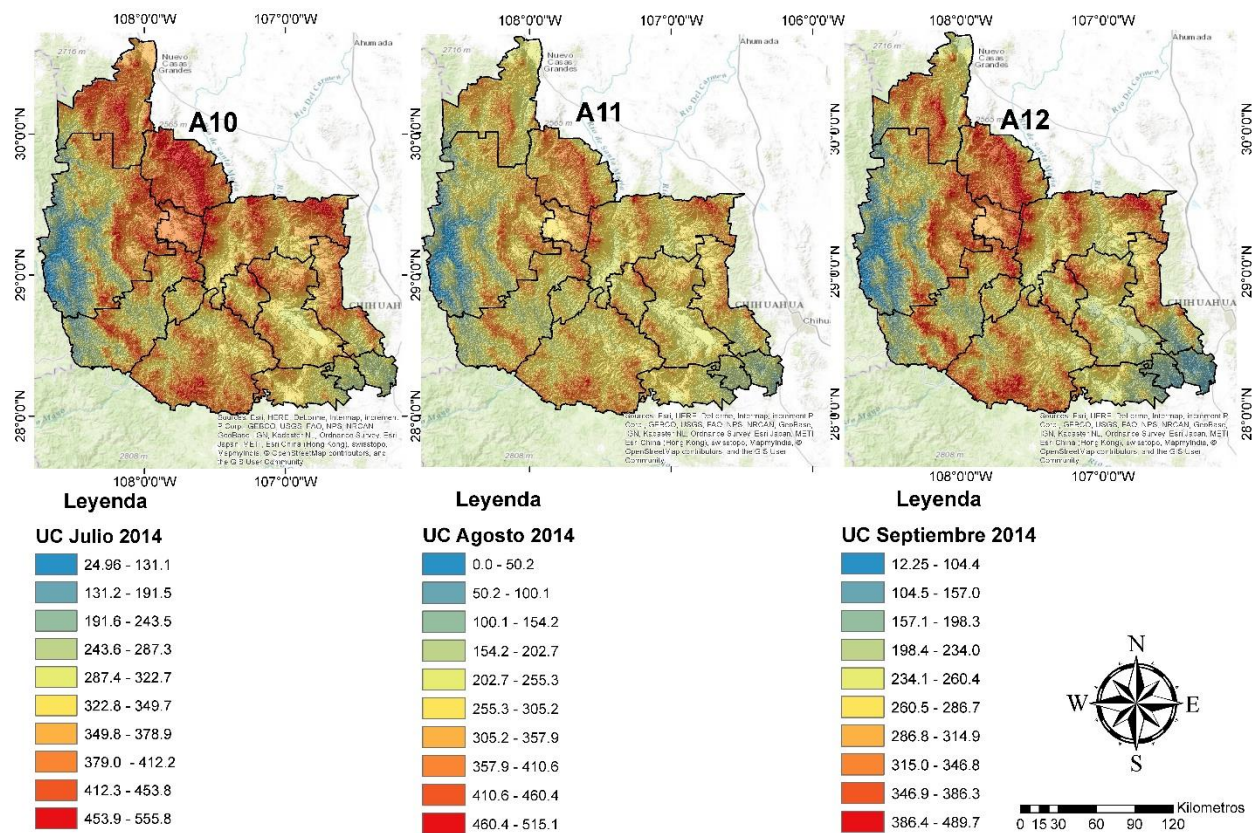


Figura 12. Cartografía climática de acumulación de Unidades Calor para los meses de julio, agosto y septiembre del año 2014. Fuente: elaboración propia a partir de la suma de acumulación diaria de UC para cada mes del 2014.

Validación de Unidades Calor

A continuación se muestra en las tablas 5 y 6, éstas son el promedio de diferencias de las UC entre ambos modelos en las estaciones meteorológicas presentes en el área de estudio para el año 2013 y 2014, en donde se pueden comparar los resultados generados por el modelo predictivo realizado en este proyecto y los resultados generados en la página de la University of California para el cálculo de UC.

Tabla 5. Promedio mensual de diferencias UC entre el modelo predictivo y la página de la IPM UC Davis año 2013. Fuente: elaboración propia.

AÑO	MES	PROMEDIO (UC)
2013	Abril	25.146
2013	Mayo	27.0105
2013	Junio	14.9441
2013	Julio	27.9627
2013	Agosto	32.3633
2013	Septiembre	25.006

Tabla 6. Promedio mensual de diferencias UC entre el modelo predictivo y la página de la IPM UC Davis año 2014. Fuente: elaboración propia.

AÑO	MES	PROMEDIO (UC)
2014	Abril	31.1526
2014	Mayo	14.416
2014	Junio	16.7562
2014	Julio	24.0304
2014	Agosto	19.9843
2014	Septiembre	13.3719

Caracterización de Unidades Calor

Después de realizar la reclasificación basándose en la tabla dos de los requerimiento de UC para el desarrollo del ciclo biológico de la *C. pomonella* tomando en cuenta los meses de abril y mayo del 2013. En la figura 13 (A13) se observa la reclasificación que se realizó en cinco etapas biológicas. La primera etapa es la de ovoposición: deposición de huevos por parte de hembras ovíparas, representada en color negro, esta etapa de desarrollo tiene muy poca presencia en estos meses, en donde se refleja que la incidencia de esta categoría es principalmente en los municipios de Namiquipa y Chihuahua. La segunda etapa de desarrollo es la salida de huevo de la primera generación representada en color verde, la

tercera etapa es la de larva y pupa de la primera generación, esta se empieza a desarrollar alrededor de las primeras dos etapas, la cuarta etapa es la del 70 % emergencia de adultos y 20 % de eclosión de huevo de la primera generación es la etapa que tiene mayor desarrollo en el mes de abril y mayo del 2013 y la quinta etapa en tono rojo es la que representa el fin de actividades de la primera generación estando presente principalmente en el municipio de Ignacio Zaragoza (A13).

La segunda cartografía de la caracterización de la palomilla de la manzana presente en la figura 13 es el resultado de la reclasificación de la suma de los mapas climáticos de UC de los meses correspondientes entre junio - septiembre del 2014, en esta cartografía se representan ocho etapas de la palomilla de la manzana, en donde las etapas más representativas de la cartografía (A14) son la del 70 % de eclosión de adulto - 20% eclosión de huevo de la tercera generación y la etapa donde finaliza la actividad de la 3ra generación. Al terminar la caracterización de estos meses se observa que la palomilla de la manzana tiene tres generaciones en la zona de estudio.

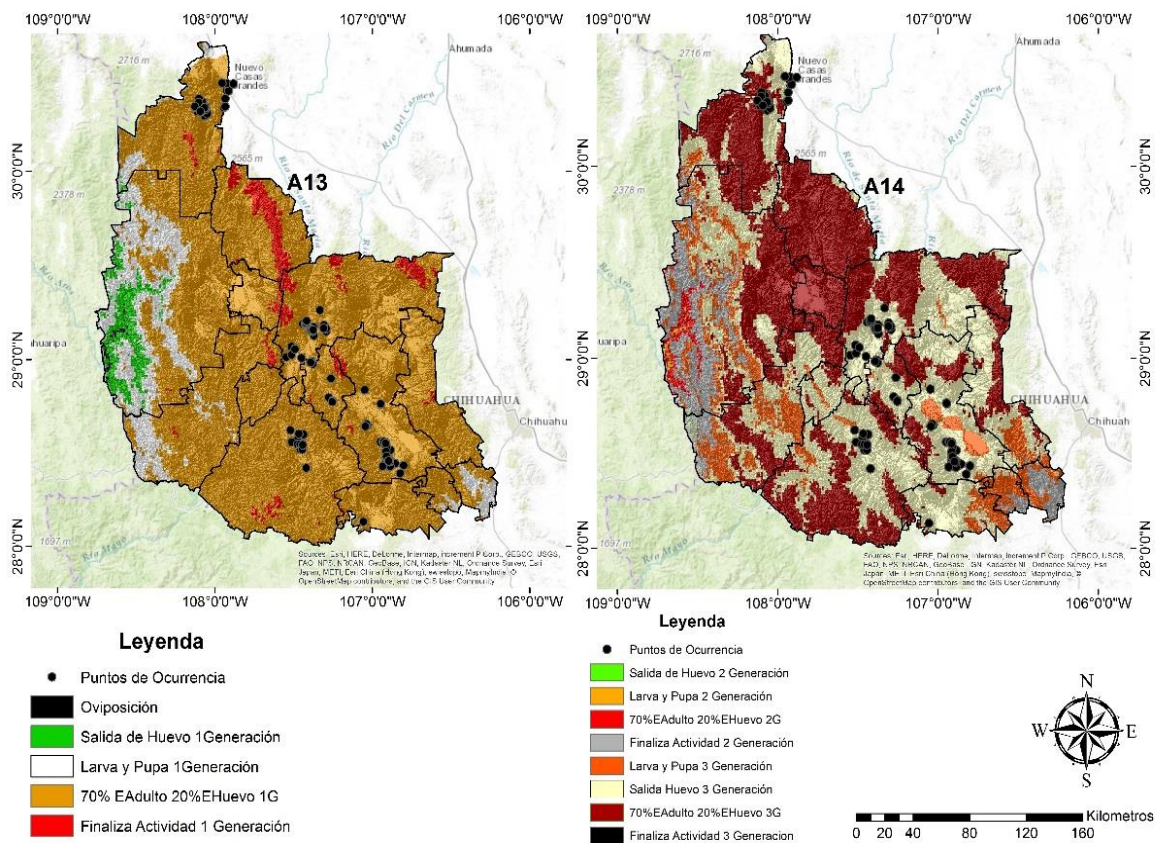


Figura 13. Caracterización geoespacial de UC del ciclo biológico de *Cydia pomonella* (L). la cartografía (A13) representa la caracterización en los meses de abril y mayo del 2013. Mientras tanto la cartografía (A14) representa la caracterización del ciclo biológico de la palomilla de la manzana en los meses de junio, julio, agosto y septiembre del 2013. Fuente: elaboración propia a partir de la reclasificación de los mapas sumados para UC y la tabla de estadios biológicos generada para la plaga o *C. pomonella*.

Para la caracterización del ciclo biológico de *C. pomonella* del año 2014 se tomaron en cuenta los mismos rangos de UC para realizar la reclasificación (Tabla 2), al observar la figura 14, la cartografía (A15) es la caracterización para los meses de abril y mayo del 2014 se observa un ciclo completo, es decir hay 6 etapas que van desde la ovoposición hasta la finalización de la actividad de la primera generación; mientras

que, la cartografía (A16) representa el resultado de la caracterización de UC para los meses de junio, julio, agosto y septiembre del 2014 en donde se presentan siete etapas para el desarrollo biológico de la palomilla de la manzana en tres generaciones que tiene esta plaga en la región manzanera de Chihuahua, siendo la etapa de larva y pupa de la tercera generación y el final de la actividad de la segunda generación las etapas con más presencia en esta cartografía.

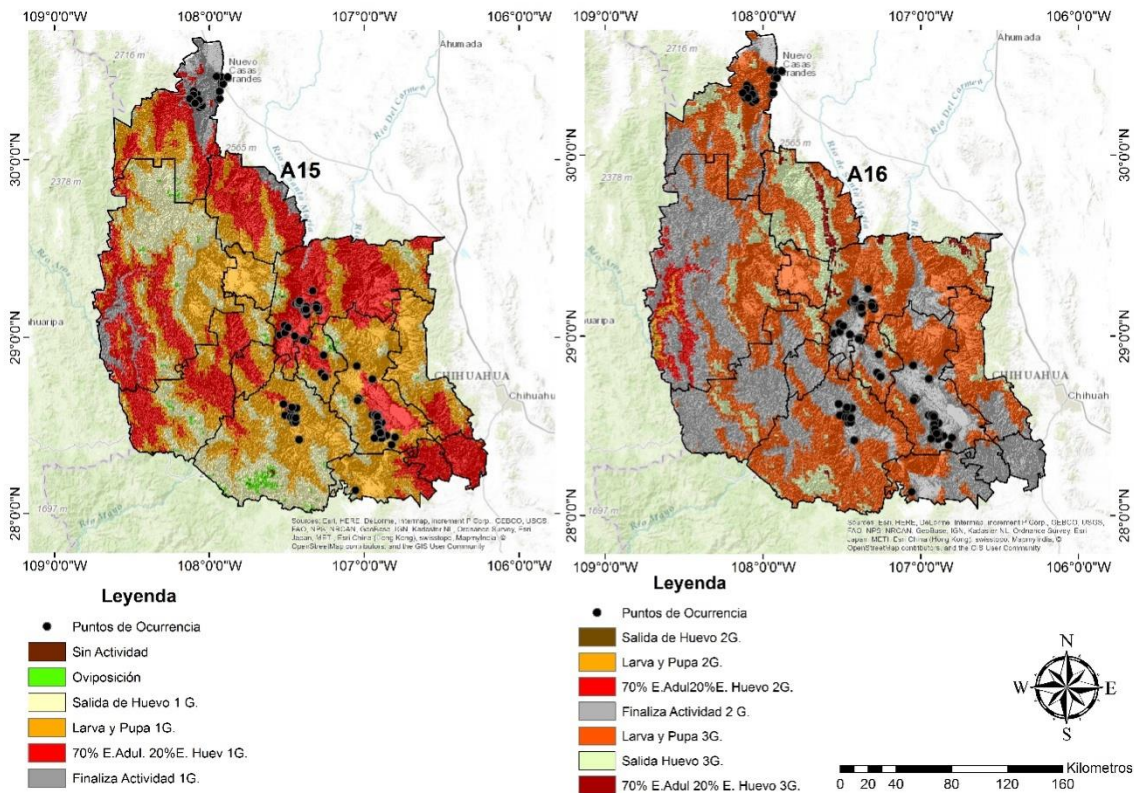


Figura 14. Caracterización del ciclo biológico de *Cydia pomonella*. La cartografía (A15) representa la caracterización para los meses de abril y mayo del 2014 y la cartografía (A16) indica la caracterización en los meses de junio, julio, agosto y septiembre del 2014. Fuente: elaboración propia a partir de la reclasificación de los mapas sumados para UC y la tabla de estadios biológicos generada para la plaga *C. pomonella*.

DISCUSIÓN

Diferentes autores confirman que el empleo de SIG y métodos geoestadísticos para generar modelos de predicción en zonas donde no se cuenta con información acerca de la variable empleada, o regiones muy amplias y de acceso limitado, son la mejor opción para los profesionales de las ciencias de la tierra. Respecto a lo anterior, Liria (2008) menciona en su trabajo los SIG y métodos geoestadísticos han posibilitado la aplicación

de nuevas herramientas, incluyendo las simulaciones; Moral (2004) hace referencia a que; la geoestadística es una herramienta imprescindible cuando se desean analizar los patrones de distribución de variables medio ambientales.

Un trabajo similar a este es el de Hernández *et al.*, (2003) los cuales mencionan que una alternativa para para describir patrones de distribución espacial para plagas es el uso de

métodos geoestadísticos, la cual fue una herramienta esencial en su trabajo.

En lo concerniente al método geoestadístico IDW se observa que arroja resultados veraces para la generación de interpolaciones de variables térmicas (Moral, 2004) en comparación a otros interpoladores, como lo mencionan en el trabajo donde: se generan cartografías de temperatura mediante interpoladores geoestadísticos como el de IDW es el de García y Alatorre (2015), en el cual se basan en el RMS (root mean square) para comparar y elegir el mejor método de predicción, siendo este el de IDW. De igual manera en el estudio sobre la comparación de interpoladores en la variación espacial de propiedades químicas en el suelo, el interpolador IDW arrojó buenos resultados en comparación a otros interpoladores (Villatoro, *et al.*, 2008).

Otros autores han realizado la corrección de variables ambientales mediante un gradiente, tal es el de Fries *et al.*, (2009), en el cual utilizan un gradiente para hacer la corrección de la humedad, empleando su metodología y su principio se han corregido las temperaturas en base a un modelo digital de elevación o su correspondencia espacial en relación a una variable Z (Altitud).

Las UC son la variable más eficiente al momento de hablar de monitoreo de plagas,

ya que como se mencionó anteriormente las UC son una unidad que combina el tiempo y la temperatura para estimar el desarrollo de un organismo. De acuerdo a la búsqueda bibliográfica no se encontró un estudio que se haya realizado para caracterizar UC en el ciclo biológico de *C. pomonella*, pero en estudios similares en donde se han utilizado las UC y técnicas SIG para monitoreo de plagas es el de Moral *et al.*, (2004) los cuales emplean técnicas SIG aplicadas al análisis de la distribución de lepidópteros mediante trampas con feromonas obteniendo excelentes resultados. Desde entonces se han desarrollado métodos en relación al tema; haciendo mención a esto Ramírez y Díaz (2006) aplicaron métodos geoestadísticos para la gestión de plagas; al igual que en el presente trabajo los resultados arrojados para la caracterización de *C. pomonella* siendo este un lepidóptero; fueron muy buenos y respaldados por validaciones estadísticas, dando información precisa para la aplicación de MIP de manera oportuno.

CONCLUSIÓN

Utilizando los Sistemas de Información Geográfica fue posible la realización de los objetivos planteados en este estudio de manera contundente. Asimismo se ha confirmado la hipótesis planteada; ya que al

implementar los SIG asociados al cálculo de las UC, es posible determinar los periodos de tiempo más óptimos para la aplicación de MIP de manera oportuna y de esa manera reducir los gastos de operación por parte del productor y reducir los contaminantes al ambiente provocados por la aplicación de insecticidas en la región. Al realizar el MIP de manera oportuna permite aumentar la calidad de la manzana evitando que la plaga crezca y dañe el fruto.

Implementando el método de IDW para la generación de cartografías climáticas es indudablemente una alternativa muy eficiente para la expresión de temperaturas en el espacio y la corrección de las cartografías climáticas utilizando el gradiente vertical térmico fue un acierto en este estudio, ya que permitió que las temperaturas del área de estudio tuvieran un mejor ajuste, es decir, se disminuyó la variación de la temperatura observada (estaciones meteorológicas) y la temperatura predicha en este estudio. Realizar el ajuste de las variables climáticas permite tener un mejor resultado en cuanto a eficiencia y precisión de datos en las cartografías y por ende el error disminuyó considerablemente.

En base a los resultados arrojados de las cartografías climáticas (UC), se observó que hay una variación de menos de una UC diaria

en promedio para los modelos diarios de unidades calor, siendo esto un indicador de que el modelo predictivo generado en este proyecto arroja muy buenos resultados y si se compara las tres cartografías climáticas presentes en las figuras 10, 11, 12 y 13, se observa que los meses con mayor acumulación mensual de UC es julio coincidiendo este resultado en los dos periodos analizados (2013 -2014).

Los resultados son satisfactorios en lo que se refiere a la importancia de este tipo de estudios en las regiones dedicadas algún tipo de actividad agrícola o frutícola debido a que se generó información nueva sobre UC en regiones donde se carecía de este tipo de datos que es de gran importancia para el MIP, por medio de este trabajo los productores, técnicos e instituciones pueden utilizar este tipo de información para actualizar los métodos en lo que se refiere al MIP; esto es de gran importancia porque con este tipo de cartografías y modelos de predicción es posible obtener las zonas o regiones en las que se identifican las diferentes etapas del ciclo biológico de la palomilla de la manzana y así poder aplicar principalmente un control biológico o químico, lo que da paso a los principios de la agricultura de precisión hablando en términos orgánicos.

Los resultados arrojados en el presente estudio coadyuvan con el MIP, aportando datos importantes para el monitoreo de la plaga, resultantes de la caracterización del ciclo biológico de la plaga, esto permite conocer el tiempo más oportuno para la aplicación de insecticidas en el manzano. Mediante el uso potencial de las cartografías para la caracterización del ciclo biológico de la palomilla de la manzana, pueden ser utilizadas como una herramienta importante en el control biológico de la plaga.

RECOMENDACIONES

El presente estudio se efectuó para un lapso de tiempo relativamente corto, es decir, se realizaron las cartográficas de UC para seis meses del año 2013 y seis meses del año 2014. Es muy importante darle continuidad al proceso de análisis y generación de cartografías de UC para años consecuentes, mínimo cinco años y mediante análisis de series de tiempo, tener un monitoreo y vigilancia fitosanitaria de la palomilla de la manzana para optimizar la aplicación de insecticidas en la región manzanera y a su vez construir un modelo más sólido. Se sugiere una mayor cooperación por parte de diferentes instituciones, así como Universidades que estén enfocadas al desarrollo del MIP, para tener bases más

sólidas para el monitoreo de plagas en la región, y al momento de establecer relaciones de instancias para un mismo fin se puede realizar un control fitosanitario más amplio, no solo para palomilla de la manzana, sino para otras plagas que son de gran importancia para la producción agrícola y frutícola en Chihuahua.

La sistematización de un modelo reduciría ampliamente el tiempo para la generación de cartografías climáticas (UC). Y de esta manera aplicar diversos métodos para la generación de UC, para encontrar el que mejor se ajuste a las diferentes regiones, ya que cada región puede utilizar un diferente método, dependiendo a la variación de temperatura de cada lugar.

Es recomendable tener contacto con las instituciones encargadas del manejo de las estaciones meteorológicas en el estado, esto para que se realice una actualización periódica de las bases de datos, ya que gran parte de las estaciones meteorológicas existentes carecen de información o actualización y esto dificulta el análisis de información para esta zona. Además sería recomendable contar con más estaciones meteorológicas principalmente en la parte sur-oeste del estado porque las estaciones disponibles se concentran en gran parte en la zona centro y norte del estado.

BIBLIOGRAFÍA

- AgroParlamento, 2008. *AgroParlamento el portal del campo argentino*. [En línea] Available at: <http://www.agroparlamento.com/agroparlamento/notas.asp?n=1126> [Último acceso: 19 09 2015].
- ArcGis, 2014. *ArcGis Resources*. [En línea] Available at: <http://resources.arcgis.com/en/help/main/10.2/index.html#//0030000000007000000> [Último acceso: 24 12 2015].
- Bado, S., 2000. *Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria*. [En línea] Available at: http://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-inta_carpocapsa_info_chubut.pdf [Último acceso: 01 20 2016].
- Balmaseda, C. & Romero, M., 2012. Desarrollo de sistema de información geográfica para gestión fitosanitaria en unidades productivas de caña de azúcar (*Saccharum* spp.). *Protección Vegetal*, 27(3), pp. 206 - 209.
- Cañedo, V., Alfaro, A. & Kroschel, J., 2011. *Manejo integrado de plagas de insectos en hortalizas. Principios y referencias técnicas para la Sierra Central de Perú*, Lima, Perú: Centro Internacional de la Papa (CIP).
- CESAVECH, 2014. *Comité Estatal De Sanidad Vegetal De Chihuahua, México*. [En línea] Available at: <http://www.cesavech.net/#!manzano/cvt0> [Último acceso: 10 Marzo 2016].
- De la Fuente Saucedo, H., Padrón Chávez, J. & Fernández García, A., 2014. *Predicción del desarrollo de la palomilla de la manzana *Cydia pomonella* en nuevo león*, Nuevo Leon: Comité Editorial Regional del CIR Noreste.
- ESRI, 2014. *ESRI Resources*. [En línea] Available at: <http://resources.arcgis.com/en/help/main/10.2/index.html#//002w00000001000000>
- FAO, 1998. *Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura*. [En línea] Available at: <http://www.fao.org/noticias/1998/ipm-s.htm> [Último acceso: 26 03 2016].
- Fernández , D. E., Avilla Hernández , J. & Ribes i Dasi , M., 2012. *Cydia pomonella (L.) (LEPIDOPTERA: TORTRICIDAE). Aspectos de su taxonomía, comportamiento y monitoreo aplicados a programas de control en grandes áreas*, Lleida: s.n.
- Fernandez, D., 2012. *Cydia pomonella (L.) (LEPIDOPTERA: TORTRICIDAE). Aspectos de su taxonomía, comportamiento y monitoreo aplicados a programas de control en grandes áreas*, Lleida: Departamento de Producción Vegetal y Ciencia Forestal.

- Fernandez, D., 2012. *Cydia pomonella* (L.) (LEPIDOPTERA: TORTRICIDAE). Aspectos de su taxonomía, comportamiento y monitoreo aplicados a programas de control en grandes áreas, Madrid: Universitat de Lleida.
- FONTAGRO, 2015. *Fondo regional de tecnología agropecuaria*. [En línea] Available at: <http://www.fontagro.org/proyectos/desarrollo-de-estrategias-de-control-biol%C3%B3gico-para-el-manejo-integrado-de-plagas-de-fruta>
- Fries, A. y otros, 2009. Thermal structure of a megadiverse andean mountain ecosystem in southern ecuador and its regionalization. *Erdkunde*, 63(4), pp. 321 - 335.
- Gobierno del Estado de Chihuahua, 2011. [En línea] Available at: <http://www.chihuahua.gob.mx/attach2/sdr/uploads/File/manzana.pdf> [Último acceso: 12 09 2015].
- Gonzalez, M. & Garcia, C., 2012. Uso de biorracionales para el control de plagas de hortalizas en el norte de sinaloa. *redalyc*, 8(3), pp. 31-45.
- Guerrero, J. L., 2014. *Campaña fitosanitaria para combatir la palomilla de la manzana (cydia pomonella l.)(lepidóptera: tortricidae) en el municipio de Canatlán, Durango, México*, Bermejillo, Durango: Unidad Regional Universitaria de Zonas Áridas.
- Hernandez, M., 2003. *Labroatorio Nacional de Geoprocesamiento de Informacion Fitosanitaria*. [En línea] Available at: http://langif.uaslp.mx/documentos/presentaciones_internacionl/01/resumen_marco_antonio.pdf [Último acceso: 2016].
- INEGI, 2005. *Instituto Nacional De Estadistica Y Geografia*. [En línea] Available at: <http://www.inegi.org.mx/geo/contenidos/reclnat/clima/>
- INEGI, 2012. *Instituto Nacional De Estadistica Y Geografia*. [En línea] Available at: http://www.inegi.org.mx/prod_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/integracion/estados/persec_estd/chih/Pers-chi.pdf
- INIFAP, 2015. *Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias*. [En línea] Available at: <http://clima.inifap.gob.mx/redinifap/aplicaciones/ucalor.aspx> [Último acceso: 02 20 2016].
- IPM UC Davis, 2015. *University of California Agriculture y Natural Resources*. [En línea] Available at: http://www.ipm.ucdavis.edu/PHENOLOGY/ma-codling_moth.html
- IPM UC Davis, 2015. *University of California Agriculture y Natural Resources*. [En línea] Available at: http://www.ipm.ucdavis.edu/PHENOLOGY/ma-codling_moth.html
- IPM UC DAVIS, 2016. *university of callifornia agriculture and natural resources; Statewide itegrated pest managment program*. [En línea]

- Available at:
<http://www.ipm.ucdavis.edu/>
[Último acceso: 04 17 2016].
- Jacobo, J. L. y otros, 2005. Caracterización cuantitativa de la diapausa de palomilla de la manzana *Cydia pomonella* L. en Cuauhtémoc, Chihuahua, México. *Agrociencia*, pp. 222 - 229.
- Jacobo, J. L. & Ramirez, M. R., 2006. Presión de selección absoluta y relativa por el uso de insecticidas y acaricidas en huertos de manzano en Cuauhtémoc, Chihuahua, México.. *Folia Entomológica Mexicana*, pp. 10- 16.
- Kogan, M. & Shenk, M., 2002. *Conceptualización del manejo integrado de plagas en escalas espaciales y niveles de integración mas amplios*, Costa Rica: Manejo Integrado de Plagas y Agroecología.
- Liria, J., 2008. Sistemas de información geográfica y análisis espaciales: un método combinado para realizar estudios panbiogeográficos. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, Issue 79, pp. 281 - 284.
- Liria, J., 2008. Sistemas de información geográfica y análisis espaciales: un método combinado para realizar estudios panbiogeográficos. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, Issue 79, pp. 281-284.
- López, A. y otros, 2002. Aplicación de un Sistema de Información Geográfica (SIG), en el manejo de Sirex noctilio F. «La avispa barrenadora de los pinos», en el valle de Calamuchita - Córdoba - Argentina. *INIA*, 11(2), pp. 299 -310.
- Machado, D. y otros, 2007. *Geoespacialización de información climática mediante la utilización de sistemas de información geográfica. caso cuenca alta del río guárico.*, Caracas: Jornadas Nacionales de Geomatica.
- Medina, G. & Mena, J., 2007. *Reporte agrometeorológico Abril 2007*, Zacatecas: Red de monitoreo agroclimático del estado de Zacatecas.
- Milena, C. & Mejia, F., 2007. *Caracterización de las variables climáticas para el perímetro urbano de la ciudad de manizales para el período comprendido entre noviembre de 2006 y marzo de 2007*, Colombia: Universidad Nacional de Colombia.
- Moral, F., 2004. Aplicación de la geoestadística en las ciencias ambientales. *Ecosistemas*, 1(13), pp. 78 - 86 .
- Proyecto Vifinex, 2001. *Proyecto regional de fortalecimiento de la vigilancia fitosanitaria en cultivos de exportación no tradicional República de China – OIRSA*, El Salvador, C.A. : OIRSA.
- Radilla, F., 2008. *Centro de Investigacion y de Estudios Avanzados Inst. Poli. Nac.*. [En línea] Available at:
<https://www.cs.cinvestav.mx/TesisGraduados/2008/tesisFlorRadilla.pdf>
[Último acceso: 04 14 2016].
- Ramirez , M., Jacobo, J. L., Avila, M. R. & Gutierrez, R., 2004. Validación de un Sistema de Manejo Integrado de Plagas y Enfermedades en Huertos de

- Manzano [*Malus sylvestris* (L.) Mill. var. domestica (Borkh.) Mansf.] en Chihuahua, México. *Revista Mexicana de Fitopatología*, Junio - Diciembre, 22(2), pp. 277 -289.
- Ramirez, C. & Diaz, M., 2006. *Gestión de Plagas con Métodos Geoestadísticos*, Cataluña: Universidad Politécnica de Cataluña.
- Ramos, R. & Aguilar, A., 2004. Modelación del comportamiento de las isotermas, isoyectasy calculo de la radiación solar para el estado de puebla durant el mes de junio de 2004. *Elementos: Ciencia y Cultura*, 12(058), pp. 59-62.
- Ritter, A., Muñoz, R. & Regalado, C., 2015. *capacidad de prediccion de modelos aplicados a la zona: herramienta informatica para la adecuada evaluacion de la bondad de ajuste con significacion estadistica*, s.l.: Instituto Nacional de Investigacion y Tecnologia Agraria yAlimentaion.
- Romero, B. &., s.f. Desarrollo de sistema de información geográfica para gestión fitosanitaria en unidades productivas de caña de azúcar (*Saccharum spp.*). *Revista de* .
- Sanchez, V., Cerda G., P. A., Martínez, D. F. & Landeros, F. J., 2000. Manejo integrado de la palomilla de la manzana *Cydia pomonella* L: Manual para productores. *Trillas*, p. 34.
- Sarria, F., 2004. *Univercidad de Murcia*. [En línea] Available at: http://www.um.es/geograf/sigmur/cur sos/SIG_clima.pdf [Último acceso: 04 19 2016].
- SENASICA, 2015. *Programa de trabajo del manejo fitosanitario del manzano, a operarcon recursos del componente de sanidad, del programa sanidad e inocuidad agroalimentaria 2015, en el estado de Chihuahua*, Chihuahua, México: SAGARPA.
- SIMARBC, 2014. *Sistemas de informacion geografica para el manejo de agua de riego en baja californi*a. [En línea] Available at: <http://www.simarbc.gob.mx/descargas/ MetodologiaUC.pdf> [Último acceso: Noviembre 2015].
- UC, D. I., 1999. *Integrated Pest Management for Apples and Pears*. Second ed. California: University of California Integrated Pest Management Program.
- Villatoro, M., Henriquez , C. & Sancho, F., 2008. Comparación de los interpoladores idw y kriging en la variación espacial de ph, ca, cice y p del suelo. *Agronomía Costarricense*, 1(32), pp. 95-105.