

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO



FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS/DIRECCIÓN DE POSGRADO

MAESTRÍA EN AGRONOMÍA MENCIÓN CAMBIO CLIMÁTICO

“MODELO PREDICTIVO DEL IMPACTO DEL CAMBIO CLIMÁTICO SOBRE
LA DISTRIBUCIÓN Y ABUNDANCIA DE UNA ESPECIE DE NOCTUIDAE
ASOCIADA CON EL CULTIVO DE MAIZ (*Zea mays*)”

Trabajo de titulación previo a la obtención del grado académico de Magister
en Agronomía mención Cambio Climático

Autor(a): Ing. Norma Yolanda Telenchana Paucar

Director(a): Dr. Carlos Luis Vásquez Freytez

AMBATO – ECUADOR

2020

A la Unidad Académica de Titulación de la Facultad de Ciencias Agropecuarias

El Tribunal receptor del Trabajo de Investigación presidido por el *Ing. Agr. Marco Pérez, Ph.D*, e integrado por los señores *Ing. Agr. Mg. Rita Cumandá Santana Mayorga* e *Ing. Agr. Mg. Giovanni Velastegui Espín*, designados por el *Consejo de Postgrado* de la Universidad Técnica de Ambato, para receptor el Trabajo de Investigación con el tema: “*Modelo predictivo del impacto del cambio climático sobre la distribución y abundancia de una especie de Noctuidae asociada con el cultivo de maíz (Zea mays)*”, elaborado y presentado por la *Ing. Agr. Norma Yolanda Telenchana Paucar*, para optar por el Grado Académico de *Magister en Agronomía, mención Cambio Climático*, una vez escuchada la defensa oral del Trabajo de Investigación el Tribunal aprueba y remite el trabajo para uso y custodia en las bibliotecas de la UTA.

Ing. Agr. Marco Oswaldo Pérez Salinas
Presidente del Tribunal

Ing. Agr. Mg. Rita Cumandá Santana Mayorga
Miembro del Tribunal

Ing. Agr. Giovanni Patricio Velastegui Espín
Miembro del Tribunal

AUTORÍA DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

La responsabilidad de las opiniones, comentarios y críticas emitidas en el Trabajo de Investigación presentado con el tema: *Modelo predictivo del impacto del cambio climático sobre la distribución y abundancia de una especie de Noctuidae asociada con el cultivo de maíz (Zea mays)*, le corresponde exclusivamente a: *Ing. Agr. Norma Yolanda Telenchana Paucar*, autora bajo la Dirección del *Ing, Agr. PhD Carlos Luis Vásquez Freytez*, Director del Trabajo de Investigación; y el patrimonio intelectual a la Universidad Técnica de Ambato.

Ing. Agr. Norma Yolanda Telenchana Paucar

cc. 1804610887

AUTORA

Ing. Agr. PhD. Carlos Luis Vásquez Freytez

cc. 1758533747

DIRECTOR

DERECHOS DE AUTOR

Autorizo a la Universidad Técnica de Ambato, para que el Trabajo de Investigación, sirva como un documento disponible para su lectura, consulta y procesos de investigación, según las normas de la Institución.

Cedo los Derechos de mi trabajo, con fines de difusión pública, además apruebo la reproducción de este, dentro de las regulaciones de la Universidad.

Ing. Agr. Norma Yolanda Telenchana Paucar

cc. 1804610887

AUTORA

DEDICATORIA

Dedico este trabajo de tesis con todo mi amor a Dios por ser mi soporte y fuente de inspiración para lograr mis sueños durante todo el trayecto de mi vida personal y estudiantil. Agradecerte Dios por ser mi refugio en los momentos difíciles de mi vida.

A mis padres Manuel y Gladys quienes, a través de su infinito amor, sacrificio y esfuerzo han sabido apoyarme incondicionalmente y de esta manera permitirme superarme cada día más.

A mis hermanos Mónica, Fernando y Leonardo por su cariño, apoyo y palabras de aliento en toda mi etapa estudiantil

A mis amistades sinceras, honestas e incondicionales que me brindaron su apoyo y colaboraron en el desarrollo de esta investigación.

Si tienes un sueño, cógelo, y no dejes que se escape.

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Técnica de Ambato, a la Facultad de Ciencias Agropecuarias que me brindó la oportunidad de cumplir mis sueños.

Mi sincero agradecimiento al PhD. Carlos Vásquez por todo su cariño, confianza y sincera amistad durante estos años, por ser la persona que me guio, alentó y sobre todo motivó a culminar este trabajo de titulación.

Mi agradecimiento sincero a mis amigos: Ing. Hernán Zurita, Ing. Marco Pérez, Ing. Rita Santana, Ing. José Mangui e Ing. Segundo Curay, por brindarme su sincera amistad y permanente colaboración durante el transcurso de este trabajo.

Agradecer la valiosa colaboración del Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI) y la Agencia de Regulación y control Fito y Zoosanitario (AGROCALIDAD) en la provisión de información usada en esta investigación.

INDICE GENERAL

AUTORÍA DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN.....	iii
DERECHOS DE AUTOR	iv
DEDICATORIA	v
AGRADECIMIENTOS	vi
INDICE GENERAL.....	vii
ÍNDICE DE TABLAS	ix
ÍNDICE DE FIGURAS.....	x
RESUMEN EJECUTIVO	xi
EXCEUTIVE SUMMARY.....	xiii
CAPITULO 1	1
EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	1
1.1. Introducción.....	1
1.3 Objetivos	4
CAPITULO II	5
ANTECEDENTES INVESTIGATIVOS.....	5
2.1. El género <i>Agrotis</i>	5
2.2. El cultivo de maíz, su importancia	7
2.3. El cambio climático y su incidencia en los insectos plaga.....	11
CAPÍTULO III.....	14
MARCO METODOLÓGICO.....	14
3.1. Ubicación del ensayo.....	14
3.2. Equipos y materiales	14
3.3. Tipo de investigación	14
3.4. Prueba de hipótesis:.....	15
3.5. Población o muestra:	15
3.6. Recolección de la información	15
3.6.1. Recolección de muestras.....	15
3.6.2. Identificación de la especie de Noctuidae.....	17
3.6.3. Cría y mantenimiento de la especie de <i>Agrotis</i>	17
3.7. Procesamiento de la información y análisis estadístico	19
CAPÍTULO IV.....	20

RESULTADOS Y DISCUSIÓN	20
4.1. Duración del ciclo biológico y parámetros reproductivos de <i>Agrotis</i> sp. criadas sobre hojas de maíz	20
4.2. Relación entre los porcentajes de incidencia y severidad de <i>Agrotis</i> sp. con los parámetros climáticos en la región Sierra de Ecuador	25
CAPÍTULO V	32
CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES, BIBLIOGRAFÍA	33
5.1. Conclusiones	33
5.2. Recomendaciones.....	34
5.3. Bibliografía	35

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Datos del muestreo de Lepidoptera Noctuidae en siembras de maíz en Tungurahua y Cotopaxi.....	16
Tabla 2. Autovalores generados en un análisis de componentes principales para ordenar 201 puntos de muestreo en cantones de la región Sierra en Ecuador (año 2017)	26
Tabla 3. Autovalores generados en un análisis de componentes principales para ordenar 218 puntos de muestreo en cantones de la región Sierra de Ecuador (año 2018)	26
Tabla 4. Autovalores generados en un análisis de componentes principales para ordenar 263 puntos de muestreo en diferentes cantones de la región Sierra en Ecuador (año 2019)	27
Tabla 5. Autovectores generados en un análisis de componentes principales para ordenar 201 puntos de muestreo en cantones de la región Sierra del Ecuador (año 2017)	27
Tabla 6. Autovectores generados en un análisis de componentes principales para ordenar 218 puntos de muestreo en cantones de la región Sierra del Ecuador (año 2018)	28
Tabla 7. Autovectores generados en un análisis de componentes principales para ordenar 263 puntos de muestreo en cantones de la región Sierra del Ecuador (año 2019)	28

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Mapa de distribución de <i>Agrotis ipsilon</i>	7
Figura 2. Área cosechada de maíz en países de la región de América del Sur	8
Figura 3. Producción de maíz en países de la región de América del Sur	8
Figura 4. Rendimiento de maíz en países de la región de América del Sur	9
Figura 5. Sitios de colecta de lepidópteros Noctuidae en Tungurahua.....	16
Figura 6. Adultos de <i>Agrotis</i> colectados	17
Figura 7. Método de cría desde huevo hasta la fase adulta de <i>Agrotis</i> sp. bajo condiciones de laboratorio	18
Figura 8. Diferentes instares larvales de <i>Agrotis</i> sp. criado en maíz bajo condiciones de laboratorio	21
Figura 9. Desarrollo de <i>Agrotis</i> sp. con relación a la temperatura de cría.....	22
Figura 10. Ciclo de vida de <i>Agrotis</i> sp en función a la humedad	22
Figura 11. Oviposición total en hembras de <i>Agrotis</i> sp. y viabilidad de huevos.....	23
Figura 12. Número de hembras de <i>Agrotis</i> sp. ovipositando durante cuatro días	24
Figura 13. Número promedio de huevos colocados por hembras de <i>Agrotis</i> sp.	24
Figura 14. Distribución de 201 puntos de muestreo en 31 cantones de la región Sierra del Ecuador en el año 2017, basado en variables como temperatura, humedad relativa, altitud, precipitación, porcentaje de incidencia y porcentaje de severidad.	25
Figura 15. Correlación entre la humedad relativa (A), temperatura (B) y precipitación (C) y el porcentaje de incidencia de <i>Agrotis</i> sp en maíz en la zona Sierra del Ecuador	30
Figura 16. Correlación entre la humedad relativa (A), temperatura (B) y precipitación (C) y el porcentaje de severidad del daño de <i>Agrotis</i> sp en maíz en la zona Sierra del Ecuador	31

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS/DIRECCIÓN DE
POSGRADO
MAESTRÍA EN AGRONOMÍA

TEMA: *Modelo predictivo del impacto del cambio climático sobre la distribución y abundancia de una especie de Noctuidae asociada con el cultivo de maíz (Zea mays)*

AUTOR: Ing. Agr. Norma Yolanda Telenchana Paucar

DIRECTOR: Ing. Agr. PhD. Carlos Luis Vásquez Freytez

FECHA: 10 de septiembre de 2020

RESUMEN EJECUTIVO

En el Ecuador, el rendimiento del maíz ha mostrado una tendencia a la disminución debido al efecto del mal uso de semillas y el ataque de insectos plaga, como el gusano cogollero (*Spodoptera frugiperda*), barrenador del tallo (*Dialraça spp.*) y el falso medidor (*Mocis latipes*); pero también existen otras plagas potenciales secundarias como el gusano elotero o de la mazorca, (*Heliothis spp.*), gusanos trozadores o cortadores (*Agrotis spp.*). En el presente estudio se intenta relacionar los parámetros climáticos con la fenología del *Agrotis sp.* así como su abundancia e incidencia en plantaciones de maíz. Se estudió la biología de *Agrotis sp.* en hojas de maíz bajo condiciones de laboratorio. Por otra parte, los datos sobre incidencia y severidad del daño de la plaga, así como los datos históricos del 2017 al 2019 de temperatura, humedad relativa y precipitación fueron sometidos a un análisis de componentes principales. Para esto, por cada año, se construyó una matriz con los datos de cada una de las variables temperatura, humedad relativa, precipitación, altitud, porcentaje de incidencia y porcentaje de severidad para cada uno de los muestreos realizados en cada cantón (201 en el 2017, 218 en 2018 y 263 en 2019). Los resultados mostraron que el tiempo total de desarrollo (huevo-adulto) de *Agrotis sp.* criado sobre hojas de maíz tomó en promedio de 87,3 días, bajo temperaturas que oscilaron desde 18,5 °C durante la fase de huevo y que fue incrementándose hasta 22,7 °C al final del ciclo de desarrollo (fase de pupa). De acuerdo con el Análisis de Componentes Principales, la variabilidad de los datos climáticos fue explicada hasta en un 76,81; 75,77 y 79,20 % a través de los primeros tres componentes a partir de los datos del 2017, 2018 y 2019,

respectivamente. En los años 2018 y 2019, el primer eje tuvo una mayor significación también para las variables precipitación y humedad relativa, mientras que el segundo eje estuvo mayormente explicado por porcentaje de incidencia y porcentaje de severidad, indicando que la ordenación de los puntos de muestreo dada por el segundo eje estuvo bastante relacionada con el porcentaje de incidencia y el porcentaje de severidad. Finalmente, la precipitación, humedad relativa y la temperatura mostraron una relación polinómica de segundo grado con la severidad e incidencia de *Agrotis* sp. en plantaciones de maíz sembrado en la región Sierra durante los años 2017-2019. Este estudio constituye una primera aproximación al estudio de las relaciones entre los parámetros climáticos y las poblaciones de *Agrotis* sp. en maíz. Se requieren hacer y estudios más amplios en otras regiones del Ecuador de manera que se logre una mejor comprensión de la dinámica clima-planta-plaga.

Palabras clave: Noctuidae, *Agrotis*, plaga, maíz, parámetros climáticos.

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS/DIRECCIÓN DE
POSGRADO
MAESTRÍA EN AGRONOMÍA

THEME: *Predictive model of the impact of climate change on distribution and abundance of one Noctuidae species associated to maize crop (Zea mays)*

AUTHOR: Ing. Agr. Norma Yolanda Telenchana Paucar

DIRECTED BY: Ing. Agr. PhD. Carlos Luis Vásquez Freytez

DATE: September 10th, 2020

EXECUTIVE SUMMARY

In Ecuador, the maize yield has shown a trend to decrease due to the effect of the misuse of seeds and the attack of pest insects, such as the fall armyworm (*Spodoptera frugiperda*), stem borer (*Dialraça* spp.) And the false meter (*Mocis latipes*); but there are also other potential secondary pests such as the earworm or earworm (*Heliothis* spp.), cutworms (*Agrotis* spp.). In the present study, an attempt to establish a relationship between the climatic parameters with the phenology of *Agrotis* sp. as well as its abundance and incidence in corn plantations. The biology of *Agrotis* sp. in maize leaves was studied under laboratory conditions. On the other hand, data about pest's incidence and severity of damage, as well as the historical data from 2017 to 2019 on temperature, relative humidity and precipitation were subjected to a Principal Component Analysis. For this purpose, for each year, a matrix was constructed with the data of each of the variables temperature, relative humidity, precipitation, altitude, percentage of incidence and severity for each of the samplings carried out in each canton (201 in the 2017, 218 in 2018 and 263 in 2019). The results showed that the total development time (egg-adult) of *Agrotis* sp. reared on maize leaves took an average of 87.3 days, under temperatures that ranged from 18.5 °C during the egg stage and then it increased to 22.7 °C at the end of the development cycle (pupal phase). According to the Principal Component Analysis, the variability of the climatic data was explained by up to 76.81, 75.77 and 79.20% through the first three components from the data of 2017, 2018 and 2019, respectively. In the years 2018 and 2019, the

first axis had a greater significance also for the variables precipitation and relative humidity, while the second axis was mainly explained by percentage of incidence and percentage of severity, indicating that the ordering of the given sampling points on the second axis, it was quite related to the incidence percentage and the severity percentage. Finally, rain, relative humidity and temperature showed a second-degree polynomial relationship with the severity and incidence of *Agrotis* sp. in corn plantations planted in the Sierra region during the years 2017-2019. This study constitutes a first approach to the study of the relationships between the climatic parameters and the populations of *Agrotis* sp. in corn. More extensive studies are required in other regions of Ecuador in order to achieve a better understanding of the climate-plant-pest dynamics.

Keywords: Noctuidae, *Agrotis*, pest, maize, climatic parameters.

CAPITULO 1

EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1. Introducción

Una de las actividades productivas que ha tenido un enfoque directo con la seguridad alimentaria en los últimos años ha sido la agricultura que conjuntamente con otras funciones como las económicas, ambientales, sociales y culturales han permitido establecer medidas de conservación del paisaje y aportar ventajas medioambientales como la preservación de la biodiversidad (**FAO, 1991**). Por ello gracias a la agricultura el hombre ha logrado la domesticación de varias especies de plantas y entre ellas el maíz que tiene origen entre los años 9000 y 5000 AC, en la región Mesoamericana (**Polanco y Flores, 2008**).

Mundialmente el maíz es un rubro importante por los volúmenes de producción de los últimos años reportados por la **FAO (2020)**, llegando a un promedio de 630,3 millones de toneladas por su capacidad de adaptación en diferentes pisos altitudinales (**Polanco y Flores, 2008**). En América Latina el maíz es consumido en sus distintas etapas fenológicas; el ser humano consume la mazorca en fresco y en maíz duro lo utiliza la industria alimentaria, minera, textil y farmacéutica en un 29%, la industria pecuaria para alimentar pollos y cerdos a gran escala el 58% y solo apenas el 13% es para otros usos (**Galarza y Miramontes, 2012**).

Al ser el maíz uno de los rubros más importantes dentro de la cadena alimenticia se han desarrollado tecnologías basadas en una agricultura sustentable para aumentar aún más la productividad mediante el uso adecuado del suelo y aprovechamiento del recurso hídrico; permitiendo de la misma manera conservar la flora y fauna del entorno (**Olivares et al., 2018**). Sin embargo, según el **Banco Central del Ecuador (2017)**, presenta una muestra adversa en la producción de maíz suave con relación a la superficie cosechada y volumen de producción en el año 2017, ya que decreció un 12% y este comportamiento lo asocian con problemas climáticos como heladas, vientos y exceso de lluvia en la región sierra centro-norte donde existe mayores áreas sembradas con esta gramínea.

En el Ecuador las regiones Sierra, Costa y Oriente en sus últimos años los rendimientos se han visto afectados por otros factores como el mal uso de semillas y el ataque de

insectos plaga (**Valarezo, 2013**), como el gusano cogollero (*Spodoptera frugiperda*), barrenador del tallo (*Dialraça spp.*) y el falso medidor (*Mocis latipes*); pero también existen otras plagas potenciales secundarias como el gusano elotero o de la mazorca, (*Hcliiothis spp.*), gusanos trozadores o cortadores (*Agrotis spp*) (**Páliz y Mendoza, 1999**).

Por ello al identificar los factores bióticos (plagas) y abióticos (condiciones climáticas) que son los causales de las pérdidas de la producción de maíz (**Herrera, 2012**) se ha visto la necesidad de generar un manejo multidisciplinario mediante la cuantificación, identificación y cartografía de las plagas que generan problemas económicos a los productores, estas metodologías permiten evaluar la resistencia al ataque de estos insectos e incorporar buenas prácticas agrícolas para la conservación del medio ambiente (**García y Bergvinson, 2007**).

El ataque de estas plagas se puede manejar mediante el monitoreo y el uso de sistemas de pronóstico de riesgo, los cuales contribuyen a obtener datos que permiten definir estrategias de manejo y control, generando así las posibles soluciones en un ambiente cambiante y accionar del hombre (**Moschini, 2011**). Un modelo para el control de las plagas que se ha desarrollado es una modelación matemática que determina las características más importantes de la dinámica de la plaga que más incidencia tiene en el cultivo y emite un mecanismo de control más eficiente para validar estrategias de control que vayan acorde a las características climatológicas del lugar de desarrollo (**Delgadillo et al., 2006**).

1.2. Justificación

El maíz es una de las primeras plantas en ser domesticadas por el hombre y por ello ha sido difundida por todo el mundo convirtiéndose en una fuente principal de alimento humano, animal e industrial, considerando además que puede ser usada en cualquier etapa de desarrollo vegetal (**Sánchez, 2014**). Por ello este rubro es el tercero más importante del mundo después del trigo y arroz, razón por la cual países como Estados Unidos, China y Brasil han sido los principales productores y generadores de nuevas tecnologías para obtener mayor productividad (**Asturias, 2004**).

En América del Sur, Ecuador es uno de los países que ha generado la mayor producción de productos agrícolas de primera necesidad interna como el maíz, el cual tiene varias dependencias económicas y políticas que se deben mejorar y así mantener una heterogeneidad en la producción (**Álvarez, 2016**).

En lo referente a la superficie cosechada de maíz suave y, al volumen de producción en la etapa de cosecha de 2018, se observa un decrecimiento de 5%, reducción que fue menor a las experimentadas tanto el área de cosecha (-8%) y el volumen de producción (-12%) en el año 2017. Este comportamiento estuvo asociado a los rendimientos que se han mantenido, debido a problemas de tipo climáticos como las heladas, los fuertes vientos y escasas de lluvia, especialmente en las provincias de la sierra centro-norte, donde mayormente se cultiva este producto.

Para la próxima etapa de siembra, la mayoría de los entrevistados, estima que la producción podría crecer un 2%, puesto que en lo que va de este año, han mejorado los precios, pero sobre todo la etapa invernal ayudaría a que se consiga un mayor rendimiento, especialmente en el primer trimestre de 2019 que salen los primeros choclos al mercado. Respecto al análisis a nivel cantonal, cabe destacar que en el cantón Ambato de la provincia de Tungurahua, se informó que la zona de mayor producción de maíz sigue siendo el cantón Patate, sin embargo, en este cantón la superficie cosechada habría descendido en un 20% en este período y como los rendimientos también bajaron se habría alcanzado un nivel de producción negativo en 40%, de hecho, la sequía habría afectado directamente al rendimiento de la producción. Adicionalmente se informó que las perspectivas de siembra para el próximo año son las mismas, es decir que se mantendría la superficie sembrada, aunque se esperaría también un mejor rendimiento de los cultivos que permita producir una mayor cantidad de maíz suave. En el cantón Cevallos, consultado en esta ocasión, se encontró que la superficie cosechada, como el volumen de producción se redujo en un 40%, lo que implicó que los rendimientos serían iguales. Asimismo, se mencionó que para la próxima siembra se mantendría la misma superficie, por ende, tampoco habría cambios en los niveles de producción. También en este cantón se informó que el factor climático dañó la producción, porque el precio más bien se ha mantenido en este año (**Banco Central del Ecuador, 2017**).

1.3 Objetivos

1.3.1. General

Diseñar un modelo predictivo del impacto del cambio climático sobre la distribución y abundancia de una especie de Noctuidae en maíz (*Zea mays*).

1.3.2. Específicos

- ✓ Determinar el efecto de la temperatura y humedad relativa sobre los aspectos biológicos de una especie de Noctuidae en maíz (*Zea mays*).

- ✓ Sustentar con estudios de laboratorio la relación entre los parámetros climáticos y la abundancia y distribución de una especie de Noctuidae en plantaciones de maíz.

- ✓ Diseñar un modelo de simulación fenológica de una especie de Noctuidae basado en los parámetros bioecológicos de la plaga.

CAPITULO II

ANTECEDENTES INVESTIGATIVOS

2.1. El género *Agrotis*

Agrotis Ochsenheimer (Lepidoptera: Noctuidae) es un género con amplia distribución mundial que incluye aproximadamente 300 especies conocidas como "gusanos cortadores" puesto que sus larvas cortan los brotes de las plántulas de diferentes cultivos, tales como maíz, tomate, papa, llegando a causar en muchos casos, la muerte de la planta (**San Blas y Barrionuevo, 2013**). Del total de especies descritas a nivel mundial, solo 93 han sido registradas para América del Sur, sin embargo, debido a las dificultades para su identificación, muchas de estas especies sudamericanas han sido transferidas a otros géneros basándose en la morfología externa y los genitales de machos y hembras, por lo que actualmente solo se reconocen 20 especies de *Agrotis* en la región (**San Blas, 2014**).

De acuerdo con **San Blas (2014)**, las especies actualmente reconocidas se incluyen en cuatro grupos de especies: **grupo de especies edmondsi** constituido por *Agrotis steniptera* (Dognin, 1916), *Agrotis propriens* (Dyar, 1913), *Agrotis bistrigata* Maassen, 1890, *Agrotis dispar* Köhler, (1958), *Agrotis peruviana* (Hampson, 1909), *Agrotis elegans* (Köhler, 1945), *Agrotis benitezi* León, 2010, *Agrotis leonoides* Poole, 1989, *Agrotis edmondsi* Butler, 1882 y *Agrotis leucovenata* San Blas & Gentili, 2011, **el grupo de especies fausta**, conformado por *Agrotis fausta* (Köhler, 1958), *Agrotis malefida* Guenée, 1852, *Agrotis canities* (Grote, 1902), **grupo de especies robusta** donde se incluyen las especies *Agrotis schreiteri* (Köhler, 1945), *Agrotis araucaria* (Hampson, 1903), *Agrotis ipsilon* (Hufnagel, 1766), *Agrotis robusta* (Blanchard, 1852) y el cuarto **grupo de especies con asociación no esclarecida**, *Agrotis acronyctoides* Angulo & Olivares, 2006, *Agrotis caliginosa* Angulo & Olivares, 2006.

La mayoría de las larvas de lepidópteros plaga (Noctuidae y Pyralidae) provocan esqueletización del follaje, pero a medida que van mudando a los instares subsiguientes, cavan túneles en el suelo de los cuales salen durante la noche para alimentarse de los brotes de sus plantas hospederas (ejemplo gusanos de tela, hepialidos y gusanos cortadores) o permanecen alimentándose del follaje y los tallos de la gramíneas (gusano cogollero) (**Koppenhöfer y Wu, 2017**).

Agrotis malefida Guenee en Boisduval y Guenee, 1852 se distribuye por todo el continente americano, excepto los polos y se cita comúnmente como especie plaga en publicaciones de orientación agrícola y por lo general, los especímenes identificados en Argentina, Chile, Paraguay y Bolivia se corresponden a *A. robusta*, por lo que este error hace que sea incierto establecer cuál o si ambas es la especie económicamente importante (**San Blas y Barrionuevo, 2013**). Por otra parte, las larvas de *Agrotis segetum* y *A. ipsilon* causan graves daños al maíz, el tabaco, la papa, la remolacha azucarera y otros cultivos (**Cabello, 1990**).

A pesar de la importancia económica de las especies de *Agrotis* en diferentes cultivos, la mayor parte de las investigaciones han sido enfocadas al estudio de otras especies de Noctuidae, principalmente *Spodoptera frugiperda* (Smith) debido a que esta especie produce las mayores pérdidas en la producción de maíz en los trópicos y neotrópicos (**Jaramillo-Barrios et al., 2020**). Estos autores lograron determinar que el Nivel de Daño Económico (NDE) se ubicó entre 1,9 y 2.6 larvas/10 plantas en el híbrido 30F35R y 2,8 larvas/10 plantas en el híbrido 30F35HR (con proteína Cry1F), así como los Umbrales de Acción fueron establecidos en el período de 0 a 20 días después de la emergencia y otro de 20 a 40 DAE, los cuales son valores importantes que deben ser considerados dentro del manejo integrado de plagas que también incluye estrategias de control biológico y cultural.

En Ecuador no existe mucha información disponible sobre las especies de Noctuidae existentes y tampoco sobre su impacto en los diferentes cultivos asociados, sin embargo, las especies más comúnmente encontradas son *A. ipsilon* y *Agrotis deprivata* (**CABI 2020; Benzing et al., 2000**) (Fig. 1).



Figura 1. Mapa de distribución de *Agrotis ipsilon*

2.2. El cultivo de maíz, su importancia

El maíz se cultiva en casi todos los países por sus altos valores nutricionales caracterizados por un alto contenido de carbohidratos, principalmente en forma de almidón, y también por sus aportes de proteínas, lípidos, vitaminas y minerales, además de su facilidad de consumo, sin necesidad de procesamiento para quitar la cáscara como se hace con otros cereales, como el arroz y el trigo (**Langner et al., 2019**).

En términos de producción, durante los últimos años, el maíz superó al arroz con cáscara (*Oryza sativa*) y al trigo (*Triticum aestivum*), con una producción mundial por encima de las 600 toneladas métricas, de las cuales casi el 60% es producido en Estados Unidos de América y China, mientras que el resto se cultiva en países de África, América Latina y Asia meridional con una gran proporción producida en los trópicos y subtrópicos (**Huma et al., 2019**).

De acuerdo con la FAO (2020), en América del Sur la mayor área cosechada de maíz se encuentra en Brasil (60,6 %) y Argentina (26,8 %), mientras que Ecuador se ubica en el octavo lugar con el 1,4 % de la producción (Fig. 2).

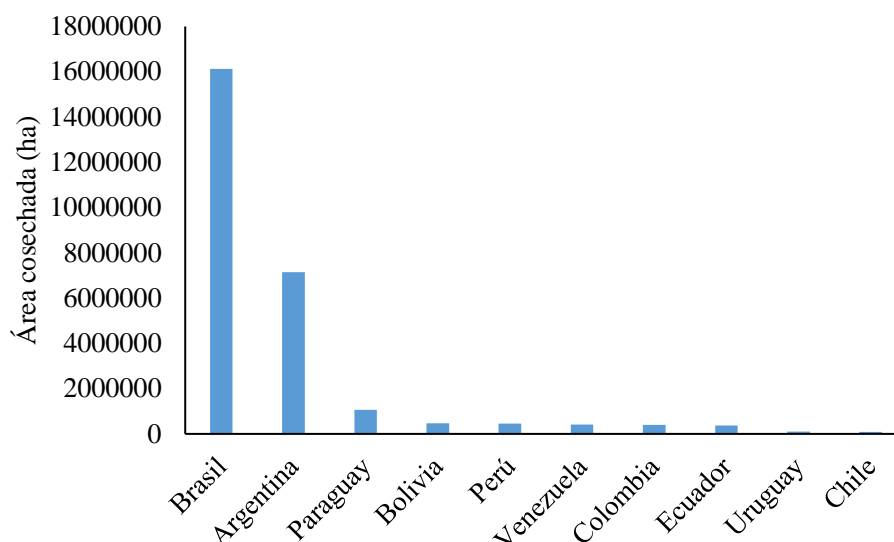


Figura 2. Área cosechada de maíz en países de la región de América del Sur

Así mismo, la mayor producción de este rubro también se concentra en Brasil y Argentina con el 58,8 y 31,1 % de la producción de la región sudamericana, seguidos de Paraguay (3,8 %), Perú (1,2 %), Colombia (0,99 %) y Ecuador (0,94 %) (FAO, 2020) (Fig. 3).

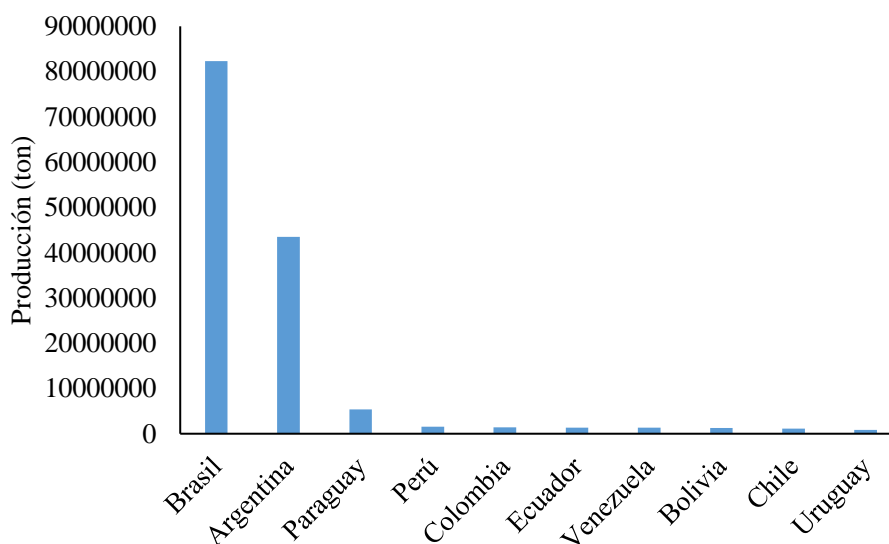


Figura 3. Producción de maíz en países de la región de América del Sur

Con relación al rendimiento, la situación es bastante diferente, puesto que los mayores rendimientos son obtenidos por Chile, Uruguay y Argentina, los cuales tienen valores de rendimiento por encima de la media de la región y Ecuador se ubica en el séptimo

lugar con un rendimiento de 36.245 hg/ha, lo cual lo ubica un 31% menor a la media de América del Sur (52.567 hg/ha) (Fig. 4).

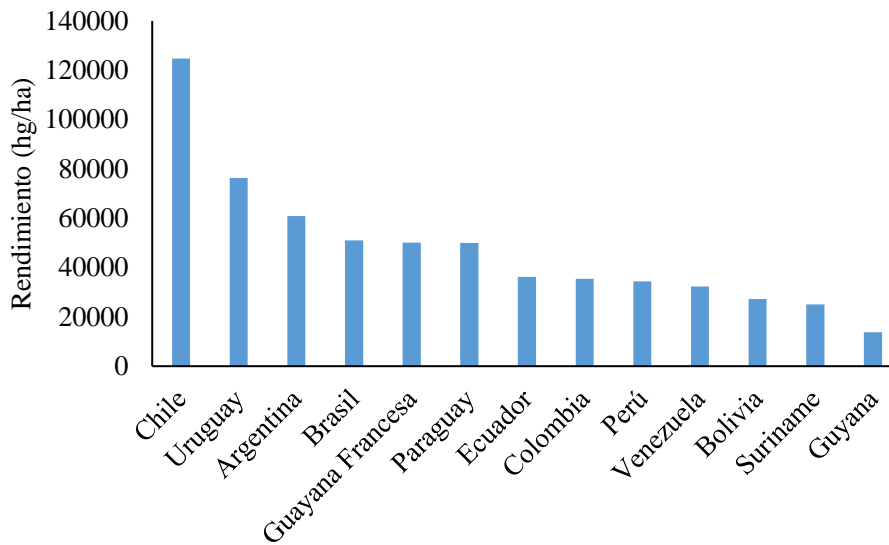


Figura 4. Rendimiento de maíz en países de la región de América del Sur

El cultivo de maíz es atacado por numerosos fitopatógenos y unas 250 especies insectos plaga en diferentes etapas de crecimiento de la planta, sin embargo, solo unas seis especies pueden dañar gravemente el grano de maíz, por lo que se consideran de importancia económica (Singh y Singh, 2018). Algunos de los principales insectos plaga que atacan al cultivo son el gusano cogollero del maíz (*Helicoverpa zea* y *Spodoptera frugiperda*) (Lepidoptera: Noctuidae), el gusano de la raíz del maíz (*Diabrotica virgifera*) (Coleoptera: Chrysomelidae), el barrenador del maíz (*Ostrinia nubilalis*) (Lepidoptera: Crambidae), el pulgón del maíz (*Rhopalosiphum maidis*) (Hemiptera: Aphididae) (Sulong et al., 2019; Olmstead et al., 2016).

Aparte de estas especies de mayor incidencia, *A. ipsilon* ha sido reportada en maíz amiláceo en Perú (Castillo, 2017), en Ecuador (Delgado, 2019), México el cual puede atacar durante las etapas de germinación y crecimiento vegetativo (Hernández-Trejo et al., 2019). Esta especie es considerada como una plaga de lepidópteros destructiva, que además de maíz también puede alimentarse de plántulas de casi todas las familias botánicas, requiriendo la necesidad de replantación en las parcelas destruidas, lo que puede llegar a duplicar los costos de producción (Gesraha et al., 2017).

Existen estudios relacionados con la biología de algunas especies de *Agrotis*. **Specht et al. (2013)** estudiaron el ciclo de vida de *Agrotis malefida* (Lepidoptera: Noctuidae) en una dieta artificial (25 °C, 70 % HR y 14 horas de foto fase) y observaron que la viabilidad fue de 96,7; 91,2; 78,4 y 95,3 % para los huevos, larvas, pupas y prepupas, respectivamente, mientras que el tiempo de desarrollo de huevo, larva, prepupa, pupa y adulto fue de 7,9; 54,3; 61,6; 37,4 y 12,9 días, respectivamente y con una fecundidad promedio de 1.696,8 huevos. De acuerdo con estos autores, el potencial biótico de *A. malefida* fue de 606.666,59 individuos/hembra/año.

La duración del ciclo biológico de otras especies de Lepidoptera de la familia Noctuidae ha sido estudiada en el cultivo de maíz. Así, un interés creciente existe sobre *S. frugiperda* debido a que en los últimos años ha invadido África, el Lejano Oriente y Australia. Du Plessis et al. (2020) evaluaron el tiempo de desarrollo a diferentes temperaturas (18, 22, 26, 30 y 32 °C). y observaron que la tasa de desarrollo aumentó linealmente con el aumento de temperaturas entre 18 y 30 °C y la supervivencia de las larvas fue la más alta entre 26 y 30 °C, siendo este el rango óptimo para el desarrollo de huevos, larvas y de huevo a adulto, mientras que el umbral de temperatura mínima para el desarrollo de huevos y larvas fue 13,01 y 12,12 °C, respectivamente y 12,57 °C para el desarrollo de huevo a adulto. Asimismo, en la India Sharanabasappa et al. (2018) observaron que la oviposición de las hembras criadas sobre hojas de maíz alcanzó 1064 huevos, mientras que los períodos de incubación, desarrollo larval y de pupa fueron de 2-3, 14-19 y 9-12 días, respectivamente y la longevidad de machos y hembras fue de 32-43 y 34-46 días, respectivamente.

Otros estudios mostraron el efecto de la especie de planta sobre los parámetros biológicos de esta especie de noctuido. Estudio comparativo de laboratorio sobre parámetros poblacionales de *S. frugiperda* criada sobre maíz y pasto Guinea (*Panicum maximum* Jacq.) y pasto Bermuda (*Cynodon dactylon* (L.) Pers.) en Argentina, mostró diferencias en la duración del ciclo de vida, mientras que la fertilidad varió desde 92,1 % en maíz, hasta 96,4 y 99,8% y una producción de huevos de 187,8 en pasto guinea y 99,4 en pasto bermuda, respectivamente. De acuerdo con estos autores, los individuos criados en estos pastos podrían jugar un papel importante sobre la dinámica poblacional del gusano cogollero en el norte de Argentina (**Murúa y Virla, 2004**).

Helicoverpa zea (Boddie) (Lepidoptera: Noctuidae) también puede convertirse en plaga en cultivos de maíz, así como en otros cultivos, por lo que se ha constituido en objeto de estudio para determinar su efecto en sembradíos de maíz. Bilbo et al. (2018) demostraron que el desarrollo de *H. zea* en híbridos de maíz Bt en el sureste de los Estados Unidos provocó la reducción del peso de la pupa y afectó la fecundidad y la viabilidad de los huevos de las polillas.

2.3. El cambio climático y su incidencia en los insectos plaga

Aunque existen evidencias de que el cambio climático está produciendo variaciones en los patrones de distribución de plagas y enfermedades, es difícil predecir los efectos de una manera integral. Estos cambios en la temperatura, la humedad y los gases atmosféricos pueden inducir incrementos en las tasas de crecimiento, alterando las interacciones entre las plagas, sus enemigos naturales y sus plantas hospederas (Shrestha, 2019). Es probable que algunos de los efectos más dramáticos del cambio climático sobre las plagas y enfermedades de los animales sean más evidentes en los artrópodos, provocando expansión del rango geográfico (FAO, 2020b).

Debido a la condición ectotérmica de los insectos, estos son de interés primordial ante los constantes cambios climáticos que tienen lugar durante las últimas décadas, por ello, existe un mayor interés en elaborar modelos que predigan los efectos del cambio climático sobre la bioecología y distribución geográfica de las especies de insectos plaga en cultivos agrícolas (Esbjerg y Sigsgaard, 2014). Los insectos plaga constituyen serias limitaciones en la producción agrícola, puesto que causan pérdidas estimadas de aproximadamente el 18% de la producción anual total de cultivos y probablemente este impacto se incremente en la medida que aumenta la demanda mundial para satisfacer las necesidades alimentarias de una población creciente, fibra, materias primas bioenergéticas, y otros productos renovables sigue creciendo (Lehmann et al., 2020). La disminución del rendimiento causada por insectos plaga es sustancialmente importante en tres alimentos básicos: arroz, trigo y maíz (Deutsch et al., 2018).

De acuerdo con los pronósticos, se espera que la productividad agrícola en África, Asia y América Latina disminuya hasta en un 20% y los países menos desarrollados sufrirán los mayores efectos negativos, por lo que el cambio climático será un desafío adicional

para producir suficientes granos alimenticios para las poblaciones en constante crecimiento, cuando la producción de cultivos tendrá que ser impulsada para alimentar a tres mil millones más de personas que viven a fines del siglo XXI (**Sharma et al., 2012**).

El uso de modelos en insectos plaga tiene varias aplicaciones, por ejemplo en el estudio de las relaciones tritróficas, incluyendo la dinámica poblacional, relaciones presa-depredador y parasitoide-hospedero (**Gilioli et al., 2016; Ponti et al., 2015**), así como también en el establecimiento de relaciones con elementos abióticos, tales como la temperatura, que es el principal impulsor de la fenología de las especies, de manera de poder diseñar modelos sobre distribución y para estudiar sus relaciones con el clima y las plantas hospedadoras (**Chuine, 2010**).

Los modelos más comunes son los Modelos de Nicho Ecológico (MNE), que predicen la fenología y la distribución, exploran y explotan las correlaciones en un momento determinado, lo que dificulta su uso para su aplicación en estudios de cambio climático. Un ejemplo destacado de MNE es CLIMEX (CLIMatic indeEX), un programa de modelado impulsado por el clima diseñado para proporcionar información sobre la respuesta de una especie al clima mediante el uso de su distribución geográfica, su fenología estacional y abundancia relativa en diferentes lugares (**Castex et al., 2018; Tonnang et al., 2017**).

Los modelos que evalúan el impacto del calentamiento global pocas veces consideran las pérdidas causadas por los insectos en los cultivos. Sin embargo, (**Deutsch et al., 2018**) modelaron la relación entre la temperatura, el crecimiento de la población y las tasas metabólicas de los insectos para estimar cómo y dónde el calentamiento climático aumentará las pérdidas de arroz, maíz y trigo por efecto de los insectos y con base al modelo, estiman que las pérdidas mundiales de rendimiento de estos cereales aumentarán entre 10 y 25% por cada grado de temperatura por el calentamiento global medio de la superficie y estas pérdidas serán más graves en áreas donde haya aumentado tanto la población como las tasas metabólicas de los insectos.

Los modelos inferenciales se utilizan generalmente para evaluar el efecto del calentamiento sobre las fluctuaciones de la población de las plagas y así inferir sobre la posible expansión del rango geográfico y de esa manera mejorar las estrategias de

manejo integrado de plagas (Zhenh et al., 2015). En este sentido, Huang y Hao (2019) analizaron un conjunto de datos climáticos de 25 años y su relación con la estructura de siembra de cultivos y la dinámica de la población de *Helicoverpa armigera* en el sur de Xinjiang, China, mostrando una tendencia al incremento poblacional en tres generaciones de la plaga por efecto del cambio climático, además se evidenció asincronía de cambios abruptos entre el cambio climático, las fechas de floración del cultivo y la fenología de *H. armigera*, las cuales según el modelo predictivo se incrementarían en el futuro. Adicionalmente, estos autores señalaron que los principales factores que explican esta tendencia es la temperatura media en junio, la fecha de aparición de la segunda generación y la duración de la tercera generación de polillas, respectivamente.

De manera similar, Huang y Li (2015) utilizando métodos estadísticos investigaron el efecto de los cambios de temperatura del aire y del suelo y la precipitación sobre las pupas hibernantes de *H. armigera* en China. Los resultados mostraron que durante el período de 1989-2006, el calentamiento climático adelantó la fecha de eclosión de las pupas (FD) en 1.276 días/año, lo que resultó en mayor eclosión de pupas y también demostraron que por el incremento de 1 °C en la temperatura máxima del aire (Tmax) en invierno, la FD se adelantó en 3,2 días, mientras que la precipitación provocó retraso en la FD, observándose que con el aumento de 1 mm de precipitación la FD se retrasó 0,850 días. Con esto, los autores concluyen que las temperaturas del aire durante la hibernación de *H. armigera* se incrementaron por efecto de la mayor temperatura del suelo, por lo tanto, este calentamiento climático está incrementando la posibilidad de supervivencia de las pupas hibernantes.

Generalmente, los enfoques correlativos utilizados para predecir cambios en la distribución de organismos se basan en el supuesto de que los límites climáticos son fijos. En China, *Spodoptera exigua* Hübner (Lepidoptera: Noctuidae) pasa el invierno como larvas o pupas y con el fin de comprender los impactos del cambio climático sobre la hibernación de esta especie, Zheng et al. (2015) utilizaron modelos CLIMEX y Arc-GIS para predecir posibles cambios de distribución basados en la temperatura, de donde se demostró que el límite norte de hibernación de *S. exigua* se desplazará hacia el norte, por lo que el calentamiento invernal en curso aumente la frecuencia de los brotes de *S. exigua*.

CAPÍTULO III

MARCO METODOLÓGICO

3.1. Ubicación del ensayo

El presente trabajo de investigación fue realizado en el laboratorio de Investigación de Entomología de la Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Técnica de Ambato, ubicado en el cantón Cevallos, provincia de Tungurahua.

3.2. Equipos y materiales

Materiales

- Tarrinas desechables
- Paquete de fundas plásticas (ziplock)
- Pincel 000
- Paquete de toallas de cocina absorbentes
- Algodón
- Pissetas
- Tela *doppiovelo*

Equipos

- Estereomicroscopio
- Termohidrógrafo

3.3. Tipo de investigación

La investigación fue desarrollada con un enfoque cuali-cuantitativo porque presenta variables como la recolección de datos, se consideraron variables de recolección y análisis de datos para comprobar la hipótesis que se planteó mediante un análisis crítico.

Adicionalmente, fue conducida bajo la modalidad **explicativa** porque se buscan las posibles causas del impacto del cambio climático sobre *Agrotis* sp, **bibliográfica:** mediante la cual se indaga sobre el estado del arte del tópico o problemática planteada

para el presente estudio, con los cuales se compararán los resultados obtenidos en la presente investigación y finalmente, **experimental** puesto que se evaluará el ciclo biológico de la plaga.

3.4. Prueba de hipótesis:

En la presente investigación se plantea la posible relación entre los parámetros climáticos y la severidad e incidencia de *Agrotis* sp. en plantaciones de maíz en la región sierra de Ecuador.

H₀= La severidad e incidencia de *Agrotis* sp. en plantaciones de maíz está relacionada con factores climáticos como precipitación, temperatura y humedad relativa

H₁= La severidad e incidencia de *Agrotis* sp. en plantaciones de maíz no está relacionada con factores climáticos como precipitación, temperatura y humedad relativa

3.5. Población o muestra:

Población: se tomaron del campo muestras de una especie de Noctuidae de las plantaciones de maíz de la localidad de Querochaca (Cantón Cevallos).

Muestra: De la localidad se analizaron cada una de las muestras colectadas para establecer tiempos de duración del ciclo biológico.

Tratamientos: Los tratamientos están representados por el número de huevos que eclosionaron y de los cuales se realizó el respectivo seguimiento, considerando los diferentes regímenes de temperatura y humedad relativa dentro del laboratorio.

3.6. Recolección de la información

3.6.1. Recolección de muestras

Las muestras (machos y hembras adultas) fueron colectadas en lotes de maíz de 2 a 4 meses de edad aproximadamente en los cantones de Ambato, Quero, Cevallos, Patate y Pelileo (Tungurahua) y cantón Latacunga (Cotopaxi) (Tabla 1; fig. 5).

Tabla 1. Datos del muestreo de Lepidoptera Noctuidae en siembras de maíz en Tungurahua y Cotopaxi

Fecha	Provincia	Cantón	Sector	Longitud	Latitud	Altura (msnm)
20/3/2019	Cotopaxi	Latacunga	Juan Montalvo	0°52'42.6"S	8°33'16.5"W	2752
19/2/2019	Tungurahua	Patate	San Jorge	1°18'50"S	78°29'50"W	3872
13/1/2019		Pelileo	Surangay	1°23'41"S	78°31'10"W	2968
22/1/2019			Chincheta	1°23'39.8"S	8°32'38.9"W	2954
18/2/2019		Quero	Puñachizag	1°26'12"S	78°35'09"W	3091
5/4/2019		Cevallos	El Tambo	1°22'01.4"S	78°36'33.8"W	2865
5/2/2019		Ambato	Izamba	1°13'21.8"S	8°35'19.2"W	2584



Figura 5. Sitios de colecta de lepidópteros Noctuidae en Tungurahua

Durante el muestreo aleatorio, en cada parcela fueron revisados tanto el haz como el envés de la hoja para constatar la existencia de masas de huevos, las cuales fueron colocadas en contenedores de plástico a los que previamente se le realizó una abertura en la tapa y se la cubrió con tela *doppiovelo* para permitir oxigenar la muestra. Las muestras fueron rotuladas con los datos de lugar y fecha de recolección y llevadas al laboratorio de Entomología para empezar la cría respectivamente.

3.6.2. Identificación de la especie de Noctuidae

Los huevos traídos de campo fueron criados hasta la emergencia de los adultos para proceder a la identificación de los especímenes (Fig. 6). Fotos de los ejemplares fueron enviados al Dr. Steven Passoa (USDA) para la verificación de la especie. Sin embargo, solo pudo ser identificada hasta nivel de género debido a lo complicado de la taxonomía de Noctuidae, se requería enviar los especímenes al Departamento de Agricultura de los Estados Unidos, pero debido a las restricciones para el envío de material biológico fuera del país no se pudo completar esa fase.



Figura 6. Adultos de *Agrotis* colectados

3.6.3. Cría y mantenimiento de la especie de *Agrotis*

Las muestras colectadas en campo fueron mantenidas en el laboratorio (fig. 7) y junto a ellas se instaló un termohidrógrafo para registrar las condiciones de humedad y temperatura, las cuales fueron registradas en una base de datos para su posterior análisis.



Figura 7. Método de cría desde huevo hasta la fase adulta de *Agrotis* sp. bajo condiciones de laboratorio

Una vez que las muestras de huevos se encontraron en el laboratorio se esperó la eclosión de estos para empezar la toma de datos de cada uno de los estadios de la especie. Al emerger las larvas de primer instar se añadieron pedazos de hojas de maíz tierno como dieta básica. El alimento fue suministrado diariamente *ad libitum* para que este se encuentre en buen estado y disponible para las pequeñas larvas.

Durante los tres primeros estadios, las larvas fueron mantenidas juntas para evitar perder muestras, pues por su tamaño su manipulación se hacía complicada. Después del cuarto instar, estas fueron colocadas en grupos de tres para facilitar el seguimiento e identificación de cada una de ellas. Durante esta fase, fueron tomadas fotografías de los crochets en las pseudopatas y de la cabeza para realizar la identificación de los especímenes.

Una vez transformadas en pupas, en los contenedores se colocó una capa de suelo para simular las condiciones de campo y promover el desarrollo pupal. Posteriormente, cuando emergieron las mariposas adultas se colocó maíz tierno como sustrato para la oviposición. Los adultos fueron alimentados con una solución a base de agua con azúcar y miel.

Los datos de duración, longevidad y fecundidad fueron expresados en valores promedio para determinar el tiempo del ciclo de vida y los parámetros reproductivos de las hembras de *Agrotis* sp.

3.7. Procesamiento de la información y análisis estadístico

Los datos sobre incidencia y severidad del daño de la plaga, así como los datos históricos de temperatura, humedad relativa y precipitación fueron provistos por Agrocalidad-Tumbaco.

Los datos fueron sometidos a un análisis de componentes principales. Para esto, por cada año, se construyó una matriz con los datos de cada una de las variables temperatura, humedad relativa, precipitación, altitud, porcentaje de incidencia y porcentaje de severidad para cada uno de los muestreos realizados en cada cantón (201 en el 2017, 218 en 2018 y 263 en 2019). Esta matriz fue estandarizada en el sentido de las variables restando a cada valor el promedio de la variable, dividido entre su desviación estándar. La matriz estandarizada fue sometida a un análisis de componentes principales, para lo cual se calculó el coeficiente de correlación entre las variables como una medida de distancia.

Sobre esta matriz de distancia se calcularon los autovalores y los autovectores, para finalmente proyectar la matriz estandarizada de datos sobre los ejes generados. Esta proyección fue visualizada en gráficos bidimensionales. Todos estos análisis se lograron con el programa de estadística multivaridadada NTSYS v. 2.02. El objetivo de esta primera exploración fue visualizar si existía alguna tendencia que permitiera inferir la relación entre porcentaje de incidencia y porcentaje de severidad con las condiciones ambientales de los cantones.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Duración del ciclo biológico y parámetros reproductivos de *Agrotis* sp. criadas sobre hojas de maíz

El tiempo total de desarrollo (huevo-adulto) de *Agrotis* sp. criado sobre hojas de maíz tomó en promedio de 87,3 días, bajo temperaturas que oscilaron desde 18,5 °C durante la fase de huevo y que fue incrementándose hasta 22,7 °C al final del ciclo de desarrollo (fase de pupa) (Fig. 8). El tiempo de incubación del huevo fue de 6,0 días y posteriormente a ese periodo, se observaron seis instares larvales con duración promedio de 8,0; 5,0; 8,0; 5,0 y 6,0 días para larva 1, 2, 3, 4, 5 y 6. El período de prepupa y pupa fue 18,2 y 23,1 días, respectivamente (Fig. 9).

Specht et al. (2013) observaron que la duración promedio de huevo, larva, prepupa, pupa y adulto de *A. malefida* criados sobre dieta de Greene a 25 °C y 70 ± 10% HR fue de 7,93, 54,26, 61,61, 37,43 y 12,85 días, respectivamente con una duración promedio de la fase inmadura de 161,29 días (rango 102-227 días) y la viabilidad de huevos, larvas, pupas y prepupas fue de 96,7; 91,3; 78,4 y 95,3 %, respectivamente. Por otra parte, estos autores determinaron que la fecundidad media fue de 1.696,8 huevos con una fertilidad de 1.641,15 larvas/hembra.



Figura 8. Diferentes instares larvales de *Agrotis* sp. criado en maíz bajo condiciones de laboratorio

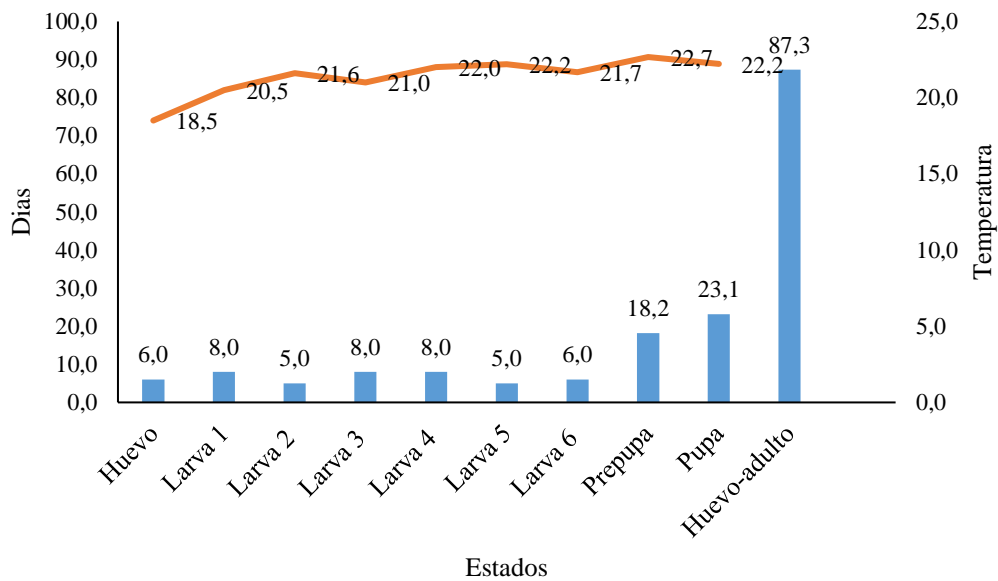


Figura 9. Desarrollo de *Agrotis* sp. con relación a la temperatura de cría

Con relación a la humedad relativa durante el estudio, se observó una ligera disminución desde 43% hasta 38%, lo cual pudo haber influenciado en la duración del tiempo de las fases de larva, prepupa y pupa (Fig. 10).

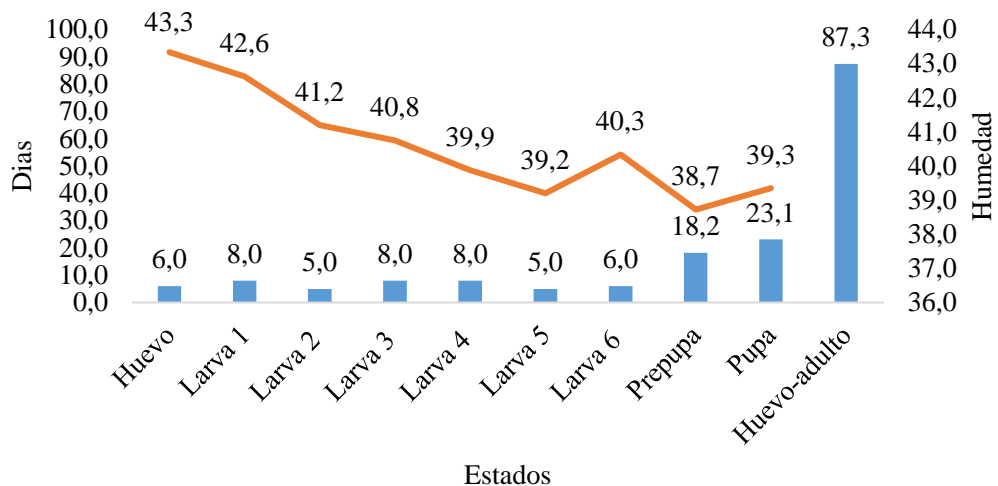


Figura 10. Ciclo de vida de *Agrotis* sp en función a la humedad

Con relación a la tasa de oviposición, las hembras lograron colocar huevos durante cuatro días con una tendencia a disminuir (Fig. 11). Durante el primer día de oviposición se obtuvieron 2414, el cual disminuyó en el día 2 en un 42,1% con relación al día 1. Este comportamiento continuó hasta el día 4 cuando la oviposición había

disminuido en un 76 %. Así mismo la viabilidad mostró un comportamiento similar durante los cuatro días, ubicándose en 10,7 durante el día 1 y disminuyó a 1,4 y 3,5 durante los días 2 y 3, respectivamente, hasta hacerse nula en huevos colocados el día 4 de oviposición.

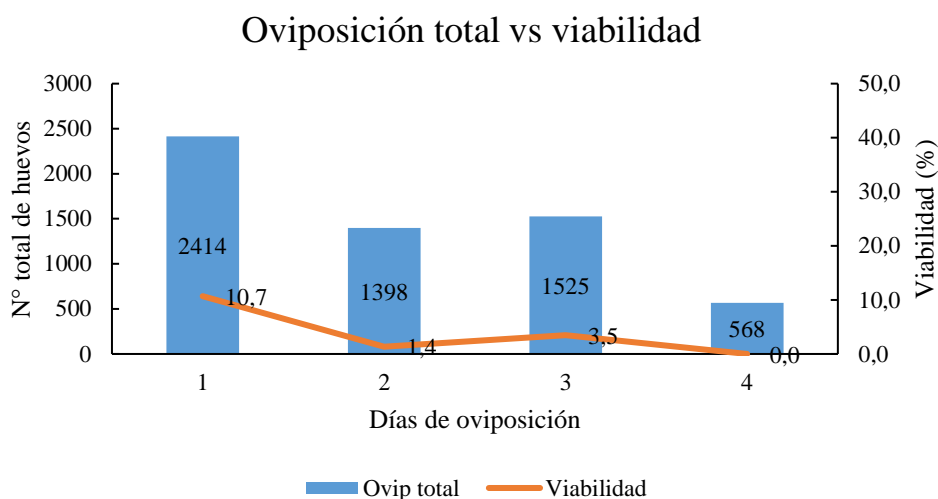


Figura 11. Oviposición total en hembras de *Agrotis* sp. y viabilidad de huevos

El número total de individuos que lograron completar su desarrollo hasta el estado adulto, se obtuvieron 12 hembras, cuya mortalidad aumentó a medida que fueron ovipositando, de las cuales el 41,7 % había muerto para el día 2, mientras que para el día 4 solo el 16,6 % permanecía vivas, pero ovipositaron huevos completamente inviábiles (Fig. 12). Esto permitió determinar que el número promedio de huevos producidos pasó de 202,2 huevos el día 1 hasta 63,1 huevos el día 4 (Fig. 13). **Swier et al. (1976)** observaron un comportamiento similar en *A. ipsilon* criadas en dietas artificiales, las cuales comenzaron a ovipositar a partir del segundo día de vida y se mantuvieron durante cinco días con promedios de 65,5; 257,2; 574,8; 410,9 y 383,5 huevos maduros.

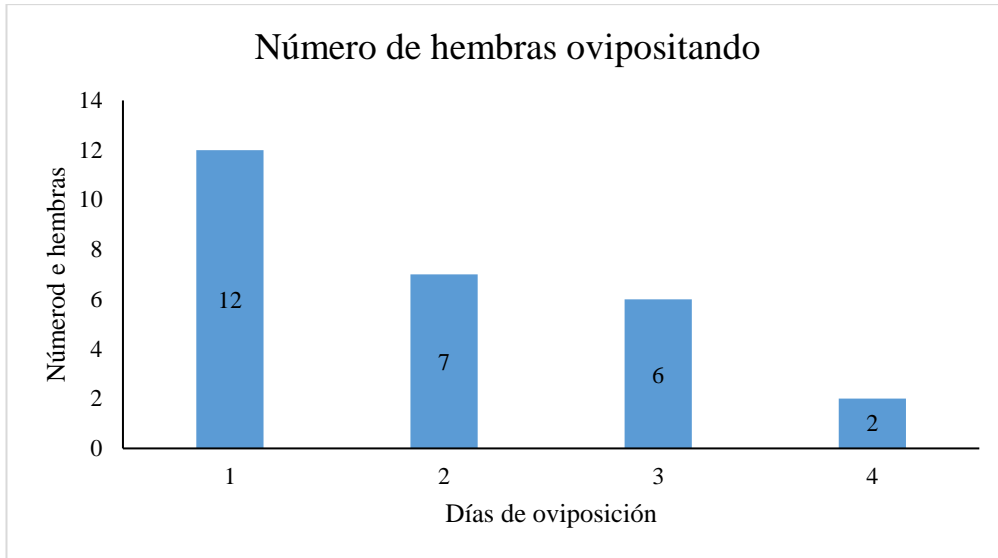


Figura 12. Número de hembras de *Agrotis* sp. ovipositando durante cuatro días

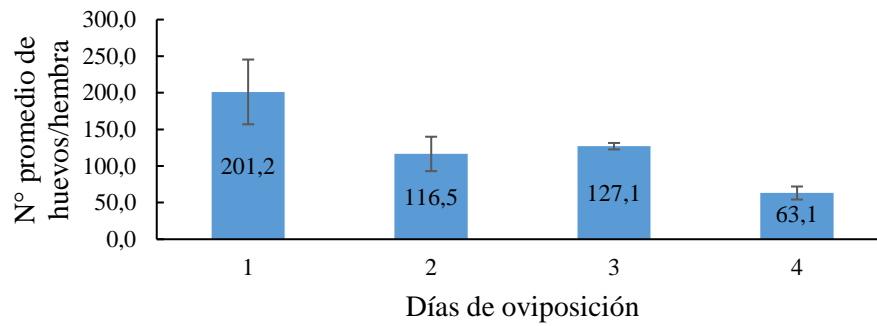


Figura 13. Número promedio de huevos colocados por hembras de *Agrotis* sp.

4.2. Relación entre los porcentajes de incidencia y severidad de *Agrotis* sp. con los parámetros climáticos en la región Sierra de Ecuador

En la figura 14 se muestra la ordenación de los puntos de muestreo en cada cantón. De acuerdo con el Análisis de Componentes Principales, la variabilidad de los datos climáticos fue explicada hasta en un 76,81 % a través de los primeros tres componentes a partir de los datos del 2017 (Tabla 2). Así mismo, en el año 2018 los primeros tres componentes explicaron el 75,77 % de la variabilidad, mientras que en el 2019 explicaron el 79,20 % de la variabilidad (Tablas 3 y 4).

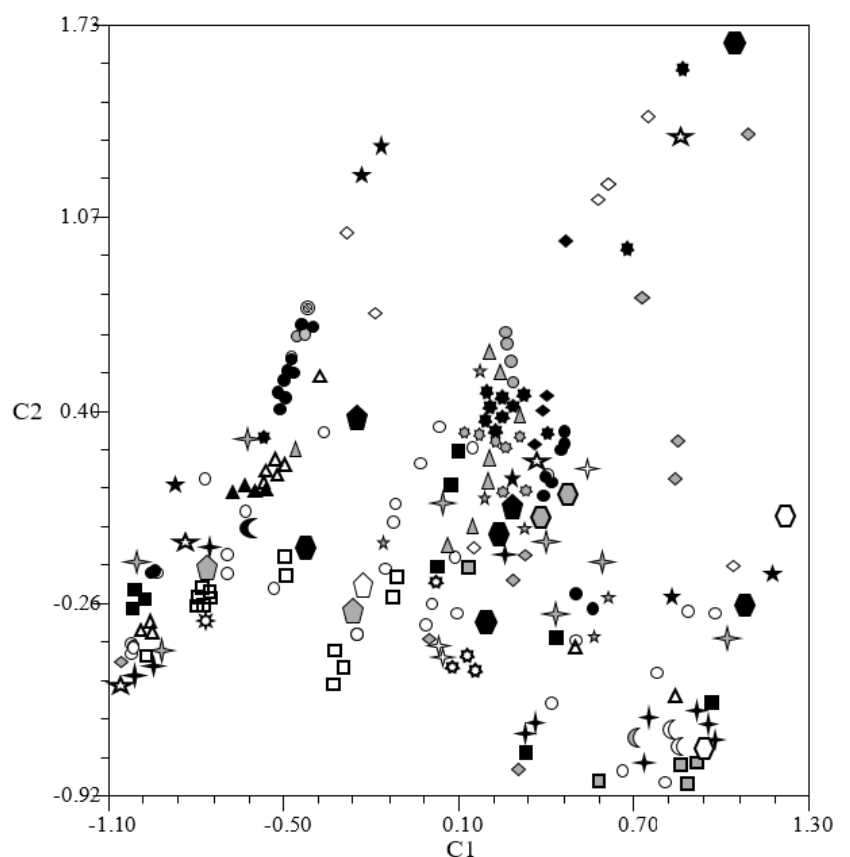


Figura 14. Distribución de 201 puntos de muestreo en 31 cantones de la región Sierra del Ecuador en el año 2017, basado en variables como temperatura, humedad relativa, altitud, precipitación, porcentaje de incidencia y porcentaje de severidad.

En los tres años evaluados el porcentaje de explicación de la varianza estuvo por encima del 58% considerando los dos primeros ejes. En el año 2017 el primer eje tuvo una mayor significación para las variables precipitación y humedad relativa, mientras

que el segundo eje estuvo mayormente explicado por la altitud, pero de una manera débil (Tabla 5).

Tabla 2. Autovalores generados en un análisis de componentes principales para ordenar 201 puntos de muestreo en cantones de la región Sierra en Ecuador (año 2017)

Eje	Autovalor	Porcentaje de varianza explicada	Porcentaje acumulado de varianza explicada
1	2,08	34,66	34,66
2	1,50	25,00	59,65
3	1,03	17,16	76,81
4	0,70	11,59	88,39
5	0,56	9,41	97,80
6	0,13	2,20	100,00

Tabla 3. Autovalores generados en un análisis de componentes principales para ordenar 218 puntos de muestreo en cantones de la región Sierra de Ecuador (año 2018)

Eje	Autovalor	Porcentaje de varianza explicada	Porcentaje acumulado de varianza explicada
1	2,05	34,20	34,20
2	1,48	24,61	58,81
3	1,02	16,97	75,77
4	0,68	11,41	87,18
5	0,65	10,91	98,09
6	0,11	1,91	100,00

Tabla 4. Autovalores generados en un análisis de componentes principales para ordenar 263 puntos de muestreo en diferentes cantones de la región Sierra en Ecuador (año 2019)

Eje	Autovalor	Porcentaje de varianza explicada	Porcentaje acumulado de varianza explicada
1	2,37	39,47	39,47
2	1,38	22,99	62,47
3	1,00	16,74	79,20
4	0,72	11,95	91,16
5	0,41	6,88	98,04
6	0,12	1,96	100,00

Esto indica que la ordenación de los puntos de muestreo estuvo muy poco relacionada con el porcentaje de incidencia y el porcentaje de severidad, por lo tanto, no se observó en este año de muestreo alguna tendencia que permitiera inferir alguna relación entre las variables medidas en la plaga y las variables ambientales medidas en los puntos de muestreo. Esto explica que el patrón para distribución entre los puntos de muestreo relacionado con los cantones en los que estos se ejecutaron según el porcentaje de severidad e incidencia fue débil.

Tabla 5. Autovectores generados en un análisis de componentes principales para ordenar 201 puntos de muestreo en cantones de la región Sierra del Ecuador (año 2017)

	C1	C2	C3	C4
Temperatura	0,5953	0,3504	0,4415	0,3447
HR	-0,8902	0,3578	-0,016	-0,0249
Precipit	-0,8202	0,4669	0,0867	0,1376
Altitud	-0,1908	-0,6208	-0,5892	0,2527
Incidencia	0,3787	0,5552	-0,4442	-0,5238
Severidad	0,2827	0,5808	-0,5313	0,4675

En el año 2018 el primer eje tuvo una mayor significación también para las variables precipitación y humedad relativa, mientras que el segundo eje estuvo mayormente explicado por porcentaje de incidencia y porcentaje de severidad (Tabla 6). Esto indica

que la ordenación de los puntos de muestreo dada por el segundo eje estuvo bastante relacionada con el porcentaje de incidencia y el porcentaje de severidad. Este año de muestreo se observó una definida tendencia que permite inferir que existe relación entre las variables medidas en la plaga y las variables ambientales medidas en los puntos de muestreo. En cuanto a los resultados de la ordenación de los puntos de muestreo del año 2019, estos resultaron similares a los del año 2018 en lo que respecta a la importancia del porcentaje de incidencia y el porcentaje de severidad. El primer eje tuvo una mayor significación también para las variables precipitación y humedad relativa, mientras que el segundo eje estuvo mayormente explicado por porcentaje de incidencia y porcentaje de severidad (Tabla 7).

Tabla 6. Autovectores generados en un análisis de componentes principales para ordenar 218 puntos de muestreo en cantones de la región Sierra del Ecuador (año 2018)

	C1	C2	C3	C4
Temperatura	0,5641	0,4882	0,0219	0,6531
HR	-0,9618	0,0629	0,0105	0,099
Precipit	-0,8959	0,1887	-0,0553	0,314
Altitud	-0,064	0,1217	0,971	0,0016
Incidencia	-0,0434	0,7606	-0,2509	-0,1351
Severidad	-0,0065	0,7781	0,0922	-0,3621

Tabla 7. Autovectores generados en un análisis de componentes principales para ordenar 263 puntos de muestreo en cantones de la región Sierra del Ecuador (año 2019)

	C1	C2	C3	C4
Temperatura	0,6878	0,0052	0,1394	0,701
HR	-0,8869	0,3573	-0,1196	0,0725
Precipit	-0,7577	0,4646	-0,0223	0,4069
Altitud	0,2996	-0,0147	-0,9303	0,0899
Incidencia	-0,4206	-0,7618	0,1844	0,1841
Severidad	-0,5176	-0,6749	-0,2655	0,1141

Esto indica que la ordenación de los puntos de muestreo dada por el segundo eje estuvo bastante relacionada con el porcentaje de incidencia y el porcentaje de severidad. Ese año de muestreo se observó una definida tendencia que permite inferir que existe relación entre las variables medidas en la enfermedad y las variables ambientales medidas en los puntos de muestreo.

En general, en todos los años evaluados (2017-2019), las variables que mejor explicaron la incidencia y severidad de *Agrotis* sp. fueron la precipitación, humedad relativa y la temperatura. Estas variables mostraron estar relacionadas con la severidad e incidencia mediante una respuesta de tipo polinómica de segundo grado (Figs 15 y 16). En general, la mayor incidencia y severidad se observó entre rangos de humedad relativa entre 87 y 88,5 %, por encima y debajo de ese rango, la plaga mostró menores niveles de daño. Esto posiblemente se deba a que, por un lado, la especie muestra su máximo potencial de desarrollo dentro de ese rango y, por el otro lado, que hongos entomopatógenos puedan actuar como agentes de biocontrol. Con relación a la temperatura, aunque esta mostró una respuesta cuadrática, se considera que el estrecho rango de variación de temperatura no permite predecir de manera determinante el efecto sobre los parámetros de incidencia y severidad. Probablemente, esta falta de relación con la temperatura sea debida a que las especies de Noctuidae responden a la temperatura entre los 18 y 30 °C y la mayor sobrevivencia de larvas ocurre entre 26 y 30 °C (Du Plessis et al, 2020).

Finalmente, la incidencia y severidad de *Agrotis* sp. mostró una tendencia a incrementar con el aumento de los niveles de precipitación, sobre todo después del valor de 150 mm de lluvia.

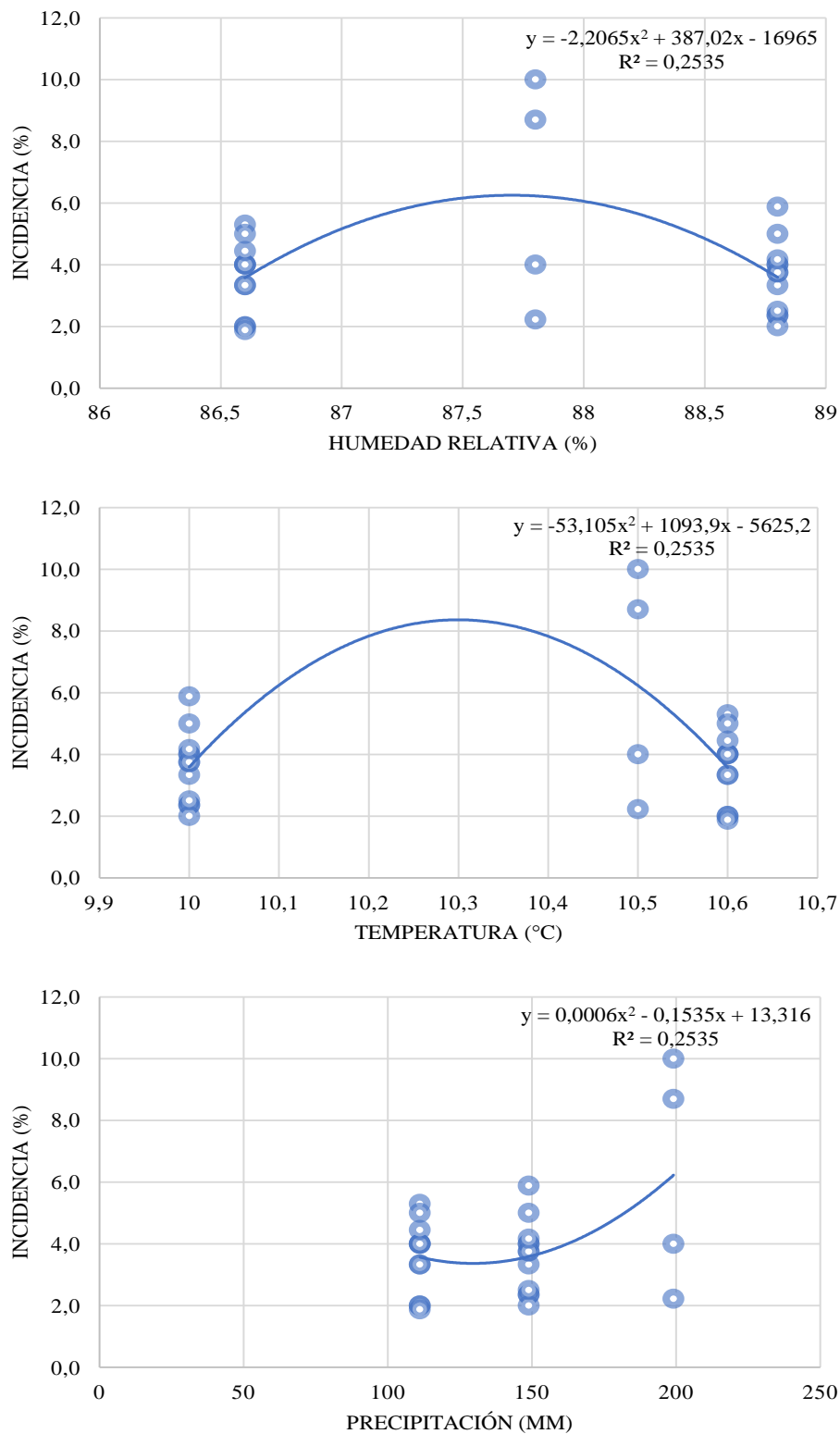


Figura 15. Correlación entre la humedad relativa (A), temperatura (B) y precipitación (C) y el porcentaje de incidencia de *Agrotis* sp en maíz en la zona Sierra del Ecuador

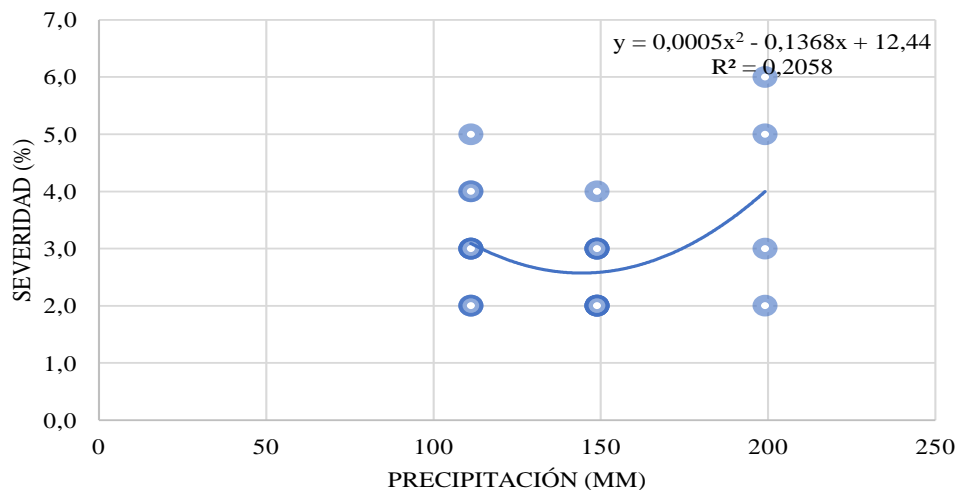
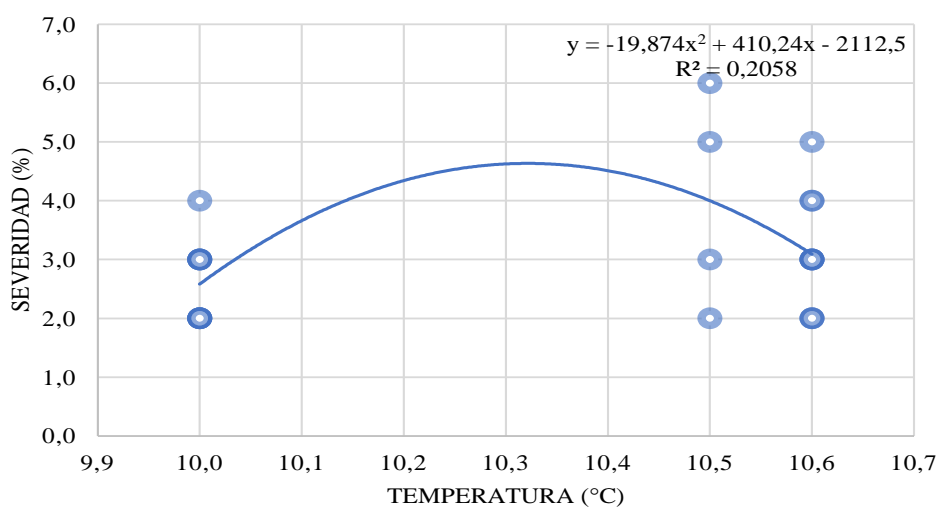
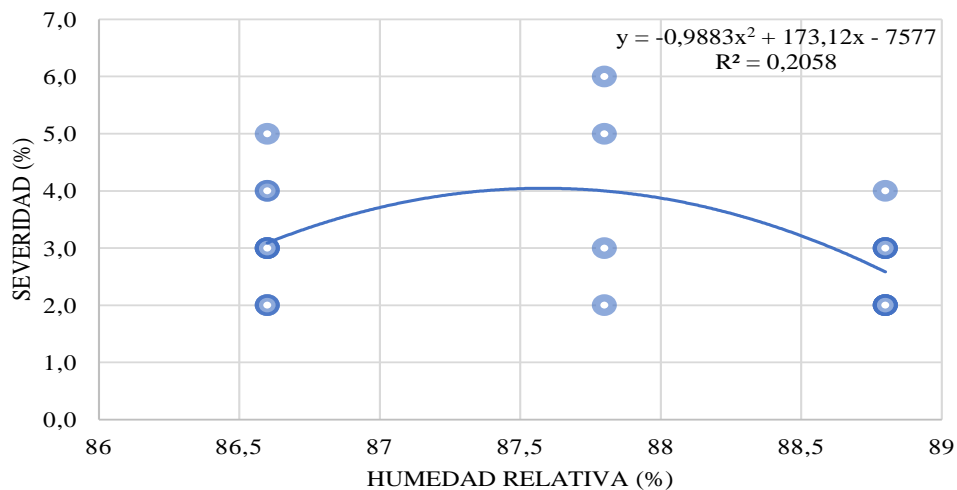


Figura 16. Correlación entre la humedad relativa (A), temperatura (B) y precipitación (C) y el porcentaje de severidad del daño de *Agrotis* sp en maíz en la zona Sierra del Ecuador

Choi (2008), en un análisis de regresión por pasos demostraron que la abundancia de las lepidópteras, incluyendo Noctuidae, es afectada por el conjunto de diferentes factores climáticos (temperatura, lluvia, humedad relativa o duración de la luz solar), probablemente debido a diferentes estrategias de historia de vida, pero la temperatura media diaria resultó ser el principal predictor.

De acuerdo con **Zheng et al. (2015)**, el calentamiento global es el factor dominante que afecta la abundancia de muchos insectos, puesto que este puede influir en las poblaciones de insectos al extender la temporada de crecimiento, alterar el momento de la emergencia, aumentar las tasas de crecimiento y desarrollo, acortar los tiempos de generación y reducir la mortalidad durante el invierno. En ese sentido, **Huang y Hao (2020)** observaron que el tamaño poblacional de tres generaciones sucesivas de *H. armigera* mostró un patrón variable frente al calentamiento climático, la abundancia relativa de la primera y la segunda generación disminuyó, pero la de la tercera generación aumentó. Así mismo el aumento de la temperatura y las precipitaciones produjeron diferentes impactos en el desarrollo de diferentes generaciones y se observó asincronía de cambios abruptos entre el cambio climático, las fechas de floración de los cultivos y la fenología de *H. armigera*.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES, BIBLIOGRAFÍA

5.1. Conclusiones

1. El tiempo total de desarrollo (huevo-adulto) de *Agrotis* sp. criado sobre hojas de maíz tomó en promedio de 87,3 días, bajo temperaturas que oscilaron desde 18,5 °C durante la fase de huevo y que fue incrementándose hasta 22,7 °C al final del ciclo de desarrollo (fase de pupa)
2. De acuerdo con el Análisis de Componentes principales, durante los años 2017-2019, las variables que mejor explicaron la incidencia y severidad de *Agrotis* sp. fueron la precipitación, humedad relativa y la temperatura en el primer componente. Con relación al componente 2 se observaron variaciones con respecto a los diferentes años, puesto que el 2017, los tres parámetros climáticos mostraron pesos similares en la explicación de la variabilidad, mientras que en el 2018 solo la temperatura tuvo mayor peso específico y en el 2019 fueron la precipitación y humedad relativa.
3. La precipitación, humedad relativa y la temperatura mostraron una relación polinómica de segundo grado con la severidad e incidencia de *Agrotis* sp. en plantaciones de maíz sembrado en la región Sierra durante los años 2017-2019.

5.2. Recomendaciones

Con base en los resultados, se sugiere que sean conducidos estudios más detallados, en los cuales, por un lado, se analice un mayor número de años de registros de temperatura, humedad relativa, precipitación, y por el otro, los datos climáticos sean agrupados por clases climatológicas, en función a rangos de similitud (meses, frecuencia de eventos, etc.), debido a que varios estudios en otras regiones del mundo encontraron relaciones significativas con la fenología de la plaga cuando hicieron este agrupamiento.

Se sugiere utilizar otras programas desarrollados específicamente para el estudio de las relaciones de los parámetros climáticos y los aspectos bioecológicos de la plaga, tales como CLIMEX, entre otros, de manera de hacer aproximaciones más detalladas de *Agrotis* y otras plagas asociadas con el maíz con el fin de pronosticar con mayor precisión la dinámica de las plagas y así afinar los métodos de control.

5.3. Bibliografía

- Álvarez, P. 2016. Análisis económico de la política implementada en la cadena productiva del maíz amarillo duro en el Ecuador, período 2010-2015. Tesis de Grado, Pontificia Universidad Católica del Ecuador, Ecuador. 99 pp.
- Antonia Hernandez-Trejo A., Estrada-Drouaillet B., Rodríguez-Herrera R., García-Giron J.M., Patiño-Arellano S.A. y Osorio-Hernández E. 2019. Importance of biological control of pests in corn (*Zea mays* L.). *Revista Mexicana Ciencias Agrícolas*, 10(4): 803-813.
- Asturias, M.A. 2004. Maíz de alimento sagrado a negocio del hambre. *Acción Ecológica*. Red por una América latina libre de transgénicos. Quito- Ecuador
- Banco Central del Ecuador. 2017. Reporte de coyuntura sector agropecuario. No. 90 - III- 17. Dirección Nacional de Síntesis Macroeconómica. 38 pp. Disponible en: <https://contenido.bce.fin.ec/documentos/PublicacionesNotas/Catalogo/Encuestas/Coyuntura/Integradas/etc201703.pdf>
- Benzing A., Kleespies, R.G. y Ponce, F. 2000. Natural mortality of noctuid larvae (Lepidoptera) in the Ecuadorian Andes: a first approximation. *Revista Colombiana de Entomología*, 26 (1/2): 57-60.
- Bilbo T.R., Reay-Jones F.P.F., Reisig D.D., Musser F.R. y Greene J.K. 2018. Effects of Bt corn on the development and fecundity of corn earworm (Lepidoptera: Noctuidae). *Journal of Economic Entomology*, 111(5): 2233-2241.
- Cabello, T. 1990. Damage levels by black cutworm larvae, *Agrotis ipsilon* (Hufnagel) (Lep.: Noctuidae) on maize and tobacco in Southern Spain. *International Organization for Biological and Integrated Control of Noxious Animals and Plants*. 13(3): 88-92.
- CABI. 2020. *Agrotis ipsilon* (black cutworm). Disponible en: <https://www.cabi.org/isc/datasheet/3801>. Accesado el 31 de agosto de 2020.
- Castex V., Beniston M., Calanca P., Fleury D. y Moreau J. 2018. Pest management under climate change: The importance of understanding tritrophic relations. *Science of the Total Environment*, 616 (617): 397-407.

- Castillo S.I. 2017. Identificación de las plagas de *Zea mays* L. amiláceo en Santa Cruz de Chuca, Santiago de Chuco, La Libertad. Tesis de Grado, Universidad Nacional de Trujillo, Perú. 69 pp.
- Choi S. W. (2008). Effects of Weather Factors on the Abundance and Diversity of Moths in a Temperate Deciduous Mixed Forest of Korea. *Zoological Science*, 25: 53–58.
- Chuine, I., 2010. Why does phenology drive species distribution? *Philosophical Transactions of the Royal Society Ser. B Biological Sciences*, 365:3149-3160.
- Delgadillo, S., Kú, R., Vela L. 2006. Modelación matemática del control de plagas en un cultivo de brócoli. *Revista del Departamento de Matemáticas y Física de la UAA.*: 1-18.
- Delgado E.V. 2019. Manejo y control de *Agrotis ipsilon* en el cultivo de maíz (*Zea mays* L.), en el barrio El Tejar, ciudad de Ibarra. Tesis de grado. Universidad Técnica de Babahoyo, Ecuador. 35 pp.
- Deutsch C.A., Tewksbury J.J., Tigchelaar M., Battisti D.S., Merrill S.C., Huey R.B. y Naylor R.L. 2018. Increase in crop losses to insect pests in a warming climate. *Science*, 361: 916-919.
- Du Plessis H., Schlemmer M.L. y van den Berg J. 2020. The effect of temperature on the development of *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae). *Insects*, 11, 228: doi:10.3390/insects11040228.
- Esbjerg P. y Sigsgaard, L. 2014. Phenology and pest status of *Agrotis segetum* in a changing climate. *Crop Protection*, 62: 64-71.
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y Agricultura). 2020. FAOSTAT. Disponible en: <http://www.fao.org/faostat/es/#data>. Acceso el 31 de agosto de 2020.
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y Agricultura). 1999. *Cultivating our futures*. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Conferencia FAO/Países Bajos sobre el Carácter Multifuncional de la Agricultura y la Tierra. 12-16 de septiembre de 1999.

Maastricht, Países Bajos. Disponible en:
<http://www.fao.org/News/1999/990903-e.htm>

FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y Agricultura). (2001) El maíz en los trópicos: mejoramiento y producción. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, Roma, Italia. Disponible en: <http://www.fao.org/3/X7650S/x7650s00.htm>

FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura). 2020b. Climate change and transboundary pests and diseases. Disponible en: <http://www.fao.org/tempref/docrep/fao/010/i0142e/i0142e06.pdf>. Acceso el 01 de septiembre de 2020.

Galarza, J.M. y Miramontes, C. 2012. Situación actual y perspectivas del maíz en México. 1996- 2012. SIAP. México. Disponible en: http://www.campomexicano.gob.mx/portal_siap/Integracion/EstadisticaDerivada/ComercioExterior/Estudios/Perspectivas/maiz96-12.pdf

García, S. y Bergvinson, D.J. 2007. Programa integral para reducir pérdidas poscosecha en maíz. Agricultura Técnica en México, 33(2): 181-189.

Gesraha M.A., Ebeid A.R., Salem N.Y. y Abdou W.L. 2017. Comparative study on some biological indices of *Agrotis ipsilon* (Lepidoptera: Noctuidae) larvae treated with three control agents under laboratory conditions. Annual Research & Review in Biology, 21(6): 1-8.

Herrera, A. 2012. Aplicación de tecnologías de información para modelar la distribución de plagas. Tesis de Maestría, Universidad de Costa Rica, Costa Rica. 61 pp.

Huang J. y Hao H.F. 2019. Effects of climate change and crop planting structure on the abundance of cotton bollworm, *Helicoverpa armigera* (Hübner) (Lepidoptera: Noctuidae). Ecology and Evolution, 10: 1324-1338.

Huang J. y Li J. 2015. Effects of climate change on overwintering pupae of the cotton bollworm, *Helicoverpa armigera* (Hübner) (Lepidoptera: Noctuidae). International Journal of Biometeorology, 59, 863-876

- Huma B., Hussain M., Ning C. y Yuesuo Y. 2019. Human Benefits from Maize. Scholar Journal of Applied Sciences and Research, 2(2): 4-7.
- Jaramillo-Barrios, C.I., Varón-Devia, E.H. y Monje-Andrade, B. 2020. Economic injury level and action thresholds for *Spodoptera frugiperda* (J.E. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae) in maize crops. Revista Facultad Nacional de Agronomía, 73(1): 9065-9076.
- Koppenhöfer, A.M. y Wu, S. 2017. Microbial control of insect pests of turfgrass. En: Microbial Control of Insect and Mite Pests: From Theory to Practice. Lacey, L.A. (Ed.). Academic Press, pp. 331-341.
- Langner J.A., Zanon A.J., Streck N.A., Reiniger L.R.S., Kaufmann M.P. y Alves A.F. 2019. Maize: Key agricultural crop in food security and sovereignty in a future with water scarcity. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, 23(9): 648-654.
- Lehmann P., Ammunét T., Barton M., Battisti A., Eigenbrode S.D., Uhd Jepsen J., Kalinkat G., Neuvonen S., Niemelä P., Terblanche J.S., Økland B. y Björkman C. 2020. Complex responses of global insect pests to climate warming. Frontiers in Ecology and the Environment. doi: 10.1002/fee.2160.
- Moschini, R. 2011. Desarrollo y uso de sistemas de pronóstico de epidemias de la fusariosis de la espiga de trigo (*Triticum aestivum* L.) para identificar situaciones sinópticas y predictores meteorológicos en diferentes escalas asociados a la enfermedad en la región pampeana. Tesis Doctoral, Universidad de Buenos Aires, Argentina. 109 pp.
- Murúa G. y Virla E. 2004. Population parameters of *Spodoptera frugiperda* (Smith) (Lep.: Noctuidae) fed on corn and two predominant grasses in Tucuman (Argentina) Acta Zoológica Mexicana, 20(1): 199-210.
- Olivares, B., Hernández, R., Molina, J., Pereira, Y. (2018). Zonificación agroclimática del cultivo de maíz para la sostenibilidad de la producción agrícola en Carabobo, Venezuela. Revista Universitaria de Geografía, 27 (2): 1-18.

- Olmstead D.L., Nault B.A. y Shelton A.M. 2016. Biology, ecology, and evolving management of *Helicoverpa zea* (Lepidoptera: Noctuidae) in sweet corn in the United States. *Journal of Economic Entomology*, 109(4), 1667-1676.
- Páliz, V. y Mendoza, J. (1999). Plagas del maíz (*Zea mays*) en el litoral ecuatoriano sus características y control. INIAP Pichilingue. Disponible en: <file:///C:/Users/DELL%20PC/Desktop/TESIS%20COGOLLERO/Articulos%20para%20tesis/INIAP.%20PLAGAS%20Y%20ENFERMEDADES%20MAIZ.pdf>
- Polanco, A., Flores, T., (2008). Bases para una política de I&D de innovación de la cadena de valor del maíz. Foro Consultivo Científico y Tecnológico. Primera edición. México. 246 pp. Disponible en: http://www.foroconsultivo.org.mx/libros_editados/maiz.pdf
- San Blas, G. 2014. *Agrotis* Ochseneheimer (Lepidoptera, Noctuidae): a systematic analysis of South American species. *Zootaxa*, 3771 (1): 1-64.
- San Blas, G. y Barrionuevo. M.J. 2013. Status and redescription of the South American pest species *Agrotis robusta* (Lepidoptera: Noctuidae): a history of misidentifications. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 84: 1153-1158.
- Sánchez, I. 2014. Maíz I (*Zea mays*). *Reduca (Biología)*. Serie Botánica. 7 (2): 151-171.
- Sharanabasappa, Kalleshwaraswamy C.M., Maruthi M.S. y Pavithra H. B. 2018. Biology of invasive fall army worm *Spodoptera frugiperda* (J.E. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae) on maize. *Indian Journal of Entomology*, 80(3): 540-543.
- Sharma P.K., Vashisth S. y Matharu K.S. 2012. Impact of climate change on agricultural pests.
- Shrestha S. 2019. Effects of climate change in agricultural insect pest. *Acta Scientific Agriculture*, 3.12 (2019): 74-80.
- Singh G. y Singh M. 2018. Seasonal incidence of different insect-pests in Kharif maize. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*, 7(3): 3666-3669.

- Specht A., Angulo A.O., Olivares T.S., Fronza E., Roque-Specht V.F., Valduga E., Albrecht F., Poletto G. y Barros N.M. 2013. Life cycle of *Agrotis malefida* (Lepidoptera: Noctuidae): a diapausing cutworm. *Zoologia*, 30(4): 371-378.
- Sulong Y., Zakaria A.J., Mohamed S., Sajili M.H. y Ngah N. 2019. Survey on pest and disease of corn (*Zea mays* Linn) grown at BRIS soil area. *Journal of Agrobiotechnology*, 10(1):75-87.
- Swier S.R., Rings R.W. y Musick G.J. 1976. Reproductive behavior of the black cutworm, *Agrotis ipsilon*. *Annals of the Entomological Society of America*, 69(3): 546-550.
- Tonnang H.E.Z., Hervé B.D.B., Biber-Freudenberger L., Salifu D., Subramanian S., Ngowi V.B., Guimapi R.Y.A., Anani B., Kakmeni F.M.M., Affognon H., Niassy S., Landmann T., Ndjomatchoua F.T., Pedro S.A., Johansson T., Tanga C.M., Nana P., Fiaboe K.M., Mohamed S.F., Maniania N.K., Nedorezov L.V., Ekesi S., Borgemeister C., 2017. Advances in crop insect modelling methods-towards a whole system approach. *Ecological Modelling*, 354: 88-103.
- Valarezo, O. 2013. Efecto de tratamientos insecticidas, antes de la siembra, a la semilla de dos híbridos de maíz. *Revista la Técnica*, 11: 26-33.
- Zheng X.L., Huang Q.C., Cao W.Z., Lu W., Wang G.Q., Yu S.Z., Yang Z.D. y Wang X.P. 2015. Modeling climate change impacts on overwintering of *Spodoptera exigua* Hübner in regions of China. *Chilean Journal of Agricultural Research* 75(3): 328-333.