



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI

DIRECCIÓN DE POSGRADO

MAESTRÍA EN SANIDAD VEGETAL

MODALIDAD: ESTUDIO COMPARATIVO

Título:

Distribución geográfica de *Spodoptera frugiperda* (Smith) en Ecuador y su relación con parámetros climáticos

Estudio comparativo previo a la obtención del título de Magíster en Sanidad Vegetal.

Autor:

Ing. Pablo Gonzalo López Quispe

Tutor:

Ing. Mg. Jorge Fabián Troya Sarzosa

LATAACUNGA –ECUADOR

2021

APROBACIÓN DEL TUTOR

En mi calidad de Tutor del Trabajo de Titulación “Distribución geográfica de *Spodoptera frugiperda* (Smith) en Ecuador y su relación con parámetros climáticos”, presentado por Pablo Gonzalo López Quispe, para optar por el título de Magíster en Sanidad Vegetal.

CERTIFICO

Que dicho trabajo de investigación ha sido revisado en todas sus partes y se considera que reúne los requisitos y méritos suficientes para ser sometido a la presentación para la valoración por parte del Tribunal de Lectores que se designe y su exposición y defensa pública.

Latacunga, mayo 10, 2021.

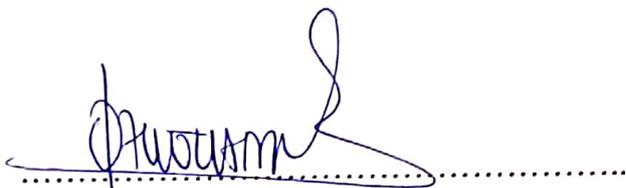


.....
Ing. Jorge Fabián Troya Sarzosa.
C.C. 0501645568

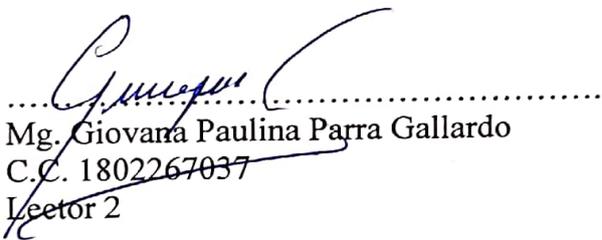
APROBACIÓN TRIBUNAL

El trabajo de Titulación: Distribución geográfica de *Spodoptera frugiperda* (Smith) en Ecuador y su relación con parámetros climáticos ha sido revisado, aprobado y autorizada su impresión y empastado, previo a la obtención del título de Magíster en Sanidad Vegetal; el presente trabajo reúne los requisitos de fondo y forma para que el estudiante pueda presentarse a la exposición y defensa.

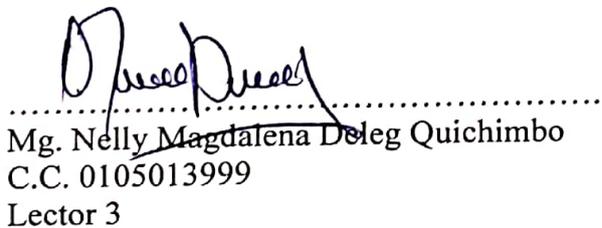
Latacunga, mayo 10, 2021.



Mg. Wilman Paolo Chasi Vizuite
C.C. 0502409725
Presidente del tribunal



Mg. Giovana Paulina Parra Gallardo
C.C. 1802267037
Lector 2



Mg. Nelly Magdalena Deleg Quichimbo
C.C. 0105013999
Lector 3

DEDICATORIA

Quiero dedicar este trabajo a nuestro padre celestial Jehová, por regalarnos cada día una nueva oportunidad de vivir y ser mejores.

Con lágrimas en los ojos y un nudo enorme en la garganta empiezo a escribir esta dedicatoria, hace dos meses no era la misma, y por un motivo muy triste me toco cambiarla, planeábamos tantas cosas, planeábamos una fiesta por este, que no era mi logro, era el tuyo, mi amada madre, me dijiste que soy tu orgullo, en verdad que difícil aceptar los designios de Dios, entender que ya no estás, que ya no me esperas en casa, que ya no hay un café en la tarde.

No existe otra persona más que dedique esta pequeñez que a ti María Eugenia, mamita que desde los 8 años fuiste padre y madre a la vez, ponerme agradecerte por tanto que me has brindado me faltarían hojas, solo sé que siempre me diste lo mejor de la vida que nunca me hiciste faltar nada, que tu cariño, tu responsabilidad, tu amor, tu honradez, inocencia, bondad, y tantos atributos que tenías me enseñó muchas cosas, así como me sobreprotegías tanto, tu infinito amor madrecita nunca lo encontraré en nadie, no existe palabras en este mundo para darte las gracias por tanto que diste y talvez por no valorar en su tiempo, sé que es muy pronto pero veras que pronto seré mucho mejor de lo que algún día pensábamos.

Gracias por todo María Eugenia.

Pablo López

AGRADECIMIENTO

La vida está plagada de retos, y uno de ellos es la educación, que sin ellos uno no se superaría cada día. Agradecer este trabajo a varias personas que en el transcurso de mi vida han dejado huellas y que nunca las olvidare.

A mis queridos hermanos Mauricio, Wilson y Luis, que, con su esfuerzo, trabajo, dedicación y consejos han legado la mejor herencia que pudiera recibir, ya que, desde mi niñez, seguido mi adolescencia y ahora en mi madurez has estado siempre pendientes de mí.

A mi compañera y amiga incondicional que ha sido mi apoyo y que siempre ha estado en los momentos más difíciles, y que siempre me está impulsando para cada día ser mejor, y que parte de esta tesis es de ella, muchas gracias Mary.

A mis compañeros de aula que a más de compañeros hemos cultivado una amistad y que siempre nos daremos una mano en el camino, el agradecimiento infinito.

Pablo López.

RESPONSABILIDAD DE AUTORÍA

Quien suscribe, declara que asume la autoría de los contenidos y los resultados obtenidos en el presente Trabajo de Titulación.

Latacunga, mayo 10, 2021.



.....
Ing. Pablo Gonzalo López Quispe
C.C. 0502363203

RENUNCIA DE DERECHOS

Quien suscribe, cede los derechos de autoría intelectual total y/o parcial del presente trabajo de titulación a la Universidad Técnica de Cotopaxi.

Latacunga, mayo 10, 2021.



.....
Ing. Pablo Gonzalo López Quispe
C.C. 0502363203

AVAL DEL VEEDOR

Quien suscribe, declara que el presente Trabajo de Titulación: Distribución geográfica de *Spodoptera frugiperda* (Smith) en Ecuador y su relación con parámetros climáticos ha sido revisado contiene las correcciones a las observaciones realizadas por los lectores en sesión científica del tribunal.

Latacunga, mayo 10, 2021.



.....
Mg. Wilman Paolo Chasi Vizuete
C.C. 0502409725
Presidente del Tribunal

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI
DIRECCIÓN DE POSGRADO

MAESTRÍA EN SANIDAD VEGETAL

Título: Distribución geográfica de *Spodoptera frugiperda* (Smith) en Ecuador y su relación con parámetros climáticos

Autor: López Quispe Pablo Gonzalo

Tutor: Mg. Troya Sarzosa Jorge Fabian

RESUMEN

El maíz (*Zea mays* L.) es cultivado debido a su gran adaptabilidad en las diferentes zonas agroclimáticas en Ecuador y a su alto potencial genético de rendimiento, sin embargo, se ha evidenciado la incidencia de una serie de plagas, enfermedades y malezas en los diferentes agro-sistemas que provocan pérdidas en su producción de hasta 48,5%, siendo *Spodoptera frugiperda* una de las plagas de mayor importancia económica. La falta de información actualizada sobre la dinámica poblacional y zonas de incidencia de esta plaga y su relación con los parámetros climáticos representan un escenario más complicado.

El presente estudio tuvo como objetivo determinar la distribución geográfica de *S. frugiperda* en Ecuador con relación a los parámetros climáticos favorables en el apareamiento, incidencia y severidad en diferentes zonas productoras en las regiones Sierra, Costa y Oriente. Se detectaron diferencias significativas en el porcentaje de incidencia y severidad en las localidades de muestreo, siendo mayor en la provincia de El Oro (50,7%) en la región Costa, seguidas de Orellana (45%) de la región Oriente, mientras que las provincias de la región Sierra los porcentajes fueron relativamente bajos en Tungurahua, Loja y Bolívar con 15%, 13% y 10%, respectivamente. También se encontró una correlación positiva entre los parámetros climáticos evaluados y la incidencia y la severidad de la plaga en el cultivo de maíz en las provincias de la zona Costa, obteniendo las siguientes ecuaciones $y = 12,685 + 0,7041x$ para la severidad ($p < 0,01$; $R^2 = 0,8941$) y $y = 7,1347 + 0,3963x$ ($p < 0,01$; $R^2 = 0,8443$) para incidencia. Se presenta un mapa de distribución de *S. frugiperda* en nuestro país.

PALABRAS CLAVE: *S. frugiperda*; Distribución; Incidencia; severidad; maíz

TECHNICAL UNIVERSITY OF COTOPAXI
POSTGRADUATE OFFICE

MASTER'S DEGREE IN PLANT HEALTH

THEME: "Geographical distribution of *Spodoptera frugiperda* (Smith) in Ecuador and its relationship with climatic parameters."

Author: López Quispe Pablo Gonzalo
Tutor: Jorge Fabian Troya Sarzosa Mg.

ABSTRACT

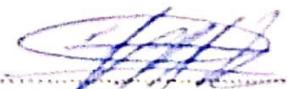
Corn (*Zea mays* L.) is cultivated in different agroclimatic zones in Ecuador due to its great adaptability and its high genetic potential for yield; however, the incidence of a series of pests, diseases, and weeds in the different agro-systems that cause production losses of up to 48.5% has been detected where *Spodoptera frugiperda* is one of the most economically important pests. The lack of updated information on the population dynamics, areas of incidence of this pest, and its relationship with climatic parameters represent a more complicated scenario.

This study aimed to determine the geographical distribution of *S. frugiperda* in Ecuador concerning the favorable climatic parameters in its emergence, incidence, and severity in different producing areas in the Highlands, Coast, and Jungle regions. Significant differences were detected in the percentage of incidence and severity in the sampling locations, being higher in El Oro province (50.7%) in the Coast region, followed by Orellana (45%) in the Jungle region; in contrast, in the Highlands provinces, the percentages were relatively low in Tungurahua, Loja, and Bolívar with 15%, 13%, and 10%, respectively. A positive correlation between the climatic parameters evaluated and the incidence and severity of the pests in the corn crop in the provinces of the Coast area was also found, obtaining the following equations $y = 12.685 + 0.7041x$ for severity ($p < 0.01$; $R^2 = 0.8941$) and $y = 7.1347 + 0.3963x$ ($p < 0.01$; $R^2 = 0.8443$) for incidence. So, a distribution map of *S. frugiperda* in Ecuador is presented.

KEYWORDS: *S. frugiperda*; distribution; incidence; severity; corn.

Yo, Collaguazo Vega Wilmer Patricio con cédula de ciudadanía número: 1722417571 Licenciado en Ciencias de la Educación mención Inglés con número de registro de la SENESCYT: 1020-13-1198178; CERTIFICO haber revisado y aprobado la traducción al idioma inglés del resumen del trabajo de investigación con el título: "Distribución geográfica de *Spodoptera frugiperda* (Smith) en Ecuador y su relación con parámetros climáticos" de López Quispe Pablo Gonzalo aspirante a Magister en Sanidad Vegetal.

Latacunga, mayo 10, 2021.


.....
Lcdo. Collaguazo Vega Wilmer Patricio Mg. C.
C.C. 1722417571

ÍNDICE DE CONTENIDOS

APROBACIÓN DEL TUTOR	ii
APROBACIÓN TRIBUNAL	¡Error! Marcador no definido.
DEDICATORIA	iv
AGRADECIMIENTO	v
RESPONSABILIDAD DE AUTORÍA	¡Error! Marcador no definido.
RENUNCIA DE DERECHOS.....	vi
AVAL DEL VEEDOR.....	¡Error! Marcador no definido.
RESUMEN.....	ix
ÍNDICE DE TABLAS	xiii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xiv
CAPÍTULO I.....	1
1.1. Pertinencia académico-científica y social	1
1.2. Justificación.....	1
1.3. Planteamiento del problema	4
1.4. Objetivo General:	6
Determinar la distribución geográfica de <i>S. frugiperda</i> en Ecuador y su relación con los parámetros climáticos.	6
CAPÍTULO II. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA.....	7
2.1. El cultivo de maíz y su importancia	7
2.2. <i>Spodoptera frugiperda</i> como plaga en maíz	11
2.3. Distribución geográfica de las plagas.....	15
2.4. <i>Spodoptera frugiperda</i> y su relación con las condiciones climáticas	15
CAPÍTULO III METODOLOGÍA	19
CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	24
4.1. Ocurrencia de <i>S. frugiperda</i> en las regiones Sierra, Costa y Oriente del país.....	24

4.2. Relacionar la ocurrencia de <i>S. furgiperda</i> con la temperatura, Humedad Relativa y precipitación	32
CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	42
CAPÍTULO VI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	44

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Área cosechada, rendimiento y producción de maíz por continentes	9
Tabla 2. Producción de maíz en países latinoamericanos durante el período 2016-2018	10
Tabla 3. Sitios de muestreo de la ocurrencia de <i>S. frugiperda</i> en las regiones Sierra, Costa y Amazonía del Ecuador (1/2).....	20
Tabla 4. Continuación (2/2)	21
Tabla 5. Escala para la severidad de <i>S. frugiperda</i> en plantas de maíz	22
Tabla 6. Porcentaje promedio de incidencia y severidad de <i>Spodoptera</i> <i>frugiperda</i> en la región Oriente, Ecuador	31
Tabla 7. Ecuaciones de regresión entre la incidencia de <i>S. frugiperda</i> y la temperatura, precipitación y humedad relativa en la región Costa, Ecuador	32

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Producción mundial de maíz (Fuente: FAOSTAT, 2020).....	8
Figura 2. Principales países productores de maíz	9
Figura 3. Porcentaje de Incidencia y Severidad de <i>Spodoptera frugiperda</i> en las Provincias de la Región Costa, Ecuador.....	25
Figura 4. Porcentaje de Incidencia y Severidad de <i>Spodoptera frugiperda</i> en diferentes cantones de la Región Costa, Ecuador	26
Figura 5. Porcentaje de Incidencia y Severidad de <i>Spodoptera frugiperda</i> en las Provincias de la Región Sierra, Ecuador	27
Figura 6. Porcentaje de Incidencia y Severidad de <i>Spodoptera frugiperda</i> en diferentes cantones de la Región Sierra, Ecuador.....	28
Figura 7. Porcentaje de Incidencia y Severidad de <i>Spodoptera frugiperda</i> en las Provincias de la Región Oriente, Ecuador	29
Figura 8. Porcentaje de Incidencia y Severidad de <i>Spodoptera frugiperda</i> en diferentes cantones de la Región Oriente, Ecuador	30
Figura 9. Curvas de regresión lineal entre la incidencia de <i>S. frugiperda</i> con la temperatura en la región Costa, Ecuador	33
Figura 10. Relación del porcentaje de severidad de <i>S. frugiperda</i> con los parámetros climáticos temperatura, humedad relativa y precipitación de la Región Costa	34
Figura 11. Relación del porcentaje de incidencia de <i>S. frugiperda</i> con los parámetros climáticos temperatura, humedad relativa y precipitación de la Región Costa	35
Figura 12. Relación del porcentaje de severidad de <i>S. frugiperda</i> con los parámetros climáticos temperatura, humedad relativa y precipitación de la Región Sierra	36
Figura 13. Relación del porcentaje de incidencia de <i>S. frugiperda</i> con los parámetros climáticos temperatura, humedad relativa y precipitación de la Región Sierra	37

Figura 14. Relación del porcentaje de severidad de <i>S. frugiperda</i> con los parámetros climáticos temperatura, humedad relativa y precipitación de la Región Oriente.....	38
Figura 15. Relación del porcentaje de incidencia de <i>S. frugiperda</i> con los parámetros climáticos temperatura, humedad relativa y precipitación de la Región Oriente.....	39
Figura 16. Mapa de distribución e incidencia de <i>Spodoptera frugiperda</i> en las regiones Costa, Oriente y Sierra del Ecuador	41

CAPÍTULO I

1.1. Pertinencia académico-científica y social

La presente investigación se enmarca en la Línea de Investigación Desarrollo y Seguridad Alimentaria y la sub-línea Desarrollo Económico, Bioclimatología y Plagas en las Regiones del Ecuador puesto que está enfocada al estudio del efecto de las variables climáticas: temperatura, humedad relativa y precipitación sobre la distribución de una de las principales plagas (*Spodoptera frugiperda*) que afecta el rendimiento de uno de los alimentos básicos de la población ecuatoriana, como es el maíz.

1.2. Justificación

El gusano cogollero, *Spodoptera frugiperda* (J.E Smith) (Lepidoptera: Noctuidae) es una plaga en diferentes cultivos de importancia económica, siendo el maíz uno de los cultivos más severamente atacados. Esta especie plaga es de difícil manejo debido a sus características tanto biológicas como ecológicas determinadas por un alto potencial de reproducción como consecuencia de su ciclo de vida corto, alta tasa de fecundidad, amplio rango de plantas hospederas, cultivos y vegetación espontánea, las cuales le aseguran su sobrevivencia y permanencia en los agroecosistemas y, por último, con una alta capacidad de dispersión o y alta capacidad de invasión.

Es por ello por lo que, se requiere tener un amplio conocimiento de su bioecología que sirvan de base para el desarrollo de estrategias de manejo que sean sustentables y eficientes que puedan ser utilizadas a futuro para mitigar el impacto de la incidencia de la plaga no solo en el cultivo de maíz sino también en las diferentes especies de plantas atacadas por esta especie de Lepidoptera. En consideración con

lo anteriormente expuesto, esta investigación se plantea determinar de la distribución de *S. frugiperda* en las diferentes zonas productoras de maíz del Ecuador, con el fin de proveer información que contribuyan con el diseño de estrategias de manejo disponibles para los productores de maíz.

Los resultados obtenidos en la presente investigación constituirán un aporte que, en principio, podrán ser usados por personal técnico para el diseño de estrategias de manejo de las poblaciones de la plaga y además servirá como información básica para el diseño y conducción de otras investigaciones destinadas a obtener un mejor conocimiento de *S. frugiperda*. Todo esto finalmente podrá servir para llevar información a pequeños y grandes productores de maíz y otros cultivos atacados por *S. frugiperda* para aplicar la información desprendida de la primera fase de investigación, puesto que, la educación de los agricultores constituye la principal herramienta para lograr un manejo eficiente del cultivo, incluyendo el tema de control de plagas.

Existe un limitado número de investigaciones relacionadas con la distribución potencial del gusano cogollero, lo cual dificulta modelar su distribución y así poder detectar áreas con mayor potencial de infestación (Cokola et al., 2020). De acuerdo con estos autores, en la República Democrática del Congo existen varias provincias que representan un hábitat favorable para el desarrollo del gusano cogollero, sin embargo, dada la variabilidad climática en la región, las cuales favorecen la dispersión de la plaga, es necesario prestar atención al manejo de esta especie, con el fin de tomar medidas efectivas para prevenir su mayor dispersión y, además establecer sistemas de monitoreo eficientes en su rango para recolectar datos de campo y mejorar el control de esta plaga.

Con relación a los estudios de distribución y abundancia de *S. frugiperda*, se ha hecho mayor énfasis al efecto de la temperatura, humedad relativa y precipitación sobre la tasa de supervivencia y desarrollo de larvas y pupas. Early et al. (2018) acotaron que el tiempo de desarrollo de los estadios de huevo, larva, prepupa y pupa disminuye con la temperatura hasta 32-35 °C, mientras que la supervivencia es máxima a temperaturas próximas a 25 °C, tendiendo a decrecer a temperaturas cercanas a 35 °C. Así mismo, Fand et al. (2015), demostraron que la tasa de

desarrollo de las etapas inmaduras de *Spodoptera litura* (Fabricius) (Lepidoptera: Noctuidae), una especie cercana a *S. frugiperda*, aumentaba linealmente hasta los 36 °C, mientras que temperaturas por encima de 38 °C resultaba letal para larvas y pupas y, por otra parte, la fecundidad de las hembras cesaba a temperaturas menores a 15 °C y mayores a 35 °C. Con base en estos resultados, los autores concluyen que en India existirá un mayor número de áreas con condiciones óptimas para el establecimiento de la plaga en cultivos de soya como consecuencia del incremento de la temperatura por efecto del cambio climático, por lo que sugieren realizar observaciones de campo de manera de tener un mejor entendimiento de la dinámica de la plaga y su control.

Por otra parte, el efecto de la humedad relativa y la precipitación sobre *S. frugiperda* es complejo, puesto que las lluvias y el riego pueden tener un efecto negativo sobre la supervivencia de larvas y pupas, mientras que la baja humedad muestra un impacto indirecto puesto que la abundancia alcanza sus picos máximos bajo condiciones de alta humedad relativa, debido al crecimiento de las plantas hospedantes (Early et al., 2018).

En Latino América los estudios sobre este tópico son más limitados. En Brasil, Rios et al. (2014), encontraron que las larvas del gusano cogollero presentan un patrón de distribución agregado, sin embargo, las larvas de mayor tamaño tienden a dispersarse desde los puntos de agregación a las otras áreas, mientras que las pequeñas muestran mayor abundancia en los bordes y se dispersan hacia el centro del cultivo.

Desde el punto de vista ecológico, los patrones de distribución de las especies plaga, basados tanto en su relación con los factores abióticos (temperatura, precipitación, etc.), latitud, altitud, constituyen un aspecto de vital importancia para determinar la distribución actual y predecir distribuciones futuras de las especies frente al cambio climático global y establecer lineamientos de manejos certeros (De La Vega y Schilman, 2015). Considerando la condición de polifagia de *S. frugiperda*, además de su alta tasa reproductiva, ciclo corto y alta capacidad de invasión hacen de esta una plaga difícil de maneja, por lo que se requiere un amplio conocimiento de su bioecología para desarrollar estrategias de manejo que sean sustentables y

eficientes. Por ello, en la presente investigación se plantea determinar la distribución geográfica de *S. frugiperda* en Ecuador en relación con los parámetros climáticos.

Dado que en el país no existe información actualizada sobre la distribución de *S. frugiperda* en función de los parámetros climáticos, esta información resultaría útil para el establecimiento de predicciones sobre el posible comportamiento de la plaga en las diferentes regiones climáticas del país, así como el desarrollo de medidas de control eficientes.

1.3. Planteamiento del problema

A nivel mundial, el maíz (*Zea mays* L.) es uno de los cereales de mayor aceptación no solo dentro de la dieta humana sino también que es un alimento de amplio uso en la elaboración de piensos para el ganado y, en los últimos años, ha superado la producción del arroz (*Oryza sativa*) y el trigo (*Triticum aestivum*) (Huma et al., 2019). El maíz es cultivado en diferentes zonas agroclimáticas en todo el mundo debido a su gran adaptabilidad y a su alto potencial de rendimiento genético (Sulong et al., 2019). Sin embargo, este cultivo es atacado por una serie de plagas, enfermedades y malezas, los cuales comprometen seriamente sus rendimientos (Khan et al., 2016). Se ha estimado que las pérdidas globales en la producción de maíz asociadas al ataque de enfermedades se ubica en un 10,9%, mientras que por malezas e insectos se ubica en 13,1 y 14,5%, respectivamente, lo cual junto con las pérdidas en postcosecha (10%) ubica las pérdidas totales en 48,5% (García-Lara & Serna-Saldivar, 2016).

Spodoptera frugiperda es un insecto originario de las zonas tropicales y subtropicales de América, sin embargo, se ha convertido en una especie invasiva en varios países de África desde 2016 y Asia desde 2018 (Cokola et al., 2020).

Esta especie de lepidóptero presenta hábitos alimenticios polífagos, siendo reportada en varias especies de plantas, las cuales varían desde 60 a 186 especies dentro de 42 familias botánicas, incluyendo cultivos de importancia económica,

tales como arroz, caña de azúcar, sorgo, remolacha, tomate, papa, algodón, pastos y principalmente maíz (Barbosa et al., 2020; Early et al., 2018).

Con relación al cultivo de maíz, de acuerdo con la FAO (2020), el rendimiento a nivel mundial aumentó de 55.208 a 59.237 kg/ha desde 2015 al 2018, sin embargo, durante este último año se ha observado una tendencia decreciente en cuanto al área cosechada y producción, con variaciones de 1,89% y 1,44% respecto al año precedente, respectivamente. Tradicionalmente los estudios que intentan explicar las posibles razones que pudieran explicar esta tendencia señalan a la educación del agricultor como un factor importante, junto con las dificultades relacionadas con el acceso a fertilizantes, semillas mejoradas y otros insumos químicos necesarios para una mayor producción y servicios de extensión (Urassa, 2015). Recientemente, los efectos del cambio climático también están siendo considerados en el comportamiento del rendimiento de los cultivos. Así Zampieri et al. (2019) estiman que la producción anual de maíz será afectada por el estrés causado por calor y sequías producto del calentamiento global afectarán varias zonas productoras a nivel mundial.

De manera similar, el cambio climático está provocando cambios en el comportamiento de las plagas. En tal sentido, Rios et al. (2014), demostraron mediante modelación que ante el escenario de un incremento significativo de la temperatura se produciría la reducción del tiempo de generación de *S. litura* y consecuentemente incremento del número de generaciones. Asimismo, los cambios provocados por el cambio climático han hecho que *S. frugiperda* haya incrementado su distribución geográfica y, consecuentemente en su efecto sobre las pérdidas de rendimiento en cultivos de maíz (*Zea mays* L.) en diferentes áreas donde está presente la plaga, incluyendo países de África subsahariana (Matova et al., 2020).

En Latinoamérica, se han señalado pérdidas del rendimiento que varían desde 40% hasta 72 % en Honduras y Argentina, respectivamente, por lo que esta especie es considerada un plaga de alto impacto tanto en cultivos comerciales como en cultivos de subsistencia en varias regiones del mundo (Early et al., 2018).

En Ecuador existen pocos estudios relacionados con la zonificación de las plagas en los diferentes cultivos. En un estudio de modelación para relacionar los parámetros climáticos con la severidad de *S. frugiperda* realizado por Carranza (2020) se encontró que el nivel de severidad de la plaga mostró una relación cuadrática con las variables climáticas, siendo más pronunciada con la humedad relativa y la temperatura, mientras que se observó un efecto más leve de la precipitación. Sin embargo, hasta la fecha no se dispone de información sobre la distribución de la plaga y sus niveles de incidencia en las diferentes regiones del país.

1.4. Objetivo General:

- Determinar la distribución geográfica de *S. frugiperda* en Ecuador y su relación con los parámetros climáticos.

Objetivos Específicos

- a. Establecer la ocurrencia de *S. frugiperda* en las regiones Sierra, Costa y Oriente del país.
- b. Relacionar la ocurrencia de *S. frugiperda* con la temperatura y precipitación
- c. Elaborar mapas de ocurrencia de *S. frugiperda* en las diferentes zonas productoras de maíz del país.

CAPÍTULO II. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

2.1. El cultivo de maíz y su importancia

El maíz (*Zea mays* L.) es un cereal incluido dentro de la tribu Maydae en la familia Poaceae y se considera que su centro de origen se ubica entre México y Centroamérica (Hossain et al., 2016). De acuerdo con Serratos Hernandez (2009), la evolución del maíz está vinculada a la historia cultural de Mesoamérica y Sudamérica hace unos 2.500 años evidenciándose una correlación entre la morfología y citogenética de las razas y complejos raciales del maíz con determinadas características generales de las civilizaciones y grupos humanos en el continente, definiéndose complejos raciales en las diferentes áreas culturales del continente y a partir de esta, en la región de los Andes centrales, ubicada a más de 1800 m.s.n.m., desde el centro-norte de Perú hasta el noroeste de Argentina, donde se encuentran los siguientes tipos de maíz: Harinosos Redondos de los Andes Centrales, Harinosos Pequeños del Altiplano, Cristalinos Pequeños del Altiplano, Cristalinos Bolivianos, Confite Morocho y Chutucuno Chico.

En términos nutricionales, el maíz tiene una composición rica en carbohidratos, principalmente en forma de almidón, y también contiene proteínas, lípidos, vitaminas y los granos se pueden consumir directamente, sin necesidad de procesamiento para quitar la cáscara como se hace con otros cereales, como el arroz y el trigo (Langner et al., 2019). Su alto valor nutritivo, junto con su adaptabilidad a diferentes zonas ecológicas, han hecho del maíz uno de los cereales más importantes y es producido en casi todo el mundo, con incremento en su producción en varios países donde este cultivo representa alrededor del 43% de calorías en la dieta (Adiaha, 2017).

En conjunto, el maíz, el trigo y el arroz constituyen el principal alimento de la población y en conjunto representan el 94% del consumo de cereales a nivel mundial, aunque el patrón de consumo varía de acuerdo con la región; siendo el trigo preferido en Asia Central, Oriente Medio, América del Norte y del Sur y Europa; el arroz en Asia, mientras que el maíz es más consumido en el sur y este de África y América Latina (Ranum et al., 2014). De acuerdo con OECD-FAO (2018), se prevé que el consumo mundial de cereales aumente de 2,6 mil millones de toneladas a 2,9 mil millones de toneladas en 2027, principalmente para el maíz, que de acuerdo con los valores proyectados tendrá un incremento anual del 1,6%, lo cual representa un aumento per cápita mayor que el decenio anterior.

El maíz es uno de los principales cereales cultivados a nivel mundial puesto que constituye un alimento básico en América Latina, África y Asia, mostrando un incremento en la producción de 1.052.127.378 a 1147621938 ton desde 2015 al 2018 (Figura 1), debido a, entre otras razones, la adaptabilidad a diferentes sistemas ecológicos y a la fuerte demanda de bioetanol y piensos para animales y de la producción de edulcorantes y otros productos industriales no alimentarios (FAO, 2020; García-Lara & Serna-Saldivar, 2016).

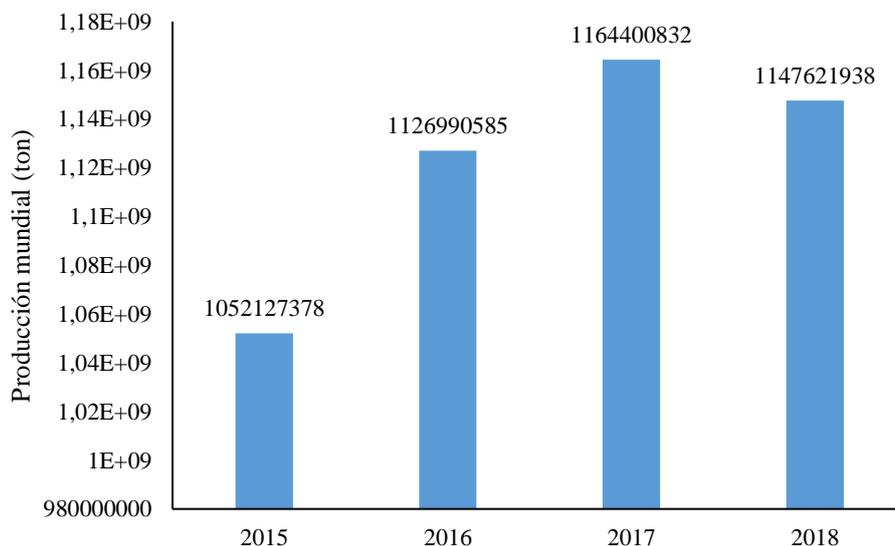


Figura 1. Producción mundial de maíz (Fuente: FAOSTAT, 2020)

Elaborado por: López (2021)

El análisis por continente, en América se registran tanto la mayor área cosechada, rendimiento y producción (Tabla 1). Del total de la producción mundial, Estados Unidos aporta el 34,2 %, seguido de China (22,4%), Brasil (7,2%), Argentina (3,8%) y Ucrania (3,1%) (Fig. 2).

Tabla 1. Área cosechada, rendimiento y producción de maíz por continentes

Continente	Área cosechada (ha)	Rendimiento (kg/ha)	Producción (ton)
América	70.639.198	81.818	577.954.751
Asia	67.296.234	53.727	361.564.957
África	38.673.230	20.402	78.900.876
Europa	17.048.924	75.427	128.595.328
Oceanía	75.982	79.759	606.026

Elaborado por: López (2021)

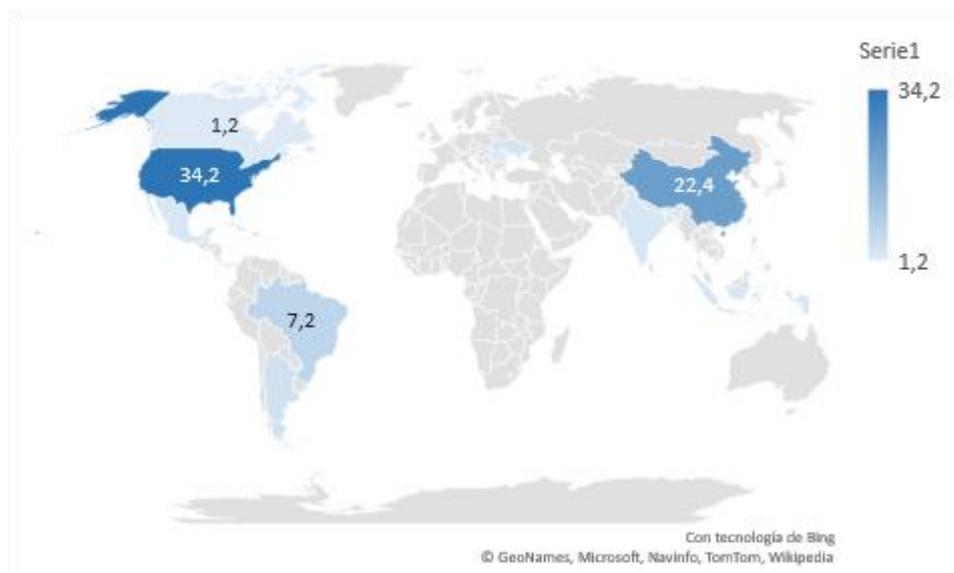


Figura 2. Principales países productores de maíz

Elaborado por: López (2021)

Con relación a la producción en Latinoamérica, los principales países productores son Brasil, México y Argentina, mientras que Ecuador ocupa el octavo lugar en el 2018 con una producción de 1.324.147 ton, que representó un 0,8% del total producido en Latinoamérica (Tabla 2).

Tabla 2. Producción de maíz en países latinoamericanos durante el período 2016-2018

País	2016	%	2017	%	2018	%
Argentina	39.792.854	26,6	49.475.895	25,8	43.462.323	25,4
Bolivia	984.628	0,7	954.909	0,5	1.260.926	0,7
Brasil	64.188.314	43,0	97.910.658	51,0	82.288.298	48,2
Chile	1.174.487	0,8	1.062.589	0,6	1.110.608	0,6
Colombia	1.295.089	0,9	1.329.856	0,7	1.388.246	0,8
Costa Rica	9.542	0,0	6.720	0,0	5.358	0,0
Ecuador	1.091.108	0,7	1.436.106	0,7	1.324.147	0,8
El Salvador	923.472	0,6	904.204	0,5	685.509	0,4
Guatemala	1.899.318	1,3	1.951.551	1,0	1.921.936	1,1
Honduras	613.334	0,4	675.685	0,4	704.747	0,4
México	28.250.160	18,9	27.763.203	14,5	27.169.977	15,9
Nicaragua	410.622	0,3	408.415	0,2	395.226	0,2
Panamá	127.799	0,1	116.151	0,1	112.446	0,1
Paraguay	5.152.320	3,4	5.155.900	2,7	5.344.650	3,1
Perú	1.509.809	1,0	1.523.469	0,8	1.569.535	0,9
Uruguay	471.000	0,3	309.000	0,2	816.000	0,5
Venezuela	1.465.379	1,0	1.050.000	0,5	1.318.418	0,8
Total	149.359.235		192.034.311		170.878.350	

Fuente: FAOSTAT (2020)

Varios factores tanto bióticos como abióticos pueden afectar el rendimiento del maíz. Con relación los factores abióticos, tanto las temperaturas diarias por encima de 32 °C y la sequía pueden inducir estrés, reduciendo la tasa fotosintética y a su

vez provoca incremento de la transpiración afectando el rendimiento (Zampieri et al., 2019).

2.2. *Spodoptera frugiperda* como plaga en maíz

Aparte de los factores abióticos, el ataque de plagas y enfermedades también reduce el rendimiento del cultivo de maíz. Los insectos se incluyen entre los principales factores bióticos causantes de pérdidas que se estiman a nivel mundial entre 30-40% en los cultivos, con valores que varían dependiendo del cultivo, siendo de 50 y 80% en trigo y algodón, mientras que en papa, arroz y maíz se ubica en 40, 37 y 31%, respectivamente (García-Lara y Serna-Saldivar, 2016).

La composición de especies plagas asociadas con el cultivo varía de acuerdo con la ubicación geográfica. Rahmawati et al., (2020) señalaron en Indonesia que las principales plagas son *Atherigona oryzae*, *Atherigona exigua*, *Oxya* sp., *Spodoptera litura*, *Helicoverpa armigera*, *Ostrinia furnacalis*, *Ostrinia nubilalis* y *Nezara viridula*. Por el contrario, en países americanos y africanos la principal plaga del cultivo es el gusano cogollero, *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) (Haenniger et al., 2020).

Spodoptera frugiperda es nativa de América del Norte y del Sur y es considerada una plaga severa en maíz, sorgo, caña de azúcar y otras especies de gramíneas y aunque es una plaga de hábitos generalistas pudiéndose alimentar en más de 350 especies de plantas en el continente americano, en África ataca principalmente al maíz (Haenniger et al., 2020).

Desde su introducción en África, esta plaga ha alcanzado una amplia distribución en países de África subsahariana provocando pérdidas estimadas en más de 13.300 millones US\$, lo cual evidencia la necesidad de la búsqueda de estrategias eficientes de manejo de la plaga (Abrahams et al., 2017; Rwomushana et al., 2018). Hougbo et al. (2020) encontraron que a pesar de la existencia de condiciones geoclimáticas diversas en Benín, *S. frugiperda* se encuentra distribuida en todo el país, evidenciada por los ataques de la plaga en 97,1% de los agricultores en 2018, con una incidencia de daño en plantas y mazorcas de 58,9 y 50,4%, que provocó

pérdidas de rendimiento estimadas en 797,2 kg/ha de maíz. De manera similar, esta plaga se encuentra ampliamente distribuido en Etiopía, Tanzania y Kenia con porcentajes de infestación que variaron entre 33% y 100% en Etiopía, 93% a 100% en Tanzania y 100% en Kenia durante 2017, mientras que durante 2018 se detectaron valores mayores; 80-100% y 82,2-100% en Etiopía y Kenia, respectivamente (Sisay et al., 2019).

Ante el impacto de *S. frugiperda* principalmente en cultivos de maíz en diferentes partes del mundo, varias estrategias han sido evaluadas para el manejo de sus poblaciones.

Entre ellas, las plantas transgénicas están siendo usadas en varios países a nivel mundial, sin embargo, las investigaciones han demostrado que ocurre daño de *S. frugiperda* en este tipo de plantas en muchos países de América, África, Asia y Australia. Gutierrez-Moreno et al. (2020) condujeron bioensayos en poblaciones de gusano cogollero de México y Puerto Rico y demostraron que la población de Puerto Rico, mostraron ser resistentes a Cry1F (índice de resistencia 50 (RR50) superior a 10,000 ng/cm² y a Cry1Ac con un RR50 = 12.2 ng/cm²), mientras que las poblaciones mexicanas fueron altamente susceptibles a todas las proteínas Bt probadas. Así mismo, en Argentina, la principal herramienta de control es el uso de híbridos de maíz modificados genéticamente que expresan proteínas Bt con los que los productores argentinos lograban controlar eficientemente la plaga con maíz Bt que expresaba una sola proteína (Cry1Ab o Cry1F), pero recientemente se han detectado alelos de resistencia a Cry1F en poblaciones de campo por lo que es necesario usar cultivares de maíz que produzcan dos proteínas Bt para lograr un control satisfactorio.

Jaramillo-Barrios et al. (2019) observaron daños causados por larvas de *S. frugiperda* en plantas de maíz con endotoxina Cry1F y los insectos mostraron un cierto grado de resistencia, sin embargo, los autores señalan que es necesario continuar con estudios de manera de obtener un conocimiento sólido que permita establecer fechas óptimas de siembra y las etapas fenológicas del cultivo que permitan establecer acciones de manejo adecuadas. Malaquias et al. (2017) investigaron el comportamiento de alimentación de cepas de *S. frugiperda* sensibles

y resistentes a Cry1F para y su capacidad de dispersión e infestación de las larvas y observaron que los larvas resistentes de los primeros instares muestran un comportamiento sedentario en cultivos transgénicos, mientras que las cepas susceptibles tienen mayor capacidad de dispersión, incrementando las posibilidades de infestación en campos vecinos.

La rotación de los modos de acción de los insecticidas para retrasar la selección por resistencia a los insecticidas también ha sido señalada como estrategia para el manejo de la plaga. Barbosa et al. (2020) expusieron larvas de *S. frugiperda* a spinetoram y metaflumizona de manera alternativa y consiguieron que, después de cinco generaciones de presión de selección, la frecuencia de resistencia se incrementó a una tasa de 49,5% y 29,2% con metaflumizona y spinetoram, respectivamente, sin embargo, la rotación de insecticidas redujo la frecuencia de resistencia en aproximadamente un 50% durante generaciones, aparte de que los individuos mostraron retraso en el tiempo de incubación, mayor porcentaje de pupas con deformación, períodos larvarios y pupa más prolongados y reducción en la tasa de emergencia y longevidad de los adultos, lo que sugiere costos adaptativos asociados con la resistencia.

Adicionalmente, el uso de insecticidas botánicos también han mostrado ser una alternativa viable para el control de *S. frugiperda*. En tal sentido, Lima et al. (2020) evaluaron el efecto letal del aceite esencial de *Lippia sidoides* sobre el gusano cogollero y también su selectividad a su principal depredador, *Podisus nigrispinus*. El insecticida botánico mostró una acción más rápida sobre la plaga que sobre el depredador demostrando así el potencial del aceite esencial para el control de la plaga y su selectividad sobre *P. nigrispinus*.

Se ha demostrado que algunos insecticidas botánicos, como el aceite de *Azadirachta indica*, provocan cambios en el sistema inmunológico de varias especies de insectos. Duarte et al. (2020) evaluaron el efecto del aceite de *A. indica* sobre el sistema inmunológico de *S. frugiperda* colocando larvas de (2-3 mg) dietas artificiales con 125, 250 y 500 ppm de aceite de nim con propanona y posteriormente midieron el número total de hemocitos, la actividad fagocítica, la actividad de enzimas de las lisozimas y la actividad fenoloxidasa en larvas de sexto

instar. Estos autores determinaron que el aceite de nim reduce la cantidad de hemocitos y la actividad de enzimas de tipo lisozimas, lo cual lo consideraron de gran importancia en el diseño de estrategias de control, puesto que con esto se comprobó que este insecticida botánico podría usarse para provocar mortalidad en la plaga y así reducir sus poblaciones.

Finalmente, el uso de agentes de bio control ha sido una de las tácticas de manejo poblacional más ampliamente usadas para el control de plagas, incluyendo al gusano cogollero.

En su artículo de revisión, Guo et al. (2020) señalan que el control microbiano de *S. frugiperda* basado en hongos, bacterias, nematodos y virus ha mostrado resultados satisfactorios para disminuir las densidades poblacionales. En ese sentido, estos autores indicaron que *Beauveria bassiana*, *Metarhizium rileyi* y *Metarhizium anisopliae* han demostrado su potencial para controlar a *S. frugiperda*, pero su desarrollo está influenciado por las condiciones ambientales.

Con relación al uso de nematodos, especies de la familia *Steinernematidae* y *Heterorhabdidae* han mostrado tener eficacia en el control del gusano cogollero debido a su virulencia en estudios de laboratorio realizados en América del Sur. Rodríguez (2019) usaron aislamientos de *Heterorhabditis bacteriophora* o *H. indica* a dosis de 40 y 170 juveniles y detectaron tasas de mortalidad del 65% de las larvas de gusano cogollero después de 48 h. Además, Alvarado & Noriega (2018) encontraron que con el uso de 5000 juveniles/ml resultó en mortalidad del 78 y 62% de prepupas y pupas del gusano cogollero bajo condiciones de invernadero.

Adicionalmente, el uso de bio plaguicidas a base de baculovirus han mostrado tener potencial para el control del gusano cogollero debido a su alta virulencia, especificidad hospedera, aunque la sensibilidad depende del estadio larvario, siendo menos efectivo en los instares mayores (quinto y sexto) (Guo et al., 2020).

2.3. Distribución geográfica de las plagas

La distribución geográfica de las especies y/o géneros es generalmente definida en función a las divisiones políticas, ya sea en términos de los países o en zonas definidas dentro del país y por lo general, la distribución geográfica natural es considerada de naturaleza provisional pues esta puede cambiar por efecto de diversos factores como cambios en el clima, cambios en el manejo de los cultivos, introducciones fortuitas por parte del hombre, entre otros. (Ohrnberger, 2013). Adicionalmente, la distribución geográfica dependerá del conocimiento taxonómico de la especie, por ello es necesario tener en cuenta si esta ha sido revisado recientemente o aún está pendiente de revisión pues diferentes autores pueden definir a una especie de manera diferente haciendo que el patrón de distribución también varíe (Ohrnberger, 2013).

La distribución geográfica de las plagas es determinada principalmente por los factores climáticos, mientras que su dinámica poblacional es influenciada por factores tanto bióticos como abióticos, por lo que la incidencia periódica estacional y los picos poblacionales se deben al efecto directo de las condiciones climáticas favorables o indirecto a través de la cantidad y calidad de los cultivos alimentarios (Karuppuchamy y Venugopal, 2016). En este sentido, la posibilidad de hacer predicciones sobre la ocurrencia espacio-temporal de las plagas tomando como base algunos parámetros meteorológicos relevantes permite diseñar medidas de control apropiadas y oportunas, minimizando así las pérdidas de cultivos (Karuppuchamy y Venugopal, 2016).

2.4. *Spodoptera frugiperda* y su relación con las condiciones climáticas

Bajo condiciones de laboratorio caracterizadas por una temperatura de 26 °C y 75-80% de humedad relativa, se determinó que el tiempo de desarrollo de *S. frugiperda* duró entre 32-43 y 34-46 días, para los machos y hembras, respectivamente, además los períodos de pre-oviposición, oviposición y post-oviposición variaron de 3-4, 2-3 y 4-5 días, respectivamente y el promedio de la longevidad fue de 10,80 para las hembras y 8,20 para los machos (Sharanabasappa et al., 2018). Más recientemente, Sokame et al. (2020) señalaron que la temperatura afectó las tasas de supervivencia

y de crecimiento relativo de *S. frugiperda* y, además la competencia es generalmente débil en el segundo instar larval, pero *S. frugiperda* puede coexistir con especies de barrenadores a lo largo de todo el gradiente de temperatura y aumentar las limitaciones de producción de los cultivos de cereales

El cambio climático puede afectar el ciclo biológico de insectos plaga, así como a sus plantas hospederas y/o enemigos naturales y en el caso de *S. frugiperda*, este puede promover su incremento poblacional debido a su comportamiento de alimentación polífago, su plasticidad fenotípica y genotípica y, por último, por la alta capacidad migratoria que muestran adultos que les permite dispersarse a varios kilómetros (>400 km/año) (Ramirez-Cabral et al., 2017; Westbrook et al., 2016). A medida que el gusano cogollero encuentra nuevas condiciones ecológicas, dinámicas de ecosistemas e interacciones de especies podría cambiar y adaptar su comportamiento al nuevo ambiente, por lo que los métodos de control de plagas podrían dejar de ser efectivos (Haenniger et al., 2020).

Early et al. (2018) evaluaron el efecto de la temperatura y precipitación sobre los parámetros biológicos del gusano cogollero y combinaron con datos de distribución para construir un Modelo de Distribución de Especies (MDE) y obtuvieron que las variables ambientales que principalmente influyen sobre la distribución de la plaga son el tipo de vegetación circundante, la *MinTemp* (temperatura anual más fría) y *SumPrec* (lluvia durante los tres meses más húmedos), lo que permitió sugerir que el calentamiento global podría expandir el rango potencial del gusano cogollero, mientras que la vegetación se debe a la provisión de plantas hospederas del gusano cogollero.

Por otra parte, Cokola et al. (2020) encontraron que, aunque la temperatura media anual (bio1), la precipitación anual (bio12), la estacionalidad de la temperatura (bio4) y la duración de la estación seca (llds) resultaron los factores climáticos que mejor explican la distribución del gusano cogollero, la precipitación anual obtuvo mayor peso cuando es usada de manera individual. Esta investigación demostró la rápida dispersión del gusano cogollero y la amplia variabilidad climática en las áreas de distribución de la plaga, lo que sugiere la necesidad de establecer un

sistema de monitoreo y estrategias de manejo efectivas para limitar su propagación y daño a los cultivos.

Garcia et al. (2019) desarrollaron un modelo computacional para representar la dinámica espacio-temporal del gusano cogollero en paisajes agrícolas compuestos por áreas Bt y no Bt, permitiendo al usuario definir diferentes variables de entrada, como el área de cultivo, la temperatura requerimientos de *S. frugiperda*, tasa de migración, tasa de movimiento larvario y resistencia de insectos a cultivos transgénicos. Este estudio permitió predecir y describir los principales picos poblacionales del gusano cogollero y demostró que el aumento de 1 °C en las temperaturas medias semanales podría causar el aumento de los niveles poblacionales, lo que demostró la importancia de la temperatura en la dinámica de las plagas.

Faithpraise et al. (2015) propusieron un esquema de vigilancia y monitoreo de las poblaciones de *Spodoptera exempta* (Walker) con el fin de establecer medidas de control de la plaga en maíz, el cual consistió de una fase de control mediante el uso combinado de avispas parasitoides de huevos (*Trichogramma* sp.) junto con un parasitoide de larvas (Diptera: Tachinidae) para lograr un mayor control de las etapas tempranas de desarrollo del gusano cogollero, lo que se tradujo en mejor calidad de los productos agrícolas por el reemplazo de los plaguicidas.

El cambio climático puede provocar el incremento del impacto de una plaga en ciertas regiones debido a una mayor adaptabilidad en el nuevo hábitat para lo cual recientemente se han desarrollado modelos fenológicos basado en la temperatura para especies plaga específicas. Fand et al. (2015) desarrollaron un modelo basado en los cambios de temperatura y demostraron que la tasa de desarrollo de *Spodoptera litura* aumentó linealmente en función de la temperatura hasta aproximadamente 34-36 °C, después de lo cual se volvió no lineal, también observaron que temperaturas de 38 °C resultaron letales para los estadios de larva y pupa, mientras que a temperaturas <15 y >35 °C impidieron la oviposición, lo que demuestra la importancia de la temperatura óptima para determinar la idoneidad del clima para el apareamiento y la reproducción especies de *Spodoptera*. Finalmente, estos autores señalan que ante el escenario del cambio climático las especies plagas

incrementarán su distribución hacia áreas que se convertirán en favorables a lo largo del tiempo.

Dada la reciente invasión de *S. frugiperda* en China en enero de 2019, existe un riesgo inminente que ataque cultivos de maíz y arroz y, además es probable que continúe dispersándose en varias regiones agrícolas de ese país, se desarrollaron programas de simulación basados en datos meteorológicos y parámetros de comportamiento de vuelo para determinar las posibles rutas de vuelo y el rango de las poblaciones del gusano cogollero (Wu et al., 2019). Los resultados demostraron que la emigración de la plaga fue beneficiada durante el monzón de verano del sur que le permitió desplazarse hacia el norte, lo que pone en riesgo las zonas de cultivo de maíz del noreste de China, la península de Corea y Japón, lo que debe ser considerado como una alerta para tomar las medidas necesarias para disminuir su impacto.

CAPÍTULO III METODOLOGÍA

El estudio fue conducido bajo el paradigma de investigación cuali-cuantitativa, la cual aborda la investigación mediante una serie de procesos de recolección, análisis y vinculación de datos cualitativos y cuantitativos con el fin de describir y explicar un fenómeno (Hernández-Sampieri et al., 2014). Los datos de las investigaciones cuantitativas son obtenidos mediante procedimientos sistemáticos por lo que se consideran datos tangibles, rigurosos y fidedignos, lo que les confiere precisión y pueden ser comparados por otras investigaciones (Ugalde & Balbestre, 2016).

De acuerdo con Hernández-Sampieri et al. (2014), la modalidad de investigación constituye una investigación aplicada pues busca producir conocimiento específico.

En cuanto al nivel de la investigación, la investigación se incluye dentro del tipo de investigación descriptiva y correlacional. La investigación descriptiva consiste en caracterizar un fenómeno con el fin de establecer su estructura o comportamiento y sus resultados se ubican en un nivel intermedio en cuanto a la profundidad de los conocimientos se refiere (Arias, 2012). La investigación correlacional establece la asociación entre variables que permiten hacer predicciones (Hernandez Sampiere Roberto, Ruíz, 2015).

Para el presente estudio fueron usados datos de incidencia y severidad de *S. frugiperda* en diferentes zonas productoras distribuidas en las regiones Sierra, Costa y Amazonía con los sitios de muestreo señalados en la tabla 3. Estos datos de incidencia y severidad de la plaga durante el año 2019 fueron proporcionados por La Agencia de Regulación y Control Fito y Zoosanitario (Agrocalidad), acompañada de datos de georreferenciación de cada localidad de muestreo.

Para el muestreo, en campos de maíz de menos de 1 ha, cada planta de la parcela de muestra fue examinada minuciosamente y se registró tanto el número de larvas (incidencia) como el grado de daño con base en las lesiones observadas (severidad). En casa sitio de muestreo, las larvas fueron colocadas en envases de plástico de 1 oz (29,6 ml) y llevadas al laboratorio para su identificación, de acuerdo a la metodología propuesta por Ordóñez-García et al. (2015). En el caso de parcelas de más de 1 ha, se seleccionó un 10% del total de plantas y se procedió de la manera antes descrita.

Para el cálculo de la incidencia se consideró el área total ocupada por el cultivo y la superficie afectada, de acuerdo con la siguiente fórmula:

$$\text{Incidencia (\%)} = \frac{\text{Área afectada}}{\text{Área total del cultivo}} \times 100$$

Con relación a la severidad, se usó la escala mostrada en Zagal (2015), tal como se muestra en la tabla 4.

Tabla 3. Sitios de muestreo de la ocurrencia de *S. frugiperda* en las regiones Sierra, Costa y Amazonía del Ecuador (1/2)

Región Sierra	Región Costa	Región Amazonía
Azuay	El Oro	Morona Santiago
Cuenca	Arenillas	Gualaquiza
El Pan	Balsas	Huamboya
Girón	El Guabo	Logroño
Guachapala	Machala	Macas
Gualaceo	Marcabelí	Morona
Nabón	Piñas	Pablo Sexto
Oña	Santa Rosa	Santiago
Paute	Esmeraldas	Sucúa
San Fernando	Esmeraldas	Napo
Santa Isabel	Quinindé	Archidona
Sigsig	Guayas	Arosemena Tola
Bolívar	Alfredo Baquerizo Moreno	Carlos Julio Arosemena Tola
Caluma	Balzar	Tena
Chillanes	Colimes	Orellana
Chimbo	Cnel. Marcelino Maridueña	Joya De Los Sachas
Echeandía	El Empalme	La Joya De Los Sachas
Guaranda	El Triunfo	Loreto

Las Naves	Empalme	Orellana
San Miguel	Guayaquil	Sucumbíos
Cañar	Isidro Ayora	Cascales
Azogues	Marcelino Maridueña	Cuyabeno
Biblián	Naranjal	Lago Agrio
Cañar	Naranjito	Shushufindi
Déleg	Nobol	
El Tambo	Pedro Carbo	
La Troncal	Playas	
Suscal	Salitre	
Carchi	Simón Bolívar	
	Yaguachi	
Mira	Los Ríos	
Chimborazo	Baba	
Alausí	Babahoyo	
Chambo	Buena Fe	
Colta	Mocache	
Guano	Montalvo	

Elaborado por: López (2021)

Tabla 4. Continuación (2/2)

Pallatanga	Palenque
Penipe	Pueblo viejo
Riobamba	Quevedo
Imbabura	Urdaneta
Antonio Ante	Valencia
Cotacachi	Ventanas
Ibarra	Vinces
Otavalo	Manabí
Pimampiro	24 de Mayo
San Miguel de Urququí	Bolívar
Urququí	Chone
Loja	El Carmen
Calvas	Flavio Alfaro
Catamayo	Jaramillo
Celica	Jipijapa
Espíndola	Junín
Gonzanamá	Montecristi
Loja	Pajan
Macará	Portoviejo
Pindal	Rocafuerte

Quilanga	Santa Ana
Saraguro	Sucre
Sozoranga	Tosagua
Zapotillo	Santa Elena
Pichincha	Santa Elena
	Santo Domingo De
Cayambe	Los Tsáchilas
Mejía	Santo Domingo
Pedro Moncayo	
Quito	
Tungurahua	
Ambato	
Mocha	
Pelileo	
Quero	

Elaborado por: López (2021)

Tabla 5. Escala para la severidad de *S. frugiperda* en plantas de maíz

Escala	Severidad
0	Planta sin daños visibles
1	Planta con menos de 25% de daño
2	Plantas con daño entre 25 y 50%
3	Plantas con daño entre 50 y 75%
4	Plantas con daño mayor al 75%

Elaborado por: López (2021)

En zona Sierra fueron muestreados las provincias de Azuay (13 cantones), Bolívar (8 cantones), Cañar (8 cantones), Carchi (1 cantón), Chimborazo (7 cantones), Imbabura (7 cantones), Loja (12 cantones), Pichincha (4 cantones) y Tungurahua (4 cantones). En la región Costa se tomaron muestras de las provincias El Oro (8 cantones), Esmeraldas (2 cantones), Guayas (17 cantones), Los Ríos (12 cantones), Manabí (15 cantones), Santa Elena (1 cantón) y Santo Domingo de Tsáchilas (1 cantón).

En la región Amazonía fueron muestreadas las provincias de Morona Santiago (8 cantones), Napo (4 cantones), Orellana (3 cantones) y Sucumbíos (4 cantones).

Adicionalmente fueron obtenidos los registros históricos de los últimos 15 años de temperatura, humedad relativa y precipitación a partir de información suministrada por el Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología, según requerimiento N° INAMHI-DAF-2020-0168-EX.

Los datos obtenidos fueron tabulados usando Microsoft Excel para generar los mapas de distribución considerando el porcentaje de incidencia de la plaga. El ensayo fue conducido en un diseño completamente aleatorizado, con un muestreo aleatorio estratificado, donde la fuente de variación estuvo representada por la localidad. Finalmente fueron correlacionados los datos de incidencia con las variables climatológicas mediante análisis de regresión lineal usando el paquete estadístico SPSS versión 20.

CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Ocurrencia de *S. frugiperda* en las regiones Sierra, Costa y Oriente del país

Se observaron diferencias significativas en cuanto al porcentaje de incidencia y severidad del daño causado por *S. frugiperda* en las diferentes localidades de muestreo (Tablas 3-5). El análisis hecho en las provincias de la Región Costa se encontró que la mayor incidencia fue observada en la provincia El Oro con 50,7%, seguido de Guayas (19,5%), en el resto de las provincias de la Costa, el porcentaje de incidencia varió desde 1,9 hasta 7,1 % (Fig. 3). Cuando se analizaron los cantones por separado se encontró que la mayor incidencia fue observada en los cantones Santa Rosa, seguido de Arenillas, Marcabelí, Machala en la provincia El Oro y en El Empalme, Nobol, Balzar, Isidro Ayora y Pedro Carbo de la Provincia de Guayas, mientras que el resto de las localidades de muestreo no mostraron diferencias significativas (Fig. 4A). Con relación al porcentaje de severidad, el mayor valor fue observado en Nobol (provincia de Guayas) con un 60% de severidad de daño, seguido del Vinces (Los Ríos) con 25%. En el resto de las localidades el porcentaje fue significativamente menor (Fig. 4B).

En la Región Sierra, Tungurahua, Loja y Bolívar fueron las provincias que mostraron mayor porcentaje de incidencia con valores de 15, 13 y 10 %, respectivamente, mientras que en el resto de las provincias varió desde 2,2 a 8,3% (Fig. 5A). Contrariamente, la mayor severidad fue detectada en las provincias Cañar, Chimborazo, Bolívar y Loja con valores de 10,2; 8,2; 7,7 y 7,4 %, respectivamente, en el resto de las provincias estuvo por debajo del 4,0% (Fig. 5B).

En cuando al análisis por cantones, la mayor incidencia se observó en Las Naves (provincia de Bolívar) (30,0%) y Macará (Provincia de Loja) (24,1%), otras

localidades mostraron valores de incidencia por debajo de 6,21% Cuenca, Sigsig, El Pan, Nabón, Paute, Santa Isabel (Azuay), Chillanes, Chimbo, (Bolívar), Azogues, Biblián, Cañar, Suscal (Cañar), Alausí, Colta, Penipe (Chimborazo), Calvas, Urcuquí (Imbabura) y Zapotillo (Loja) (Fig. 6).

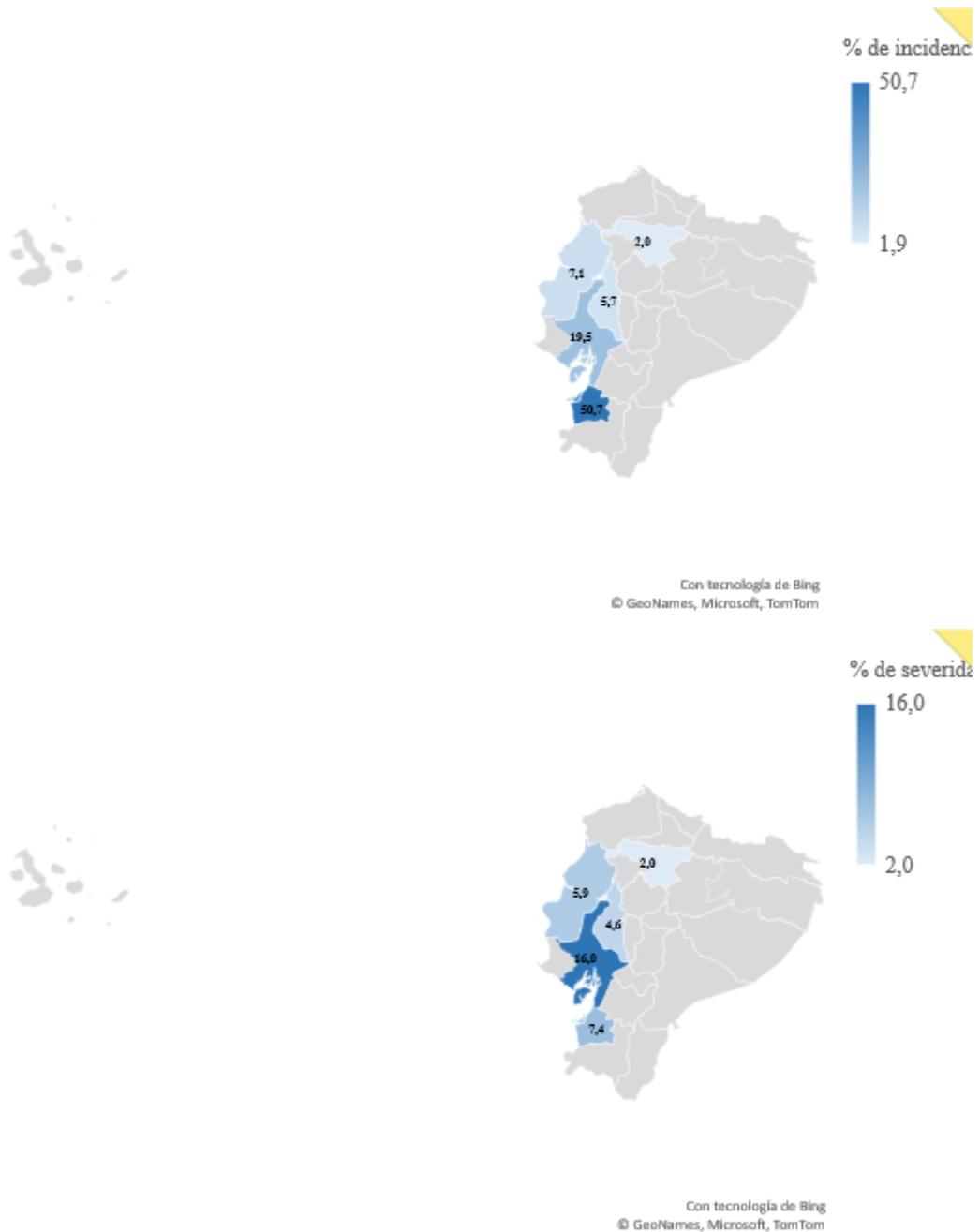


Figura 3. Porcentaje de Incidencia y Severidad de *Spodoptera frugiperda* en las Provincias de la Región Costa, Ecuador

Elaborado por: López (2021)

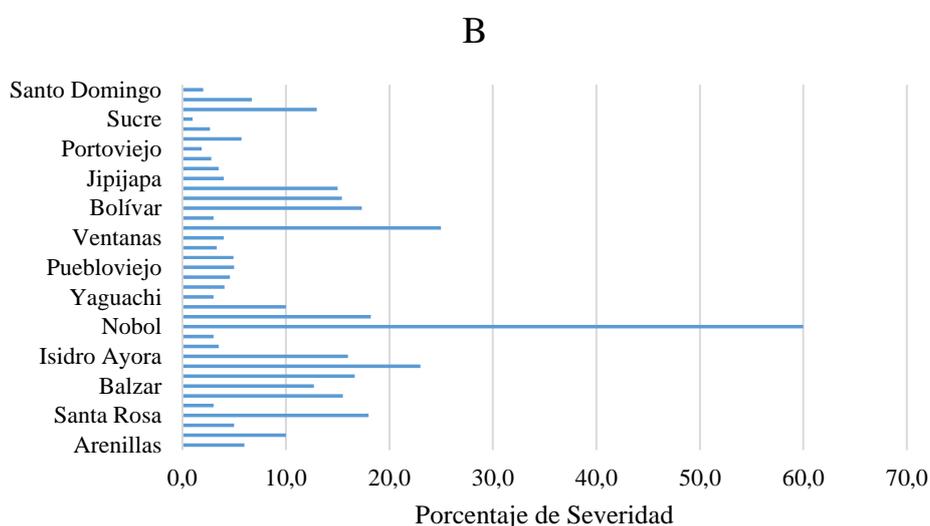
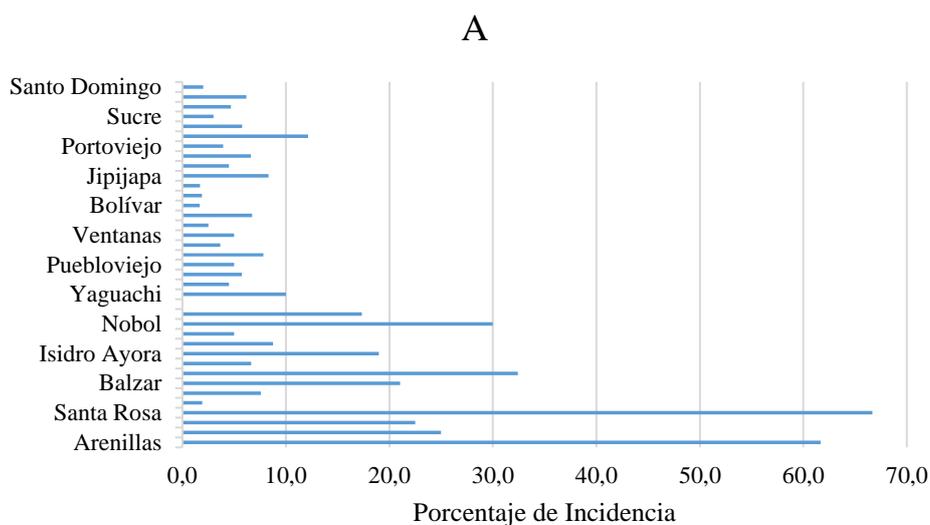


Figura 4. Porcentaje de Incidencia y Severidad de *Spodoptera frugiperda* en diferentes cantones de la Región Costa, Ecuador

Elaborado por: López (2021)

Con relación a la severidad en los diferentes cantones de la Sierra, los mayores porcentajes fueron observados en El Troncal (15,0%), Las Naves (15,0%), Saraguro (15,0%), Biblián (13,6%), Chambo (13,5%), Macará (12,25%), Gonzanamá (11,67%), Echeandía (10,67%), Cañar (10,28%), Azogues (10,14%), Sozoranga (10,00%), Quilanga (10,00%) y Riobamba (9,51%). El resto de las localidades mostraron valores por debajo de 9,50 % (Fig. 7).

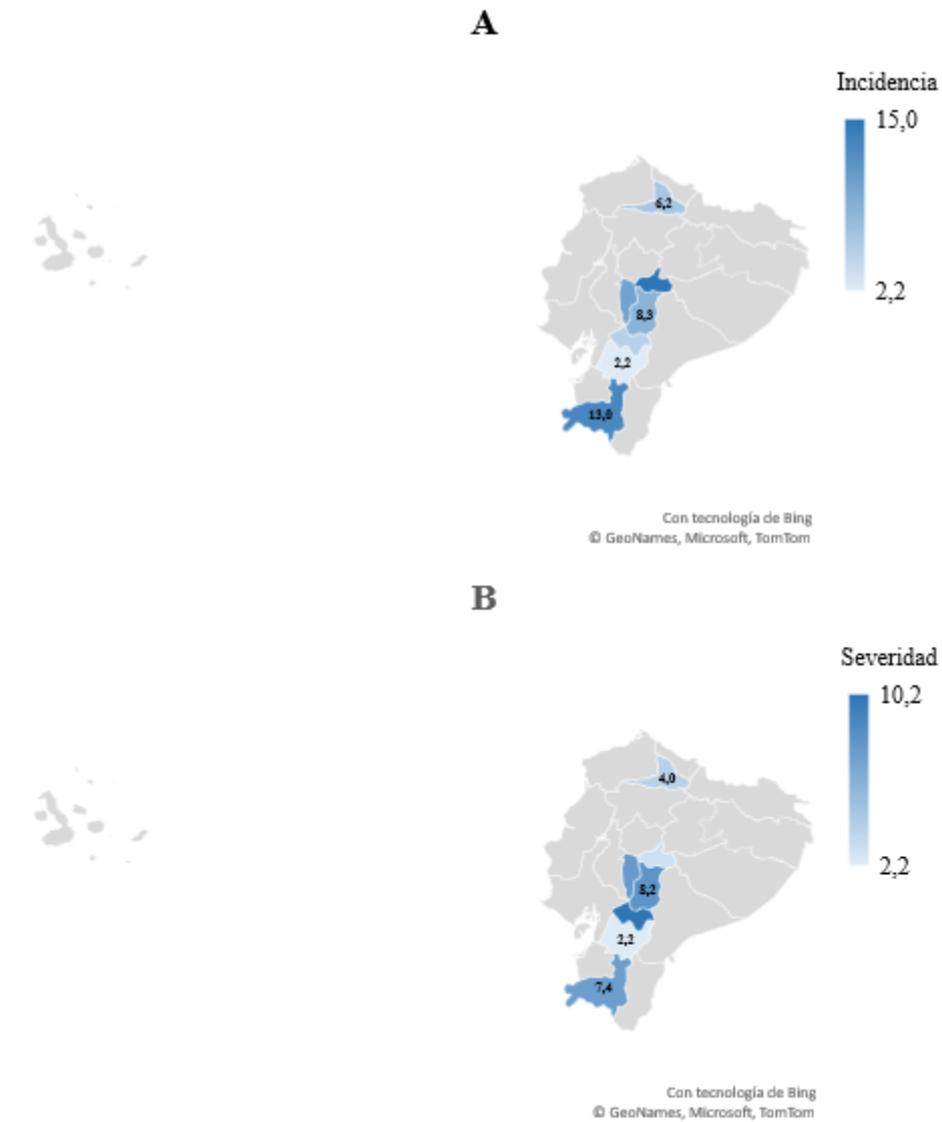


Figura 5. Porcentaje de Incidencia y Severidad de *Spodoptera frugiperda* en las Provincias de la Región Sierra, Ecuador

Elaborado por: López (2021)

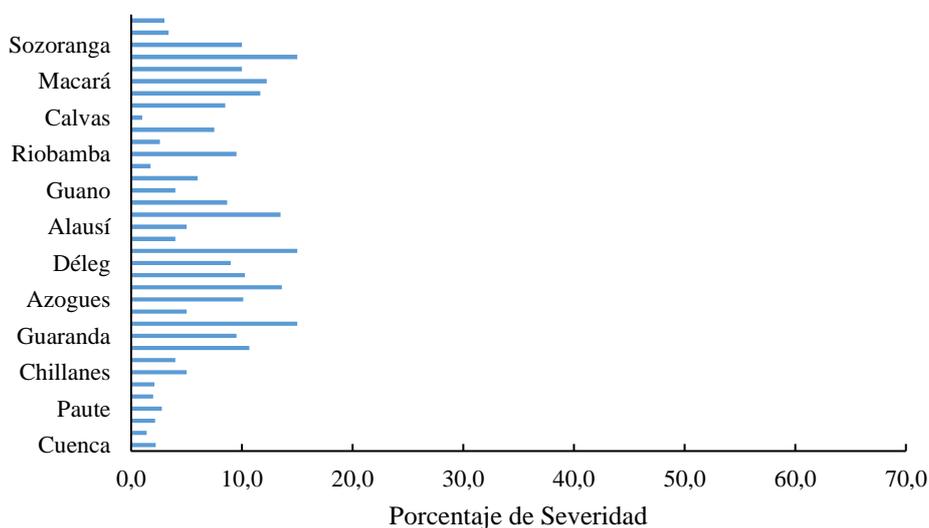
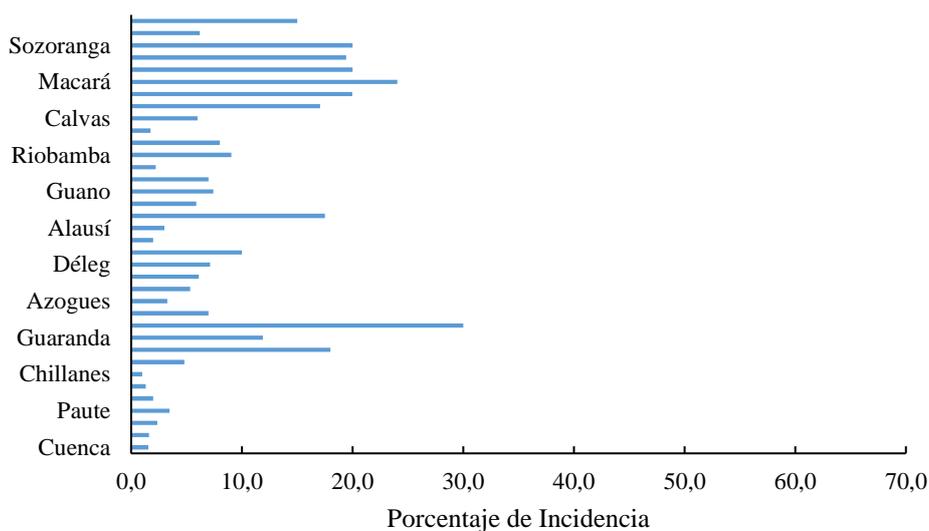


Figura 6. Porcentaje de Incidencia y Severidad de *Spodoptera frugiperda* en diferentes cantones de la Región Sierra, Ecuador

Elaborado por: López (2021)

Finalmente, se detectaron variaciones en el porcentaje de incidencia entre las provincias del Oriente con el mayor valor observado en Orellana (45,00%), mientras que en las provincias Morona Santiago, Napo, Sucumbíos y Pastaza los valores fueron 12,00; 8,19; 7,25 y 6,17 %, respectivamente (Fig. 7A). Una tendencia similar fue mostrada por el porcentaje de severidad, siendo mayor en Orellana con 30,00%, seguido de Napo (10,81%), Sucumbíos (10,000%), Pastaza (6,70%) y Morona Santiago (4,17%) (Fig. 7B).

El porcentaje de incidencia por localidad mostró que Joya de los Sachas obtuvo el mayor valor de incidencia (45%), mientras que, en Logroño, Arosemena Tola, Lago Agrio y Puyo se observaron los menores porcentajes (Fig. 8A).

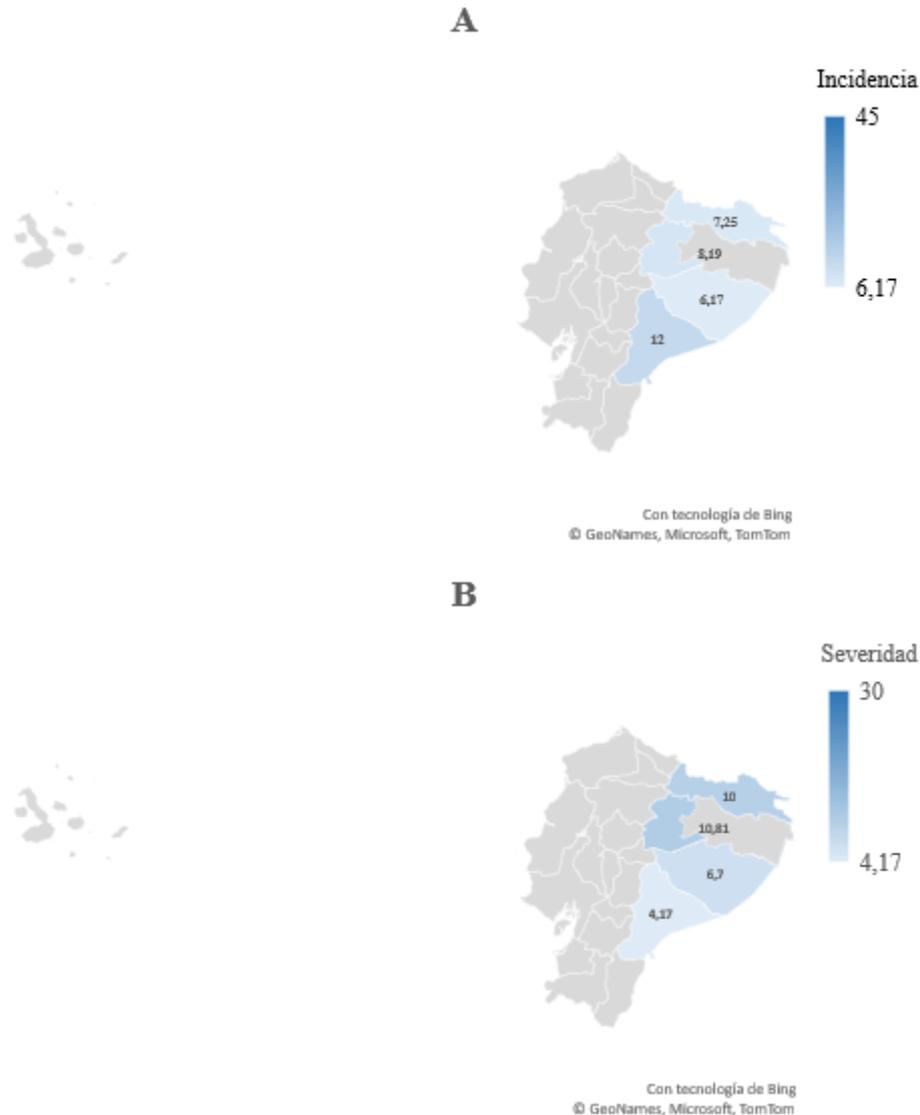
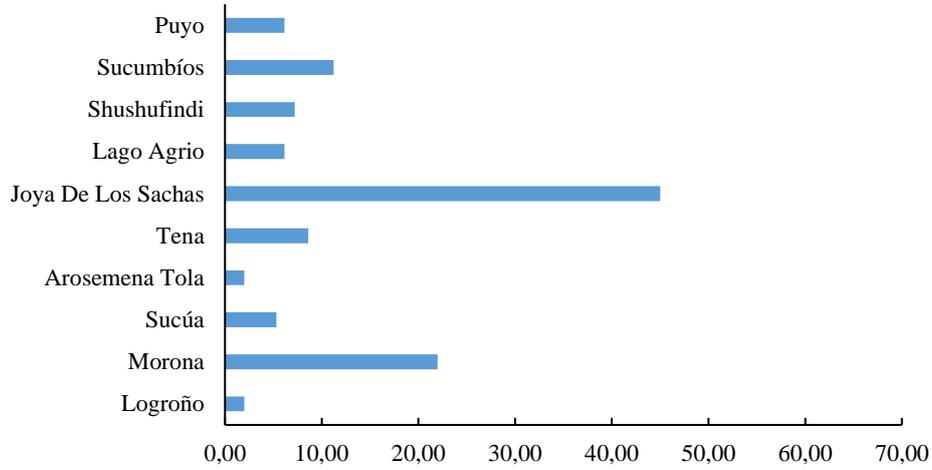


Figura 7. Porcentaje de Incidencia y Severidad de *Spodoptera frugiperda* en las Provincias de la Región Oriente, Ecuador

Elaborado por: López (2021)

En cuanto a la severidad, se observó mayor porcentaje en Joya de los Sachas (30,00%) (provincia Orellana), seguidos de Tena (11,33%) (provincia Napo), Lago Agrio (10,29%) y Shushufindi (10,21%) (provincia Sucumbíos) (Fig. 8B).

A



B

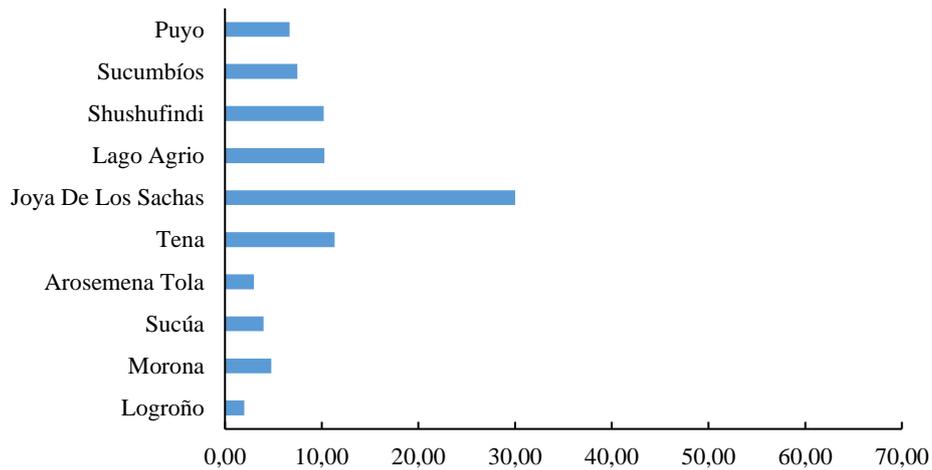


Figura 8. Porcentaje de Incidencia y Severidad de *Spodoptera frugiperda* en diferentes cantones de la Región Oriente, Ecuador

Elaborado por: López (2021)

Tabla 6. Porcentaje promedio de incidencia y severidad de *Spodoptera frugiperda* en la región Oriente, Ecuador

Provincia/Cantón	Porcentaje incidencia	de	Porcentaje severidad	de
Morona Santiago	12,0		4,2	
Logroño	2,0		2,0	
Morona	22,0		4,8	
Sucúa	5,3		4,0	
Napo	8,2		10,8	
Arosemena Tola	2,0		3,0	
Tena	8,6		11,3	
Orellana	45,0		30,0	
Joya de los Sachas	45,0		30,0	
Santa Elena	6,2		6,7	
Santa Elena	6,2		6,7	
Sucumbíos	7,2		10,0	
Lago Agrio	6,1		10,3	
Shushufindi	7,2		10,2	
Sucumbíos	11,3		7,5	
Total General	7,8		8,0	

Elaborado por: López (2021)

4.2. Relacionar la ocurrencia de *S. frugiperda* con la temperatura, Humedad Relativa y precipitación

Se encontró una correlación positiva entre la temperatura, precipitación y humedad relativa con la incidencia de *S. frugiperda* en el cultivo de maíz en las provincias de la zona Costa (Fig. 9), de acuerdo con las curvas de regresión mostradas en la tabla 7.

Tabla 7. Ecuaciones de regresión entre la incidencia de *S. frugiperda* y la temperatura, precipitación y humedad relativa en la región Costa, Ecuador

Parámetro climático	Ecuación	R ²
Temperatura	8,52 + 3,66x	0,7423
Precipitación	8,52 + 4,02x	0,7588
Humedad relativa	8,52 + 3,67x	0,7482

Elaborado por: López (2021)

Con base en los bajos coeficientes de correlación obtenidos, se concluye que no existe correlación entre estos parámetros climáticos y la severidad de *S. frugiperda* en la misma región, solo una tendencia es mostrada en la gráfica 10. De la misma manera, no se observó correlación entre la temperatura, humedad y precipitación con la severidad e incidencia de *S. frugiperda* en las regiones Sierra y Oriente. A pesar de que no se encontró correlación con estos parámetros climáticos, en la Sierra, se observó una tendencia entre la precipitación y la incidencia y severidad.

De acuerdo con Azrag et al. (2018), la temperatura es el factor ambiental más importante que afecta la dinámica poblacional de las especies de insectos puesto que influyen sobre su fisiología y comportamiento, aparte del efecto indirectos sobre la planta hospedera y enemigos naturales. En un estudio sobre los requerimientos térmicos de *Antestiopsis thunbergii* (Hemiptera: Pentatomidae), Azrag et al. (2017) y demostraron que la plaga sobrevive dentro de un rango de temperatura de 14,6 – 32,9 °C, sin embargo, su crecimiento poblacional fue mayor entre 19–25 °C, sugiriendo que la especie se ha adaptado a temperaturas más frías.

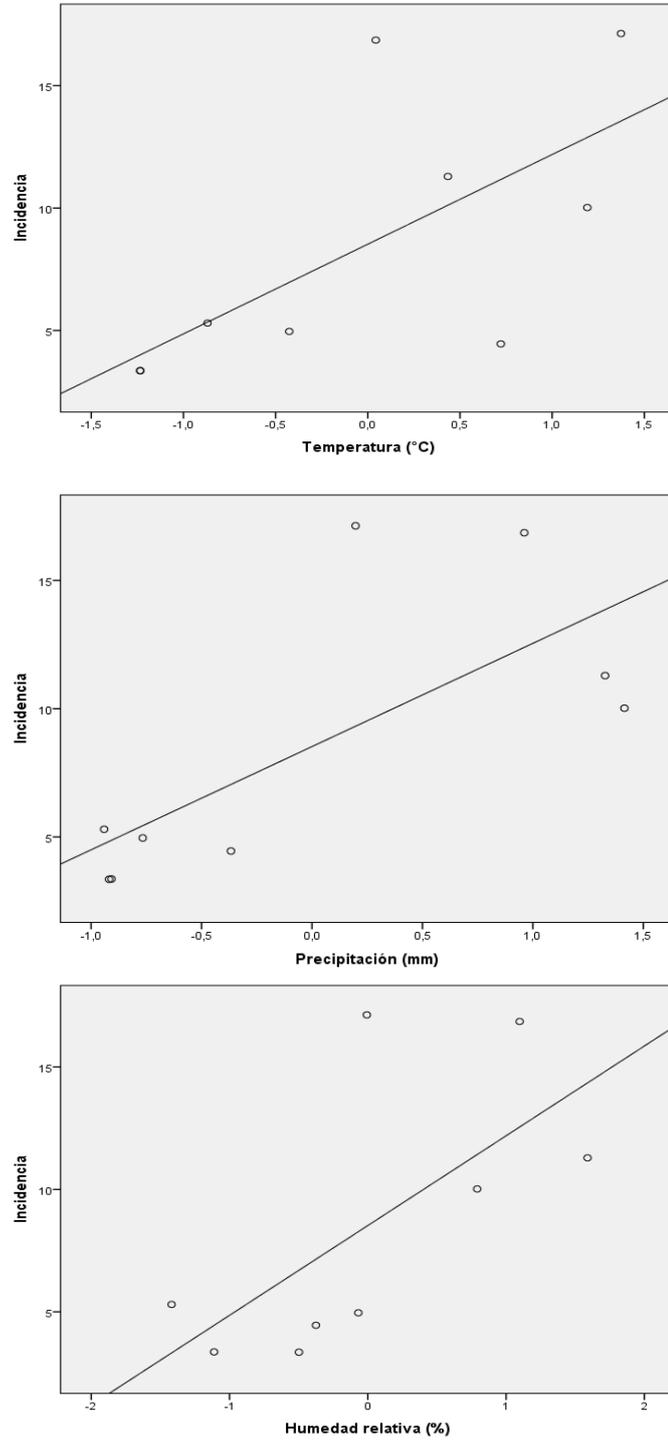


Figura 9. Curvas de regresión lineal entre la incidencia de *S. frugiperda* con la temperatura en la región Costa, Ecuador
 Elaborado por: López (2021)

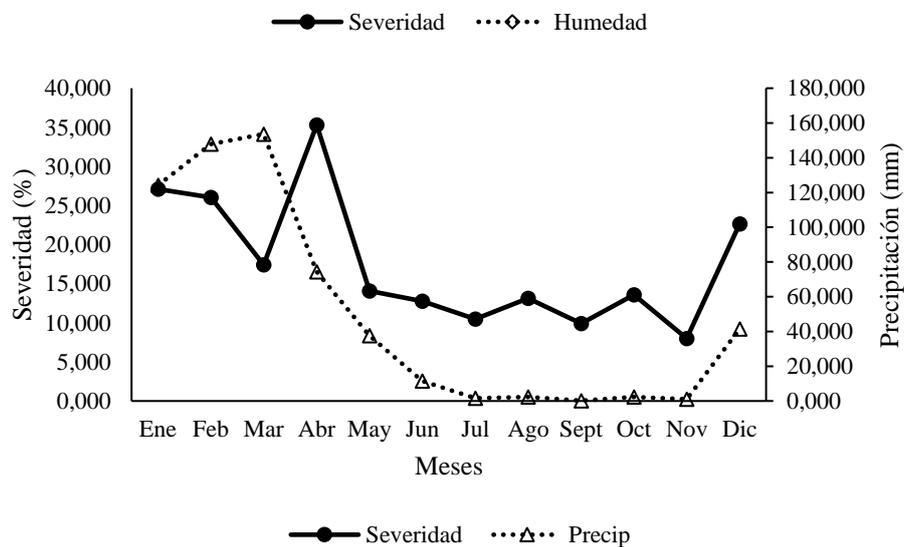
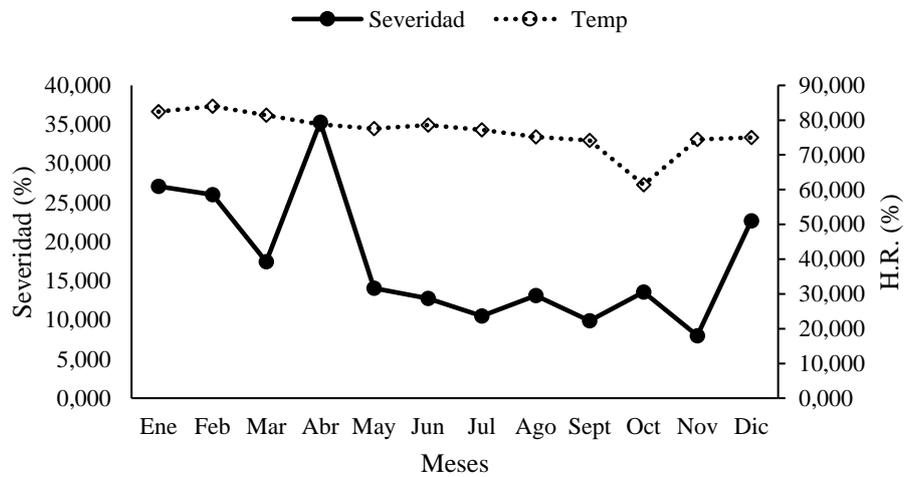
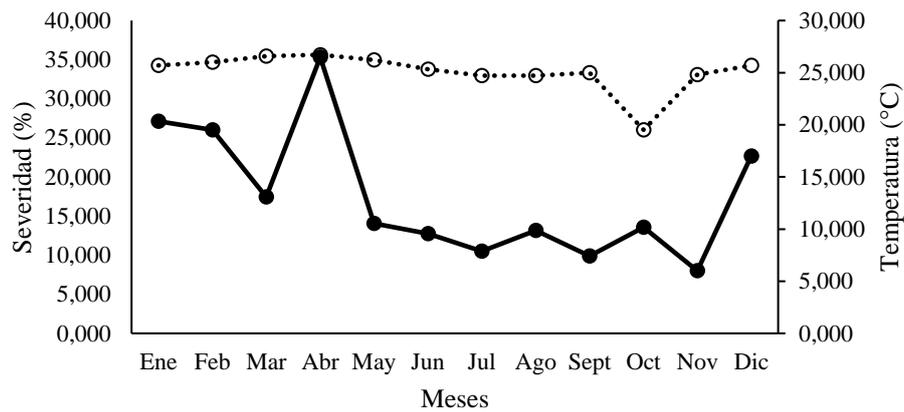
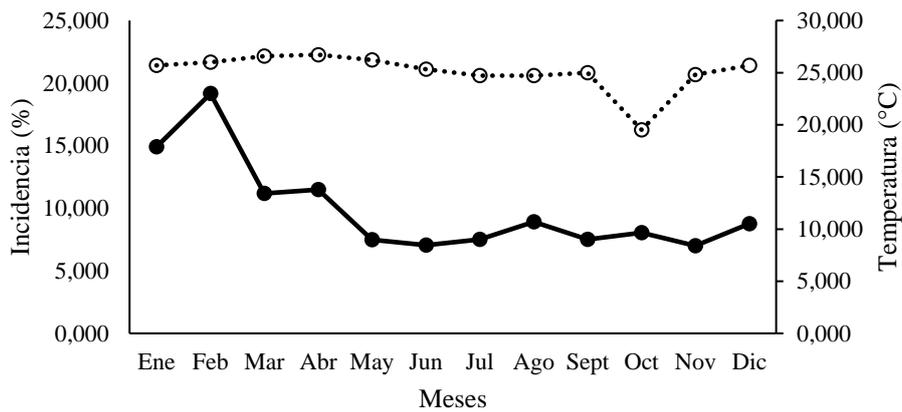
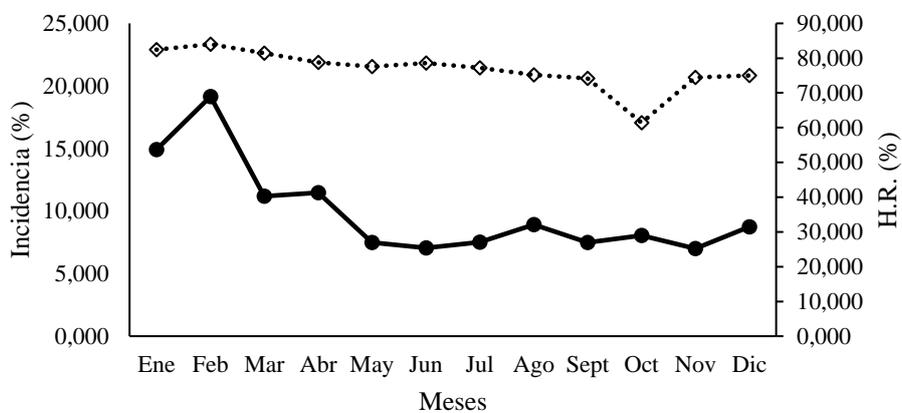


Figura 10. Relación del porcentaje de severidad de *S. frugiperda* con los parámetros climáticos temperatura, humedad relativa y precipitación de la Región Costa

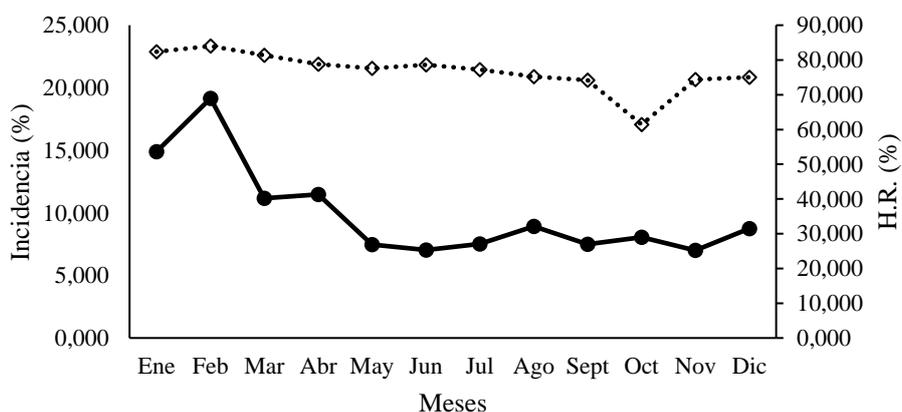
Elaborado por: López (2021)



—●— Incidencia ···○··· Temp



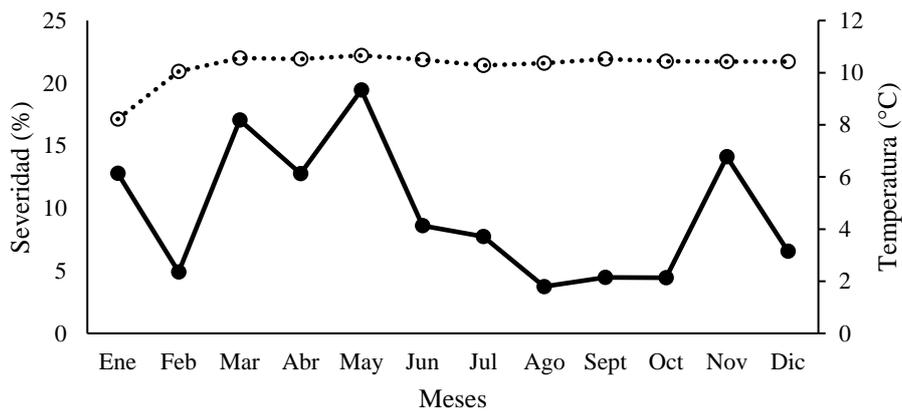
—●— Incidencia ···◇··· Humedad



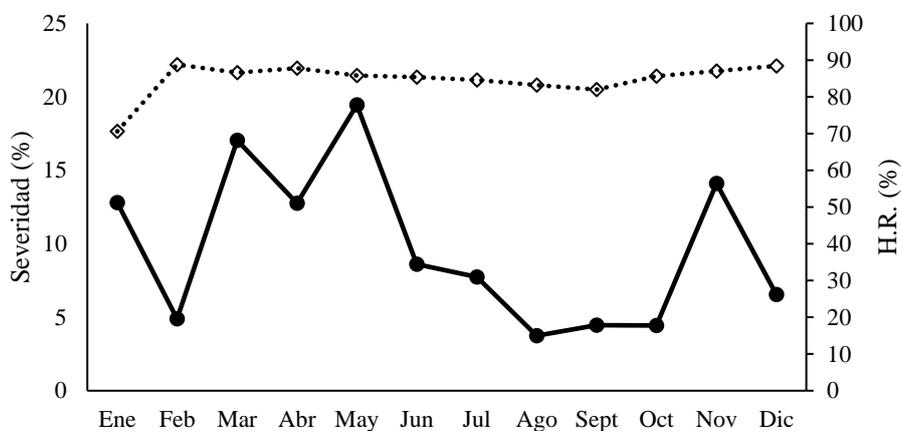
—●— Incidencia ···◇··· Humedad

Figura 11. Relación del porcentaje de incidencia de *S. frugiperda* con los parámetros climáticos temperatura, humedad relativa y precipitación de la Región Costa

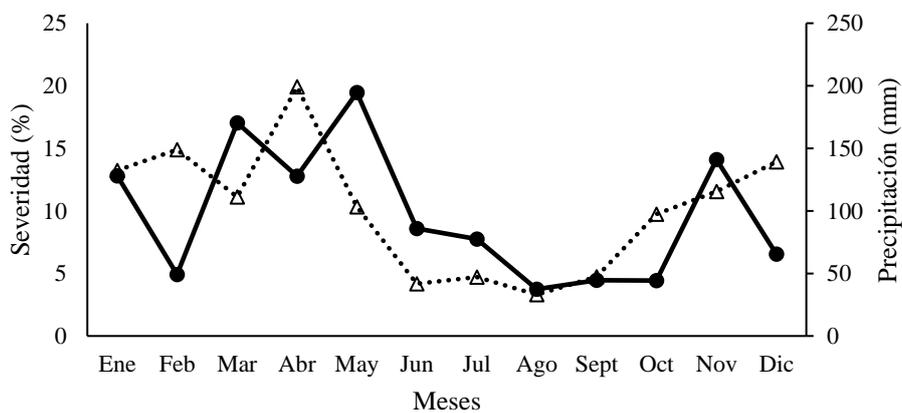
Elaborado por: López (2021)



—●— Severidad ···⊙··· Temperatura



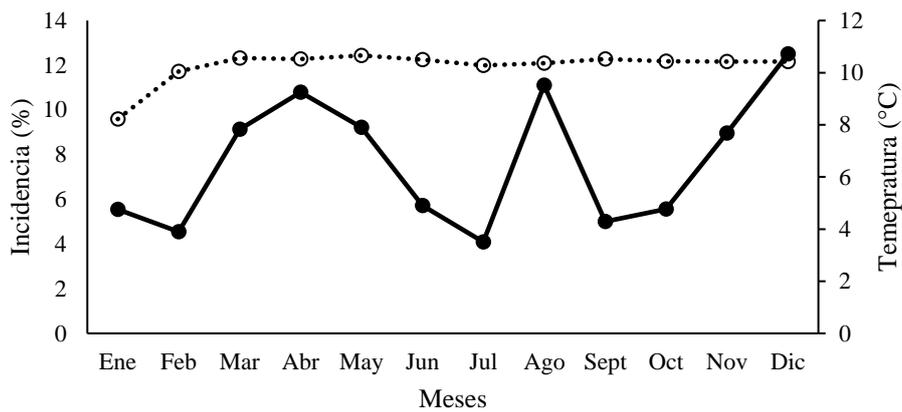
—●— Severidad ···◇··· Humedad



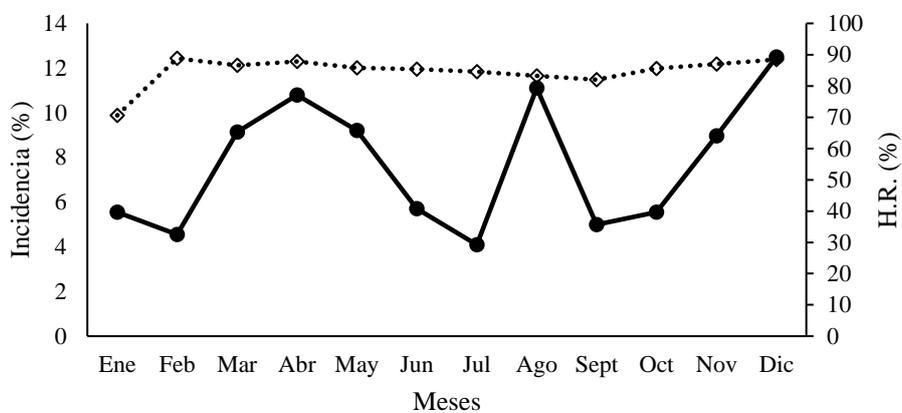
—●— Severidad ···△··· Precipitación

Figura 12. Relación del porcentaje de severidad de *S. frugiperda* con los parámetros climáticos temperatura, humedad relativa y precipitación de la Región Sierra

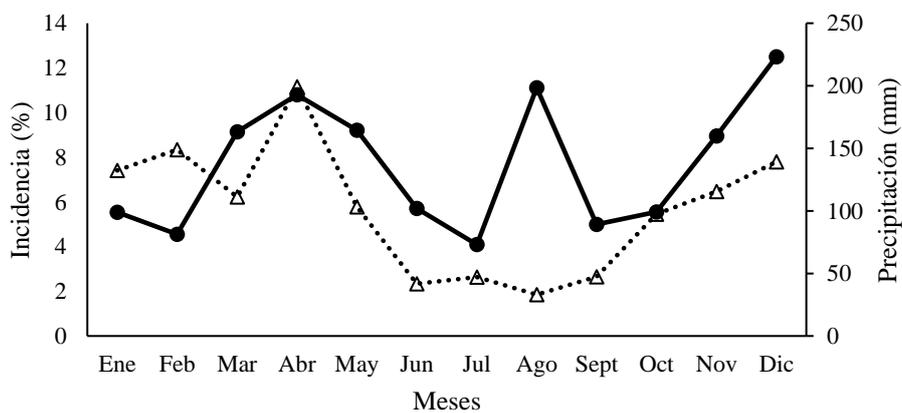
Elaborado por: López (2021)



—●— Incidencia ···⊙··· Temperatura



—●— Incidencia ···◇··· Humedad



—●— Incidencia ···△··· Precipitación

Figura 13. Relación del porcentaje de incidencia de *S. frugiperda* con los parámetros climáticos temperatura, humedad relativa y precipitación de la Región Sierra

Elaborado por: López (2021)

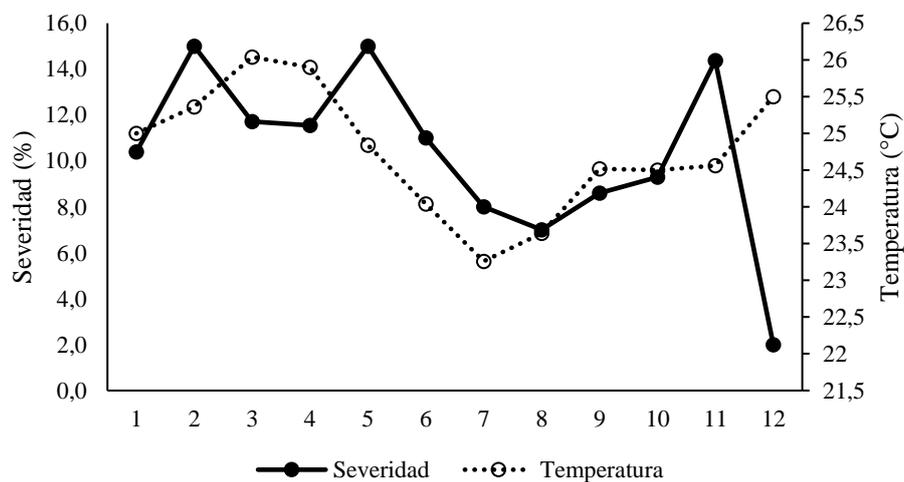
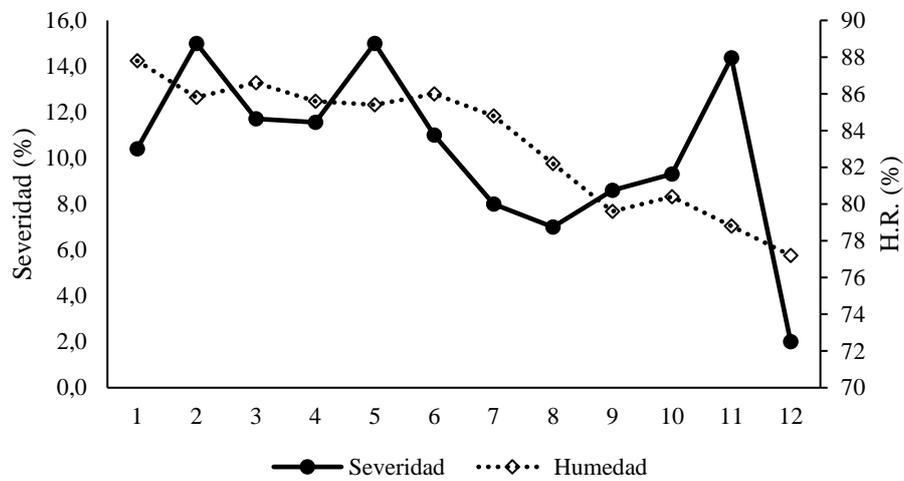
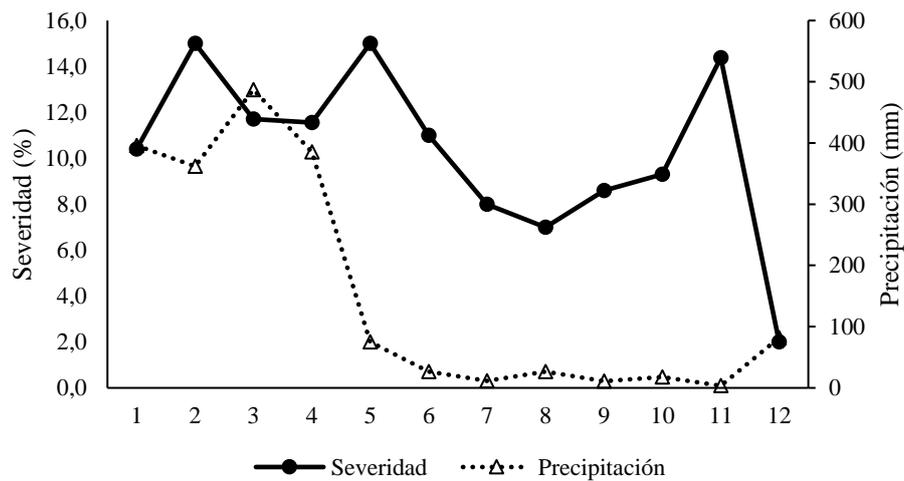


Figura 14. Relación del porcentaje de severidad de *S. frugiperda* con los parámetros climáticos temperatura, humedad relativa y precipitación de la Región Oriente

Elaborado por: López (2021)

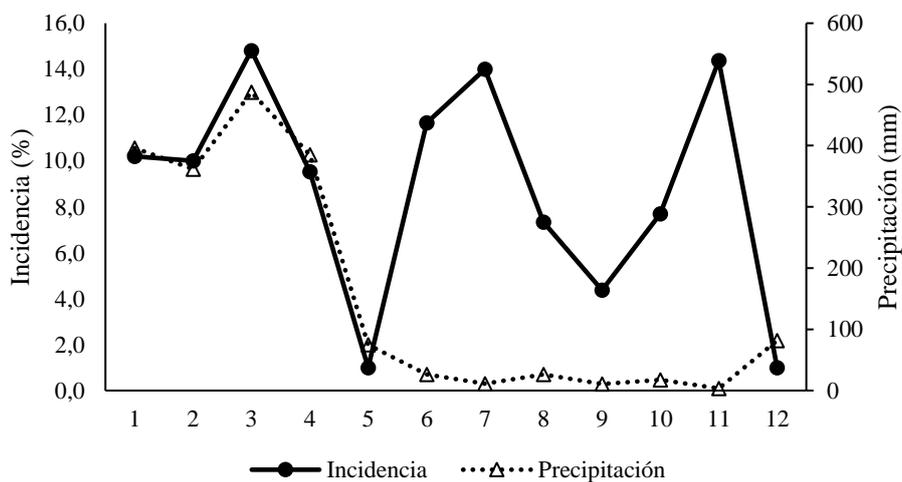
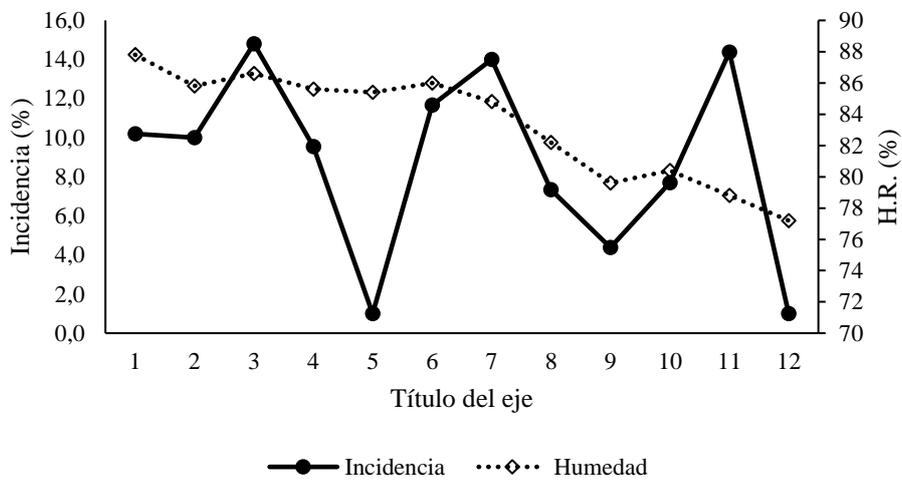
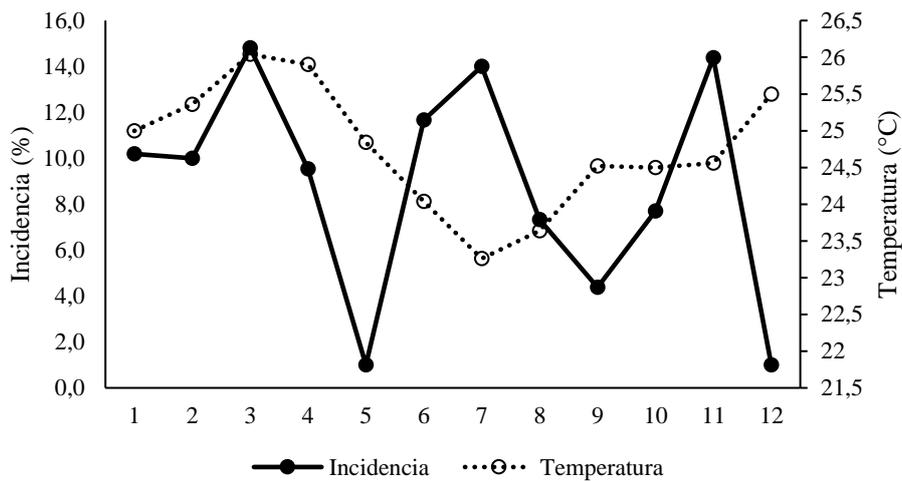


Figura 15. Relación del porcentaje de incidencia de *S. frugiperda* con los parámetros climáticos temperatura, humedad relativa y precipitación de la Región Oriente

Elaborado por: López (2021)

War et al. (2016) señalaron que el incremento de la temperatura y las precipitaciones debido al cambio climático tienen un efecto preponderante sobre la tasa de crecimiento, de desarrollo, reproducción y supervivencia de los insectos, sin embargo, este efecto dependerá de la especie de insecto, de las características de su ciclo de vida y de su adaptabilidad.

Aunque estudios previos han demostrado que la temperatura mínima para el desarrollo de *S. frugiperda* está entre 8,7 y 13,8 °C, se ha establecido que esta especie se desarrolla mejor en el rango entre 32-35 °C, mientras que la mayor supervivencia tasa de fecundidad y longevidad de los adultos la muestra alrededor de 25 °C (entre 20 y 32 °C) (Early et al., 2018). Dado que en la región Costa las temperaturas oscilan en este rango, posiblemente esto explica la fuerte correlación con la incidencia y la temperatura, mientras que, en la Sierra, la temperatura es significativamente menor.

De acuerdo con Early et al. (2018), la influencia de la precipitación y humedad relativa es compleja, puesto que puede provocar tanto efectos directos como indirectos sobre la población de *S. frugiperda*, siendo este último más importante para el tamaño de la población del gusano cogollero debido a que la abundancia tiende a alcanzar su punto máximo durante las temporadas de lluvias, particularmente en sitios más secos, posiblemente debido al mayor crecimiento de las plantas hospedantes, además que se ha observado que las tasas de infestación son más altas en el maíz sin riego, probablemente porque el estrés hídrico de las plantas favorece el desarrollo de los insectos.

Ante la amplia variabilidad mostrada por los parámetros climáticos ante un escenario de cambio climático, los insectos deben mostrar adaptaciones *in situ* o cambiar su distribución hacia zonas con condiciones más favorables, sin embargo, aparte de los factores abióticos, también este cambio climático podría inducir cambios en la planta hospedante que sin lugar a dudar influiría en el crecimiento poblacional de las plagas provocando brotes sin necesidad de alguna variación en la temperatura u otro elemento del clima (Pareek et al., 2017).

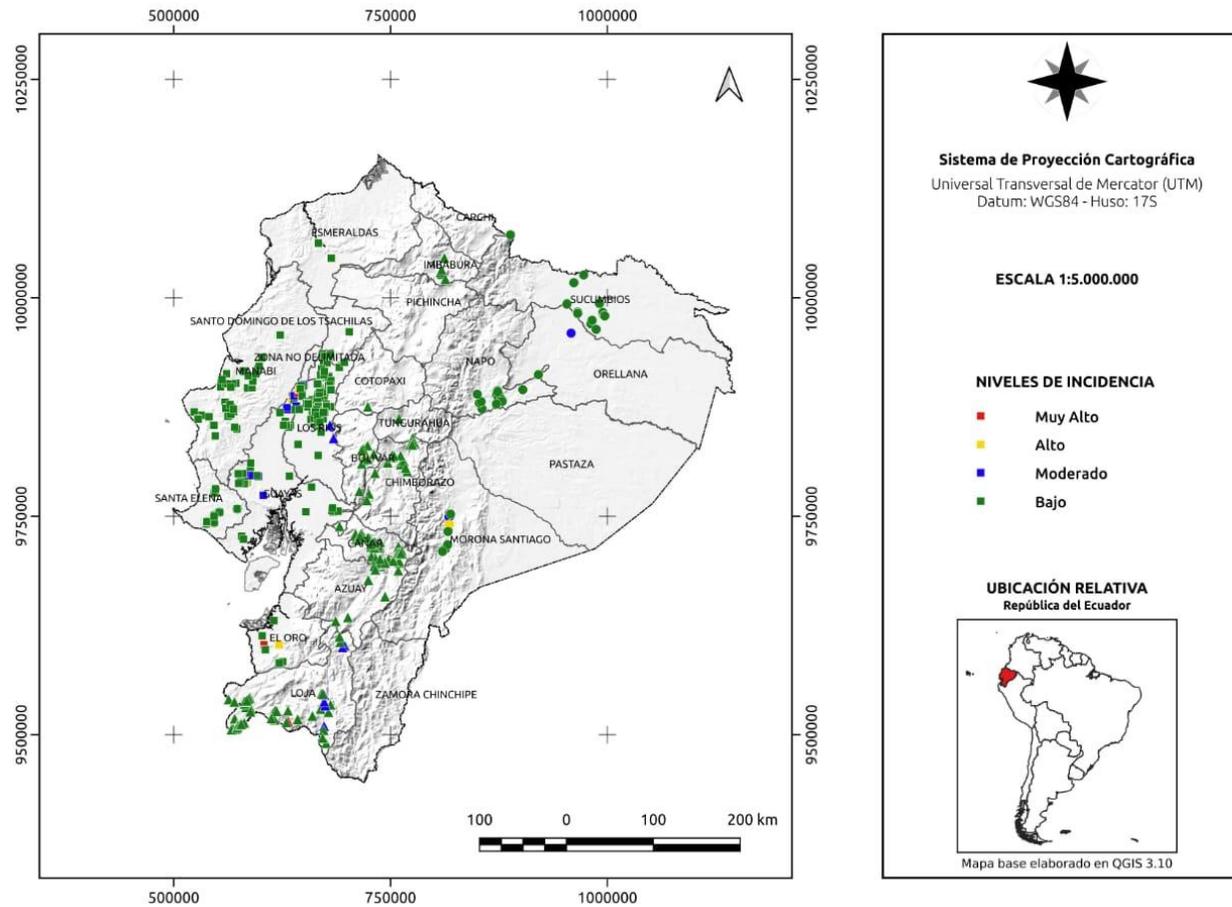


Figura 16. Mapa de distribución e incidencia de *Spodoptera frugiperda* en las regiones Costa, Oriente y Sierra del Ecuador

Elaborado por: López (2021)

CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES

La ocurrencia medida en términos de la incidencia y severidad de *S. frugiperda* mostró amplia variación en las regiones Sierra, Costa y Oriente de Ecuador, siendo mayor en la provincia El Oro y Guayas, seguidas de Orellana en el Oriente, mientras que las provincias de la Sierra con mayor incidencia fueron Tungurahua, Loja y Bolívar.

Se encontró una correlación positiva entre los parámetros climáticos evaluados y la incidencia y la severidad en el cultivo de maíz en las provincias de la zona Costa, mientras que en las regiones Sierra y Oriente no se detectó ningún tipo de correlación entre la temperatura, humedad y precipitación con la severidad e incidencia, aunque si se observó cierta tendencia entre la precipitación y la severidad e incidencia en la región Sierra.

Se provee un mapa donde se muestra tanto la distribución en las diferentes zonas del país, así como de acuerdo con el grado de incidencia de la plaga en las diferentes localidades de muestreo.

5.2 RECOMENDACIONES

En vista de la correlación entre los parámetros climáticos y el comportamiento de la plaga en la región costa, los resultados mostrados en la presente investigación podrían servir como base para el diseño de programas de manejo de *S. frugiperda* con miras a efficientizar las tácticas de control.

En consideración a los resultados obtenidos, se sugiere realizar estudios donde se evalúen los factores abióticos, tales como efecto de los enemigos naturales y de la

planta hospedera, los cuales podrían explicar las amplias variaciones en la dinámica poblacional de la plaga.

Se recomienda realizar el mismo tipo de estudios incluyendo otras plagas en cultivos de importancia económica en el país.

CAPÍTULO VI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abrahams; P; Bateman; M; Beale; T; Clottey; V; Cock; M; Colmenarez; Y; Corniani; N; Early; R; Godwin; J; Gomez; J; Moreno; P; Murphy; ST; Opong-Mensah; B; Phiri; N; Pratt; C; Silvestri; S; Witt; A. 2017. Fall armyworm: Impacts and implications for Africa. In *CABI*. https://doi.org/10.1564/v28_oct_02
- Adiaha, MS. 2017. Economic value of Maize (*Zea mays* L.) in Nigeria and its impacts on the global food production. *International Journal of Scientific World* 6(1): 27. <https://doi.org/10.14419/ijsw.v6i1.8771>
- Alvarado, A; Noriega, M. 2018. Efecto de tres concentraciones de heterorhabditis bacteriophora poinar en la mortalidad de prepupas y pupas de spodoptera frugiperda en laboratorio e invernadero. Universidad Nacional de Trujillo.
- Arias, FG. 2012. El proyecto de Investigación: introducción a la metodología científica (Sexta edic). Editorial Episteme.
- Azrag, AGA; Pirk, CWW; Yusuf, AA; 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>
- Barbosa, MG., André, TPP; Pontes, ADS; Souza, SA; Oliveira, NRX; Pastori, PL. 2020. Insecticide Rotation and Adaptive Fitness Cost Underlying Insecticide Resistance Management for Spodoptera frugiperda (Lepidoptera: Noctuidae). *Neotropical Entomology* 49(6): 882–892. <https://doi.org/10.1007/s13744-020-00800-y>

- Cokola, MC; Mugumaarhahama, Y; Noël, G; Bisimwa, EB; Bugeme, DM; Chuma, GB; Ndeko, AB; Francis, F. 2020. Bioclimatic zonation and potential distribution of *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) in South Kivu Province, DR Congo. *BMC Ecology* 20(1): 1–13. <https://doi.org/10.1186/s12898-020-00335-1>
- De La Vega, GJ; Schilman, PE. 2015. La importancia de la fisiología en la distribución geográfica de los insectos. *Revista de La Sociedad Entomológica Argentina* 74(3–4): 101–108. http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0373-56802015000200001&
- Duarte, JP; Redaelli, LR; Silva, CE; Jahnke, SM. 2020. Effect of *Azadirachta indica* (Sapindales: Meliaceae) oil on the immune system of *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) immatures. *Journal of Insect Science* 20(3): 1–6. <https://doi.org/10.1093/jisesa/ieaa048>
- Early, R; González-Moreno, P; Murphy, ST; Day, R. 2018. Forecasting the global extent of invasion of the cereal pest *Spodoptera frugiperda*, the fall armyworm. *NeoBiota* 50(40): 25–50. <https://doi.org/10.3897/neobiota.40.28165>
- Faithpraise, F; Idung, J; Chatwin, C; Young, R; Birch, P. 2015. Modelling the control of African Armyworm (*Spodoptera exempta*) infestations in cereal crops by deploying naturally beneficial insects. *Biosystems Engineering* 129: 268–276. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2014.11.001>
- Fand, BB; Sul, NT; Bal, SK; Minhas, PS. 2015. Temperature impacts the development and survival of common cutworm (*Spodoptera litura*): Simulation and visualization of potential population growth in India under warmer temperatures through life cycle modelling and spatial mapping. *PLoS ONE* 10(4): 1–25. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0124682>
- FAO. (2020). Datos de cultivos. FAOSTAT. <http://www.fao.org/faostat/es/#data/QC>
- García-Lara, S; Serna-Saldivar, SO. (2016). Insect Pests. In *Encyclopedia of Food and Health* (pp. 432–436). <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-384947->

2.00396-2

- Garcia, AG; Ferreira, CP; Godoy, WAC; Meagher, RL. 2019. A computational model to predict the population dynamics of *Spodoptera frugiperda*. *Journal of Pest Science* 92(2): 429–441. <https://doi.org/10.1007/s10340-018-1051-4>
- Guo, J; Wu, S; Zhang, F; Huang, C; He, K; Babendreier, D; Wang, Z. 2020. Prospects for microbial control of the fall armyworm *Spodoptera frugiperda*: a review. *BioControl* 65(6): 647–662. <https://doi.org/10.1007/s10526-020-10031-0>
- Gutierrez-Moreno, R; Mota-Sanchez, D; Blanco, CA; Chandrasena, D; Difonzo, C; Conner, J; Head, G; Berman, K; Wise, J. 2020. Susceptibility of fall armyworms (*Spodoptera frugiperda* J.E. Smith) from Mexico and Puerto Rico to Bt proteins. *Insects* 11(12): 1–14. <https://doi.org/10.3390/insects11120831>
- Haenniger, S; Goergen, G; Akinbuluma, MD; Kunert, M; Heckel, DG; Unbehend, M. 2020. Sexual communication of *Spodoptera frugiperda* from West Africa: Adaptation of an invasive species and implications for pest management. *Scientific Reports* 10(1): 3–11. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-59708-7>
- Hernández-Sampieri, R; Fernández-Collado, C; Baptista-Lucio, P. 2014. *Metodología de la Investigación*. Sexta edición. McGraw-Hill/Interamericana, S.A.
- Hernandez Sampieri R; Ruíz, AAB. 2015. *Metodología de la investigación* (Vol. 3, Issue 2).
- Hossain, F; Muthusamy, V; Bhat, JS; Jha, SK; Zunjare, R; Das, A; Sarika, K; Kumar, R. 2016. Maize. In M. Singh & S. Kumar (Eds.), *Broadening the Genetic Base of Grain Cereals* (pp. 67–86). <https://doi.org/10.1007/978-81-322-3613-9>
- Houngbo, S; Zannou, A; Aoudji, A; Sossou, HC; Sinzogan, A; Sikirou, R; Zossou, E; Totin Vodounon, HS; Adomou, A; Ahanchédé, A. 2020. Article Farmers' Knowledge and Management Practices of Fall Armyworm, *Spodoptera frugiperda*. *Agriculture* 10: 1–15. www.mdpi.com/journal/agriculture

- Huma, B; Hussain, M; Ning, C; Yuesuo, Y. 2019. Human Benefits from Maize. Scholar Journal of Applied Sciences and Research 2(2): 1–4. www.innovationinfo.org
- Jaramillo-Barrios, CI; Barragán Quijano, E; Monje Andrade, B. 2019. Populations of *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) cause significant damage to genetically modified corn crops. Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín 72(3): 8953–8962. <https://doi.org/10.15446/rfnam.v72n3.75730>
- Karuppuchamy, P; Venugopal, S. 2016. Integrated Pest Management. In Omkar (Ed.), Ecofriendly Pest Management for Food Security (pp. 651–684). Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-803265-7.00021-X>
- Khan, IA; Hassan, G; Malik, N; Khan, R; Khan, H; Khan, SA. 2016. Efeito dos herbicidas no rendimento e nos componentes de rendimento do milho híbrido (*Zea mays*). Planta Daninha 34(4): 729–736. <https://doi.org/10.1590/S0100-83582016340400013>
- Langner, JA; Zanon, AJ; Streck, NA; Reiniger, LRS; Kaufmann, MP; Alves, AF. 2019. Maize: Key agricultural crop in food security and sovereignty in a future with water scarcity | Milho: Cultura agrícola chave na segurança e soberania alimentar num futuro com escassez de água. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental 23(9): 648–654.
- Lima, APS; Santana, EDR; Santos, ACC; Silva, JE; Ribeiro, GT; Pinheiro, AM; Santos, ITBF; Blank, AF; Araújo, APA; Bacci, L. 2020. Insecticide activity of botanical compounds against *Spodoptera frugiperda* and selectivity to the predatory bug *Podisus nigrispinus*. Crop Protection 136: 105230. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2020.105230>
- Malaquias, JB; Godoy, WAC; Garcia, AG; Ramalho, FDS; Omoto, C. 2017. Larval Dispersal of *Spodoptera frugiperda* Strains on Bt Cotton: A Model for Understanding Resistance Evolution and Consequences for its Management. Scientific Reports 7(1): 1–10. <https://doi.org/10.1038/s41598-017-16094-x>
- Matova, PM; Kamutando, CN; Magorokoshko, C; Kutwayo, D; Gutsa, F; Labuschagne, M. 2020. Fall-army worm invasion, control practices and

- prospects of breeding fall-army worm resistant maize in Sub-Saharan Africa: a review. *Agronomy Journal* 60(6): 2951–2970. <https://doi.org/10.1002/csc2.20317>.This
- OECD-FAO. 2018.Cereals Agricultural Outlook 2018-2027. Oced/Fao, 109–126. https://www.oecd-ilibrary.org/agriculture-and-food/oecd-fao-agricultural-outlook-2018-2027_agr_outlook-2018-en
- Ohrnberger, D. 2013. *The Bamboos of the World: annotated Nomenclature and Literature of the Species and the Higher and Lower*. Elsevier, Londres. <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-50020-5.50001-0>
- Ordóñez-García, M; Rios-Velasco, C; Berlanga-Reyes, DI; Acosta-Muñiz, CH; Salas-Marina, MÁ; Cambero-Campos, OJ. 2015. Occurrence of Natural Enemies of *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) in Chihuahua, Mexico. *Florida Entomologist* 98(3): 843–847. <https://doi.org/10.1653/024.098.0305>
- Pareek, A; Meena, BM; Sharma, S; Tetarwal, ML; Kalyan, RK; Meena, BL. 2017. Impact of climate change on insect pests and their natural enemies. In *Climate Change and Sustainable Agriculture* (Vol. 28, Issue 5).
- Rahmawati, D; Samrin, Baharudin; Warda. 2020. Major pests and diseases of maize and availability of control technology. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* 484(1): 1–8. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/484/1/012105>
- Ramirez-Cabral, NYZ; Kumar, L; Shabani, F. 2017. Future climate scenarios project a decrease in the risk of fall armyworm outbreaks. *Journal of Agricultural Science* 155(8): 1219–1238. <https://doi.org/10.1017/S0021859617000314>
- Ranum, P; Peña-Rosas, JP; Garcia-Casal, MN. 2014. Global maize production, utilization, and consumption. *Annals of the New York Academy of Sciences* 1312(1): 105–112. <https://doi.org/10.1111/nyas.12396>
- Rios, ÉS; Martins, ICF; Noronha, MP; da Silva, JA; da Silva, JG; Badji, CA. 2014.

Spatial distribution of *Spodoptera frugiperda* in the wasteland of southern Pernambuco state, Brazil. *Revista de Ciências Agrárias - Amazon Journal of Agricultural and Environmental Sciences* 57(3): 297–304. <https://doi.org/10.4322/rca.ao1461>

Rodríguez, MJ. 2019. Entomopatógenos y uso potencial contra *Spodoptera frugiperda* entomopatógenos y uso potencial contra *Spodoptera frugiperda*. Universidad Nacional Agraria. Lima, Perú.

Rwomushana, I; Bateman, M; Beale, T; Beseh, P; Cameron, K; Chiluba, M; Clottey, V; Davis, T; Day, R; Early, R; Godwin, J; Gonzalez-Moreno, P; Kansime, M; Kenis, M; Makale, F; Mugambi, I; Murphy, SW; N., Phiri, N; ... Tambo, J. 2018. Fall armyworm: impacts and implications for Africa. Evidence note update, October 2018. *Outlooks on Pest Management* 28(5): 18–19. <https://www.invasive-species.org/Uploads/InvasiveSpecies/FAW Evidence Note October 2018.pdf>

Serratos Hernández, JA. 2009. The origin and diversity of maize in the american continent. Universidad Nacional de la Ciudad de México. <http://www.cropwildrelatives.org/fileadmin/www.cropwildrelatives.org/documents/Origin and diversity of maize.pdf>

Sharanabasappa, Kalleshwaraswamy, CM; Maruthi, MS; Pavithra, HB. 2018. Biology of invasive fall army worm *Spodoptera frugiperda* (J.E. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae) on maize. *Indian Journal of Entomology* 80(3): 540–543. <https://doi.org/10.5958/0974-8172.2018.00238.9>

Sisay, B; Simiyu, J; Mendesil, E; Likhayo, P; Ayalew, G; Mohamed, S; Subramanian, S; Tefera, T. 2019. Fall armyworm, *Spodoptera frugiperda* infestations in East Africa: Assessment of damage and parasitism. *Insects* 10(7): 1–10. <https://doi.org/10.3390/insects10070195>

Sokame, BM; Subramanian, S; Kilalo, DC; Juma, G; Calatayud, PA. 2020. Larval dispersal of the invasive fall armyworm, *Spodoptera frugiperda*, the exotic stemborer *Chilo partellus*, and indigenous maize stemborers in Africa. *Entomologia Experimentalis et Applicata* 168(4): 322–331.

<https://doi.org/10.1111/eea.12899>

- Sulong, Y; Zakaria, AJ; Mohamed, S; Sajili, MH; Ngah, N. 2019. Survey on pest and disease of corn (*Zea mays* Linn) grown at bris soil area. *Journal of Agrobiotechnology* 10(101): 75–87.
- Ugalde, N; Balbestre, F. 2016. Investigación cuantitativa e investigación cualitativa: buscando las ventajas de las diferentes metodologías de investigación. *Ciencias Económicas* 31(2): 179–187. <https://revistas.ucr.ac.cr/index.php/economicas/article/download/12730/11978>
- Urassa, JK. 2015. Factors influencing maize crop production at household levels: A case of Rukwa Region in the southern highlands of Tanzania. *African Journal of Agricultural Research* 10(10): 1097–1106. <https://doi.org/10.5897/ajar2014.9262>
- War, AR; Taggar, GK; War, MY; Hussain, B. 2016. Impact of climate change on insect pests, plant chemical ecology, tritrophic interactions and food production. *International Journal of Clinical and Biological Sciences* 1(2): 16–29. <https://doi.org/10.7324/ijcbs.2016.121629>
- Westbrook, JK; Nagoshi, RN; Meagher, RL; Fleischer, SJ; Jairam, S. 2016. Modeling seasonal migration of fall armyworm moths. *International Journal of Biometeorology* 60(2): 255–267. <https://doi.org/10.1007/s00484-015-1022-x>
- Wu, Q; He, LM; Shen, XJ; Jiang, YY; Liu, J; Hu, G; Wu, K. 2019. Estimation of the potential infestation area of newly-invaded fall armyworm *spodoptera frugiperda* in the yangtze river valley of China. *Insects* 10(9): 1–15. <https://doi.org/10.3390/insects10090298>
- Zagal, J. 2015. Incidencia y severidad de *Spodoptera frugiperda* J.E. Smith en cuatro híbridos comerciales de *Zea Mays* L. en Virú - La Libertad. Universidad Nacional de Trujillo.
- Zampieri, M; Ceglar, A; Dentener, F; Dosio, A; Naumann, G; van den Berg, M;

Toreti, A. 2019. When Will Current Climate Extremes Affecting Maize Production Become the Norm? *Earth's Future* 7(2): 113–122.
<https://doi.org/10.1029/2018EF000995>

CAPÍTULO VII. ANEXOS

PRUEBAS ESTADÍSTICAS

1. ANÁLISIS DE CORRELACIÓN DE PEARSON ENTRE INCIDENCIA CON LOS PARÁMETROS CLIMÁTICOS a. REGIÓN COSTA

INCIDENCIA

Statistix 10,0
6/2/2021; 8:34:53

Costa.sx;

Correlations (Pearson)

	Humedad	Temp	Precip	Incidenci
Humedad	1,0000			
p-value	0,0000			
Temp	0,8955	1,0000		
	0,0001	0,0000		
Precip	0,6844	0,4958	1,0000	
	0,0141	0,1011	0,0000	
Incidenci	0,5921	0,3143	0,8502	1,0000
	0,0425	0,0319	0,0005	0,0000

Cronbach's alpha 0,2902
Standardized Cronbach's alpha 0,8761

Cases Included 12 Missing Cases 0

SEVERIDAD

Statistix 10,0
6/2/2021; 8:43:16

Costa.sx;

Correlations (Pearson)

	Humedad	Temp	Precip	Severidad
Humedad	1,0000			
p-value	0,0000			
Temp	0,8955	1,0000		
	0,0001	0,0000		
Precip	0,6844	0,4958	1,0000	
	0,0141	0,1011	0,0000	
Severidad	0,4444	0,4026	0,6714	1,0000
	0,0148	0,0194	0,0168	0,0000

Cronbach's alpha 0,3529
Standardized Cronbach's alpha 0,8567

Cases Included 12 Missing Cases 0

Cases Included 12 Missing Cases 0

b. REGION SIERRA

INCIDENCIA

Statistix 10,0 Sierra.sx;
6/2/2021; 7:51:17

Correlations (Pearson)

	Incidenci	Humedad	Temperatu	Precipita
Incidenci	1,0000			
p-value	0,0000			
Humedad	0,3285	1,0000		
	0,2971	0,0000		
Temperatu	0,3126	0,8574	1,0000	
	0,3225	0,0004	0,0000	
Precipita	0,3285	0,1700	-0,1986	1,0000
	0,2971	0,5973	0,5362	0,0000

Cronbach's alpha 0,0874
Standardized Cronbach's alpha 0,6313

Fleiss' Kappa -0,085

Cases Included 12 Missing Cases 0

SEVERIDAD

Statistix 10,0 Sierra;
6/2/2021; 7:57:33

Correlations (Pearson)

	Severidad	Precipita	Humedad	Temperatu
Severidad	1,0000			
p-value	0,0000			
Precipita	0,3599	1,0000		
	0,2506	0,0000		
Humedad	-0,0451	0,1700	1,0000	
	0,8893	0,5973	0,0000	
Temperatu	-0,0353	-0,1986	0,8574	1,0000
	0,9134	0,5362	0,0004	0,0000

Cronbach's alpha 0,1234
Standardized Cronbach's alpha 0,4754

Cases Included 12 Missing Cases 0

c. REGIÓN ORIENTE

Statistix 10,0
6/2/2021; 7:46:08

Oriente1.sx;

Correlations (Pearson)

	Severidad	Humedad	Precipita	Temperatu
Severidad	1,0000			
p-value	0,0000			
Humedad	0,5024	1,0000		
	0,0960	0,0000		
Precipita	0,3110	0,6400	1,0000	
	0,3251	0,0250	0,0000	
Temperatu	0,1937	0,1397	0,7639	1,0000
	0,5465	0,6651	0,0038	0,0000

Cronbach's alpha 0,0557
Standardized Cronbach's alpha 0,7473

Cases Included 12 Missing Cases 0

INCIDENCIA

Statistix 10,0
6/2/2021; 8:17:04

Oriente1.sx;

Correlations (Pearson)

	Incidenci	Temperatu	Humedad	Precipita
Incidenci	1,0000			
p-value	0,0000			
Temperatu	-0,1075	1,0000		
	0,7394	0,0000		
Humedad	0,3954	0,1397	1,0000	
	0,2034	0,6651	0,0000	
Precipita	0,2967	0,7639	0,6400	1,0000
	0,3489	0,0038	0,0250	0,0000

Cronbach's alpha 0,0589
Standardized Cronbach's alpha 0,6874

Cases Included 12 Missing Cases 0

2. REGRESIÓN LINEAL

a. REGIÓN COSTA

TEMPERATURA E INCIDENCIA

Statistix 10,0
5/2/2021; 17:56:36

Oriente.sx;

Least Squares Linear Regression of Incidenci

NOTE: Model Forced through origin

Predictor Variables	Coefficient	Std Error	T	P	
Temp	0,39637	0,04113	9,64	0,0000	
R ²	0,8941	Mean Square Error (MSE)		12,8376	
Adjusted R ²	0,8845	Standard Deviation		3,58296	
Centered R ²	0,0856				
AICc	34,918				
PRESS	169,58				
Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	1	1192,53	1192,53	92,89	0,0000
Residual	11	141,21	12,8376		
Total	12	1333,74			
Lack of Fit	9	121,31	13,4794	1,35	0,4951
Pure Error	2	19,90	9,94942		
Cases Included	12	Missing Cases	0		

PRECIPITACIÓN E INCIDENCIA

Statistix 10,0
5/2/2021; 17:55:40

Oriente.sx;

Least Squares Linear Regression of Incidencia

NOTE: Model Forced through origin

Predictor Variables	Coefficient	Std Error	T	P	
Precip	0,11538	0,02302	5,01	0,0004	
R ²	0,6955	Mean Square Error (MSE)		36,9195	
Adjusted R ²	0,6678	Standard Deviation		6,07614	
Centered R ²	-1,6298				
AICc	47,594				
PRESS	469,22				
Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	1	927,63	927,628	25,13	0,0004
Residual	11	406,11	36,9195		
Total	12	1333,74			
Cases Included	12	Missing Cases	0		

HUMEDAD E INCIDENCIA

Statistix 10,0
5/2/2021; 17:55:03

Oriente.sx;

Least Squares Linear Regression of Incidenci

NOTE: Model Forced through origin

Predictor Variables	Coefficient	Std Error	T	P
----------------------------	--------------------	------------------	----------	----------

Humedad 0,13060 0,01260 10,36 0,0000

R² 0,9071 Mean Square Error (MSE) 11,2697
 Adjusted R² 0,8986 Standard Deviation 3,35704
 Centered R² 0,1972
 AICc 33,355
 PRESS 150,95

Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	1	1209,78	1209,78	107,35	0,0000
Residual	11	123,97	11,2697		
Total	12	1333,74			

Cases Included 12 Missing Cases 0

Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	1	54,140	54,1400	5,40	0,0425
Residual	10	100,286	10,0286		
Total	11	154,426			

Cases Included 12 Missing Cases 0

TEMPERATURA Y SEVERIDAD

Statistix 10,0
 5/2/2021; 18:43:00

Oriente.sx;

Least Squares Linear Regression of Severidad

NOTE: Model Forced through origin

Predictor Variables	Coefficient	Std Error	T	P
Temp	0,70471	0,09125	7,72	0,0000

R² 0,8443 Mean Square Error (MSE) 63,2052
 Adjusted R² 0,8301 Standard Deviation 7,95017
 Centered R² 0,1022
 AICc 54,046
 PRESS 836,30

Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	1	3769,48	3769,48	59,64	0,0000
Residual	11	695,26	63,2052		
Total	12	4464,74			

Lack of Fit	9	681,87	75,7636	11,32	0,0838
Pure Error	2	13,38	6,69216		

Cases Included 12 Missing Cases 0

PRECIPITACIÓN Y SEVERIDAD

Statistix 10,0
 5/2/2021; 18:52:18

Oriente.sx;

Least Squares Linear Regression of Severidad

NOTE: Model Forced through origin

Predictor Variables	Coefficient	Std Error	T	P
Precip	0,20410	0,04515	4,52	0,0009
R ²	0,6501	Mean Square Error (MSE)		142,028
Adjusted R ²	0,6183	Standard Deviation		11,9176
Centered R ²	-1,0174			
AICc	63,762			
PRESS	1918,3			

Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	1	2902,43	2902,43	20,44	0,0009
Residual	11	1562,31	142,028		
Total	12	4464,74			

Cases Included 12 Missing Cases 0

HUMEDAD Y SEVERIDAD

Statistix 10,0
5/2/2021; 18:53:07

Oriente.sx;

Least Squares Linear Regression of Severidad

NOTE: Model Forced through origin

Predictor Variables	Coefficient	Std Error	T	P
Humedad	0,23084	0,02963	7,79	0,0000
R ²	0,8466	Mean Square Error (MSE)		62,2584
Adjusted R ²	0,8327	Standard Deviation		7,89040
Centered R ²	0,1157			
AICc	53,865			
PRESS	820,36			

Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	1	3779,90	3779,90	60,71	0,0000
Residual	11	684,84	62,2584		
Total	12	4464,74			

Cases Included 12 Missing Cases 0

b. REGIÓN SIERRA

TEMPERATURA E INCIDENCIA

Statistix 10,0
6/2/2021; 8:04:40

Sierra;

Least Squares Linear Regression of Incidencia

NOTE: Model Forced through origin

Predictor Variables	Coefficient	Std Error	T	P
---------------------	-------------	-----------	---	---

Centered R² -0,6975
 AICc 36,324
 PRESS 182,43

Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	1	642,550	642,550	44,52	0,0000
Residual	11	158,770	14,4336		
Total	12	801,320			

Cases Included 12 Missing Cases 0

TEMPERATURA Y SEVERIDAD

Statistix 10,0
 6/2/2021; 8:03:56

Sierra;

Least Squares Linear Regression of Severidad

NOTE: Model Forced through origin

Predictor Variables	Coefficient	Std Error	T	P
Temperatu	0,94395	0,15239	6,19	0,0001
R ²	0,7772	Mean Square Error (MSE)		29,3593
Adjusted R ²	0,7569	Standard Deviation		5,41843
Centered R ²	-0,0216			
AICc	44,845			
PRESS	385,42			

Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	1	1126,52	1126,52	38,37	0,0001
Residual	11	322,95	29,3593		
Total	12	1449,47			

Lack of Fit	9	259,93	28,8812	0,92	0,6235
Pure Error	2	63,02	31,5109		

Cases Included 12 Missing Cases 0

HUMEDAD Y SEVERIDAD

Statistix 10,0
 6/2/2021; 8:03:09

Sierra;

Least Squares Linear Regression of Severidad

NOTE: Model Forced through origin

Predictor Variables	Coefficient	Std Error	T	P
Humedad	0,11431	0,01844	6,20	0,0001
R ²	0,7775	Mean Square Error (MSE)		29,3175
Adjusted R ²	0,7573	Standard Deviation		5,41457
Centered R ²	-0,0202			

AICc 44,827
PRESS 384,02

Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	1	1126,98	1126,98	38,44	0,0001
Residual	11	322,49	29,3175		
Total	12	1449,47			

Cases Included 12 Missing Cases 0

PRECIPITACIÓN Y SEVERIDAD

Statistix 10,0
6/2/2021; 8:02:40

Sierra;

Least Squares Linear Regression of Severidad

NOTE: Model Forced through origin

Predictor Variables	Coefficient	Std Error	T	P
Precipita	0,08495	0,01454	5,84	0,0001
R ²	0,7562	Mean Square Error (MSE)		32,1228
Adjusted R ²	0,7341	Standard Deviation		5,66770
Centered R ²	-0,1178			
AICc	45,924			
PRESS	434,73			

Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	1	1096,12	1096,12	34,12	0,0001
Residual	11	353,35	32,1228		
Total	12	1449,47			

Cases Included 12 Missing Cases 0

c. REGIÓN ORIENTE

TEMPERATURA E INCIDENCIA

Statistix 10,0
6/2/2021; 8:18:12

Oriente1.sx;

Least Squares Linear Regression of Incidenci

NOTE: Model Forced through origin

Predictor Variables	Coefficient	Std Error	T	P
Temperatu	0,35566	0,05617	6,33	0,0001
R ²	0,7847	Mean Square Error (MSE)		23,2426
Adjusted R ²	0,7651	Standard Deviation		4,82106
Centered R ²	-0,0178			
AICc	42,041			
PRESS	304,71			

Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	1	931,85	931,852	40,09	0,0001
Residual	11	255,67	23,2426		
Total	12	1187,52			

Cases Included 12 Missing Cases 0

HUMEDAD E INCIDENCIA

Statistix 10,0
6/2/2021; 8:21:00

Orientel.sx;

Least Squares Linear Regression of Incidenci

NOTE: Model Forced through origin

Predictor Variables	Coefficient	Std Error	T	P
Humedad	0,10668	0,01607	6,64	0,0000
R ²	0,8003	Mean Square Error (MSE)	21,5565	
Adjusted R ²	0,7822	Standard Deviation	4,64290	
Centered R ²	0,0560			
AICc	41,137			
PRESS	280,94			

Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	1	950,40	950,398	44,09	0,0000
Residual	11	237,12	21,5565		
Total	12	1187,52			

Cases Included 12 Missing Cases 0

PRECIPITACIÓN E INCIDENCIA

Statistix 10,0
6/2/2021; 8:21:59

Orientel.sx;

Least Squares Linear Regression of Incidenci

NOTE: Model Forced through origin

Predictor Variables	Coefficient	Std Error	T	P
Precipita	0,02846	9,126E-03	3,12	0,0098
R ²	0,4693	Mean Square Error (MSE)	57,2871	
Adjusted R ²	0,4211	Standard Deviation	7,56882	
Centered R ²	-1,5087			
AICc	52,866			
PRESS	634,00			

Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	1	557,36	557,362	9,73	0,0098
Residual	11	630,16	57,2871		
Total	12	1187,52			

Cases Included 12 Missing Cases 0

TEMPERATURA Y SEVERIDAD

Statistix 10,0
6/2/2021; 8:34:53

Costa.sx;

Correlations (Pearson)

	Humedad	Temp	Precip	Incidenci
Humedad	1,0000			
p-value	0,0000			
Temp	0,8955	1,0000		
	0,0001	0,0000		
Precip	0,6844	0,4958	1,0000	
	0,0141	0,1011	0,0000	
Incidenci	0,5921	0,3143	0,8502	1,0000
	0,0425	0,3198	0,0005	0,0000

Cronbach's alpha 0,2902
Standardized Cronbach's alpha 0,8761

Cases Included 12 Missing Cases 0

HUMEDAD Y SEVERIDAD

Statistix 10,0
6/2/2021; 8:32:21

Orientel.sx;

Least Squares Linear Regression of Severidad

NOTE: Model Forced through origin

Predictor

Variables	Coefficient	Std Error	T	P
Humedad	0,12465	0,01226	10,17	0,0000

R² 0,9038 Mean Square Error (MSE) 12,5487
Adjusted R² 0,8951 Standard Deviation 3,54241
Centered R² 0,1042
AICc 34,645
PRESS 162,43

Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	1	1297,38	1297,38	103,39	0,0000
Residual	11	138,04	12,5487		
Total	12	1435,42			

Cases Included 12 Missing Cases 0

PRECIPITACIÓN Y SEVERIDAD

Statistix 10,0
6/2/2021; 8:30:46

Orientel.sx;

Least Squares Linear Regression of Severidad

NOTE: Model Forced through origin

Predictor

Variables	Coefficient	Std Error	T	P
Precipita	0,03180	9,887E-03	3,22	0,0082
R ²	0,4847	Mean Square Error (MSE)		67,2378
Adjusted R ²	0,4379	Standard Deviation		8,19987
Centered R ²	-3,8000			
AICc	54,788			
PRESS	771,83			

Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	1	695,80	695,804	10,35	0,0082
Residual	11	739,62	67,2378		
Total	12	1435,42			

Cases Included 12 Missing Cases 0