



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO

FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS

DIRECCIÓN DE POSGRADO

**MAESTRIA EN AGRONOMÍA MENCIÓN CAMBIO
CLIMÁTICO**

“PREDICCIÓN DE LA INCIDENCIA DEL CAMBIO CLIMÁTICO
SOBRE EL DAÑO POTENCIAL DE *Phthorimaea operculella*
(ZELLER) EN EL CULTIVO DE PAPA (*Solanum tuberosum*) EN
TUNGURAHUA”

**PROGRAMA DE MAESTRÍA EN AGRONOMÍA MENCIÓN
CAMBIO CLIMÁTICO**

**+MODALIDAD DE TITULACION: TRABAJO DE
INVESTIGACION Y DESARROLLO**

**Trabajo de investigación, previo a la obtención del Grado
Académico de Magister en Agronomía mención Cambio Climático**

Autor: Ing. Paúl Andrés Corrales Gutiérrez.

Director: Ing. Agr. Carlos Luis Vásquez Freytez, Ph. D.

AMBATO – ECUADOR

2020

A la Unidad Académica de Titulación de la Facultad de Contabilidad y Auditoría

El Tribunal receptor del Trabajo de Investigación, presidido por el Ingeniero Marco Pérez Salinas Magister, e integrado por los señores Ingeniero Edgar Luciano Valle Velástegui Magister e Ingeniero Segundo Euclides Curay Quispe Magister designados por la Unidad Académica de Titulación de la Universidad Técnica de Ambato, para receptor el Trabajo de Investigación con el tema: PREDICCIÓN DE LA INCIDENCIA DEL CAMBIO CLIMÁTICO SOBRE EL DAÑO POTENCIAL DE *Phthorimaea operculella* (ZELLER) EN EL CULTIVO DE PAPA (*Solanum tuberosum*) EN TUNGURAHUA, elaborado y presentado por el señor Ingeniero Paúl Andrés Corrales Gutiérrez, 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.



MARCO OSVALDO
PÉREZ SALINAS

Ing. Agr. Marco Pérez Salinas Mg.

Presidente del Tribunal

Ing. Agr. Edgar Luciano Valle Velástegui Mg.

Miembro del Tribunal

Ing. Agr. Segundo Euclides Curay Quispe Mg.

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: "PREDICCIÓN DE LA INCIDENCIA DEL CAMBIO CLIMÁTICO SOBRE EL DAÑO POTENCIAL DE *Phthorimaea operculella* (ZELLER) EN EL CULTIVO DE PAPA (*Solanum tuberosum*) EN TUNGURAHUA" le corresponde exclusivamente a: Ing. Paúl Andrés Corrales Gutiérrez, Autor bajo la Dirección del Ing. Agr. Carlos Luis Vásquez Freytez, Ph.D. Director del Trabajo de Investigación; y el patrimonio intelectual a la Universidad Técnica de Ambato.



Ing. Agr. Paúl Andrés Corrales Gutiérrez

c.c. 1804011938

AUTOR



CARLOS LUIS
VASQUEZ
FREYTEZ

Ing. Agr. Carlos Luis Vásquez Freytez, Ph. D

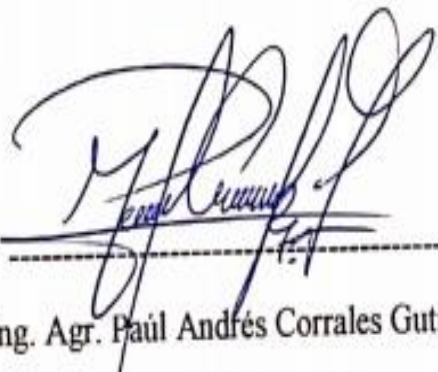
c.c. 1758533747

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. Paul Andrés Corrales Gutiérrez
c.c. 1804011938

DEDICATORIA

Lograr este objetivo ha llenado de alegría, satisfacción, confianza y amor en mi mente y corazón, llegar a cumplir este propósito me permite crecer de manera personal y profesional.

Este trabajo lo dedico al ser supremo mi Dios por permitirme tener buena salud y vida durante este caminar.

A mi esposa Paola la mujer de mi vida, cada sueño del que hablábamos cuando éramos un poco más grandes que unos niños, se están cumpliendo, por permanecer junto a mi cada instante siempre gracias, te amo.

A mi hija Paula Emilia por ser ese motor que me daba todos los empujes necesarios para no desistir mirar adelante y continuar.

A mí querida sobrina Sofía por ser el otro motor que permitió que se haga más fácil este camino con todo amor y cariño.

A mis primos y mi hermana Andrea, en especial para Luis, Víctor, Mijael por la confianza depositada y ser un apoyo incondicional.

A mis tíos, y mis tíos políticos en especial para Miriam Iza y María Villacreses por todas sus enseñanzas de vida, creer siempre en mí y enseñarme el respeto a los demás.

A mis padres que me dieron la vida, con gratas enseñanzas de mi madre que a pesar de verse sola siempre supo guiarme con amor y cariño.

A mis padres de vida, mi tía Nancy y mi tío Alberto por saber guiarme, y corregirme en cada paso de mi vida, con amor, cariño y sobre todo con respeto, cada enseñanza de mi padre Alberto ha logrado en que me convierta en un hombre que no se da por vencido y siempre trata de conseguir sus objetivos, nunca permitiste que me rinda gracias gran hombre, han conseguido en mí gratitud eterna.

AGRADECIMIENTOS

Mi reconocimiento a la Universidad Técnica de Ambato, de manera muy especial a la Facultad de Ciencias Agropecuarias, por haberme acogido en su aula del saber, la misma que sirvió para enriquecer mis conocimientos, y brindarme un futuro profesional que será parte de mi vida y cumplir con mi más anhelada meta que es mi master en Agronomía.

Un agradecimiento profundo al PhD. Dr. Carlos Vásquez por guiarme y ayudarme a culminar con éxito este proyecto, al Ing. Mg. Luciano Valle por estar siempre dispuesto a resolver todas mis dudas, de igual manera al Ing. Mg. Segundo Curay por estar siempre atento a las necesidades que se presentaron en esta maestría.

Agradecido con la vida y mi familia ya que lo hemos compartido todo, el pilar fundamental para que Paul Corrales sea un profesional es gracias a todos ustedes mi familia y mis amigos.

Al culminar este proceso y cumplir con la meta trazada solo me queda agradecer a todas las personas que estuvieron para mi sin ningún tipo de interés, además que me ayudaron a mejorar cada día como profesional y sobre todo como persona.

ÍNDICE GENERAL

| | |
|--|------|
| DEDICATORIA | v |
| AGRADECIMIENTOS | vi |
| ÍNDICE GENERAL..... | vii |
| ÍNDICE DE TABLAS | ix |
| ÍNDICE DE FIGURAS..... | x |
| RESUMEN..... | xi |
| ABSTRACT..... | xiii |
| 1. CAPÍTULO I..... | 1 |
| 1.1. Introducción..... | 1 |
| 1.2. Justificación..... | 2 |
| OBJETIVO GENERAL | 5 |
| OBJETIVOS ESPECÍFICOS..... | 5 |
| 2. CAPÍTULO II..... | 6 |
| 2.1. Estado del arte | 6 |
| 2.1.1. Aspectos biológicos de <i>P. operculella</i> y su importancia en el cultivo de papa | 6 |
| 2.1.2. El cambio climático y sus consecuencias..... | 10 |
| 2.1.3. Modelos predictivos en la distribución de plagas | 11 |
| 2.1.4. El lenguaje R y su papel en el diseño de modelos predictivos..... | 14 |
| 2.1.5. Fundamentación filosófica | 15 |
| 2.1.6. Fundamentación legal | 15 |
| 3. CAPÍTULO III..... | 17 |
| 3.1. Metodología..... | 17 |
| 3.1.1. <i>Enfoque</i> | 17 |
| 3.1.2. <i>Modalidad básica de la investigación</i> | 17 |
| a. <i>Análisis para la severidad</i> | 19 |
| b. <i>Análisis para la incidencia</i> | 20 |
| Diseño experimental | 20 |
| Análisis estadístico | 20 |
| 4. CAPÍTULO IV | 21 |
| 4.1. Resultados | 21 |

| | | |
|--------|---|----|
| 4.1.1. | Duración del ciclo biológico de <i>P. operculella</i> | 21 |
| 4.1.2. | Modelación..... | 22 |
| 5. | CAPÍTULO V..... | 27 |
| 5.1. | Conclusiones | 27 |
| 5.2. | Recomendaciones | 28 |
| | Bibliografía | 29 |
| | ANEXOS | 35 |

ÍNDICE DE TABLAS

| | |
|---|----|
| Tabla 1. Duración promedio (días \pm desviación estándar) del ciclo biológico de <i>P. operculella</i> | 21 |
|---|----|

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura 1 . Hembra adulta (A), larva y pupa (B) de <i>Phthorimaea operculella</i> | 6 |
| Figura 2. Mapa de la distribución y nivel de ocurrencia de <i>Phthorimaea operculella</i> a nivel mundial. (Tomado de https://www.cabi.org/isc/datasheet/40686#toDistributionMaps) Figuras en azul (poca ocurrencia), amarillo (focalizada), rosada (no registrada) y rojo (a.....) | 7 |
| Figura 3. Análisis de la relación entre las variables climáticas y la severidad de <i>P. operculella</i> en papas en la sierra ecuatoriana..... | 23 |
| Figura 4. Análisis de la relación entre las variables climáticas y la incidencia de <i>P. operculella</i> en papas en la sierra ecuatoriana | 24 |

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS
DIRECCIÓN DE POSGRADO
MAESTRIA EN AGRONOMÍA MENCIÓN CAMBIO
CLIMÁTICO

TEMA:

PREDICCIÓN DE LA INCIDENCIA DEL CAMBIO CLIMÁTICO SOBRE EL DAÑO POTENCIAL DE *Phthorimaea operculella* (ZELLER) EN EL CULTIVO DE PAPA (*Solanum tuberosum*) EN TUNGURAHUA

AUTOR: Paúl Andrés Corrales Gutiérrez

Grado académico: Ingeniero Agrónomo

Correo electrónico: paulcorralesgutierrez@yahoo.com

DIRECTOR: Ing. Agr. Carlos Luis Vásquez Freytez, Ph. D.

FECHA:

RESUMEN EJECUTIVO

PREDICCIÓN DE LA INCIDENCIA DEL CAMBIO CLIMÁTICO SOBRE EL DAÑO POTENCIAL DE *Phthorimaea operculella* (ZELLER) EN EL CULTIVO DE PAPA (*Solanum tuberosum*) EN TUNGURAHUA

La polilla de la papa, *Phthorimaea operculella* (Zeller) (Lepidoptera: Gellechidae) es considerada una plaga severa en cultivos de papa, debido al daño que causan las larvas al perforar túneles en los tubérculos y minas en hojas y tallos. Actualmente esta especie plaga está ampliamente distribuida en las principales zonas productoras de papa a nivel mundial debido a la dificultad de establecer medidas cuarentenarias efectivas y, por otra parte,

al efecto del cambio, lo que ha provocado que actualmente la plaga se encuentre en más de cien países. En el presente estudio se intentó diseñar un modelo predictivo sobre el impacto del cambio climático en la cantidad de polilla de la papa en el cultivo de papa en la provincia de Tungurahua. El modelo se basó en una correlación múltiple entre los factores climáticos y la incidencia y severidad de la plaga, usando lenguaje R. De acuerdo con el análisis de la relación entre las variables climáticas y la severidad del daño producido por *P. operculella*, no se detectó una correlación significativa, sin embargo, se observó una tendencia al incremento de la severidad a medida que aumenta la temperatura media entre los 12 a 15 °C. Con relación a la precipitación, igualmente se observa una tendencia a incrementar la severidad a medida que aumenta la precipitación desde 20 a 60 mm, posterior a este valor no parece tener un efecto importante. Finalmente, cuando se considera la humedad relativa este efecto parece menos evidente. Con relación al efecto de las variables climáticas y la incidencia de la plaga, se observó una tendencia positiva leve entre la humedad relativa y la incidencia, así como entre la precipitación y la incidencia, siendo esta última correlación de tipo cuadrática y cúbica, que mostró mayor ajuste [$\text{mi13}=\text{lm}(\text{tr1}\sim\text{I}(\text{precipi}^3) + \text{I}(\text{precipi}^2) + \text{precipi},\text{data}=\text{dat})$]. Cuando se considera la temperatura, la incidencia parece no responder a los cambios entre el rango de temperaturas registradas en la región Sierra, con apenas un pequeño incremento registrado entre los 12 y 14 °C. Basados en esta primera aproximación para modelar el efecto de los factores climáticos en la dinámica poblacional de *P. operculella* y consecuentemente en su incidencia y nivel de daño en el cultivo de papa se sugiere conducir estudios similares en el que se incluya un mayor número de variables y registros históricos más amplios de manera de lograr una mejor aproximación de los efectos de los elementos climáticos sobre esta importante plaga no solo en el país si no a nivel mundial.

Palabras clave: polilla de la papa, modelo predictivo, cambio climático, severidad, incidencia.

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS
DIRECCIÓN DE POSGRADO
MAESTRIA EN AGRONOMÍA MENCIÓN CAMBIO
CLIMÁTICO

THEME:

PREDICTION OF THE INCIDENCE OF CLIMATE CHANGE ON THE
POTENTIAL DAMAGE OF *Phthorimaea operculella* (ZELLER) IN THE
POTATO (*Solanum tuberosum*) CROP IN TUNGURAHUA

AUTOR: Paúl Andrés Corrales Gutiérrez

Grado académico: Ingeniero Agrónomo

Correo electrónico: paulcorralesgutierrez@yahoo.com

DIRECTOR: Ing. Agr. Carlos Luis Vásquez Freytez, Ph. D.

FECHA:

ABSTRACT

**PREDICTION OF INCIDENCE OF CLIMATE CHANGE ON POTENTIAL
DAMAGE OF *Phthorimaea operculella* (ZELLER) ON POTATO CROPS
(*Solanum tuberosum*) IN TUNGURAHUA**

The potato tuber moth, *Phthorimaea operculella* (Zeller) (Lepidoptera: Gellechidae) is considered a key pest in potato crops due to damage caused by larvae by drilling tunnels in tubers and leaf and stem mines. Currently this pest species is widely distributed in all the main potato growing areas worldwide due to the difficulty of establishing effective quarantine measures and, on the other hand, the effect of the change, which has caused the pest to occur in more than a hundred countries. In this study, an attempt was made to design a predictive model on the

impact of climate change on the amount of potato moth in potato cultivation in the province of Tungurahua. The model was based on a multiple correlation between climatic factors and the incidence and severity of the pest, using R language. According to the analysis of the relationship between climatic variables and the severity of damage caused by *P. operculella*, no detected a significant correlation, however, a tendency to increase severity was observed as the average temperature increased between 12 to 15 °C. Regarding precipitation, there is also a tendency to increase severity as precipitation increases from 20 to 60 mm, after this value does not seem to have a significant effect. Finally, when considering relative humidity, this effect seems to be less evident. Regarding the effect of climatic variables and pest incidence, a slight positive trend was observed between relative humidity and incidence, as well as between precipitation and incidence, the latter being a quadratic and cubic correlation, which showed further adjustment [$m13 = \text{lm}(tr1 \sim I(\text{precipi}^3) + I(\text{precipi}^2) + \text{precipi}, \text{data} = \text{dat})$]. When temperature is considered, the incidence does not seem to respond to the changes between the range of temperatures registered in the Sierra region, with only a small increase registered between 12 and 14 °C. Based on this first approach to model the effect of climatic factors on the population dynamics of *P. operculella* and consequently on its incidence and level of damage in potato cultivation, it is suggested to conduct similar studies that include a greater number of variables. and broader historical records in order to better approximate the effects of climatic elements on this important pest, not only in the country but also worldwide.

Keywords: potato tuber moth, predictive model, climate change, severity, incidence.

1. CAPÍTULO I

1.1. Introducción

La polilla de la papa, *Phthorimaea operculella* (Zeller) (Lepidoptera: Gellechidae), probablemente tiene su centro de origen en las zonas altas de América del Sur, de donde también es originaria la papa (*Solanum tuberosum* L.) y actualmente se ha distribuido en casi todas las zonas productoras de papa en las regiones tropical y subtropical de África, Asia y América (Jürgen Kroschel & Schaub, 2013). Esta especie de lepidóptera se considera una plaga severa en cultivos de papa, debido al daño que causan las larvas al perforar túneles en los tubérculos y minas en hojas y tallos (Medina, Rondon, Reyna, & Dickey, 2010). Aparte de causar pérdidas económicas en papa, esta plaga también en otras especies de Solanaceae, tales como tomate (*Lycopersicon esculentum* L.), tabaco (*Nicotiana tabacum* L.) y berenejena (*Solanum melongena* L.) y además puede reproducirse en algunas malezas asociadas con la papa, como la hierba mora (*Solanum nigrum* L.) (Jürgen Kroschel & Schaub, 2013).

La amplia distribución de *P. operculella* en las principales zonas productoras de papa a nivel mundial ha sido provocada, por una parte a las dificultades de establecer medidas cuarentenarias efectivas y, por otra parte, al efecto del cambio, lo que ha provocado que actualmente la plaga se encuentre en aproximadamente 110 países (Jung et al., 2020). Con relación al cambio climático, éste ha influenciado los patrones de distribución de los insectos debido a que, debido a que por su condición ectotérmica, su desarrollo es directamente afectado por el clima, lo cual ha provocado serios daños a la agricultura, además de afectar la biodiversidad local y consecuentemente al ambiente ad y el medio ambiente (Ward & Masters, 2007).

Este escenario pone en evidencia la necesidad de diseñar programas de manejo de plagas eficientes, así como desarrollar estrategias de monitoreo de sus poblaciones. En este sentido, existen diferentes modelos matemáticos

creados para intentar predecir el comportamiento de las poblaciones de insectos plaga. Así, el modelo de distribución de especies ha sido utilizado en el monitoreo de la distribución espacio-temporal de las plagas y permite simular la ocurrencia de plagas en función de factores ambientales y además permite predecir los cambios en su distribución y patrones de dispersión en escenarios de cambio climático (Jung et al., 2020). Con relación al uso de modelos predictivos para *P. operculella*, existen algunos estudios previos que señalan el alcance de este tipo de modelos. En un estudio de Sporleder, Kroschel, Quispe, & Lagnaoui (2004) afirman que existen varios modelos no lineales para describir la relación entre el tiempo de desarrollo de un organismo con la temperatura, tales como modelos exponenciales, polinomiales de tercer orden, modelo Sharpe y DeMichele, entre otros. Basados en el modelo de Sharpe y DeMichele, estos autores observaron una relación lineal de desarrollo para *P. operculella* en un rango de temperatura entre 18-32 °C, lo cual permitió predecir los tiempos de desarrollo incluso en zonas con temperatura más frías (por ejemplo, la región andina), sin embargo, es necesario validar el potencial predictivo del modelo bajo condiciones de temperaturas fluctuantes. Más recientemente, Kroschel et al. (2013) basándose en un modelo de predicción en un entorno de sistema de información geográfica (SIG), establecen tres posibles escenarios para *P. operculella*: el aumento del daño en 30,1% principalmente en las regiones más cálidas de los trópicos y subtropicos donde la plaga puede desarrollar más de cuatro generaciones/año, expansión del rango de distribución en las regiones templadas con aumentos moderados en el nivel de daño y, por último, incremento en la distribución en la zona andina de Bolivia, Ecuador y Perú.

1.2. Justificación

Basado en el alto contenido en vitaminas, minerales, proteínas, antioxidantes, aminoácidos esenciales y carbohidratos, la papa es considerada el cuarto cultivo en importancia a nivel mundial, después del

arroz (*Oryza sativa* L.), trigo (*Triticum* spp.) y maíz (*Zea mays* L.) (Rondón & Gao, 2018). Para el año 2018, a nivel mundial se registró una producción total de 368.168.914 ton, siendo China e India los principales productores los cuales aportaron el 24,5 y 13,2 % de la producción mundial, seguidos de Ucrania, Federación de Rusia y Estados Unidos, las cuales en conjunto produjeron 17,8 % de la producción mundial, mientras que en los países andinos se produjeron 5.121.110 (1,39 %), 3.107.580 (0,84 %), 1.160.940 (0,32 %) y 269.201 (0,07 %) toneladas en Perú, Colombia, Bolivia y Ecuador, respectivamente (FAO, 2019).

En Ecuador, el rendimiento ha mostrado una tendencia a disminuir desde 142599 kg/ha en el 2016 hasta 121816 kg/ha en el 2018, lo que representa una disminución del casi un 15 % ((FAO, 2019). Existen diferentes factores que limitan la productividad de este cultivo, entre los cuales, el ataque de insectos plaga tales como pulgones (*Macrosiphum euphorbiae* Thomas y *Myzus persicae* Sülzer), psílidos de la papa (*Bactericera cockerelli* Šulc), coleópteros (*Leptinotarsa decemlineata* Say) y un complejo de polillas (Lepidoptera: Gelechiidae) que pueden llegar a causar reducciones del rendimiento y calidad de los tubérculos entre el 30 y 70 % (Jürgen Kroschel & Schaub, 2013; Rondón & Gao, 2018). Entre las especies de polilla, se han descrito tres especies que conforman el complejo de especies llamadas polilla de la papa: la polilla andina de la papa, *Symmetrischema tangolias* (Gyen), la polilla guatemalteca de la papa, *Tecia solanivora* Povolny y la polilla de la papa, *Phthorimaea operculella* (Jürgen Kroschel & Schaub, 2013), aunque *P. operculella* ha sido reconocida como la que causa mayores pérdidas y con mayor distribución a nivel mundial (Medina et al., 2010). El daño por *P. operculella* es causado por las larvas, las cuales pueden alimentarse inicialmente en hojas de papa afectando la producción de tubérculos, puesto que se ha determinado un fuerte correlación entre el nivel de infestación en la hoja y la consiguiente infestación de tubérculos, alcanzando hasta un 70 % de pérdidas y en algunos casos, bajo condiciones de mal almacenamiento puede provocar pérdida total de la producción (Chandla, Kashyap, & Sharma, 2011). *P. operculella* puede desarrollar

varias generaciones por año dependiendo de las condiciones climáticas, principalmente de la temperatura, de la zona donde esta plaga ocurra, así mismo la presencia de restos de cosecha y plantas hospederas alternativas pueden propiciar condiciones favorables para su desarrollo, siempre y cuando las temperaturas sean mayores a su umbral mínimo (Andreadis et al., 2017).

Debido al calentamiento global, se estima que para el 2050 ocurrirá un incremento sustancial de la temperatura que provocará el aumento de las plagas con el subsecuente aumento del impacto sobre la pérdida de los cultivos (Rosenzweig et al., 2014). De acuerdo con Deutsch et al. (2018), los modelos que evalúan el efecto del cambio climático sobre el rendimiento de los cultivos con frecuencia no toman en cuenta su efecto sobre el crecimiento de las poblaciones de insectos plaga, por lo que recomiendan que se los modelos deberían considerar la relación entre la temperatura y la dinámica poblacional de los insectos para predecir de mejor manera el impacto de las plagas sobre la producción de los cultivos a escala regional y mundial. Estos autores prevén que, como resultado del calentamiento global, las pérdidas en el rendimiento de cereales por efecto de los insectos plaga podrían incrementar entre 10 y 25% por cada grado de aumento de la temperatura. Es por ello, que se hace necesario validar modelos que evalúen la interacción entre los diferentes factores climáticos y el nivel de daño de las plagas de cada región en particular.

OBJETIVO GENERAL

Diseñar un modelo predictivo sobre el impacto del cambio climático en la cantidad de polilla de la papa [*Phthorimaea operculella* (Zeller)] en el cultivo de papa (*Solanum tuberosum*).

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar el efecto de la temperatura y humedad relativa sobre los aspectos biológicos de la polilla de la papa en el cultivo de papa (*Solanum tuberosum*).

- Sostener con estudios de laboratorio la relación entre los parámetros climáticos y la cantidad de la polilla de la papa en el cultivo de papa (*Solanum tuberosum*).

- Diseñar un modelo de simulación fenológica de la polilla de la papa y mapas de riesgo basados en los parámetros bio ecológicos de la plaga

2. CAPÍTULO II

2.1. Estado del arte

2.1.1. Aspectos biológicos de *P. operculella* y su importancia en el cultivo de papa

Los insectos plaga son una de las principales causas de pérdidas en cultivos y en almacenes a nivel mundial. En los Andes tropicales, el complejo de polillas de la papa pertenecientes a la familia Gelechiidae (Lepidoptera) está conformado por tres especies principales: *Tecia solanivora*, *Symmetrischema tangolias* y *Phthorimaea operculella*, las cuales constituyen una de las principales amenazas de los cultivos y almacenes de papas en la región y sus interacciones tienen un efecto significativo en la dinámica poblacional del complejo de polillas de la papa y en los daños causados a los cultivos (Herrera & Dangles, 2012) (Fig. 1).



Figura 1 . Hembra adulta (A), larva y pupa (B) de *Phthorimaea operculella*

Estos autores señalan que las hembras de las tres especies muestran preferencia para ovipositar sobre tubérculos dañados artificialmente, pero en ensayos de libre selección entre tubérculos sanos y tubérculos previamente infestados, las hembras mostraron diferentes comportamientos, encontramos que *T. solanivora* no mostró preferencia, mientras que *S. tangolias* y *P. operculella* mostraron preferencia por ovipositar en tubérculos previamente dañados.

La polilla de la papa, *Phthorimaea operculella*, es considerada una de las plagas de mayor importancia en el cultivo de papa en todas las regiones productoras a nivel mundial, debido a que esta ha desarrollado una cierta especificidad con su planta hospedera, además de su alta capacidad de adaptación a un amplio rango de condiciones climáticas donde expresa un alto potencial biótico que lo hace capaz de producir daño económico (Rondon, 2010) (Fig. 2).

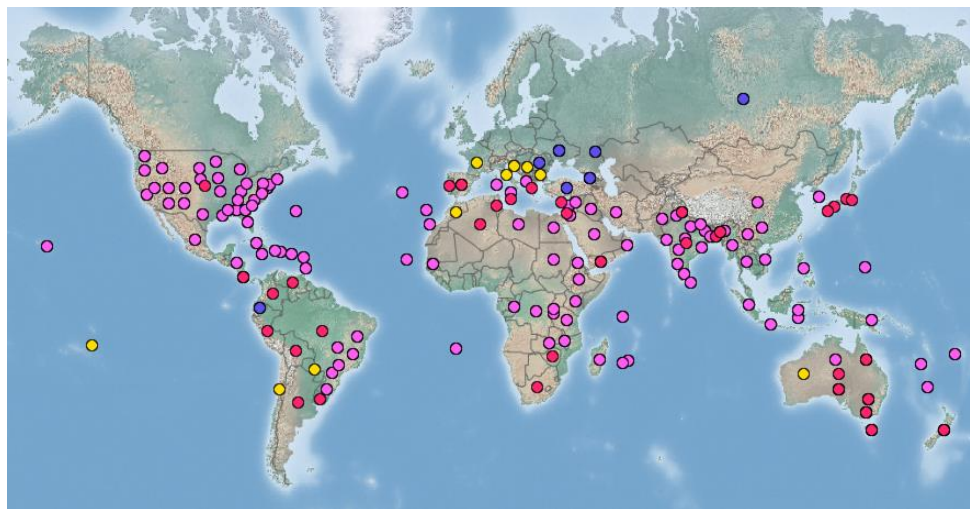


Figura 2. Mapa de la distribución y nivel de ocurrencia de *Phthorimaea operculella* a nivel mundial. (Tomado de <https://www.cabi.org/isc/datasheet/40686#toDistributionMaps>) Figuras en azul (poca ocurrencia), amarillo (focalizada), rosada (no registrada) y rojo (a

Los mayores niveles de infestación bajo condiciones de mal almacenamiento, principalmente debido al mantenimiento de tubérculos infestados junto con tubérculos no infectados en ambientes no refrigerados, puesto esto permitiría el desarrollo de generaciones sucesivas que podrían provocar la pérdida total del cultivo (Golizadeh, Razmjou, Rafiee-Dastjerdi, & Hassanpour, 2012).

En vista de la importancia del cultivo de papa como fuente de alimentación a nivel mundial y además del impacto que tiene *P. operculella* en el rendimiento y producción del cultivo, se han hecho varios estudios sobre biología de esta plaga, principalmente después de que esta ha invadido diferentes zonas del mundo.

A nivel mundial, uno de los estudios pioneros lo constituye la investigación hecha por Al-Ali, Al-Neamy, Abbas, & Abdul-Masih (1975) en Iraq, quienes afirmaron que dentro de ciertos límites, la temperatura influye en la determinación de la duración del tiempo de desarrollo, fecundidad y sobrevivencia de *P. operculella*, mientras que la humedad relativa, mostró un efecto menos evidente en el rango de 42,8 a 54,4 %. Estos autores señalaron que a temperatura de 29 a 31 °C, la polilla de la papa cumple su ciclo biológico en 30,3 días, por lo que puede potencialmente producir 12 generaciones/año, lo cual podría ser viable principalmente en zonas de trópicos y sub-trópicos, donde la fluctuación de temperatura es más constante.

Así mismo, en Irán Golizadeh et al. (2012) estudiaron el efecto de la temperatura (16, 20, 24, 28, 32, y 36°C) sobre el ciclo de vida y parámetros de la tabla de vida de la polilla de la papa y demostraron que el tiempo total de desarrollo disminuyó con el aumento de la temperatura hasta un nivel de 32 °C, mientras que a 36 °C no hubo ningún tipo de desarrollo. Cuando se evaluó la longevidad del adulto se observó el más alto valor a 16 °C y tendió a disminuir a medida que incrementó la temperatura, contrariamente la fecundidad promedio incrementó con la temperatura, desde 45,3 a 117,3 huevos a 16 y 28 °C, respectivamente. Estos autores concluyen que la información obtenida serviría como base para diseñar un programa de manejo de plaga principalmente en post-cosecha.

En una revisión hecha por Rondon (2010) sobre la biología de la polilla de la papa encontraron que la duración del ciclo biológico presentaba amplias variaciones desde 25,5; 29 y 35,2 días a temperaturas de 23; 23,4 y 22, 2 °C, respectivamente hasta un tiempo de duración de 21 y 23, 6 días cuando fueron criadas a 27,2 y 28,2 °C, respectivamente.

Dado que la plaga es originaria de América del Sur, los estudios en los países latinoamericanos fueron hechos hace más tiempo. López-Ávila (1990) relataron para las condiciones de la sabana de Bogotá un tiempo de duración entre 45 y 50 días a temperaturas que oscilaron entre 13 y 28 °C.

Otras características biológicas de la plaga fueron estudiadas por (Pratissoli, Parra, Oliveira, & Pereira, 2003) quienes determinaron que la longevidad de los machos y hembras de *P. operculella* fue de 33,4 y 31,7 días, respectivamente, mientras que la sobrevivencia fue del 100 % hasta el sexto día de vida tanto para ambos sexos, y el número total promedio de huevos por cada hembra fue 195, con 46,3 % de viabilidad cuando las hembras fueron alimentadas con una solución de miel al 10 % y bajo condiciones de laboratorio a $25 \pm 1^{\circ}\text{C}$, $70 \pm 10\%$ de humedad y fotoperíodo de 14 h.

En Ecuador, Naranjo (2015) evaluó la biología de esta plaga bajo condiciones de laboratorio (21 °C de temperatura y 25 % de humedad relativa) mediante el confinamiento de hembras y machos alimentados con solución de miel lograron obtener 219 huevos que tuvieron un tiempo de incubación de 12 días, de los cuales emergieron 179 larvas que tuvieron una duración de 28 días, mientras que las pupas duraron en promedio de 30 días.

Aparte del daño en papa, esta especie también puede provocar daños en otros cultivos importantes, como tomate. En ese sentido, Salas (2007) afirma que la presencia del minador grande de la hoja del tomate (o polilla de la papa) *P. operculella* y el minador pequeño *Tuta* (= *Scrobipalpula*) *absoluta* Meyrick (Lepidoptera: Gelechiidae) fue evaluada en siembras experimentales de tomate, *Lycopersicon esculentum* Mill., localizadas en el campo experimental de Quíbor, estado Lara, Venezuela desde el 2001 al 2003. Los resultados

obtenidos indican que *P. operculella* predominó en el cultivo de tomate, mientras que *T. absoluta* se presentó en bajos niveles poblacionales.

2.1.2. El cambio climático y sus consecuencias

El cambio climático mundial se refiere a las variaciones sustanciales a largo plazo en los patrones climáticos propios de cada región del mundo (Kumar, Tokas, Kumar, Lal y Singal, 2018). De acuerdo con estos autores, el cambio climático está provocando serias consecuencias a nivel mundial; por un lado; la temperatura ha incrementado en proporciones nunca vistas en los últimos 10.000 años, la distribución de las lluvias ha disminuido provocando sequías prolongadas en el sur y sureste de Asia, la nieve perpetua ha disminuido tanto en superficie como en profundidad, además se espera un aumento del nivel medio del mar para fines de siglo.

Otra consecuencia importante del cambio climático es a nivel de la biodiversidad de plantas, estimándose que el 50 % de la biodiversidad de plantas sea alterada hasta el próximo siglo y, por otra parte, las drásticas variaciones en el clima han desencadenado cambios en los diferentes biomas evidenciados por cambios en el rango de distribución de las especies sean los más afectados (Hisano, Searle y Chen, 2018). Esta respuesta al cambio climático depende de los requerimientos climáticos de cada especie de planta, así como de su capacidad de adaptación, en las cuales aquellas que especies con mayor tolerancia al cambio ambiental incrementan su dominancia en las áreas de distribución a expensas de aquellas que muestran mayor sensibilidad a los cambios de los elementos climáticos (Moradi et al., 2012). Asimismo, existe un efecto sobre la diversidad de los ecosistemas marinos debido a que son claramente dependientes en las concentraciones de CO₂, la temperatura, y los ciclos biogeoquímicos de elementos y compuestos orgánicos, sin embargo, los mecanismos básicos que controlan las respuestas a cualquiera de estos factores aún no están bien dilucidados, por lo que se requieren un mayor número de estudios (Hillebrand et al., 2018).

Las consecuencias del cambio climático en la agricultura se podrían evidenciarse a largo plazo a través de la disminución en la fisiología de los cultivos (tasa de crecimiento, fotosíntesis, transpiración), lo cual tendría repercusiones en la cantidad y calidad de los cultivos. Adicionalmente, el incremento de las temperaturas medias podría inducir la reducción en la duración de muchos cultivos, afectado consecuentemente el rendimiento. En áreas donde las temperaturas ya están cerca de los máximos fisiológicos para los cultivos, el calentamiento afectará los rendimientos más inmediatamente

2.1.3. Modelos predictivos en la distribución de plagas

Los rangos de distribución de las especies están experimentando cambios importantes, por una parte, algunas especies expanden su distribución, mientras que otras muestran una distribución más restringida o fragmentada (Chen, Hill, Ohlemuller, Roy y Thomas, 2011). Por ello, el uso de los modelos predictivos cobra gran importancia. Mateo, Felicísimo y Muñoz (2011) definen un modelo “como una representación parcial de la realidad que refleja algunas de sus propiedades” y además señalan que como tal son simplificaciones que se hacen de una realidad para tratar de comprender una situación más compleja. Así un modelo predictivo puede ser definido como un proceso se diseña una representación para tratar de predecir la probabilidad de un resultado; en otras palabras, es un proceso que permite desarrollar una herramienta o modelo matemático que genera una predicción precisa (Kuhn y Johnson, 2013).

El diseño y uso de las bases de datos bioinformáticas a escala mundial donde se registra la incidencia de algunas especies de importancia ambiental, agrícola, médica, etc, sirve como herramienta que permite analizar las posibles medidas a ser tomadas, ya sea con fines de conservación o manejo (Jetz, McPherson y Guralnick, 2012; Sutherland, Pullin, Dolman y Knight, 2004). Sin embargo, el alcance de estas bases de datos puede ser limitada debido a que, por lo general, presentan información parcial sobre la ocurrencia de especies, puesto que, en muchos casos, no muestran información sobre regiones geográficas que previamente no habían sido

estudiadas, no consideran aquellas regiones con potencialidad climática para alojar determinada especie o tampoco toman en cuenta las invasiones biológicas como consecuencia del cambio climático (Baxter & Possingham 2011; Giljohann, Hauser, Williams y Moore, 2011; Hoegh-Guldberg et al. 2008).

El desarrollo de programas estadísticos de libre acceso o de bajo costo, tales como JMP, WEKA y el paquete en R, han simplificado el desarrollo de modelos predictivos por parte de personas con cierto conocimiento en informática quienes a partir de un amplio conjunto de datos puedan intentar responder a alguna pregunta de investigación (Kuhn y Johnson, 2013). Sin embargo, la precisión y credibilidad de los modelos de la interacción entre la experiencia de los expertos y los modelos empíricos basados en datos, puesto que el modelo predictivo es un complemento al conocimiento del experto (Rodríguez, 2011; Ayres, 2007).

Las técnicas de predicción de insectos son útiles para determinar e identificar aquellas áreas por cuyas características climáticas, muestran una mayor probabilidad de que una especie de insecto pueda colonizar y establecerse y son especialmente útiles cuando los recursos disponibles para estudios *in situ* son escasos (Di Nucci et al., 2018). Además, estos modelos pueden proporcionar predicciones de la presencia de especies que son obtenidas de modelos de adecuación ambiental que combinan registros biológicos con datos ambientales espaciales (Guisan et al., 2013).

En términos generales los modelos predictivos pueden clasificarse en dos grandes grupos, dependiendo de la información que usan para discriminar entre zonas “infestadas” o “libres” de una especie, el primer grupo se basa en el producto, es decir, los valores que captan las características intrínsecas de los componentes del código, como su tamaño y complejidad, mientras que el segundo grupo se basa en el proceso, esto es, los valores referidos a los aspectos específicos del proceso de desarrollo, como la frecuencia de los cambios realizados en los componentes del código (Di Nucci et al., 2018).

En las últimas décadas, las metodologías y herramientas usadas en el diseño de modelos para predecir el comportamiento de las plagas se han enfocado en buscar respuestas a las interrogantes que se han planteado los científicos sobre cómo predecir las fluctuaciones poblacionales de una plagas considerando los múltiples factores que intervienen en este, cómo se puede abordar el efecto de los factores bióticos y abióticos sobre la interacción plaga y sus agentes de biocontrol, es posible medir y predecir el impacto de los agentes de biocontrol sobre la dinámica poblacional en un área extensa, cómo describir el o los patrones de dispersión de la plaga y evaluar su riesgo al invadir nuevas áreas, adaptación de los insectos plaga al cambio climático y su capacidad de sobrevivencia a condiciones ambientales cambiantes y a nuevas presiones de control poblacional (Tonnang et al., 2017). En este sentido, de acuerdo con la revisión hecha por Tonnang et al. (2017) se reconoce que, según el objetivo perseguido en el modelaje, existen modelos para predecir el crecimiento y dinámica de poblaciones de insectos plaga, modelos para identificar áreas de riesgo de invasión de plagas y prioridad de manejo y, por último, modelos que contribuyan en la toma de decisiones en el contexto del cambio climático.

Los modelos matemáticos que se enfocan en predecir el impacto del cambio climático sobre insectos pueden ser considerados como modelos muy específicos que interpretan las relaciones entre el microclima, la ecofisiología de la planta hospedera y las parámetros biológicos de la plaga, para lo cual se deben tomar en cuenta consideraciones dentro de un marco mecanicista que incorpora los vínculos termodinámicos entre el microclima y el intercambio de calor, agua y nutrientes a lo largo del ciclo de vida bajo diferentes escenarios climáticos (Maino, Kong, Hoffmann, Barton, & Kearney, 2016).

Debido a que el cambio climático está provocando variaciones tanto en la frecuencia como en la magnitud de los eventos atmosféricos, los cuales se manifiestan en incremento de la temperatura, lluvias, tormentas, etc., esto puede promover variaciones en la distribución y biología de las plagas, así como producir disrupciones de la sincronización en la dinámica poblacional de los agentes de biocontrol (depredadores, parasitoides y patógenos) y en

consecuencia en los procesos de control biológico natural y aplicado (Guisan et al., 2013). Este hecho evidencia la necesidad de evaluar los posibles cambios en la distribución y crecimiento poblacional de los insectos plaga en función a los cambios en los elementos climáticos y así poder predecir sus efectos a escala local, regional y global con el fin de promover las estrategias de mitigación de estos efectos.

Dada la importancia de los modelos predictivos en el manejo de los insectos plaga se han generado numerosos estudios en diferentes cultivos y plagas en varias partes del mundo. Azrag et al. (2018) evaluaron la relación entre la dinámica poblacional de una plaga del café en África [*Antestiopsis thunbergii* (Gmelin)] de manera de predecir la distribución potencial de la plaga bajo las condiciones de actual calentamiento global. La distribución de la plaga se predijo usando el índice de riesgo de establecimiento (IRE), calculado a partir de valores simulados de la tabla de vida obtenidos mediante modelos de desarrollo de la plaga dependiente de la temperatura y datos de temperatura. La densidad de población observada fue la más alta durante la estación seca fresca y aumentó significativamente al aumentar la elevación. Entre los hallazgos de estos autores se observó que, para las condiciones actuales de temperatura, el índice de riesgo (IRE) aumentaba de manera directa con la altitud, mientras que en el futuro se espera que una disminución del riesgo en zonas bajas y un incremento en zonas más altas, lo cual podría ser usado en el diseño de planes para mitigar el riesgo de infestación por *A. thunbergii*.

2.1.4. El lenguaje R y su papel en el diseño de modelos predictivos

El lenguaje R es una plataforma ampliamente usada tanto para cálculos matemáticos como estadísticos y es actualmente reconocida como una herramienta extremadamente potente y flexible para el análisis de datos puesto esta posee capacidades para el modelado predictivo (R Development Core Team 2010).

2.1.5. Fundamentación filosófica

Según el Instituto Ecuatoriano de Estadísticas y Censos en el Ecuador, en las zonas en las cuales son consideradas como rurales se ha identificado que la agricultura es la primera base económica de las familias y es por ello que el IPCC está trabajando sobre la información científica, técnica y socioeconómica actual sobre el riesgo de cambio climático provocado por la actividad humana, sus potenciales consecuencias medioambientales y socioeconómicas, y las posibles opciones para adaptarse a esas consecuencias o mitigar sus efectos.

2.1.6. Fundamentación legal

En nuestro país, la normativa legal permite a la ciudadanía proteger y acceder a alimentos sanos, a productos amigables con el ambiente, de esta manera se garantice el cuidado del ambiente y la salud humana, cuidando los recursos naturales y de misma se fomenta el objetivo de mantener y mejorar el ambiente para las generaciones venideras.

La normativa para la protección del ambiente son las siguientes:

CAPÍTULO SEGUNDO, SOBRE LOS DERECHOS DEL BUEN VIVIR.

Entre los derechos del Buen Vivir, el artículo 13 de la Constitución de la República del Ecuador, prescribe que las personas y las colectividades tienen derecho al acceso seguro y permanente a alimentos sanos, suficientes y nutritivos; preferentemente producidos a nivel local y en correspondencia con sus diversas identidades y tradiciones culturales, para lo cual el Estado deberá promover la soberanía alimentaria

SECCIÓN SEGUNDA: AMBIENTE SANO

Art. 14.- Se reconoce el derecho de la población a vivir en un ambiente sano y ecológicamente equilibrado, que garantice la sostenibilidad y el buen vivir, *sumak kawsay*. Se declara de interés público la preservación del ambiente, la conservación de los ecosistemas, la biodiversidad y la integridad del

patrimonio genético del país, la prevención del daño ambiental y la recuperación de los espacios naturales degradados.

Art. 15.- El Estado promoverá, en el sector público y privado, el uso de tecnologías ambientalmente limpias y de energías alternativas no contaminantes y de bajo impacto. La soberanía energética no se alcanzará en detrimento de la soberanía alimentaria, ni afectará el derecho al agua.

Se prohíbe el desarrollo, producción, tenencia, comercialización, importación, transporte, almacenamiento y uso de armas químicas, biológicas y nucleares, de contaminantes orgánicos persistentes altamente tóxicos, agroquímicos internacionalmente prohibidos, y las tecnologías y agentes biológicos experimentales nocivos y organismos genéticamente modificados perjudiciales para la salud humana o que atenten contra la soberanía alimentaria o los ecosistemas, así como la introducción de residuos nucleares y desechos tóxicos al territorio nacional.

CAPÍTULO TERCERO, SOBERANÍA ALIMENTARIA

Que, el artículo 281 de la Constitución de la República del Ecuador, establece que la soberanía alimentaria constituye un objetivo estratégico y una obligación del Estado para garantizar que las personas, comunidades, pueblos y nacionalidades alcancen la autosuficiencia de alimentos sanos y culturalmente apropiados de forma permanente. Para ello, será responsabilidad del Estado entre otras: “6. Promover la preservación y recuperación de la agrobiodiversidad y de los saberes ancestrales vinculados a ella; así como el uso, la conservación e intercambio libre de semillas.

NORMA CONSTITUCIONAL

Que, el artículo 334 numeral 4 de la Norma Constitucional, dictamina que al Estado le corresponde promover el acceso equitativo a los factores de producción, desarrollando políticas de fomento a la producción nacional en todos los sectores, en especial para garantizar la soberanía alimentaria, generar empleo y valor agregado.

3. CAPÍTULO III

3.1. Metodología

3.1.1. Enfoque

El presente proyecto fue conducido bajo 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.

3.1.2. Modalidad básica de la investigación

Explicativa porque se buscan las posibles causas del impacto del cambio climático sobre *P. operculella*.

Bibliográfica: Es una de las primeras etapas de la investigación donde se explora qué se ha escrito en la comunidad científica sobre la problemática planteada para el presente estudio, y servirá para comprobar con los resultados que se obtengan.

Experimental: se utilizarán varias unidades experimentales a nivel de laboratorio.

Nivel o tipo de investigación

El nivel de esta investigación es explicativo debido a que busca el porqué de los acontecimientos estableciendo la relación causa – efecto.

Población y muestra

POBLACION: se tomaron de campo 100 huevos de *P. operculella* colectados en plantaciones de papa en cada una de las localidades Querochaca (Cantón Cevallos), Quero (Cantón Quero).

MUESTRA: De cada localidad se tomará una muestra de 50 huevos

TRATAMIENTOS: Los tratamientos estarán representados por cada localidad, las cuales muestran diferentes regímenes de temperatura y humedad relativa.

Recolección de información

Ubicación del ensayo

El estudio se dividió en dos fases: la primera fase consistió en la evaluación de la duración del ciclo biológico de *P. operculella*. Para ello, las poblaciones iniciales fueron colectadas en papas infestadas provenientes de dos localidades (Quero y Cevallos). Ambas poblaciones fueron llevadas al Laboratorio de Entomología de la Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Técnica de Ambato. Una vez en el laboratorio, cada población fue mantenida bajo condiciones de laboratorio (19 ± 2 °C; 65 ± 5 % de humedad relativa y fotoperíodo de 12 h). Las hembras y machos traídos de campo fueron mantenidos siguiendo la metodología de Pratisoli, Parra, Oliveira, & Pereira (2003), la cual consiste en mantener hembras y machos en envases plásticos (30 cm de alto x 30 cm de diámetro) a la cual se le abrió un hueco en la tapa y posteriormente cubierto con tela *doppiavelo*, sobre el cual se dispuso un papel filtro y sobre este un trozo de papa para estimular la oviposición. Dentro del recipiente se colocó un algodón impregnado con una solución de miel al 10% para la alimentación de los adultos. Después de 24 h, los huevos, estos fueron separados en recipientes similares a los antes descritos. Diariamente se registró el número de huevos eclosionados hasta el momento que el 100% había eclosionado. Una vez obtenidas las larvas fueron transferidas individualmente a recipientes plásticos similares a los descritos anteriormente con un trozo de tubérculos de papa y arena como medio para la cría de la pupa. Se usaron 20 larvas de cada localidad.

Durante la segunda fase se evaluó la relación entre los diferentes factores climáticos (temperatura, humedad y precipitación) y el nivel y severidad del daño causado por *P. operculella* con el fin de desarrollar modelos

predictivos. Para ello, fueron analizadas bases de datos proporcionadas por INIAP en el cual se disponían datos de muestreos de la plaga relacionados con porcentaje de daño y severidad en la provincia de Tungurahua. Previo al análisis, fue generada una tabla dinámica donde se promedió el nivel de severidad e incidencia por mes y luego fueron incorporados los datos climáticos correspondientes a los años 2017, 2018 y 2019. Posteriormente fueron analizadas las variables severidad y la incidencia por separado. En un análisis previo donde se consideró la temperatura, fue detectada una colinearidad entre la máxima y la mínima, por lo que se decidió utilizar la temperatura media (promedio de máxima y mínima). Dado que los datos de severidad e incidencia estaban expresados en valores porcentuales, estos fueron sometidos a una transformación angular para ser sometidos a análisis en ambiente R.

a. Análisis para la severidad

```
dat <- read.delim("clipboard",dec=","); attach(dat) #Adjuntar los datos
```

```
names(dat)
```

```
str(dat)
```

```
tr<-asin( sqrt(Promedio.de...SEVERIDAD/100))#Generación de la variable  
respuesta transformada angularmente (tr)
```

Posteriormente se validó la relación entre las variables, para lo cual se usa el comando para ver las posibles relaciones entre las variables:

```
Pairs (tr~MediaT+HR+precipi,panel= panel.smooth)
```

Posteriormente se realizó una regresión múltiple entre las variables climáticas y la variable respuesta (tr)

```
m1=lm(tr~MediaT+HR+precipi)
```

```
anova (m1)
```

Posteriormente fueron removidos los términos no significativos.

Al finalizar el análisis se encontró una correlación leve pero no significativa entre la temperatura y el porcentaje de severidad.

b. Análisis para la incidencia

Para este análisis se repite el mismo procedimiento descrito para la sección anterior y la variable respuesta fue designada como *tr1*.

$$tr1 = \text{asin}(\text{sqrt}(\text{Promedio de...INCIDENCIA./100}))$$

Luego fueron evaluadas las posibles interacciones entre las variables climáticas y la variable respuesta.

En el gráfico se observa una tendencia positiva leve entre HR y *tr1* así como entre la precipitación y *tr1*. Esta última correlación parece ser cuadrática por lo que se incluye en el modelo.

El primer modelo es:

$$mi2 = \text{lm}(tr1 \sim I(\text{precipi}^2) + \text{precipi} + \text{MediaT} + \text{HR}, \text{data} = \text{dat})$$

Diseño experimental

Se utilizará un diseño de bloques completamente al azar (DBCA)

Análisis estadístico

Con los datos obtenidos a nivel de laboratorio se efectuará un análisis de varianza y de las fuentes de variación que resultaren significativas se realizará las prueba de comparación de medias necesarias como prueba de Tukey al 5 %.

4. CAPÍTULO IV

4.1. Resultados

4.1.1. Duración del ciclo biológico de *P. operculella*

El tiempo de duración del ciclo biológico de *P. operculella* no mostró variación entre las dos poblaciones evaluadas (Tabla 1). Ambas poblaciones tuvieron un tiempo total de desarrollo de 46,00 y 46,67 días. El tiempo de duración puede ser influenciado por factores bióticos y abióticos. Entre los factores abióticos, uno de los factores más determinantes es la temperatura y su efecto ha sido demostrado en diferentes estudios. En tal sentido, Golizadeh, Razmjou, Rafiee-Dastjerdi, & Hassanpour (2012) observaron que el tiempo de duración fue indirectamente proporcional a la temperatura, variando desde 62 hasta 9 días cuando la temperatura varió desde 16 a 32 °C, respectivamente. Esto es consistente con estudios previos tales como Chandel et al (2009) quienes notaron disminución del tiempo total de desarrollo desde 42,9 a 18,6 días con aumento de la temperatura desde 22,5 a 33,3 °C.

Tabla 1. Duración promedio (días \pm desviación estándar) del ciclo biológico de *P. operculella*

| | Localidad | |
|--------------|---------------------|---------------------|
| | Cevallos | Quero |
| Huevos | 7,67 \pm 0,817 a | 7,50 \pm 0,837 a |
| Larva | 22,67 \pm 1,966 a | 22,50 \pm 1,761 a |
| Pupa | 15,67 \pm 0,816 a | 16,33 \pm 1,506 a |
| Huevo-adulto | 46,00 \pm 2,683 a | 46,67 \pm 3,445 a |

Medias en una fila seguidas de la misma letra no mostraron diferencias significativas según prueba de rangos de Tukey (p 0,05)

Con relación a los factores bióticos, el cultivar de papa usado puede influir en retrasar el ciclo biológico, tal como lo reporta Golizadeh & Razmjou (2010), quienes que el cultivar 'Agria' presentaba características que limitaban el desarrollo, sobrevivencia y fecundidad de *P. operculella*.

4.1.2. Modelación

Análisis de severidad

De acuerdo con el análisis de la relación entre las variables climáticas y la severidad del daño producido por *P. operculella*, aunque no se detectó una correlación significativa, si se detectó una clara tendencia al incremento de la severidad a medida que aumenta la temperatura media desde 12 a 15 °C (Fig. 3a). Con relación a la precipitación, igualmente se observa una tendencia a incrementar la severidad a medida que aumenta la precipitación desde 20 a 60 mm, posterior a este valor no parece tener un efecto importante (Fig. 3b). Finalmente, cuando se considera la humedad relativa este efecto parece menos evidente (Fig. 3c)

Análisis de incidencia:

Con relación a la relación entre las variables climáticas y la incidencia de la plaga, se observó una tendencia positiva leve entre la humedad relativa y la incidencia, así como entre la precipitación y la incidencia, siendo esta última correlación de tipo cuadrática por lo que se incluye en el modelo (Fig. 4a). Cuando se considera la temperatura, la incidencia parece no responder a los cambios entre el rango de temperaturas registradas en la región Sierra, con apenas un pequeño incremento registrado entre los 12 y 14 °C (Fig. 4b).

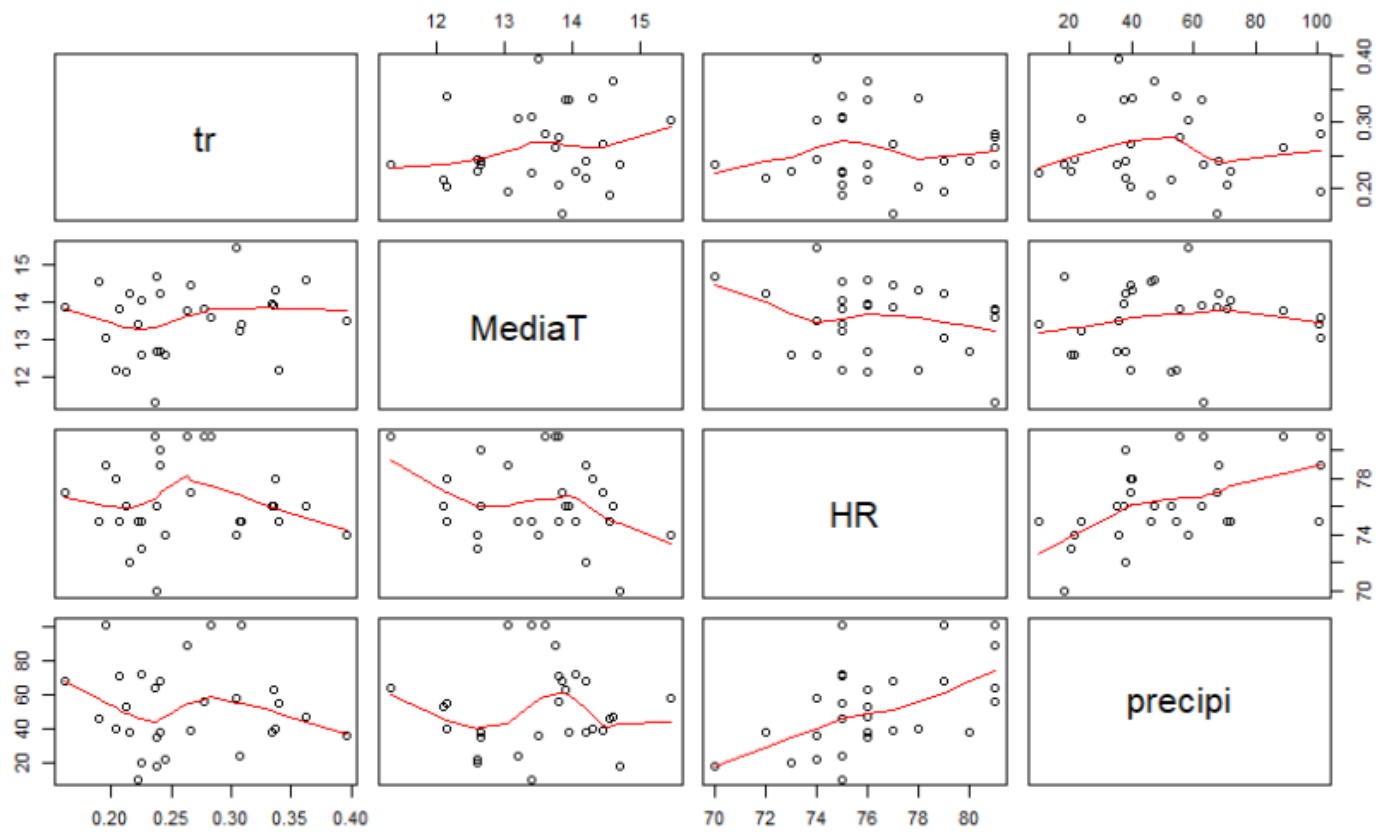


Figura 3. Análisis de la relación entre las variables climáticas y la severidad de *P. operculella* en papas en la sierra ecuatoriana

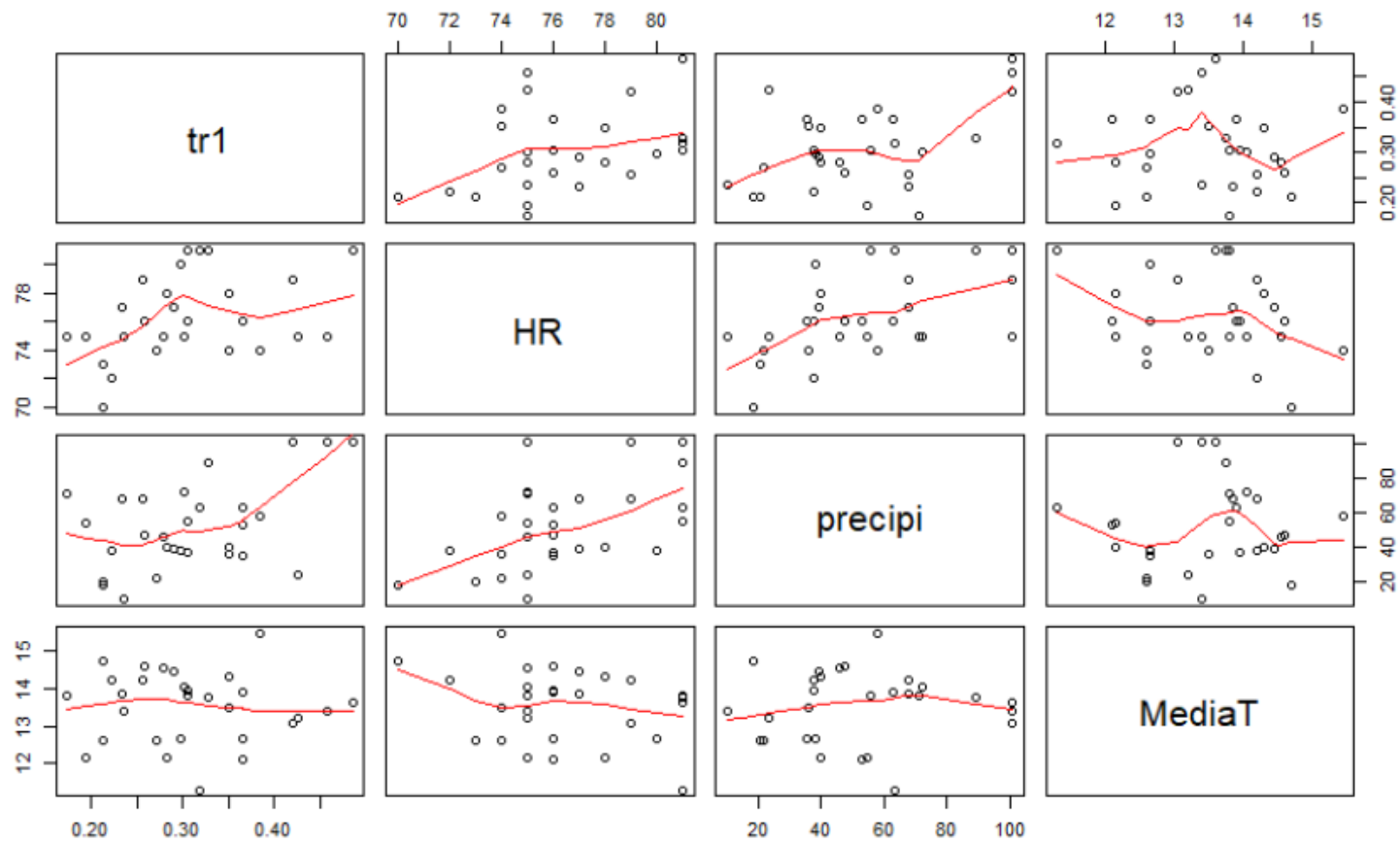


Figura 4. Análisis de la relación entre las variables climáticas y la incidencia de *P. operculella* en papas en la sierra ecuatoriana

Segundo modelo: el presente modelo representa una actualización del análisis anterior. En el modelo anterior se encontró un ajuste exponencial cuadrático respecto a la precipitación el cual mostró tener un buen ajuste, sin embargo, sugiere que sean removidos cinco puntos considerados como influyentes.

Modelo con puntos influyentes

Lectura de datos:

```
dat <-read.delim("clipboard",dec=","); attach(dat) # Lee la table con 29 valores
```

```
tr1=asin (sqrt (Promedio de INCIDENCIA/100))
```

Con base en este modelo se evaluó el modelo con una regresión polinómica utilizando el modelo:

```
mi12 = lm(tr1~poly(precipi,3),data = dat)
```

Anova (mi12)

El análisis indicó que la regresión es significativa por lo que posteriormente se evaluó cada exponente por separado.

```
mi13=lm (tr1~I(precipi^3)+I(precipi^2)+precipi,data = dat)
```

anova(m13)

El parámetro cúbico resultó ser significativo por lo que se dejan todos los parámetros evaluados

Se validó el modelo:

Distribución de los residuos

```
shapiro.test (mi13$residuals)
```

Gráfica de los residuos

Los residuos aparecen distribuidos de manera homogénea alrededor del cero, pero algunos puntos parecen influir la regresión. Se evalúa además la homocedasticidad de los residuos

```
library(car)
```

```
ncvTest(mi13)
```

Los residuos tienen varianza constante.

Observaciones influyentes

Se evalúan las observaciones influyentes en el modelo

```
library(olsrr)
```

```
ols_plot_resid_lev(mi13)
```

Con este gráfico se establece un valor umbral (0,276), a cuya derecha aparecen las observaciones influyentes, las cuales fueron removidas de a una por vez hasta producir el set de datos usado en la siguiente sección.

Posteriormente fue graficada relación entre la incidencia y precipitación.

Una vez graficada, fueron obtenidos los parámetros del modelo (R^2 , coeficientes, Intervalos de confianza)

```
Summary (mi13)
```

```
summary(mi13)
```


5. CAPÍTULO V

5.1. Conclusiones

La duración del ciclo biológico de *Phthorimaea operculella* no mostró diferencias derivadas por la localidad de origen de las poblaciones de la plaga, esto probablemente a que las condiciones climáticas no presentan suficientes diferencias entre ambas localidades.

La valoración de la relación con la severidad e incidencia del daño causado por *P. operculella* con las variables climáticas predominantes en la sierra ecuatoriana no mostró una correlación significativa con la temperatura y humedad relativa, sin embargo, se observó una tendencia a incrementar la severidad e incidencia del daño a medida que aumentó la temperatura sobre todo en el rango de 12 a 14 °C. Con relación a la precipitación esta se ajustó a un modelo cuadrático y exponencial de grado 3.

5.2. Recomendaciones

Basados en esta primera aproximación para modelar el efecto de los factores climáticos en la dinámica poblacional de *P. operculella* y consecuentemente en su incidencia y nivel de daño en el cultivo de papa en la provincia de Tungurahua se sugiere conducir estudios similares en el que se incluya un mayor número de variables y registros históricos más amplios de manera de lograr un mejor aproximación de los efectos de los elementos climáticos sobre esta importante plaga no solo en el país si no a nivel mundial.

Dado que *P. operculella* puede atacar otros cultivos solanáceos de importancia económica en la región, se recomienda realizar modelaciones sobre las relaciones entre los factores climáticos de la región y la incidencia y severidad de esta plaga considerando otras especies hortícolas como tomate riñón, berenjena y entre otros, así como evaluar el posible rol de las especies de malezas asociadas con estos cultivos en la dinámica poblacional de la plaga, de manera de establecer estrategias de manejo de plagas con un enfoque sustentable.

Bibliografía

- Al-Ali, A. S., Al-Neamy, I. K., Abbas, S. A., & Abdul-Masih, A. M. E. (1975). Observations on the biology of the potato tuber moth *Phthorimaea operculella* Zell. (Lepidoptera, Gelechiidae) in Iraq. *Zeitschrift für Angewandte Entomologie*, 79(1–4), 345–351. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0418.1975.tb02354.x>
- Andreadis, S. S., Spanoudis, C. G., Zakka, G., Aslanidou, B., Noukari, S., & Savopoulou-Soultani, M. (2017). Effect of temperature on rate of development, survival and adult longevity of *Phthorimaea operculella* (Lepidoptera: Gelechiidae). *European Journal of Entomology*, 114(1), 35–41. <https://doi.org/10.14411/eje.2017.006>
- Azrag, A. G. A., Pirk, C. W. W., Yusuf, A. A., Pinard, F., Niassy, S., Mosomtai, G., & Babin, R. (2018). Prediction of insect pest distribution as influenced by elevation: Combining field observations and temperature-dependent development models for the coffee stink bug, *antestiopsis thunbergii* (gmelin). *PLoS ONE*, 13(6), 1–18. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0199569>
- Chandla, V. K., Kashyap, S., & Sharma, A. (2011). Eco-friendly Management of Potato Pest. En R. S. D Prasad (Ed.), *Potential Plant Protection Strategies* (pp. 173–194). Nueva Dheli: IK International Publishing House Pvt.
- Deutsch, C. A., Tewksbury, J. J., Tigchelaar, M., Battisti, D. S., Merrill, S. C., Huey, R. B., & Naylor, R. L. (2018). Increase in crop losses to insect pests in a warming climate. *Science*, 361(6405), 916–919. <https://doi.org/10.1126/science.aat3466>
- Di Nucci, D., Palomba, F., De Rosa, G., Bavota, G., Oliveto, R., & De Lucia, A. (2018). A Developer Centered Bug Prediction Model. *IEEE Transactions on Software Engineering*, 44(1), 5–24. <https://doi.org/10.1109/TSE.2017.2659747>

- Golizadeh, A., & Razmjou, J. (2010). Life Table Parameters of *Phthorimaea operculella* (Lepidoptera: Gelechiidae), Feeding on Tubers of Six Potato Cultivars. *Journal of Economic Entomology*, *103*(3), 966–972.
<https://doi.org/10.1603/ec09245>
- Golizadeh, A., Razmjou, J., Rafiee-Dastjerdi, H., & Hassanpour, M. (2012). Effects of Temperature on Development, Survival, and Fecundity of Potato Tuberworm, *Phthorimaea operculella* (Lepidoptera: Gelechiidae) on Potato Tubers. *American Journal of Potato Research*, *89*(2), 150–158.
<https://doi.org/10.1007/s12230-012-9237-4>
- Guisan, A., Tingley, R., Baumgartner, J. B., Naujokaitis-Lewis, I., Sutcliffe, P. R., Tulloch, A. I. T., ... Buckley, Y. M. (2013). Predicting species distributions for conservation decisions. *Ecology Letters*, *16*(12), 1424–1435.
<https://doi.org/10.1111/ele.12189>
- Herrera, M. A., & Dangles, O. (2012). Preferencia de oviposición en tres especies de polilla de la papa (Lepidoptera: Gelechiidae). *Revista Ecuatoriana de Medicina y Ciencias Biológicas*, *33*(1–2), 82.
<https://doi.org/10.26807/remcb.v33i1-2.225>
- Jung, J. M., Lee, S. G., Kim, K. H., Jeon, S. W., Jung, S., & Lee, W. H. (2020). The potential distribution of the potato tuber moth (*Phthorimaea operculella*) based on climate and host availability of potato †. *Agronomy*, *10*(1).
<https://doi.org/10.3390/agronomy10010012>
- Kroschel, J., Sporleder, M., Tonnang, H. E. Z., Juarez, H., Carhuapoma, P., Gonzales, J. C., & Simon, R. (2013). Predicting climate-change-caused changes in global temperature on potato tuber moth *Phthorimaea operculella* (Zeller) distribution and abundance using phenology modeling and GIS mapping. *Agricultural and Forest Meteorology*, *170*, 228–241.
<https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2012.06.017>
- Kroschel, Jürgen, & Schaub, B. (2013). *Biology and Ecology of Potato Tuber Moths as Major Pests of Potato*. *Insect Pests of Potato*. Elsevier Inc.

<https://doi.org/10.1016/B978-0-12-386895-4.00006-5>

- Maino, J. L., Kong, J. D., Hoffmann, A. A., Barton, M. G., & Kearney, M. R. (2016). Mechanistic models for predicting insect responses to climate change. *Current Opinion in Insect Science*, 17(October 2017), 81–86. <https://doi.org/10.1016/j.cois.2016.07.006>
- Medina, R. F., Rondon, S. I., Reyna, S. M., & Dickey, A. M. (2010). Population Structure of *Phthorimaea operculella* (Lepidoptera: Gelechiidae) in the United States. *Environmental Entomology*, 39(3), 1037–1042. <https://doi.org/10.1603/en09286>
- Naranjo, N. (2015). Universidad técnica de cotopaxi. En *Diseño de un sistema de detención de incendio para el campus de la matriz bajo la norma NFPA 72 en la Univesidad Tecnica de Cotopaxi*. (pp. 1–46). Latacunga: Universidad Técnica de Cotopaxi.
- Pratissoli, D., Parra, J. R. P., Oliveira, H. N. de, & Pereira, F. F. (2003). Aspectos biológicos da Traça-da-Batatinha *Phthorimaea operculella* (Zeller) (Lepidoptera: Gelechiidae). *Ciência Rural*, 33(6), 1153–1156. <https://doi.org/10.1590/s0103-84782003000600024>
- Rondon, S. I. (2010). The Potato Tuberworm: A Literature Review of Its Biology, Ecology, and Control. *American Journal of Potato Research*, 87(2), 149–166. <https://doi.org/10.1007/s12230-009-9123-x>
- Rondón, S. I., & Gao, Y. (2018). The Journey of the Potato Tuberworm Around the World. En F. K. Perveen (Ed.), *Moths - Pests of Potato, Maize and Sugar Beet Potato* (pp. 17–52). In Tech. <https://doi.org/10.1016/j.colsurfa.2011.12.014>
- Rosenzweig, C., Elliott, J., Deryng, D., Ruane, A. C., Müller, C., Arneth, A., ... Jones, J. W. (2014). Assessing agricultural risks of climate change in the 21st century in a global gridded crop model intercomparison. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 111(9),

3268–3273. <https://doi.org/10.1073/pnas.1222463110>

- Salas, J. (2007). Presencia de “Phthorimaea operculella” y “Tuta absoluta” (Lepidoptera: Gelechiidae), capturados en trampas con feromonas, en cultivos de tomate en quíbor, venezuela. *Bioagro*, 19(3), 143–147.
- Sporleder, M., Kroschel, J., Quispe, M. R. G., & Lagnaoui, A. (2004). A Temperature-Based Simulation Model for the Potato Tuberworm, *Phthorimaea operculella* Zeller (Lepidoptera; Gelechiidae). *Environmental Entomology*, 33(3), 477–486. <https://doi.org/10.1603/0046-225x-33.3.477>
- Tonnang, H. E. Z., Hervé, B. D. B., Biber-Freudenberger, L., Salifu, D., Subramanian, S., Ngowi, V. B., ... Borgemeister, C. (2017). Advances in crop insect modelling methods—Towards a whole system approach. *Ecological Modelling*, 354, 88–103. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2017.03.015>
- Ward, N. L., & Masters, G. J. (2007). Linking climate change and species invasion: An illustration using insect herbivores. *Global Change Biology*, 13(8), 1605–1615. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2007.01399.x>
- FAO (2019). FAOSTAT-Cultivos. Disponible en: <http://www.fao.org/faostat/es/#data/QC>. Consultado marzo 2020
- Chen, I.C., Hill, J.K., Ohlemuller, R., Roy, D.B. y Thomas, C.D. (2011). Rapid range shifts of species associated with high levels of climate warming. *Science*, 333, 1024-1026
- Jetz, W., McPherson, J.M. & Guralnick, R.P. (2012). Integrating biodiversity distribution knowledge: toward a global map of life. *Trends Ecol. Evol.*, 27, 151-159.
- Sutherland, W.J., Pullin, A.S., Dolman, P.M. & Knight, T.M. (2004). The need for evidence-based conservation. *Trends Ecol. Evol.*, 19, 305-308.
- Baxter, P.W.J. & Possingham, H.P. (2011). Optimizing search strategies for

- invasive pests: Learn before you leap. *J. Appl. Ecol.*, 48, 86–95.
- Hoegh-Guldberg, O., Hughes, L., McIntyre, S., Lindenmayer, D.B., Parmesan, C., Possingham, H.P. et al. (2008). Assisted colonization and rapid climate change. *Science*, 321, 345-346.
- Giljohann, K.M., Hauser, C.E., Williams, N.S.G. & Moore, J.L. (2011). Optimizing invasive species control across space: willow invasion management in the Australian Alps. *J. Appl. Ecol.*, 48, 1286-1294.
- Mateo, R.G., Felicísimo, A.M. y Muñoz J. (2011). Modelos de distribución de especies: Una revisión sintética Species distributions models: A synthetic revision. *Revista Chilena de Historia Natural*, 84, 217-240.
- Ayres, I. (2007). *Super Crunchers: Why Thinking–By–Numbers Is The New Way To Be Smart*. Bantam
- Rodriguez M (2011). “The Failure of Predictive Modeling and Why We Follow the Herd.” Technical report, Concepcion, Martinez & Bellido
- Kumar, P., Tokas, J., Kumar, N., Lal, M. y Singal, H.R. (2018). Climate change consequences and its impact on agriculture and food security. *International Journal of Chemical Studies*, 6(6), 124-133
- Moradi, H., Fakheran, S., Peintinger, M., Bergamini, A., Schmid, B. y Joshi, J. (2012). Profiteers of environmental change in the Swiss alps: increase of thermophilous and generalist plants in wetland ecosystems within the last 10 years. *Alpine Botany* 122, 45-56.
- Hisano, M., Searle, E.B. y Chen, H.Y.H. (2018). Biodiversity as a solution to mitigate climate change impacts on the functioning of forest ecosystems. *Biological Reviews*, 93, 439-456.
- Hillebrand, H., Brey, T., Gutt, J., Hagen, W., Metfes, K., Meyer, B. y Lewandowska, A. (2018). Climate change: warming impacts on marine biodiversity. pp. 353-373. En: Salomon, M., Markus, T. (eds.), *Handbook on*

Marine Environment Protection. Springer International Publishing: Cham, Switzerland.

ANEXOS

Análisis de varianza para ciclo biológico

Statistix 9.0
29/03/2020, 13:23:02

Completely Randomized AOV for Huevos

| Source | DF | SS | MS | F | P |
|-----------|----|---------|---------|------|--------|
| Localidad | 1 | 0.08333 | 0.08333 | 0.12 | 0.7342 |
| Error | 10 | 6.83333 | 0.68333 | | |
| Total | 11 | 6.91667 | | | |

Grand Mean 7.5833 CV 10.90

| Homogeneity of Variances | | F | P |
|--------------------------|--|------|--------|
| Levene's Test | | 0.00 | 0.9484 |
| O'Brien's Test | | 0.00 | 0.9541 |
| Brown and Forsythe Test | | 0.19 | 0.6703 |

Welch's Test for Mean Differences

| Source | DF | F | P |
|-----------|------|------|--------|
| Localidad | 1.0 | 0.12 | 0.7342 |
| Error | 10.0 | | |

Component of variance for between groups -0.10000
Effective cell size 6,0

Localidad Mean

1 7.6667
2 7.5000

Observations per Mean 6
Standard Error of a Mean 0.3375
Std Error (Diff of 2 Means) 0.4773

Completely Randomized AOV for Larva

| Source | DF | SS | MS | F | P |
|-----------|----|---------|---------|------|--------|
| Localidad | 1 | 0.0833 | 0.08333 | 0.02 | 0.8802 |
| Error | 10 | 34.8333 | 3.48333 | | |
| Total | 11 | 34.9167 | | | |

Grand Mean 22.583 CV 8.26

| Homogeneity of Variances | | F | P |
|--------------------------|--|------|--------|
| Levene's Test | | 0.24 | 0.6363 |
| O'Brien's Test | | 0.19 | 0.6738 |
| Brown and Forsythe Test | | 0.12 | 0.7342 |

Welch's Test for Mean Differences

| Source | DF | F | P |
|-----------|-----|------|--------|
| Localidad | 1.0 | 0.02 | 0.8802 |
| Error | 9.9 | | |

Component of variance for between groups -0.56667
Effective cell size 6,0

| Localidad | Mean |
|-----------|--------|
| 1 | 22.667 |
| 2 | 22.500 |

Observations per Mean 6
Standard Error of a Mean 0.7619
Std Error (Diff of 2 Means) 1.0775

Completely Randomized AOV for Pupa

| Source | DF | SS | MS | F | P |
|-----------|----|---------|---------|------|--------|
| Localidad | 1 | 1.3333 | 1.33333 | 0.91 | 0.3628 |
| Error | 10 | 14.6667 | 1.46667 | | |
| Total | 11 | 16.0000 | | | |

Grand Mean 16.000 CV 7.57

| Homogeneity of Variances | | F | P |
|--------------------------|--|------|--------|
| Levene's Test | | 9.47 | 0.0117 |
| O'Brien's Test | | 7.49 | 0.0210 |
| Brown and Forsythe Test | | 6.15 | 0.0325 |

Welch's Test for Mean Differences

| Source | DF | F | P |
|-----------|-----|------|--------|
| Localidad | 1.0 | 0.91 | 0.3693 |
| Error | 7.7 | | |

Component of variance for between groups -0.02222
Effective cell size 6,0

| Localidad | Mean |
|-----------|--------|
| 1 | 15.667 |
| 2 | 16.333 |

Observations per Mean 6
Standard Error of a Mean 0.4944
Std Error (Diff of 2 Means) 0.6992

Completely Randomized AOV for Total

| Source | DF | SS | MS | F | P |
|-----------|----|---------|---------|------|--------|
| Localidad | 1 | 1.3333 | 1.33333 | 0.14 | 0.7162 |
| Error | 10 | 95.3333 | 9.53333 | | |
| Total | 11 | 96.6667 | | | |

Grand Mean 46.333 CV 6.66

| Homogeneity of Variances | | F | P |
|--------------------------|--|------|--------|
| Levene's Test | | 0.57 | 0.4672 |
| O'Brien's Test | | 0.45 | 0.5169 |
| Brown and Forsythe Test | | 0.43 | 0.5256 |

Welch's Test for Mean Differences

| Source | DF | F | P |
|-----------|-----|------|--------|
| Localidad | 1.0 | 0.14 | 0.7167 |
| Error | 9.4 | | |

Component of variance for between groups -1.36667
Effective cell size 6,0

| Localidad | Mean |
|-----------|------|
|-----------|------|

| | | |
|-----------------------------|--------|---|
| 1 | 46.000 | |
| 2 | 46.667 | |
| Observations per Mean | | 6 |
| Standard Error of a Mean | 1.2605 | |
| Std Error (Diff of 2 Means) | 1.7826 | |

