



UNIVERSIDAD
NACIONAL
DE COLOMBIA

Modelos lineales para la determinación de la tendencia poblacional de nóctuidos asociados al cultivo de uchuva

Sebastián Alfonso Guzmán Cabrera

Universidad Nacional de Colombia

Escuela de Biociencias

Medellín, Colombia

Año 2020

Modelos lineales para la determinación de la tendencia poblacional de nóctuidos asociados al cultivo de la uchuva

Sebastián Alfonso Guzmán Cabrera

Tesis o trabajo de investigación presentada(o) como requisito parcial para optar al
título de:

Magister en Ciencias – Entomología

Director (a):

Ph.D., I.A. Adelaida María Gaviria Rivera

Codirector (a):

Ph.D., I.A: Darío Antonio Castañeda Sánchez

Línea de Investigación:

Manejo Integrado de Plagas

Grupo de Investigación:

Interacciones Biológicas

Universidad Nacional de Colombia

Escuela de Biociencias

Medellín, Colombia

Año 202

Declaración de obra original

Yo declaro lo siguiente:

He leído el Acuerdo 035 de 2003 del Consejo Académico de la Universidad Nacional. «Reglamento sobre propiedad intelectual» y la Normatividad Nacional relacionada al respeto de los derechos de autor. Esta disertación representa mi trabajo original, excepto donde he reconocido las ideas, las palabras, o materiales de otros autores.

Cuando se han presentado ideas o palabras de otros autores en esta disertación, he realizado su respectivo reconocimiento aplicando correctamente los esquemas de citas y referencias bibliográficas en el estilo requerido.

He obtenido el permiso del autor o editor para incluir cualquier material con derechos de autor (por ejemplo, tablas, figuras, instrumentos de encuesta o grandes porciones de texto).

Por último, he sometido esta disertación a la herramienta de integridad académica, definida por la universidad.

Sebastián Alfonso Guzmán Cabrera

Nombre

Fecha 16/08/2020

Agradecimientos

A Dios, por la bella oportunidad de vivir. A mi hermosa madre Blanca Ider Cabrera, que ha luchado incansablemente por el bienestar de toda una familia. A mis hermanos y hermanas por ser un ejemplo de vida para mi, y a mi padre Carlos Guzmán, que desde el cielo me ha visto crecer.

A John Albeiro Quiroz Gamboa, a quien admiro y aprecio profundamente, gracias por sembrar el interés por la entomología y por apoyar incondicionalmente a centenares de estudiantes, que, con generosidad, ha impulsado a ser mejores profesionales.

A mi directora de tesis, Adelaida María Gaviria Rivera, quien ha sido una ayuda divina al abrirme un mundo de oportunidades, agradezco todo el esfuerzo incansable y desinteresado en pro de mi formación académica y profesional.

A mi codirector de tesis, Darío Antonio Castañeda Sánchez, por ser un pedagogo ejemplar.

Al profe Gonzalo Abril, por su calidad en la enseñanza de la Entomología. A Francisco Cristobal Yepes y a la memoria del profe Rodrigo Vergara, por su entrega a la enseñanza de la Entomología.

A la Universidad Nacional, por ser pública y acoger a propios y extraños, permitiéndonos cumplir el sueño de ser profesionales.

A mis compañeros de academia, a quienes admiro y aprecio.

Resumen

Modelos lineales para la determinación de la tendencia poblacional de nóctuidos asociados al cultivo de uchuva

El trabajo se desarrolló entre enero y julio de 2017, en cinco fincas ubicadas en los municipios de Envigado, San Vicente y Sonson del departamento de Antioquia. El objetivo de la investigación fue elaborar modelos lineales generalizados que permitieran describir la tendencia poblacional de las dos especies perforadoras del fruto de la uchuva, *Heliothis subflexa* y *Copitarsia decolora*, a partir de 32 variables, entre climáticas, agronómicas y edáficas. Para la selección del modelo mejor ajustado se implementó el índice de Akaike y para determinar el ajuste de los modelos se implementó el estadístico RMSPD, de esta manera se obtuvieron ocho modelos que describen la tendencia poblacional de los pasadores del fruto. Los modelos que presentaron mejor ajuste correspondieron a los modelos de *H. subflexa* con variables edáficas, con AIC de 498.13 y RMSPD 1.22; el modelo de *C. decolora* empleando variables edáficas, con AIC 518.80 y RMSPD 1.18; el modelo de *H. subflexa* empleando variables agronómicas con AIC 508.89 y RMSPD 1.28; y el modelo de *H. subflexa* con variables climáticas con AIC 505.70 y RMSPD 1.25. Sin embargo, los modelos correspondientes a *C. decolora* con variables agronómicas, climáticas y edafo-climáticas, así como el modelo para *H. subflexa* con variables edafo-climáticas, presentaron índices AIC entre 740 y 761, y valores de RMSPD entre 2.24, y 2.27 por lo cual, estos últimos presentaron menor robustez estadística para describir la tendencia poblacional. De esta manera se concluye la viabilidad de construir modelos que describan la tendencia poblacional de estos noctuidos empleando diferentes variables descriptoras.

Palabras clave: Monitoreo, perforador de fruto, Noctuidae, Physalis.

Summary

Linear models for population trends determination of noctuids associated to uchuva crops

The present work was made since January to July of 2017, in five farms, located in Envigado, San Vicente and Sonsón, municipalities of the Antioquia department. The aim was to make generalized lineal models, to describe the population trend of the species, *Heliothis subflexa* and *Copitarsia decolora*, by using 32 variables among climatic, agronomic and soil variables. The monitoring was made biweekly, by capturing the individuals of these species. The choice of the best model was made by Akaike index and, the statistic RMSPD was applied to know the model adjustment. The best models were, the *H. subflexa* with relation to the soil variable, with AIC of 498.13 and RMSPD 1.22; the *C. decolora* model with the soil variables, with AIC 518.80 and RMSPD 1.18; the *H. subflexa* model using agronomic variables, with AIC 508.89 and RMSPD 1.28; and, the *H. subflexa* model with AIC 505.70 and RMSPD 1.25. Nevertheless, the *C. decolora* with agronomic, climatic and soil-climatic variables, get an AIC between 740 and 761, and RMSPD between 2.24 and 2.27, then this model gets lower statistical adjustment for trending this Noctuidae. Therefore, we conclude that it is viable to make models that describe the population trend of the species of Noctuidae, that pierce the fruit of *Physalis peruviana*, by using different descriptor variables.

Keywords: Monitoring, piercing fruit, Noctuidae, Physalis.

Contenido

| | |
|--|----|
| Lista de figuras | IX |
| Lista de tablas | XI |
| 1. Introducción | 1 |
| 2. Objetivos..... | 3 |
| 2.1. Objetivo general..... | 3 |
| 2.2. Objetivos específicos | 3 |
| 3. Marco Teórico | 4 |
| 3.1. Importancia económica de la uchuva en Colombia..... | 4 |
| 4 | |
| 3.2. Características botánicas y agronómicas de la uchuva | 6 |
| 3.3. Manejo del Cultivo de Uchuva | 7 |
| 3.3.1. Densidad de siembra | 7 |
| 3.3.2. Tutorado..... | 8 |
| 3.3.3. Podas..... | 9 |
| 3.3.4. Amarre | 10 |
| 3.3.5. Plateado y Aporque..... | 11 |
| 3.3.6. Control fitosanitario | 11 |
| 3.3.7. Control Biológico y Natural..... | 12 |
| 3.4. Aspectos fitosanitarios de la uchuva..... | 14 |
| 3.5. Insectos fitófagos asociados a la uchuva..... | 16 |
| 3.6. Nóctuidos Asociados al Cultivo de la Uchuva | 21 |
| 3.6.1. <i>Spodoptera eridania</i> (Cramer, 1782) (Noctuidae: Acronyctinae). 22 | |
| 3.6.2. <i>Spodoptera ornithogalli</i> (Guenée, 1852) (Noctuidae: Acronyctinae) | 24 |
| 3.6.3. <i>Spodoptera albula</i> (Walker, 1857) (Noctuidae: Acronyctinae)..... | 24 |
| 3.6.4. <i>Spodoptera frugiperda</i> (Abbot & Smith, 1797) (Noctuidae: Acronyctinae)..... | 25 |
| 3.6.5. <i>Agrotis ípsilon</i> (Hüfnagel, 1766) (Noctuidae: Noctuinae) | 25 |
| 3.6.6. <i>Megalographa biloba</i> (Stephens, 1830) (Noctuidae: Plusiinae) . | 26 |
| 3.6.7. <i>Peridroma saucia</i> (Hübner, 1808) (Noctuidae: Noctuinae)..... | 26 |
| 3.6.8. <i>Heliothis subflexa</i> (Guenée, 1852) (Noctuidae: Noctuinae) | 27 |
| 3.6.9. <i>Copitarsia decolora</i> (Guenée, 1852) (Noctuidae: Cuculliinae) | 28 |
| 3.7. Factores climáticos en el desarrollo de los insectos. | 29 |
| 3.8. El Suelo en el desarrollo de los insectos..... | 31 |

| | | |
|----------|---|----|
| 4. | Materiales y métodos..... | 33 |
| 4.1. | Modelos lineales generalizados | 33 |
| 4.2. | Validación del Modelo de Predicción | 35 |
| 4.3. | Selección de zonas de estudio | 36 |
| 4.4. | Sistema de monitoreo de larvas de pasadores del fruto de la uchuva 37 | |
| 4.5. | Obtención de variables climáticas | 39 |
| 4.6. | Georreferenciación y medición de resistencia al a penetración..... | 40 |
| 4.7. | Estandarización de la información | 40 |
| 4.12. | Caracterización de las fincas..... | 43 |
| 5. | Resultados..... | 46 |
| 5.1. | Correlación lineal entre valores de resistencia a la penetración de los puntos muestreados a diferentes profundidades..... | 46 |
| 5.2. | Determinación del límite crítico de resistencia a la penetración..... | 47 |
| 5.3. | Ubicación espacial de parcelas experimentales en un sistema de bloques..... | 48 |
| 5.4. | Determinación de zonas de muestreo | 49 |
| 5.5. | Modelos lineales generalizados con la variable resistencia a la penetración..... | 50 |
| 5.5.1. | Modelo lineal para <i>Heliothis subflexa</i> a partir de resistencia a la penetración del suelo..... | 51 |
| 5.5.2. | Modelo lineal para <i>Copitarsia decolora</i> a partir de resistencia a la penetración del suelo..... | 53 |
| 5.5.5. | Estimación poblacional de nóctuidos asociados a la uchuva, a partir de variables climáticas | 58 |
| 5.5.5.1. | Modelos para <i>H. subflexa</i> a partir de variables climáticas | 59 |
| 5.5.5.2. | Modelos para <i>C. decolora</i> a partir de variables climáticas | 60 |
| 5.5.6. | Estimación poblacional de nóctuidos asociados a la uchuva, a partir de variables agronómicas, climáticas y edáficas..... | 61 |
| 5.5.7. | Modelos para <i>Heliothis subflexa</i> a partir de variables agronómicas y edafoclimáticas | 62 |
| 5.5.8. | Modelos para <i>Copitarsia decolora</i> a partir de variables agronómicas y edafoclimáticas..... | 64 |
| 6. | Discusión..... | 66 |
| 7. | Conclusiones y recomendaciones finales..... | 72 |
| | Bibliografía | 74 |

Lista de figuras

| | |
|--|----|
| Figura 1 Producción de uchuva 2012-2016 en Colombia. (Tomado de ANALDEX). | 4 |
| Figura 2. Rendimiento (Ton/ha) de uchuva de los tres principales departamentos productores para el periodo 2012-2016. (AGRONET). | 4 |
| Figura 3. Exportaciones de uchuva en Colombia (2012-2017) (Tomado de ANALDEX). | 5 |
| Figura 4. Exportaciones de uchuva colombiana a Estados Unidos. (ANALDEX)... | 5 |
| Figura 5. Plantas de uchuva sembradas a 3m x 3m..... | 7 |
| Figura 6. Postes de tutorado con altura de 2.15 metros..... | 8 |
| Figura 7. Poda de formación de plántula, eliminando yema dominante apical, y promoviendo el bifurcado de la copa..... | 9 |
| Figura 8. Amarre de ramas con cuerda o pita. | 11 |
| Figura 9. Desprendimiento de secciones del dosel por sobrecarga y deficiencia en amarrado. | 10 |
| Figura 10. Desmalezado y aporque de planta de uchuva con dos meses de trasplante..... | 11 |
| Figura 11. Aplicación fitosanitaria en cultivo de la uchuva. | 12 |
| Figura 12. Aplicación de hongos entomopatógenos a la base de las plantas de uchuva..... | 12 |
| Figura 13. Larva de <i>Spodoptera</i> spp. muerta, sobre cuerda de tutorado, luego de aplicación de <i>B. thuringiensis</i> | 13 |
| Figura 14. Depredadores registrados en cultivo de uchuva. | 13 |
| Figura 15. Parasitoides, Diptera: Tachinidae, en larvas de nóctuidos asociados a uchuva..... | 14 |
| Figura 16. Micro himenóptero, realizando control natural sobre larvas de nóctuidos, asociados a la uchuva..... | 14 |
| Figura 17. Plantación de uchuva afectada por "La secadera" (<i>Fusarium</i> sp.). | 14 |
| Figura 18. Estrategia de embolsar resiembras en sitios afectados por <i>Fusarium</i> sp | 15 |
| Figura 19. <i>Epitrix cucumeris</i> en hoja de uchuva. | 16 |
| Figura 20. Hemiptera: Aphididae: <i>Myzus persicae</i> sobre hoja de uchuva. | 17 |
| Figura 21. <i>T. vaporariorum</i> en hojas de uchuva. | 18 |
| Figura 22. Larvas de nóctuidos defoliando una plántula recientemente trasplantada..... | 21 |
| Figura 23. Larva de <i>Heliothis subflexa</i> alimentándose de fruto de uchuva..... | 21 |
| Figura 24. Adultos de <i>H. subflexa</i> , <i>Spodoptera</i> spp. y <i>C. decolora</i> , presentes en el cultivo de uchuva..... | 22 |
| Figura 25. Mancha circular del ala anterior de <i>S. eridania</i> (hembra)..... | 22 |
| Figura 26. Mancha rectangular del ala anterior de <i>S. eridania</i> (macho). | 23 |
| Figura 27. Macho de <i>S. ornithogalli</i> | 24 |
| Figura 28. Adulto de <i>S. albula</i> | 24 |
| Figura 29. Imago de <i>S. frugiperda</i> | 25 |
| Figura 30. Imago de <i>A. ípsilon</i> | 25 |
| Figura 31. Imago de <i>Megalographa biloba</i> | 26 |
| Figura 32. Imago de <i>P. saucia</i> | 26 |

| | |
|---|----|
| Figura 34. Perforación de cáliz, realizada por larvas de <i>H. subflexa</i> | 27 |
| Figura 33. Imago de <i>H. subflexa</i> | 27 |
| Figura 35. Larva de <i>H. subflexa</i> alimentándose de fruto..... | 27 |
| Figura 37. Fruto consumido parcialmente por larva de nóctuido..... | 28 |
| Figura 36. Fruto consumido totalmente por larva de nóctuido..... | 28 |
| Figura 38. Imago de <i>C. decolora</i> | 28 |
| Figura 39. Larva de <i>C. decolora</i> | 29 |
| Figura 40. Larvas de noctuidos refugiadas en el suelo, durante el día..... | 32 |
| Figura 41. Pupas de nóctuidos en el suelo..... | 32 |
| Figura 44. Mapa de ubicación geográfica del estudio..... | 36 |
| Figura 42. Muestras de larvas de primeros instares, para su posterior identificación..... | 37 |
| Figura 43. Mangas entomológicas para monitoreo en campo de los perforadores del fruto de la uchuva..... | 39 |
| Figura 45. Medición de resistencia a la penetración con un penetrómetro digital Fiel Scoud..... | 40 |
| Figura 46. Resistencia a la penetración promedio a diferentes profundidades. ... | 46 |
| Figura 47. Correlación lineal entre resistencia a la penetración del suelo en pascales, y la profundidad del mismo en centímetros..... | 48 |
| Figura 48. Mapas con polígonos menores de 1.100 kPa (verde) y mayores de 1.100 kPa de resistencia a la penetración (rojo). (A) Localidad Envigado, (B) Localidad San Vicente 1, (C) Localidad Sonsón 1 (D) Localidad San Vicente 2. (E) Localidad Sonsón 2..... | 50 |
| Figura 49. Modelo lineal generalizado para <i>Heliothis subflexa</i> | 51 |
| Figura 50. Modelo lineal generalizado para <i>Copitarsia decolora</i> , con variables edáficas..... | 53 |
| Figura 51. Modelo lineal generalizado de <i>Heliothis subflexa</i> con variables agronómicas..... | 55 |
| Figura 52. Modelo lineal generalizado de <i>C. decolora</i> con variables agronómicas | 57 |
| Figura 53. Modelo lineal generalizado de <i>H. subflexa</i> con variables climáticas. ... | 59 |
| Figura 54. Modelo lineal generalizado de <i>C. decolora</i> con variables climáticas... | 60 |
| Figura 55. Modelo lineal generalizado de <i>H. subflexa</i> a partir de variables edafo- climáticas y agronómicas..... | 62 |
| Figura 56. Modelo lineal generalizado de <i>C. decolora</i> con variables edafo- climáticas y agronómicas..... | 64 |

Lista de tablas

| | |
|---|----|
| Tabla 1. Taxonomía de <i>Physalis peruviana</i> . Tomado de: (USDA, 2019) | 6 |
| Tabla 2. Lista de productos agroquímicos usados en la zona para el cultivo de uchuva..... | 45 |
| Tabla 3. Correlación lineal entre resistencia a la penetración a diferentes profundidades..... | 47 |
| Tabla 4. Áreas de los lotes con sus respectivos rangos de resistencia a la penetración, según su rango de resistencia a la penetración. | 49 |
| Tabla 5. Resultados del modelo lineal generalizado para <i>Heliothis subflexa</i> | 52 |
| Tabla 6. Resultados del modelo lineal generalizado para <i>Copitarsia decolora</i> , con valores de resistencia a la penetración. | 54 |
| Tabla 7. Resultados del modelo lineal generalizado para <i>H. subflexa</i> , con variables agronómicas..... | 56 |
| Tabla 8. Resultados del modelo lineal generalizado para <i>Copitarsia decolora</i> , con variables agronómicas. | 57 |
| Tabla 9. Resultados del modelo lineal generalizado para <i>H. subflexa</i> , con variables climáticas..... | 59 |
| Tabla 10. Resultados del modelo lineal generalizado para <i>Copitarsia decolora</i> , con variables climáticas. | 60 |
| Tabla 11. Resultados del modelo lineal generalizado para <i>H. subflexa</i> , a partir de variables edáficas, climáticas y agronómicas..... | 63 |
| Tabla 12. Resultados del modelo lineal generalizado para <i>Copitarsia decolora</i> , con variables edáficas, climáticas y agronómicas..... | 65 |
| Tabla 13. Comparación de variables y significancia de los modelos de los pasadores del fruto con la resistencia a la penetración..... | 67 |
| Tabla 14. Comparación de variables y significancia de los modelos de los pasadores del fruto con las practicas agronómicas..... | 68 |
| Tabla 15. Comparación de variables y significancia de los modelos de los pasadores del fruto con variables climáticas..... | 69 |
| Tabla 16. Comparación de variables y significancia de los modelos de los pasadores del fruto con variables edafo-climáticas..... | 70 |

1. Introducción

La uchuva (*Physalis peruviana*), también conocida como tomatillo, es un fruto con gran valor comercial para Colombia debido a su demanda en el comercio exterior, en el cual, es utilizada en la industria alimentaria, farmacéutica y sanitaria, gracias a sus propiedades nutricionales (Giraldo, et al., 2017). Esta planta es de origen neo-tropical, principalmente de clima templado y frío, donde por mucho tiempo fue considerada como una planta arvense, sin embargo, actualmente debido a la creciente demanda del mercado, las áreas sembradas de uchuva han incrementado considerablemente (Sanabria, 2005). Actualmente Colombia cuenta con más de mil hectáreas sembradas (AGRONET, 2018), al punto de que esta fruta, ha alcanzado el tercer nivel de importancia en exportación, siendo superada por el banano (Giraldo, et al., 2017), y recientemente por el aguacate Hass (KienyKe, 2018).

En Colombia, las plantaciones de uchuva se encuentran principalmente en los departamentos de Cundinamarca, Boyacá y Antioquia, donde el cultivo de la uchuva se encuentra disperso entre pequeños agricultores (Sanabria, 2005); (Zapata P, et al., 2002) (Tabla. 2). A pesar de la importancia intrínseca del cultivo de la uchuva, el desarrollo tecnológico del mismo, se encuentra aún en una fase incipiente, el cual ha sido liderado por los mismos productores, con el acompañamiento que logran con las comercializadoras y exportadoras de la fruta, así como con las investigaciones desarrolladas por universidades y corporaciones de investigación agropecuaria.

Physalis peruviana presenta un rango de adaptación altitudinal correspondiente entre los 1.800 y 3.000 msnm. En estas zonas, la uchuva es usualmente cultivada en rotación con la papa, no obstante, debido a la presión fitosanitaria que enmarca esta condición, solo se puede hacer un ciclo productivo de uchuva por lote, es decir, un poco más de 18 meses, y de acuerdo con información de los productores, se espera hasta 10 años para hacer un nuevo ciclo productivo de uchuva en un mismo predio.

Dentro de los agentes biológicos que causan presión fitosanitaria en el cultivo de la uchuva, están los hongos, nematos e insectos. En este último grupo, se encuentran larvas de la familia Noctuidae; se han registrado nueve especies asociadas al cultivo, alimentándose de hojas y frutos, sin embargo, entre estos nóctuidos, se destacan dos especies, *Heliothis subflexa* y *Copitarsia decolora*, porque se alimentan directamente del fruto, causando pérdida del valor comercial del mismo, e incluso llegando a causar problemas económicos, por lo cual, es recomendable realizar planes de manejo integrado, que permitan un manejo oportuno, para evitar que la población de estos insectos lleguen a niveles que puedan causar daño económico.

En este sentido, el presente trabajo de investigación tiene como objetivo elaborar modelos lineales generalizados a partir de información obtenida de plantaciones de uchuva en tres municipios del oriente antioqueño, con el fin estimar la tendencia de la población de los pasadores del fruto de la uchuva, y de esta manera contribuir a la elaboración de herramientas, que permitan proyectar estrategias de manejo integrado de este tipo de insectos plaga.

2. Objetivos

2.1. Objetivo general

- Construir modelos lineales generalizados a partir de variables edáficas, climáticas y agronómicas, que describan la tendencia poblacional de estados inmaduros de *H. subflexa* y *C. decolora*, reportados como insectos plaga asociados al fruto de la uchuva.

2.2. Objetivos específicos

- Determinar las variables con mayor efecto en los modelos de tendencia poblacional, a partir de las variables climática, agronómica, ambiental, o su combinación.
- Comparar los modelos de descripción de la tendencia poblacional de los dos pasadores del fruto de la uchuva, *H. subflexa* y *C. decolora*, de acuerdo a los cambios de variables y/o significancias estadísticas, que integren el modelo.
- Establecer si los modelos lineales generalizados son lo suficientemente ajustados para describir la tendencia poblacional de los nóctuidos pasadores del fruto de la uchuva.

3. Marco Teórico

3.1. Importancia económica de la uchuva en Colombia.

Dentro del mercado de frutas de exportación de Colombia, la uchuva (*Physalis peruviana* L.) se ha caracterizado por presentar gran acogida en el mercado internacional (Fischer, et al., 2014), además, la zona andina es considerada el área de diversidad primaria de esta fruta (Ligarreto, et al., 2005), lo cual indica que esta planta, tiene potencial de adaptación, para ser implementada en los sistemas agrícolas del país. Esto es evidenciado por las crecientes producciones, así como por el incremento de las áreas sembradas (Figura 1), ya que en tan solo cuatro años, las toneladas producidas se incrementaron en un 33.66%, superando las 15 mil toneladas, mientras que el área cultivada incrementó el 35% llegando a las 1.023 hectáreas (AGRONET, 2018).

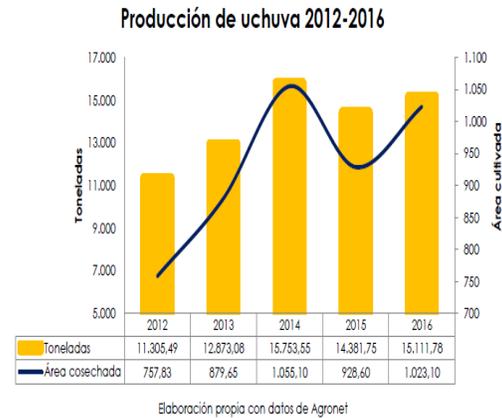


Figura 1 Producción de uchuva 2012-2016 en Colombia. (Tomado de ANALDEX).

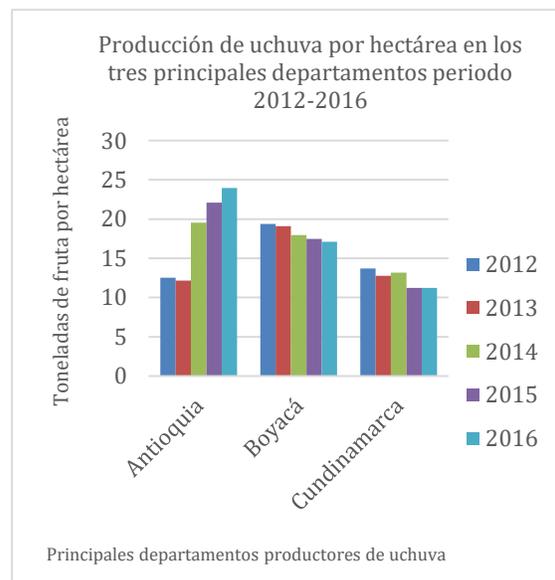


Figura 2. Rendimiento (Ton/ha) de uchuva de los tres principales departamentos productores para el periodo 2012-2016. (AGRONET).

En Colombia, son tres departamentos los encargados del 86% de la producción de uchuva, correspondientes a Boyacá, Cundinamarca y Antioquia, (Figura 2). Éste último departamento presenta una tendencia creciente en el rendimiento de producción de uchuva, probablemente favorecido por la oferta

ambiental. La importancia económica de esta fruta se plasma en los volúmenes de exportación, en el 2017 se obtuvieron 27.80 millones de dólares, correspondientes a 6.333 toneladas (Figura 3), exportadas a países europeos, Estados Unidos, Canadá e incluso hasta el Ecuador (ANALDEX, 2017), permitiendo

que Colombia se catalogara como el mayor exportador de uchuva a nivel mundial (Giraldo, et al., 2017). A pesar de que los países europeos representen el mercado más importante para la uchuva colombiana, con más del 80% de la demanda, es importante resaltar la tendencia en la demanda estadounidense respecto a la fruta colombiana, pasando de 100 toneladas en el 2015, a consumir más de 300 toneladas en el 2017 (Figura 4).



Proyectado por: Carlos Castiblanco

Figura 4. Exportaciones de uchuva colombiana a Estados Unidos. (ANALDEX).

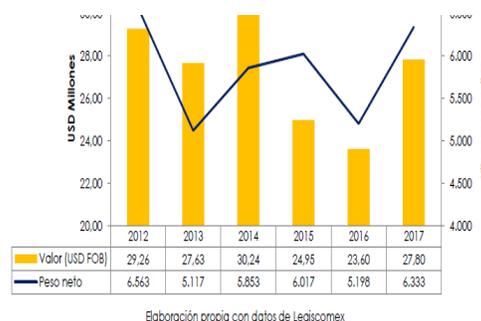


Figura 3. Exportaciones de uchuva en Colombia (2012-2017) (Tomado de ANALDEX).

3.2. Características botánicas y agronómicas de la uchuva

La uchuva es una planta de porte arbustivo y su fruto se clasifica como una baya globosa con tonalidades de amarillo a rojo. Esta especie se puede adaptar a diversos ecosistemas andinos, y se desarrolla bien a condiciones de 1.800 msnm con temperaturas entre los 13°C y 18°C, no obstante, requiere de buena oferta hídrica, con un mínimo de 1.000 mm anuales y humedad

Tabla 1. Taxonomía de *Physalis peruviana*. Tomado de: (USDA, 2019)

| | |
|----------------------|---------------------------|
| Reino | <i>Plantae</i> |
| Subreino | <i>Tracheobionta</i> |
| Superdivisión | <i>Spermatophyta</i> |
| División | <i>Magnoliophyta</i> |
| Clase | <i>Magnoliopsida</i> |
| Subclase | <i>Asteridae</i> |
| Orden | <i>Solanales</i> |
| Familia | <i>Solanaceae</i> |
| Subfamilia | <i>Solanoideae</i> |
| Género | <i>Physalis L.</i> |
| Especie | <i>Physalis peruviana</i> |

relativa del 70 al 80% (Fischer, et al., 2014). En cuanto al suelo, la planta tolera un rango de pH entre 5,5 a 7,0, y como muchas solanáceas (Tabla 1), responde muy bien a suelos con buen contenido de materia orgánica (Zapata P, et al., 2002).

Para establecer un cultivo de uchuva, se debe partir de un semillero, en el cual se garantice el buen desarrollo fitosanitario y ontológico de la planta (Fischer, et al., 2014). Es importante establecer una zona de vivero, donde la planta permanece aproximadamente dos meses, antes de ser trasplantadas al sitio definitivo en campo. Una vez se tiene la plántula desarrollada y lista para ir a campo, se hace un trazado del terreno, y para el caso del oriente antioqueño, se establece una distancia de siembra de 3 m x 3 m, tanto en terrenos planos, como en terrenos ondulados o de mediana pendiente y una vez establecida, se realiza la fertilización, poda, plateo

y aporque, y luego del tercer mes, la planta inicia su etapa reproductiva. Debido a su crecimiento indeterminado, emite estructuras reproductivas hasta el final de su ciclo, generando gran cantidad de ramas y frutos, por lo cual, se deben realizar por lo menos dos recolecciones semanales de fruta, la cual se cosecha de acuerdo a las exigencias determinadas por el comprador, y cuyo rendimiento ha llegado a ser de 19 toneladas por hectáreas (Zapata P, et al., 2002) (Tabla 2).

3.3. Manejo del Cultivo de Uchuva

3.3.1. Densidad de siembra

En los cuatro municipios visitados durante el Proyecto, los agricultores realizan trasplante de individuos provenientes de semilla, con cerca de dos a tres meses de desarrollo en vivero. Éstas se establecen a distancias de siembra de 3 m x 3 m, para un total de 1.111 plantas por hectárea



Figura 5. Plantas de uchuva sembradas a 3m x 3m.

(Figura 5). Esta densidad de siembra, fue observada en todos los predios, tanto en terrenos planos, como en inclinados. En los predios visitados, no se evidenció un patrón en la elaboración de los surcos respecto a la posición de los puntos cardinales, puesto que, algunos se establecieron en dirección Norte-Sur, y otros en dirección Este-Oeste, ubicados tanto a favor, como en contra de la pendiente.

3.3.2. Tutorado

Dos elementos indispensables para el establecimiento y administración de la plantación de uchuva, corresponden a los postes de madera y el alambre para el tutorado de las plantas utilizando calibres entre 9 y 12 mm. Para los postes se observó el uso principalmente de ramas y/o varas de eucalipto entre 8 y 10 cm de grosor, con



Figura 6. Postes de tutorado con altura de 2.15 metros.

longitudes entre 2 m y 3 m (Figura 6). Para su instalación se realizan hoyos distanciados cada 6 o 7 m, y con profundidad entre 20 cm y 50 cm. Del sistema de tutorado, se evidenció que aquellos lotes en los cuales utilizaron varas de 2 m de longitud el tutorado quedaba a una altura entre 1.60 m y 1.70, que facilitaba la labor del amarre de las ramas, pero en algunos puntos debido a la tensión del alambre, y a la topografía del terreno, éste quedaba a alturas por debajo de los 1.60 m, representando un problema para los cosecheros, los cuales eventualmente se chocaban contra éstos, además, que las ramas llegaban más rápido al punto de amarre, generando un tutorado de espaldera, lo cual, dificultaba la cosecha de los frutos internos. Por otra parte, cuando se implementaron varas de 3 m de longitud al ser enterradas, el alambrado quedaba a una altura aproximada de 2.15 m, en el cual el alambre tensionado quedaba a alturas entre 1.80 m y 2 m, permitiendo un buen desarrollo de las secciones de la copa al tiempo que no se presentaban problemas de movilidad por parte de los operarios.

3.3.3. Podas

La práctica de poda por los agricultores del oriente antioqueño, consistió en realizar podas de realce durante los primeros tres meses, deschuponando la planta y dejando un solo flujo dominante. Luego de este tiempo, la copa se bifurca, permitiendo manejar el dosel en dos secciones, momento en el cual inicia el amarrado de



Figura 7. Poda de formación de plántula, eliminando yema dominante apical, y promoviendo el bifurcado de la copa.

las ramas, de tal manera que cada sección de la copa quede convergente en la base del tallo y divergente en la sección distal, formando de esta manera una “V” (Figura 7).

Se observó diferencias en cuanto a la altura en la cual las dos secciones de la copa divergían, algunos, lo hicieron a una altura cercana a los 30 cm del suelo, permitiendo un buen desarrollo de las secciones de la copa, facilitando tanto el amarre de las ramas, como la poda, cosecha, plateo, fertilización y manejo fitosanitario. Además, debido a la bifurcación baja se obtenía mayor longitud de las ramas y se lograba mejor dosel en las plantas. Por el contrario, algunos agricultores, realizaron podas de realce más allá del quinto mes, llevando el punto de divergencia de la copa a una altura cercana a los 60 cm, esta práctica, a pesar de que facilita, las labores agronómicas, conlleva a que las ramas fueran más cortas, haciendo que el tutorado se convierta en espalderas lo cual, con el crecimiento indeterminado de las ramas, causaba que las copas se unieran rápidamente, generando competencia entre éstas. En esta práctica se observó menor producción de fruta, debido a la

altura que tomaba la planta, llegando a superar los 2 m, que dificultaba las labores de poda, cosecha y amarre.

3.3.4. Amarre

El amarre es una de las prácticas agronómicas que requiere especial atención en el cultivo de la uchuva (Figura 8), ya que, debido al crecimiento indeterminado de las ramas, y a la emisión constante de las mismas, se debe hacer repetidamente a lo largo del desarrollo de la misma. Si no se hace correctamente esta práctica, el punto de convergencia de la copa en el tallo principal genera una excesiva tensión, lo cual conlleva al desprendimiento de la misma (Figura 9), y por consiguiente la pérdida y/o reducción de rendimiento de esa unidad productiva.

Para el amarrado se observaron principalmente dos materiales, el primero y más usado, corresponde a una cuerda blanca o pita, de material biodegradable, el segundo corresponde a la cabuya sintética, la cual, a pesar de ser muy resistente, tiene como debilidad que no es biodegradable y genera una contaminación gradual en el agroecosistema.



Figura 8. Desprendimiento de secciones del dosel por sobrecarga y deficiencia en amarrado.

3.3.5. Plateado y Aporque

En los predios evaluados, se evidenció que el plateo y desmalezado en la zona de gotera de la planta, permite que las larvas y pupas de insectos como *Epitrix*, *Diabrotica*, y nóctuidos en general, quedaran expuestos a los enemigos naturales. Además, cuando esta labor iba acompañada de un aporque, se propició el desarrollo de raíces adventicias de la planta de uchuva, favoreciendo así el anclaje y la nutrición de la misma (Figura 10).



Figura 9. Amarre de ramas con cuerda o pita.



Figura 10. Desmalezado y aporque de planta de uchuva con dos meses de trasplante.

3.3.6. Control fitosanitario

Este es uno de los aspectos más importantes para los agricultores, ya que muchos son pequeños productores, usualmente carecen del acompañamiento técnico que soporte las estrategias y/o medidas de control fitosanitario, lo cual resulta en intervenciones con pesticidas prohibidos o absolutamente innecesarios, generando un desbalance ecosistémico y económico (Figura 11).

3.3.7. Control Biológico y Natural

Dentro del plan de manejo fitosanitario, se destacó la implementación de control microbiológico en el cultivo de la uchuva (Figura 12), debido principalmente a la rigurosidad del comprador y exportador del fruto, ya que el mercado exige que la fruta esté libre de residuos de insecticidas de síntesis química.

Por tal motivo, la utilización de cepas comerciales de *Beauveria bassiana*, *Lecanicillium lecanii* y *Metarhizium anisopliae*, son aplicadas para el control de crisomélidos, ortópteros e insectos chupadores asociados al cultivo de la uchuva. De acuerdo a lo evidenciado en las distintas localidades, esta estrategia permite mantener cierto equilibrio entre las especies, en las cuales, el daño causado por estos insectos era económicamente despreciable.

Específicamente, para el caso de los lepidópteros, especialmente las larvas de Noctuidae asociados al cultivo de la uchuva, se aplicaron cepas comerciales de *Bacillus thuringiensis*, que afectan a las larvas principalmente de los primeros instares, logrando un control efectivo (Figura 13).



Figura 11. Aplicación fitosanitaria en cultivo de la uchuva.



Figura 12. Aplicación de hongos entomopatógenos a la base de las plantas de uchuva.

Por otra parte, a pesar de que el uso de insecticidas está severamente condicionado para el manejo fitosanitario de la uchuva, se evidenció que algunos agricultores, realizan aplicaciones de insecticidas de categorías I y II, sin embargo, éstos productos no son registrados en los formatos de aplicación, no obstante, en repetidas ocasiones, se encontraron recipientes de este tipo de productos en áreas separadas de la bodega de insumos agrícolas de los predios e incluso dentro de los mismos lotes de producción, amenazando las poblaciones de insectos depredadores (Figura 14) y parasitoides (Figura 15 y 16) asociados a la uchuva.



Figura 13. Larva de *Spodoptera* spp. muerta, sobre cuerda de tutorado, luego de aplicación de *B. thuringiensis*



Figura 14. Depredadores registrados en cultivo de uchuva.



Figura 15. Parasitoides, Diptera: Tachinidae, en larvas de nóctuidos asociados a uchuva.



Figura 16. Micro himenóptero, realizando control natural sobre larvas de nóctuidos, asociados a la uchuva.

3.4. Aspectos fitosanitarios de la uchuva.

El hongo *Fusarium* spp., es una de las limitaciones más importantes en el cultivo de la uchuva; tiene la virulencia necesaria para causar la muerte paulatina de la planta, por marchitamiento, por lo cual, se le conoce como “La secadera” (Figura 17). Este hongo genera la pérdida de un sin número de unidades productivas en diferentes zonas del oriente antioqueño. Por esta razón, se considera



Figura 17. Plantación de uchuva afectada por "La secadera" (*Fusarium* sp.).

como causante de la enfermedad más limitante de la producción de uchuva. En Colombia es la principal causa de que, dentro de un mismo lote, no se establezcan producciones continuas de la fruta, por lo cual, se ha intentado implementar trasplantes en bolsas plásticas con suelo proveniente de otros predios, para evitar la infección por el hongo (Figura 18).



Por otra parte, hay una amplia lista de artrópodos asociados al cultivo de uchuva, tanto benéficos, como fitófagos; estos últimos pueden afectar al

Figura 18. Estrategia de embolsar resiembras en sitios afectados por *Fusarium sp*

cultivo, y en ciertos casos, pueden desencadenar la pérdida total de la plantación (Zapata P, et al., 2002). Entre los artrópodos fitófagos, se destacan los ácaros tostadores, los pulgones y las larvas de la familia Noctuidae que se alimentan del fruto, *Heliothis subflexa* y *Copitarsia decolora*. Se considera que *H. subflexa*, solo se alimenta del género *Physalis*, mientras que *C. decolora*, es polífaga; estas dos especies representan un riesgo para los sistemas productivos de la uchuva.

3.5. Insectos fitófagos asociados a la uchuva

3.5.1. Pulguilla saltona *Epitrix cucumeris* (Coleoptera: Chrysomelidae) (Harris).

Éste pequeño cucarrón en su etapa adulta es perforador de hojas y del capacho de la fruta (Figura 19), y en etapa larval se alimenta de la raíz o de plantas silvestres. El daño característico del insecto corresponde a perforaciones circulares muy pequeñas en las hojas, lo cual reduce el área foliar y afecta el desarrollo de la planta, mientras



Figura 19. *Epitrix cucumeris* en hoja de uchuva.

que, cuando se alimenta del capacho, afecta la calidad estética del fruto. Cuando el nivel poblacional de este insecto es muy alto, las larvas pueden formar túneles en el tallo, provocando la marchitez en la planta y la subsecuente entrada de patógenos (Benavidez & Mora, 2005).

3.5.2. Áfidos *Aphis* sp. y *Myzus* sp. (Homoptera: Aphididae).

Aphis sp. y *Myzus* sp son polípagos y presentan hospederos alternos de las familias Malváceae, Cucurbitáceae y Solanáceae, entre otras, como también gran variedad de plantas ornamentales y malezas. Los áfidos se alimentan del floema de la planta (Figura 20), el cual extraen de ramas, hojas y frutos,



Figura 20. Hemiptera: Aphididae: *Myzus persicae* sobre hoja de uchuva.

provocando malformación de hojas, debilitamiento y detención del crecimiento (Benavidez & Mora, 2005). Uno de los problemas asociados a estos hemípteros, radica en su asociación comensal con *Capnodium* sp., conocido comúnmente como fumagina, que reduce la capacidad fotosintética de la planta, sin embargo, el daño más limitante se da cuando los individuos se encuentran en los capachos del fruto de uchuva (Benavidez & Mora, 2005).

3.5.3. El trips de la uchuva *Frankliniella* sp. (Thysanoptera: Thripidae),

Los trips se encuentran dentro del grupo de insectos fitófagos asociados a la uchuva. Éstos pican y raspan el tejido epidérmico y parenquimatoso de las hojas terminales y capachos, generando necrosis. Se encuentran principalmente en las flores, pueden generar malformación del fruto, confundándose con deficiencias de Calcio y Boro. Estos insectos incrementan sus poblaciones en condiciones de baja precipitación (Benavidez & Mora, 2005).

3.5.4. Mosca blanca *Trialeurodes vaporariorum* (Westwood) (Homoptera: Aleyrodidae).

Las moscas blancas (Figura 21), están asociadas a muchas especies vegetales. Al alimentarse del floema generan amarillamiento, deformación foliar y reducción de la capacidad fotosintética por el comensalismo con el hongo *Capnodium* sp. Además, este insecto tiene la capacidad de transmitir virosis a la uchuva (Benavidez & Mora, 2005).



Figura 21. *T. vaporariorum* en hojas de uchuva.

3.5.5. Ácaro tostador *Aculops* sp. (Acarina: Eryophidae).

Los ácaros, representan un problema fitosanitario importante en el cultivo de la uchuva. Su importancia radica en que *Aculops* sp., genera bronceamiento de hojas, y pedúnculo, que conlleva a la desecación de los mismos, y provoca que los capachos parezcan contener fruta madura, cuando en realidad no ha llegado a su madurez fisiológica. Estos organismos se ven favorecidos por condiciones de baja precipitación y alta temperatura, con el agravante que el desarrollo de las colonias es muy rápido (Benavidez & Mora, 2005).

3.5.6. Los Noctuidae como insectos plaga

Los lepidópteros en estado adulto no son limitantes en los cultivos agrícolas, sin embargo, el estado larval, genera daños a las estructuras de la planta, llegando a causar pérdidas económicas significativas. Entre las larvas de especies de lepidópteros fitófagos asociados a la uchuva se destaca un grupo de la familia Noctuidae, las cuales se alimentan de hojas, tallos de plántulas y frutos.

En Colombia las larvas de nóctuidos han sido reportadas causando daños económicos en distintos cultivos, tal es el caso de, *Copitarsia* spp. (Cucullinae), *Spodoptera* spp. (Acronyctinae), *Agrotis* spp., *Peridroma* spp., (Noctuinae), *Pseudoplusia* spp. y *Megalographa* spp. (Plusiinae), que se asocian a cultivos de flores en el oriente antioqueño, disminuyendo su producción (Moreno Fajardo & Serna Cardona, 2006), además, debido a su condición cuarentenaria representan un impedimento en la comercialización, de las flores de corte (Quimbayo, et al., 2010). Del mismo modo, el estado larval de *Zale* sp. (Noctuidae: Catocalinae), se alimenta del pseudotallo de plantas de heliconias (*Heliconia bihai* L.), el cual barrena y produce su marchitez (Canacuán-Nasamuez, et al., 2009).

Entre las larvas de nóctuidos limitantes en el cultivo de algodón se reportan *Agrotis* spp. (Noctuinae), *Alabama* spp., (Catocalinae), *Anticarsia* spp (Catocalinae), *Helicoverpa* spp. (Noctuinae), *Heliothis* spp. (Noctuinae), *Sacadodes* spp. (Noctuinae), *Trichoplusia ni* (Plusiinae) (Navarro, et al., 2010); (Vélez-Angel, 1997), y *S. frugiperda* (Acronyctinae) que tiene preferencia por plantas de algodón (Ribeiro, et al., 2012), aunque también es limitante en cultivos de trigo, avena o maíz, y de muchas más especies vegetales cultivadas (Ribeiro, et al., 2012)

En Argentina, *S. frugiperda* ha generado pérdidas en cultivos de maíz del 17 a 72% (Murúa, et al., 2010), En total, se reportan cerca de 170 especies de plantas hospederas para esta especie (Zhang, et al., 2011). La polifagia parece expandirse dentro del género, *S. exigua* tiene la capacidad de alimentarse de aproximadamente 50 especies de plantas (Mardani-Talaei, et al., 2012).

El daño causado a plantaciones por las larvas de nóctuidos, desencadena el uso indiscriminado de pesticidas de síntesis química, lo cual genera un desequilibrio en las poblaciones de organismos bio-controladores, al tiempo que se puede presentar resistencia genética por parte de los insectos hacia un determinado modo de acción del ingrediente activo. El complejo de *Helicoverpa* spp., debido al exceso de aplicaciones de insecticidas, generó resistencia al ingrediente activo y consecuentemente provocó pérdidas de hasta un 100% en plantaciones de algodón (Zenner-Polanía, et al., 2009).

No obstante, actualmente el uso de control biológico y microbiológico para el control de poblaciones de larvas de lepidópteros, se ha enfocado en el uso de la bacteria *Bacillus thuringiensis*, la cual, además de ser aplicada superficialmente a la planta, sus toxinas (como por ejemplo, el gen Cry1Ac de *B. thuringiensis* var, *kurstaki*) se han insertado a los cultivos, por medio de técnicas que permiten la producción de material vegetal genéticamente modificado (Zenner-Polanía, et al., 2009). Sin embargo, la aplicación de insecticidas sigue siendo la herramienta más utilizada por los agricultores para el control de estos insectos plaga.

3.6. Nóctuidos Asociados al Cultivo de la Uchuva

En Colombia, inicialmente se reportaron cinco especies de nóctuidos asociadas a plantas de uchuva, correspondientes a *Spodoptera* sp., *Agrotis* sp., *Feltia* sp. (Benavidez & Mora, 2005), *Heliothis* sp. y *Copitarsia* sp. (Zapata P, et al., 2002). Las primeras tres especies se consideran filófagas (Figura 21) y los dos restantes principalmente carpófagos (Figura 23).

Estas larvas son eruciformes (con forma de oruga), con formula podical 3-4-1, presentan policromía, tomando coloraciones de marrón a verde claro, de acuerdo a su estado de desarrollo y a la fuente de alimento disponible. Luego de la eclosión del huevo, la larva se alimenta del parénquima foliar y a medida que avanza su



Figura 22. Larvas de nóctuidos defoliando una plántula recientemente trasplantada.



Figura 23. Larva de *Heliothis subflexa* alimentándose de fruto de uchuva.

desarrollo realizan cortes totales de la hoja, desplazándose hasta otras hojas o frutos. Luego de completar su desarrollo larval, éstas bajan de la planta y pupan en el suelo cerca de la planta, muchas veces encerradas en una cámara terrosa (Vélez-Angel, 1997). La pupa obtecta, tiene longitudes entre 15 mm y 18 mm, inicialmente son de tono verde y luego se tornan a marrón oscuro. Los adultos son polillas

nocturnas entre 28 mm y 35 mm de envergadura alar, con arabescos alares de tonos opacos (Figura 24).

Las larvas perforadoras del fruto de la uchuva, *H. subflexa* y *C. decolora* se desplazan hasta el fruto, perforan el capacho y posteriormente consumen los frutos en cualquier etapa de maduración, llegando a causar una reducción

del rendimiento de hasta un 20% (Benavidez & Mora, 2005). En estudios anteriores realizados en el municipio de La Unión – Antioquia (Guzmán-Cabrera, et al., 2018), se registraron otras cinco especies asociadas al cultivo de la uchuva, correspondientes a *S. eridania* (Cramer, 1782), *S. ornithogalli* (Guenée, 1852), *S. albula* (Walker, 1857), *Peridroma saucia* (Noctuidae: Noctuinae) (Hübner, 1808) y *Megalographa biloba* (Stephens, 1830) (Plusiinae), las cuales se describen a continuación.

3.6.1. *Spodoptera eridania* (Cramer, 1782) (Noctuidae: Acronyctinae)

Este noctuido presenta como sinonimia *Xylomyges*, y al igual que otras especies pertenecientes al género *Spodoptera* es considerada polífaga, el cual ha sido reportado causando daños económicos en algodón y soya (Gómez-López, et al., 2009), así como en el tomate (Solanáceae) (Sardinha, et al.,



Figura 24. Adultos de *H. subflexa*, *Spodoptera* spp. y *C. decolora*, presentes en el cultivo de uchuva.



Figura 25. Mancha circular del ala anterior de *S. eridania* (hembra).

2013), no obstante también se reporta en otros ocho hospederos (Angulo, et al., 2008). De *S. eridania* se destaca un carácter diagnóstico, correspondiente al patrón de marcas que presenta las hembras, correspondientes a una mancha concéntrica en la región apical de la celda discal (Figura 25), mientras que el macho, presenta una marca lineal, que va desde la región apical de la celda discal hasta el borde distal de la misma (Heppner, 1998) (Figura 26).



Figura 26. Mancha rectangular del ala anterior de *S. eridania* (macho).

En un estudio que se desarrolló previamente en el municipio de La Unión Antioquia (Guzmán-Cabrera, et al., 2018), *S. eridania* fue uno de los nóctuidos que presentó mayor reporte en los primeros muestreos, correspondientes a las primeras etapas de desarrollo de la etapa vegetativa del cultivo de la uchuva, y parte de su importancia relativa, se debe a que esta especie está reportada como cuarentenaria por la Organización de Protección de Plantas Europeas y Mediterráneas (EPPO¹).

¹ <https://www.eppo.int/QUARANTINE/listA1.htm>

3.6.2. *Spodoptera ornithogalli* (Guenée, 1852) (Noctuidae: Acronyctinae)

Este nóctuido, ha sido reportado como polífago y cosmopolita (Vélez-Angel, 1997); (Wagner, 2005), suele ser plaga secundaria de cultivos agrícolas, (Saunders, et al., 1998) (Figura 27). El espécimen ha sido reportado en cultivos de flores de corte en



Figura 27. Macho de *S. ornithogalli*.

el oriente Antioqueño, (Quimbayo, et al., 2010), así como en plantas arvenses (Ribeiro & Corrúa, 2008).

3.6.3. *Spodoptera albula* (Walker, 1857) (Noctuidae: Acronyctinae)

Este nóctuido tiene como sinonimia *S. sunia* (Guenée, 1852) (Montezano, et al., 2013), *S. androgea* (Stoll), y *S. pulchella* (Herrich-Schäffer), (Heppner, 1998). Es cosmopolita, y se presenta en diversos países de América (Montezano, et al., 2013); (Angulo, et al., 2008).



Figura 28. Adulto de *S. albula*.

Ha sido reportada causando daño económico en cultivos de soya, algodón, tabaco, tomate, sésamo, maní, girasol, papaya y algunas especies forestales (Montezano, et al., 2013) (Figura 28).

3.6.4. *Spodoptera frugiperda* (Abbot & Smith, 1797) (Noctuidae: Acronyctinae)

Esta especie, popularmente conocida como gusano cogollero del maíz o gusano ejército, presenta como sinonimia *Prodenia obscura* y *Laphygma frugiperda* (Smith) (Figura 29). *S. frugiperda*, es considerada una plaga de importancia económica en cultivos de maíz y algodón (Vélez-Angel, 1997); (Ribeiro, et al.,



Figura 29. Imago de *S. frugiperda*.

2012). Una de las características de esta especie, es su capacidad polífaga (Wagner, 2005), y solo para esta especie se reportan más de 200 hospederos (Vélez-Angel, 1997); (Angulo, et al., 2008); (Murúa, et al., 2010).

3.6.5. *Agrotis ipsilon* (Hüfnagel, 1766) (Noctuidae: Noctuinae)

Este noctuido presenta las sinonimias de *Agrotis ypsilon* (Rott.) y *Rhyacia ypsilon* (Rott.) (Vélez-Angel, 1997) (Figura 30); comúnmente se le conoce como gusano negro (Okuruma, 1961). Al igual que las otras especies de nóctuidos, ésta también es polífaga y cosmopolita (Amate, et al., 1997); (Mazza, et al., 2006); (Okuruma, 1961); (Vélez-Angel, 1997).



Figura 30. Imago de *A. ipsilon*.

3.6.6. *Megalographa biloba* (Stephens, 1830) (Noctuidae: Plusiinae)

Este nóctuido presenta las sinonimias de *Autographa biloba* (Bugguide) y *Plusia biloba* Stephens 1832, el cual ha sido reportado asociado a flores de corte, (Quimbayo, et al., 2010), sin embargo se reportan más de 20 hospederos para este insecto (Eichlin, 1975),

El epíteto de biloba, lo asignaron debido al

estigma plateado y bilobulado que presenta en el ala anterior (Figura 31) (Biol.wwe., 2015).



Figura 31. Imago de *Megalographa biloba*

3.6.7. *Peridroma saucia* (Hübner, 1808) (Noctuidae: Noctuinae)

Esta especie presenta la sinonimia de *Agrotis saucia* (Figura 32), es cosmopolita, y polífaga (Saunders, et al., 1998), se ha reportado en más de 30 especies hospederas (Angulo, et al., 2008).



Figura 32. Imago de *P. saucia*.

3.6.8. *Heliothis subflexa* (Guenée, 1852) (Noctuidae: Noctuinae)

Este nóctuido reviste gran importancia en el cultivo de uchuva, se le conoce como el pasador de la fruta de la uchuva (Figura 33). A diferencia de su especie cercana *H. viresces*, que es polífaga, *H. subflexa* se considera monófaga, no obstante, Matthews, (1991), la reporta utilizando a la rosa como un segundo hospedero.

La larva de *H. subflexa* accede a los frutos de la uchuva por medio de la perforación del capacho (Figura 34), llegándose a alimentar parcial o totalmente del fruto (Figura 35, 36 y 37).



Figura 333. Imago de *H. subflexa*.



Figura 34. Perforación de cáliz, realizada por larvas de *H. subflexa*.



Figura 34. Larva de *H. subflexa* alimentándose de fruto.

No obstante, un mismo individuo, puede afectar gran número de frutos, incrementando la severidad en el daño de la fruta (Petzold, et al., 2009). Esta especie oviposita de manera aislada y principalmente en el haz de las hojas jóvenes del tercio medio y superior de la planta de uchuva.



Figura 36. Fruto consumido totalmente por larva de nóctuido.



Figura 35. Fruto consumido parcialmente por larva de nóctuido.

3.6.9. *Copitarsia decolora* (Guenée, 1852) (Noctuidae: Cuculliinae)

Este nóctuido es el segundo pasador del fruto de la uchuva, presenta las sinonimias de *C. consueta* (Guenée), *C. turbata* (Herrich-Schaeffer) (Simmons & Pogue, 2004) (Figura 32). *Copitarsia* presenta dos agrupaciones, el complejo *C. naenoides* con 18 especies y el



Figura 37. Imago de *C. decolora*.

complejo *C. turbata* con tres especies, dentro de ésta se encuentra *C. decolora* (Angulo, et al., 2008) (Figura 38).

Este nóctuido junto con *H. subflexa* conforman el complejo de pasadores del fruto del cultivo de la uchuva (Benavidez & Mora, 2005), no obstante, *C. declolora* es considerada polífaga (Angulo, et al., 2008), y en el oriente Antioqueño es una plaga seria en los cultivos de flores de corte (Quimbayo, et al., 2010). Ésta especie



Figura 38. Larva de *C. decolora*.

presenta el mismo hábito de oviposición que *H. subflexa*, tal como lo registran Moreno Fajardo y Serna Cardona, (2006), al punto que su semejanza en coloración y hábitos alimenticios, llevan a confusión a los cultivadores de uchuva (Figura 39).

3.7. Factores climáticos en el desarrollo de los insectos.

Las condiciones ambientales, juegan un papel importante, en el desarrollo de los insectos; por ejemplo, les permite iniciar migraciones, cuando detectan un cambio en temperatura y/o fotoperiodo, al tiempo que han desarrollado procesos fisiológicos que les permite adaptarse a las condiciones cambiantes del clima (Klowden, 2007). Los insectos presentan un rango óptimo de desarrollo, especialmente a la temperatura, puesto que la temperatura interna del insecto está determinada por la

temperatura ambiental, y el calor metabólico y la cinética muscular no aportan mayor ganancia de temperatura en los insectos (Chapman, 1998).

En los estudios de ciclo de vida de los insectos, se establece que la temperatura, la humedad relativa, y la relación de horas luz día, son los factores más determinantes en la duración del ciclo biológico; los insectos responden a cambios de estas variables, incidiendo en su movilidad y adaptación (Kann-Woon, et al., 2014). Estos factores climáticos, acompañados de la calidad y cantidad de alimento, influyen en el número de instares larvales de los lepidópteros (Montezano, et al., 2013). Moreno y Serna (2006), establecen que las variables ambientales afectan los periodos de las diferentes etapas de desarrollo para *P. saucia*.

Dado que los insectos se catalogan como poiquiloterms, es decir que, la temperatura interna está determinada por la temperatura ambiental, se genera una relación dependiente entre esta condición ambiental y el desarrollo del insecto. Así, cambios de temperatura, generan cambios en la duración de las etapas de huevo y pupa del geométrido *Ascotis selenaria* (Kyung San & Dong-Soon, 2014). Además, los cambios en la temperatura ambiental pueden condicionar la emergencia de adultos de lepidópteros en las estaciones de verano, tiempo propicio para su vuelo y cópula, tal como ocurre en el papiliónide *Seriginus montela* que emerge en el verano inducido por la temperatura (Kann-Woon, et al., 2014).

Por otra parte, los resultados obtenidos por Kleynhans, et al (2014), mostraron que existe una relación directa entre la temperatura experimentada por el insecto en los

estados inmaduros y el balance hídrico del adulto del pirálide *Eldana sacharina* (Milano, et al., 2008). Este balance hídrico determina el desarrollo en cuanto a tamaño, permeabilidad de la cutícula, resistencia a la deshidratación. Adicionalmente, la temperatura juega un papel fundamental en la cópula de los insectos. Para el caso de los nóctuidos, *Anticarsia gemmatalis* y *S. frugiperda*, ciertos rangos de temperatura generan cambios en la frecuencia de apareamiento, fecundidad, fertilidad y longevidad de los individuos (Milano, et al., 2008).

La temperatura es una de las variables más importantes en el ciclo de vida de los insectos, ya que además de regular los ciclos de los insectos, les permite sincronizar sus etapas de desarrollo con los ciclos vegetativos de sus hospederos. Así, las poblaciones del nóctuido *Alabama argillacea* se concentran en los meses de verano, coincidiendo con el ciclo de su hospedero el algodónero (Mazza, et al., 2006).

3.8. El Suelo en el desarrollo de los insectos

El suelo está compuesto una por microbiota organizada estructural y funcionalmente por diferentes taxones, que juega un rol invaluable en el ecosistema. Dentro de las funciones de la biota del suelo se encuentra la descomposición de la materia orgánica, el reciclaje de nutrientes y la producción de compuestos orgánicos asociados con el aporte de estructura física al suelo (Dindal, 1990).

Adicionalmente, los diferentes recursos en el suelo varían en gran medida con la profundidad, evidenciándose una estratificación que conlleva a una distribución vertical de la fauna en el suelo (Figura 40) (Doblas-Mirandaa, et al., 2009). Además, la diversidad de especies, la abundancia y la biomasa,



Figura 39. Larvas de noctuidos refugiadas en el suelo, durante el día.

disminuyen a medida que se incrementa en la profundidad del suelo (Doblas-Mirandaa, et al., 2009). Por otra parte, también existen condiciones de micro hábitat que determinan los patrones de diversidad y biomasa, donde el ensamblaje de comunidades de macro invertebrados varía en relación con el tiempo (Doblas-Miranda, et al., 2009). Revisar la referencia hay dos datos de Miranda

Un factor importante en cuanto a la profundidad del suelo es la incidencia de controladores biológicos. Guillén, et al., (2002) establecen que la profundidad a la cual se encuentran las pupas de dípteros en el suelo, determina la eficiencia de uno u otro parasitoide; además el tipo de suelo, el



Figura 40. Pupas de nóctuidos en el suelo.

porcentaje de arena, limo y arcilla, son factores determinantes para el desarrollo del parasitismo.

Parte del ciclo de vida de los nóctuidos se desarrolla en el suelo (Figura 41). La compactación del suelo puede afectar la emergencia de *Heliothis zea*, impide la correcta formación de la celda pupal, causar daño mecánico a la pupa, por lo cual a mayor compactación del suelo menor es la emergencia del nóctuido, y esta relación es directamente proporcional a la profundidad del suelo a la que se encuentre la pupa (Roach & Campbell, 1983).

El presente trabajo, se centra en relacionar las variables ambientales y agronómicas del cultivo de la uchuva, así como el efecto de la resistencia a la penetración del suelo, con la tendencia poblacional de los dos lepidópteros pasadores del fruto de la uchuva, *Heliothis subflexa* y *Copitarsia decolora*, con el fin de determinar cuáles de las condiciones se asocian con su presencia y de esta manera, desarrollar modelos lineales generalizados predictivos de tendencias poblacionales, que puedan llegar a ser implementados en planes de manejo integrado.

4. Materiales y métodos

4.1. Modelos lineales generalizados

El Modelo Lineal Generalizado (*glm*), permite combinar modelos lineales y no lineales, aplicable a una gran familia de distribuciones como la Bernulli, Binomial, Gausiana y Poisson, entre otras de la familia exponencial. Además, este tipo de modelo es ideal cuando las respuestas no son variables continuas, como el caso de

un conteo o una frecuencia, donde la distribución de los errores puede tener una media igual a cero, pero puede estar lejos de una distribución Gausiana (Schabenberger & Pierce, 2002). Sin embargo, como hay variables que tienen magnitudes mayores que otras, es probable que se genere un enmascaramiento de los efectos de las variables explicativas sobre la variable respuesta, por lo cual, para obtener un modelo mejor ajustado, es necesario aplicar metodologías que evalúen cada una de las variables establecidas para la construcción del modelo.

El criterio de Akaike es una de las herramientas disponibles, con el cual es posible evaluar el modelo con todos los factores o variables, y obtiene un valor o *índice*, al tiempo que realiza una validación tanto en *Forward* como en *Backward*, que evalúa cada una de las variables de forma aditiva y sustractiva hasta obtener un modelo que minimiza la pérdida de la información que se hace durante la evaluación del modelo. Cuando se minimiza la pérdida de información, el modelo arroja el índice de Akaike con menor magnitud posible, lo cual permite inferir la validación interna del mismo.

Para poder obtener un modelo lineal aditivo con la ecuación generalizada, a partir de variables discretas no lineales con distribución *Poisson*, es decir que carecen de normalidad, el procedimiento del *glm* realiza una transformación logarítmica que linealiza los factores, al punto de obtener la fórmula genérica donde los β corresponden a los parámetros, siendo β_0 el intercepto de la ecuación y X_i las variables o factores que resultan significativos para describir el modelo de predicción (Schabenberger & Pierce, 2002).

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_i X_i + \dots + \beta_n X_n$$

Ecuación 1. Ecuación lineal generalizada de primer orden.

Dado que se requiere de un estadístico de prueba que sirva de evaluación del ajuste del modelo, en los modelos lineales aditivos se usa el valor del R^2 , sin embargo, éste no es aplicable a los **glm**, para determinar qué tan ajustado se encuentra el modelo, ya sea para describir tendencias o para predecir un fenómeno.

4.2. Validación del Modelo de Predicción

Para la validación del ajuste de modelos lineales generalizados se aplica el estadístico conocido como **RMSPD** (*Root Mean Square Predictive Diference*), que posee mayor potencia o certeza al momento de validar un modelo de predicción. Para validar un modelo, los valores de la RMSP deben tender a cero, aunque nunca llegan a ser cero. A continuación, se describe la fórmula del estadístico de prueba:

$$RMSPD = \sqrt{\frac{\sum(\text{Valores Observados} - \text{Valores Esperados})^2}{N^\circ \text{ de Valores Observados}}}$$

Ecuación 2. Estadístico de prueba RMSPD.

Estadístico de prueba para validación de modelos lineales generalizados.

Los valores observados hacen referencia a los datos de recolecta en campo para cada una de las magnitudes de la variable respuesta encontrados, entre tanto, los valores esperados son los que arroja el modelo tras realizar una predicción, y el número de valores observados, corresponde al número de muestreos realizados durante el estudio.

4.3. Selección de zonas de estudio

Se realizaron varias visitas a productores de la zona, así como a los Ingenieros Agrónomos y asistentes técnicos que visitan los cultivos de uchuva en el oriente antioqueño, quienes confirmaban que las larvas de los pasadores del fruto de la uchuva, se habían convertido en un problema entomológico que acarrea grandes pérdidas económicas al cultivo. Se seleccionaron las zonas, en las cuales el problema fitosanitario de los pasadores del fruto de la uchuva era cada vez más persistente y limitante, correspondientes a los municipios de Sonsón, San Vicente y Envigado (Figura 44).

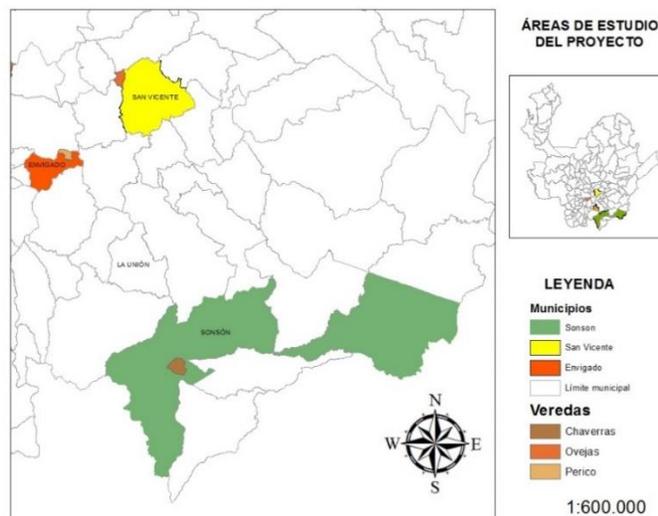


Figura 41. Mapa de ubicación geográfica del estudio.

Las fincas seleccionadas habían presentado o estaban afectadas por los nóctuidos, además, para su selección, se consideró que no fueran tan distantes entre sí, para facilitar el muestreo en campo. Se hizo una visita a los dueños de cada finca con el fin de presentar la propuesta de investigación y obtener el permiso para la recolección de muestras y datos de manejo de la finca.

4.4. Sistema de monitoreo de larvas de pasadores del fruto de la uchuva

Para el monitoreo de larvas se seleccionaron 24 puntos de muestreo distribuidos ponderadamente de acuerdo al área de estudio, de cada una de las cinco fincas; en cada punto de muestro se monitorearon 10 plantas, revisando el dosel de cada planta, que se dividió visualmente en el tercio inferior, medio y superior. En



Figura 42. Muestras de larvas de primeros instares, para su posterior identificación.

cada tercio se revisó un mínimo de 20 hojas tanto en el haz como en el envés, y también se revisaron los frutos presentes, buscando las perforaciones del capacho del fruto, típicas del daño causada por los pasadores del fruto. La recolección de los insectos se realizó de forma manual, cada 15 días, durante un periodo de seis meses comprendidos entre enero y julio del 2017. Los nóctuidos recolectados, en diferentes instares, se dispusieron en vasos plásticos transparentes de 16 onzas, tapados con malla de tull y rotulados con la fecha de monitoreo, la finca, el punto muestreado y el número de larvas presentes es esa planta (Figura 42). Éstos luego fueron llevados al salón de curaduría del Museo Entomológico Francisco Luís Gallego (MEFLG) de la Universidad Nacional de Colombia Sede Medellín, en el cual se realizó una identificación en estado larval, por medio de las claves taxonómicas de estados inmaduros (Angulo, et al., 2008); (Stehr, 1991). Además las larvas fueron

criadas en laboratorio, alimentadas con hojas de uchuva e higuera hasta el estado de pupa, en los recipientes plásticos, humedeciendo la base con un papel absorbente y algodón con agua hasta el estado de imago, para corroborar la identificación taxonómica, por comparación de los caracteres morfológicos con los especímenes de la colección de Lepidoptera del MEFLG, así como con las planchas a color que presenta Angulo *et al*, (2008), y los individuos descritos en los estudios preliminares a este trabajo (Guzmán-Cabrera, et al., 2018). De esta manera, se registró la presencia de los correspondientes pasadores del fruto *H. subflexa* y *C. decolora*.

Es importante resaltar que, para la recolección de los noctuidos. inicialmente se planteó conservar las larvas en campo por medio de mangas entomológicas (Figura 43), debido a que el estado de huevo y los primeros instares larvales son muy susceptibles a las perturbaciones generadas en la captura, transporte y crianza en laboratorio, lo cual provoca la muerte masiva de muchas de las larvas recolectadas. En tal sentido, se instalaron mangas entomológicas en las ramas donde se encontraban las larvas durante el monitoreo, sin embargo, se encontró que al siguiente monitoreo, los operarios de campo estaban haciendo la aplicación de pesticidas, dirigidas a los puntos en los cuales estaban las mangas entomológicas, causando la muerte de los individuos, por lo cual, se decidió proseguir con la recolección y transporte de las larvas en los recipientes plásticos tapados, y embalados en cajas de cartón corrugado previamente perforadas, para evitar el sofoco de los insectos y su posible aplastamiento.



Figura 43. Mangas entomológicas para monitoreo en campo de los perforadores del fruto de la uchuva.

4.5. Obtención de variables climáticas

Los datos climáticos correspondientes a temperatura, precipitación y humedad relativa en sus niveles máximos, promedios y mínimos, se obtuvieron de estaciones climáticas del IDEAM, cercanas a los municipios en los cuales se desarrolló el estudio. Una vez descargados los datos provenientes de un archivo plano, se procedió a convertirlos al formato .xlsx con el fin de analizar esta información.

4.6. Georreferenciación y medición de resistencia al a penetración.

Para la georreferenciación se tomaron las coordenadas del perímetro de cada uno de los lotes a estudiar se llevó a cabo con un GPS *Garmin Etrix-10®* (Figura 45). Seguidamente, se georreferenció una serie de puntos control, conformando una malla de puntos distanciados cada 20 metros aproximadamente, con el objetivo



Figura 44. Medición de resistencia a la penetración con un penetrómetro digital Fiel Scout.

de realizar una regionalización de los datos de campo, para obtener mapas de interpolación (krigings) que evidencian la distribución espacial de los estados inmaduros de los nóctuidos asociados al cultivo de la uchuva. En cada punto de la malla de puntos control, se procedió a medir la resistencia a la penetración desde los 0 cm hasta 20 cm de profundidad por medio de un Penetrómetro Field Scout.

4.7. Estandarización de la información

Los datos de georreferenciación se encontraban en el sistema geográfico WGS 1984, por lo cual, se realizó una proyección y transformación del sistema coordinado, utilizando la transformación Universal Transversal Mercator, 1984. Para esta parte del trabajo, se espacializaron los *waypoint* registrados en el GPS, con los cuales se obtuvo una capa de puntos, y sobre estos se realizó un polígono correspondiente al área de cada uno de los lotes. Para el caso del penetrómetro, se descargaron los datos y se almacenaron en formato .txt para poder manipular la base de datos y unificar estos datos con los del GPS y poder espacializar esta

información. Lo propio se hizo con la información recolectada con el Higrómetro, no obstante, el equipo presentó una falla en el software, por lo cual la información almacenada en éste, fue distorsionada y no fue posible su análisis.

4.8. Transformación de información Raster a Vectorial.

Por medio del software Arcgis 10.1 se procedió a hacer el análisis geostadístico, por medio de la herramienta Gestatadistical Interpolation, empirical Bayesian Kriging, con la cual se realizó la interpolación de los datos vectoriales, para obtener datos Raster, que conformaran sectores con valores de resistencia a la penetración semejantes. Este procedimiento se realizó para cada una de las capas y para cada lote de uchuva de manera independiente, puesto que los valores variaron de lote en lote y de profundidad en profundidad.

4.9. Reclasificación de la información Raster.

Debido a que, al momento de la interpolación, se generan errores intrínsecos al proceso Geoestadístico, fue necesario hacer una corrección o reclasificación de las agrupaciones de los valores interpolados. Este procedimiento se hizo con la herramienta *Analisis Tool Reclassify* presente en el mismo software. En este caso se realizó una re-categorización de la información por medio del método de cuantile, para obtener cuatro rangos de resistencia a la penetración, con la información reclasificada, y poder manipularla e interpretarla puntualmente.

4.10. Construcción de polígonos a partir de la información Raster.

Para poder hacer un uso adecuado de la información generada fue necesario la transformación de la información Raster a información Vectorial, para obtener polígonos que describieran cada una de las zonas diferenciadas de acuerdo a los valores de resistencia a la penetración de cada predio. Para este procedimiento se utilizó la herramienta Analisis tool, Conversion Raster to Polygon.

4.11. Unificación de polígonos.

Como la información Raster de la cual se elaboraron los polígonos está contenida en pixeles, al momento de la conversión se generan una gran cantidad de sub-polígonos dentro de los polígonos grandes, los cuales deben ser adheridos al polígono mayor de la misma categoría, para facilitar el análisis de la información. Por consiguiente, a cada uno de los mapas de resistencia de penetración, se le hizo la unión de estos polígonos, por medio de la herramienta Georeferencing Merge que posee el software. De esta manera se lograron obtener los mapas finales de resistencia a la penetración, con las cuales se procedió a hacer un análisis de sobre posicionamiento de información, para obtener un nuevo mapa que consolide la información de las 9 profundidades en una sola.

4.12. Caracterización de las fincas.

Con la información recolectada y espacializada, se procedió a hacer un análisis geoespacial, por medio de la construcción de krigings o interpolaciones. Para este análisis se aplicó la estrategia denominada kriging bayesiano empírico, con el software ArcGis 10. Este método interactivo divide el conjunto de datos en subconjuntos superpuestos más pequeños. A cada subconjunto se le estimó los parámetros del semivariograma, usando el estadístico de máxima verosimilitud restringida. Los semivariogramas estimados se usaron para predecir la variable respuesta en las ubicaciones de entrada. Se estimó un nuevo semivariograma para los datos simulados, repitiéndose el proceso un número especificado de veces. El proceso crea un número alto de semivariogramas, que cuando se grafican, da como resultado una nube de semivariogramas. En el proceso de interpolación no se utiliza un único semivariograma para la predicción de la variable en una ubicación, sino que se utiliza el semivariograma de mayor verosimilitud de los semivariogramas estimados, con los subconjuntos en los cuales la ubicación quedo circunscrita.

4.12.1. Caracterización de la resistencia a la penetración de los predios de estudio.

Se procedió a realizar las interpolaciones de los valores de resistencia a la penetración cada 2.5 cm de profundidad, partiendo de la capa 0 cm y terminando en la capa 20 cm de profundidad en cada lote. De esta manera, se obtuvieron nueve mapas de resistencia a la penetración de cada lote, con los valores presentados

cada 2.5 cm de profundidad, en el rango de profundidad de 0 cm a 20 cm, en el cual se evidenció alta variabilidad de la resistencia en cada uno de los niveles, así como entre cada lote.

4.13. Estimación poblacional de nóctuidos asociados a la uchuva, a partir de variables agronómicas

Debido a que las actividades agronómicas de manejo del cultivo, definitivamente determinan las dinámicas poblacionales en el agroecosistema, se decidió determinar cuál de las variables se relacionó con los registros de *H. subflexa* y *C. decolora*. Para ello, por medio de entrevistas a los administradores de las fincas, se registraron las labores agronómicas más relevantes en el manejo de la uchuva, realizadas entre las fechas de monitoreo. Estas se listan a continuación:

- Aporque.
- Encalado.
- Desmalezado.
- Poda.
- Amarre.
- Fertilización.
- Cosecha.
- Aplicación de Materia Orgánica.
- Aplicación de Insecticidas.

- Aplicación de Fungicida.
- Aplicación de Microorganismos.

El registro de estas actividades se llenó de forma binomial, asignando uno a la actividad realizada y cero a la no ejecutada. Este registro temporal de actividades se complementó con los registros de presencia de los pasadores de uchuva en cada uno de los puntos de muestreo, para determinar qué tan relacionadas pueden estar la ejecución de una práctica agronómica con la presencia de especies asociadas al cultivo, en el cual se destacan las moléculas de síntesis aplicadas para el manejo fitosanitario de la uchuva (Tabla 2).

Tabla 2. Lista de productos agroquímicos usados en la zona para el cultivo de uchuva.

| PRODUCTO | | ACCIÓN | CATERORÍA TOXICOLÓGICA |
|------------------|--|--|------------------------|
| NOMBRE COMERCIAL | NOMBRE QUÍMICO | | |
| LISTO CROP | Líquido soluble de Mg, Mn, Cu y Zn | Fertilizante foliar | |
| PEGAL SILIKON SL | Silicone Polyethercopolymer | Coadyuvante | |
| ELOSAL SC 720 | Azufre | Fungicida protectante | III |
| DIVINO 250 EC | Difenoconazole | Fungicida sistémico | III |
| ESCORE 250 EC | Difenoconazole | Fungicida sistémico | II |
| AMISTAR 50 WG | Estribirulina | Fungicida sistémico | IV |
| FOLICUL 250 EW | Tebuconazole | Fungicida sistémico | III |
| SILVACUR COMBI | Triazole | Fungicida sistémico | II |
| ANTRA COL 70 WP | Dithiocarbamato | Fungicida de contacto | IV |
| BAYFIDAN 250 EC | Triazole | Fungicida sistémico | II |
| OCTAVE 50 WP | Imidazole | Fungicida traslaminar | IV |
| TEBUCOZ 25 EC | Tebuconazole | Fungicida sistémico | |
| BANAGEN 250 EC | Difenoconazole | Fungicida sistémico | III |
| FOLPAN 80 WGD | Ftalimida | Fungicida de contacto | III |
| ROVRAL 4FLO | Iprodione | Fungicida de contacto | IV |
| DACONIL 720 SC | Chlorotalonil | Fungicida protectante | II |
| AGRODYNE | Complejo Yodo polietoxi-Polipropoxi Polietoxi-etanol | Fungicida-Bactericida | III |
| CANDONGA 1.8 EC | Abemectina | Insecticida- Acaricida de contacto y estomacal | II |
| ACTARA 25 WG | Neonicotinoide | Insecticida sistémico | II |
| KARATE ZEON SC | Piretroide | Insecticida | II |
| KENDO SC | Phenoxipirazol | Acaricida | III |
| RUFAS AVANCE SC | Acrinatina | Insecticida- Acaricida | IV |
| DECIS 2.5 EC | Piretroide | Insecticida contacto-ingestión | IV |
| OPORTUNE 25 SC | Thiadiazine – IGR | Insecticida | III |
| PROVADO COMBI | Piretroide+ Neonicotinoide | Insecticida | III |

| | | | |
|--------|----------------------------|------------------------|----|
| GRIZLY | | | |
| NILO | Piretroide+ Neonicotinoide | Insecticida | II |
| RIMON | benzoilfenil ureas | Insecticida | IV |
| SEIZER | Piretroide | Insecticida- Acaricida | II |

5. Resultados

5.1. Correlación lineal entre valores de resistencia a la penetración de los puntos muestreados a diferentes profundidades.

Al calcular el valor medio de la resistencia a la penetración en cada nivel de profundidad del suelo para los cinco predios evaluados, se evidenció una relación directamente proporcional con un R^2 de 0.9483, en la cual, a medida que incrementa la profundidad del suelo, la resistencia a la penetración fue mucho mayor (Figura 46).

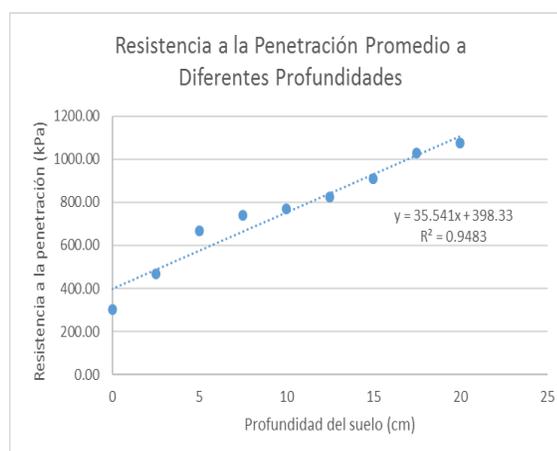


Figura 45. Resistencia a la penetración promedio a diferentes profundidades.

Dada la alta variabilidad de la resistencia en cada uno de los niveles, así como entre cada lote, se procedió a realizar un modelo de regresión lineal, con los valores promedio de la resistencia a la penetración de cada una de las capas de profundidad del suelo, con el fin, de reconocer una posible tendencia o comportamiento de esta variable, así como, una posible correlación entre la resistencia a la penetración promedio de las capas del suelo, y de esta forma obtener un parámetro que simplificara esta gran variabilidad, y posteriormente asociarla con los registros de

los insectos objeto de estudio en cada lote. La correlación entre los diferentes valores de la resistencia a la penetración, de cada nivel de profundidad evaluada, identificó una correlación lineal superior al 50%, entre las capas de 0-2.5 cm, 2.5-5 cm, 5-15 cm, y 15-20 cm (Tabla 3).

Tabla 3. Correlación lineal entre resistencia a la penetración a diferentes profundidades.

| PROFUNDIDAD (cm) | CORRELACIÓN LINEAL ENTRE RESISTENCIAS A LA PENETRACIÓN EN DISTINTAS PROFUNDIDADES | | | | | | | | |
|------------------|---|---------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|
| | 0,0 | 2,5 | 5,0 | 7,5 | 10,0 | 12,5 | 15,0 | 17,5 | 20,0 |
| 0,0 | | 0.782382 0178764 75 | 0.374784 0359418 29 | 0.167032 3263653 9 | 0.189992 2160650 53 | 0.221781 8030321 68 | 0.251907 9308551 63 | 0.238137 3553579 33 | 0.221827 1138835 05 |
| 2,5 | 0.782382 0178764 75 | | 0.561426 1312963 3 | 0.278218 6650197 85 | 0.291797 8035341 9 | 0.264363 7094879 76 | 0.287378 9350034 59 | 0.268863 9604396 93 | 0.243626 1882914 54 |
| 5,0 | 0.374784 0359418 29 | 0.561426 1312963 3 | | 0.760503 2742978 27 | 0.675201 6722196 65 | 0.590372 3066282 57 | 0.539879 6005159 41 | 0.496165 9056088 56 | 0.447002 4276772 07 |
| 7,5 | 0.167032 3263653 9 | 0.278218 6650197 85 | 0.760503 2742978 27 | | 0.880213 8463473 93 | 0.754374 6459140 81 | 0.674292 4510841 33 | 0.610649 3209233 02 | 0.561807 3550055 8 |
| 10,0 | 0.189992 2160650 53 | 0.291797 8035341 9 | 0.675201 6722196 65 | 0.880213 8463473 93 | | 0.887834 3870998 58 | 0.783125 8182062 42 | 0.685730 9809958 76 | 0.629176 1253043 87 |
| 12,5 | 0.221781 8030321 68 | 0.264363 7094879 76 | 0.590372 3066282 57 | 0.754374 6459140 81 | 0.887834 3870998 58 | | 0.905162 8545622 57 | 0.780942 7894849 46 | 0.697415 2067667 35 |
| 15,0 | 0.251907 9308551 63 | 0.287378 9350034 59 | 0.539879 6005159 41 | 0.674292 4510841 33 | 0.783125 8182062 42 | 0.905162 8545622 57 | | 0.888948 1532396 47 | 0.765963 8181187 86 |
| 17,5 | 0.238137 3553579 33 | 0.268863 9604396 93 | 0.496165 9056088 56 | 0.610649 3209233 02 | 0.685730 9809958 76 | 0.780942 7894849 46 | 0.888948 1532396 47 | | 0.865095 1685518 1 |
| 20,0 | 0.221827 1138835 05 | 0.243626 1882914 54 | 0.447002 4276772 07 | 0.561807 3550055 8 | 0.629176 1253043 87 | 0.697415 2067667 35 | 0.765963 8181187 86 | 0.865095 1685518 1 | |

5.2. Determinación del límite crítico de resistencia a la penetración.

Para determinar el valor del límite crítico de la resistencia a la penetración, se elaboró una gráfica (Figura 47), en la cual se plasmaron los diferentes valores de resistencia a la penetración para cada uno de los lotes, representados por un color. De acuerdo con esta figura se estableció como límite crítico de resistencia a la

penetración el valor de 1.100 Kpa, ya que se observa que, por debajo de éste valor, los datos de resistencia a la penetración en todos los lotes y en todas las profundidades es semejante. No obstante, por encima de este valor, hay una variabilidad en los datos, por consiguiente, se configuró éste como el dato crítico, que permitió comparar los valores dentro de cada lote.

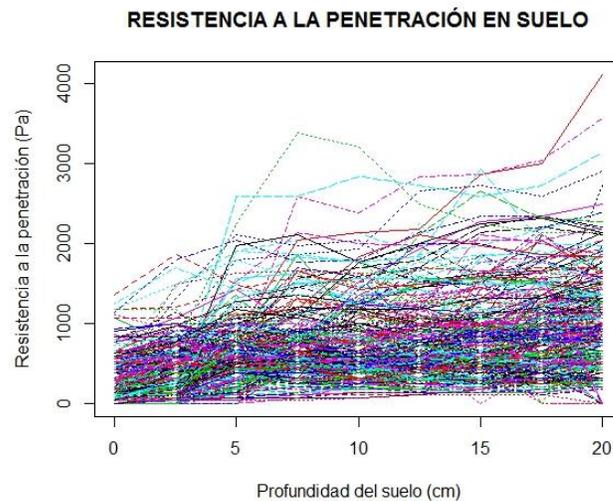


Figura 46. Correlación lineal entre resistencia a la penetración del suelo en pascales, y la profundidad del mismo en centímetros.

5.3. Ubicación espacial de parcelas experimentales en un sistema de bloques.

Tomando como referencia el valor umbral sobre el cual la resistencia a la penetración en los suelos varía, es decir a una presión de 1.100 Kpa, se distribuyeron 24 unidades experimentales, de acuerdo a las áreas de cada predio (Tabla 4).

Tabla 4. Áreas de los lotes con sus respectivos rangos de resistencia a la penetración, según su rango de resistencia a la penetración.

| LOTES | ÁREAS SEGÚN RESISTENCIA A LA PENETRACIÓN (m ²) | | | | ÁREA POR FINCA (m ²) | ÁREA (%) |
|---------------|--|--------------------------|-------------------------|----------------|----------------------------------|----------|
| | 0 a 2.5 cm | 2.5 a 5.0 cm | 5.0 a 15.0 cm | 15.0 a 20.0 cm | | |
| Envigado | 2.302 (m ²) | | 1.789 (m ²) | | 4091 | 6,56 |
| San Vicente 1 | 22.912 | | | | 22912 | 36,76 |
| San Vicente 2 | 2.274 (m ²) | | 379 (m ²) | | 2653 | 4,26 |
| Sonsón 1 | 4.630 (m ²) | 14.717 (m ²) | | | 19344 | 31,03 |
| Sonsón 2 | 10.525 (m ²) | | 2.807 (m ²) | | 13332 | 21,39 |

Verde: <1.100 kPa; Rosa: >1.100 kPa

5.4. Determinación de zonas de muestreo

Teniendo en cuenta los dos criterios de valor crítico de 1.100 Kpa, y los cuatro rangos de resistencia a la penetración con correlación superior al 50%, se elaboraron las coberturas para cada localidad (Figura 48) y de éstas se calcularon las áreas correspondientes a cada uno de los polígonos, permitiendo la caracterización del lote según estos dos criterios (Tabla 3). Aplicando el valor crítico de resistencia a la penetración, se obtuvo que todos los lotes, a excepción del lote de San Vicente_1, presentaron dos categorías. También, se identificó que en cuatro de los cinco lotes se presentó una resistencia mayor a 1.100 kPa, cuando la profundidad superaba los 15 cm. De esta manera se identificaron los polígonos para distribuir las unidades experimentales dentro de cada lote.

5.5. Modelos lineales generalizados con la variable resistencia a la penetración

Se construyeron modelos lineales generalizados para cada uno de las dos especies perforadoras del fruto de la uchuva, *H. subflexa* y *C. decolora*.

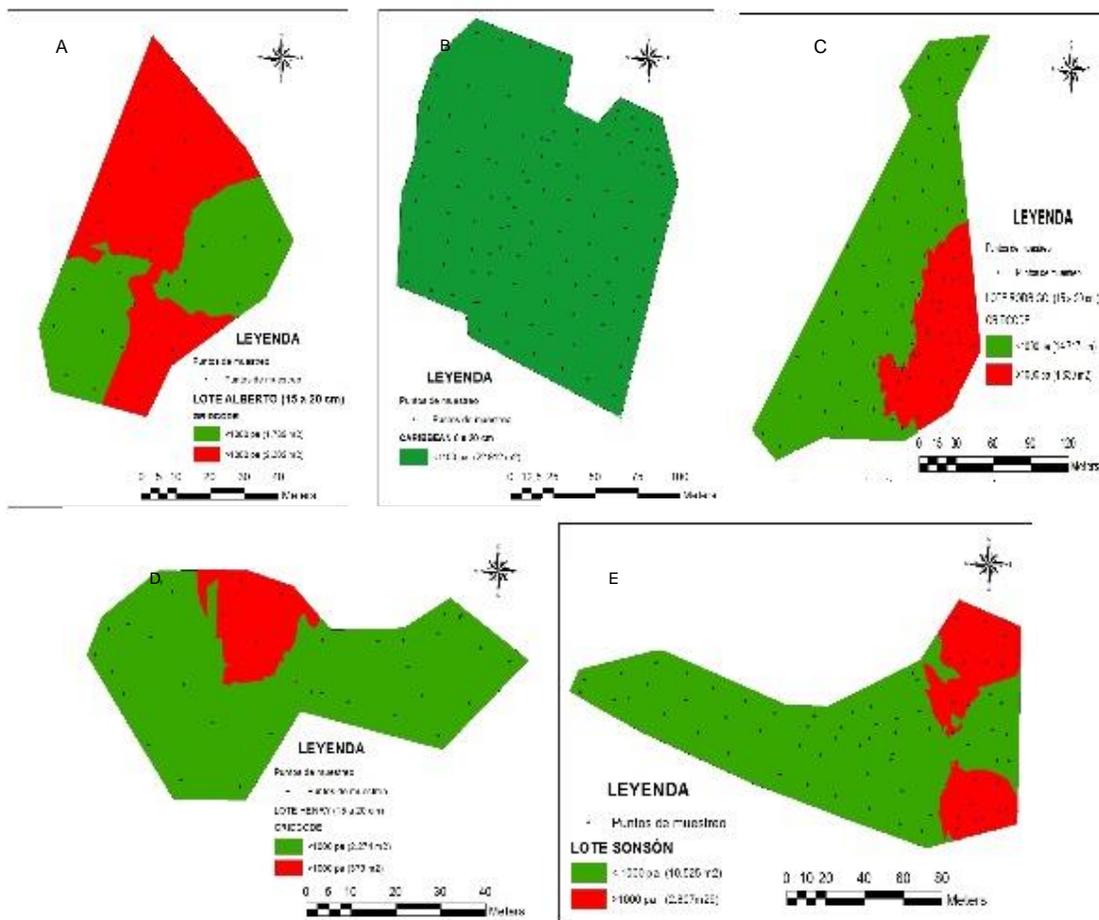


Figura 47. Mapas con polígonos menores de 1.100 kPa (verde) y mayores de 1.100 kPa de resistencia a la penetración (rojo). (A) Localidad Envigado, (B) Localidad San Vicente 1, (C) Localidad Sonsón 1 (D) Localidad San Vicente 2. (E) Localidad Sonsón 2.

5.5.1. Modelo lineal para *Heliothis subflexa* a partir de resistencia a la penetración del suelo.

El modelo de la tendencia poblacional de *H. subflexa*, evidencia que existe una leve relación entre los valores de la resistencia a la penetración (Figura 49), y el número de larvas presentes en las plantas monitoreadas, siendo determinantes la resistencia a la penetración media a las profundidades de 2.5 cm, 5.0 cm, 12.5 cm y 15.0 cm (Ecuación 3), con los respectivos valores medios de resistencia a la penetración.

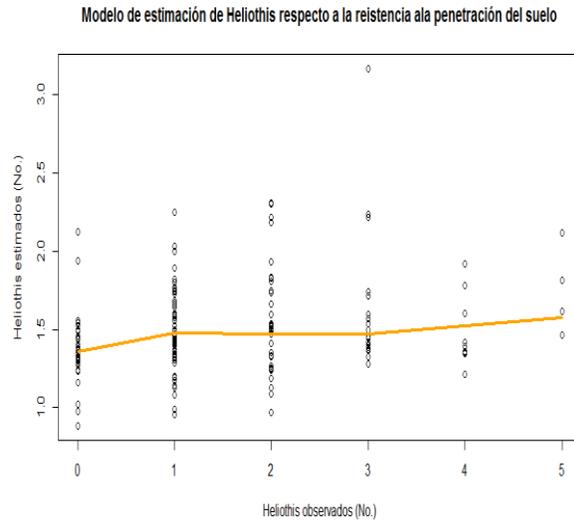


Figura 48. Modelo lineal generalizado para *Heliothis subflexa*.

$$Yh = 0.246 - 0.0003 (x 2.5cm) + 0.001 (x 5cm) - 0.001 (x 12.5cm) + 0.0004 (x 15cm)$$

Ecuación 3. Modelo lineal generalizado para *Heliothis subflexa*.

El modelo obtenido compuesto por el intercepto y cuatro niveles de resistencia a la penetración, evidencia que únicamente las profundidades de 5.0 cm y 12.5 cm, presentan significancia estadística, con *p-value* <0.01 y *p-value* < 0.05, respectivamente. No obstante, el valor medio de resistencia a la penetración a 5.0 cm, correspondiente a 667.112 kPa, le aporta al modelo un efecto positivo, mientras que a 12.5 cm, con valor medio de resistencia a la penetración de 824.09 kPa, le aporta un efecto negativo. El índice de Akaike para el modelo es de 498.13 indicando que gran parte de las variables estudiadas no definen ajustadamente el

comportamiento de la población de *H. subflexa*, no obstante, el modelo presentó un RMSPD de 1.220 (Tabla 4), muy cercano a 1, indicando que esta ecuación matemática permite describir la tendencia poblacional de *H. subflexa*, tal como se observa en la figura 49.

Tabla 5.. Resultados del modelo lineal generalizado para *Heliothis subflexa*.

| VARIABLE | Resistencia a la penetración promedio (Kpa) | Estimación | Error estándar | Z value | Pr(< z) | P value | AIC | RMSPD |
|------------|---|------------|----------------|---------|----------|---------|--------|-------|
| Intercepto | No aplica | 0.246 | 0.140 | 1.763 | 0.078 | 0.1 | 498.13 | 1.220 |
| X 2.5 cm | 466.67 | -0.0003 | 0.0002 | -1.447 | 0.148 | 1 | | |
| X 5.0 cm | 667.12 | 0.001 | 0.0002 | 2.707 | 0.007 | 0.01 | | |
| X 12.5 cm | 824.09 | -0.001 | 0.0003 | -1.973 | 0.049 | 0.05 | | |
| X 15.0 cm | 908.58 | 0.0004 | 0.0003 | 1.667 | 0.096 | 0.1 | | |

5.5.2. Modelo lineal para *Copitarsia decolora* a partir de resistencia a la penetración del suelo.

El modelo de la tendencia poblacional de *C. decolora*, evidenció buena relación entre los valores de la resistencia a la penetración, y el número de larvas presentes en las plantas monitoreadas, siendo determinantes la resistencia a la penetración media a las profundidades de 5.0 cm y 12.5 cm (Ecuación 4), con los respectivos valores medios de resistencia a la penetración.

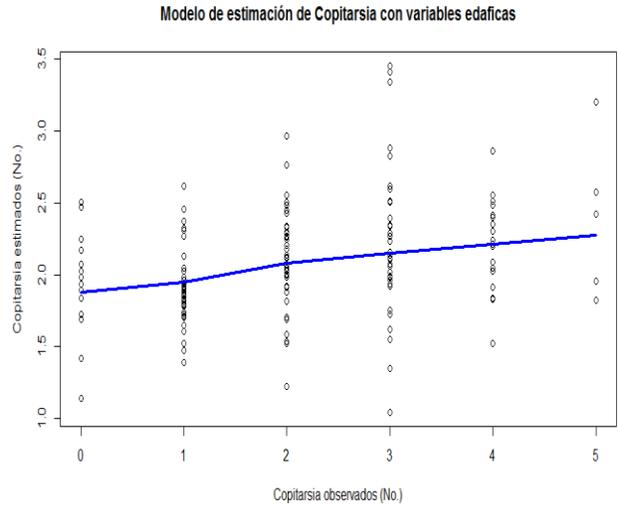


Figura 49. Modelo lineal generalizado para *Copitarsia decolora*, con variables edáficas.

$$Y_c = 0.861 - 0.0006 (x \text{ 5cm}) + 0.0003 (x \text{ 15cm})$$

Ecuación 4. Modelo lineal generalizado para *Copitarsia decolora*, con variables edáficas.

El modelo obtenido compuesto por el intercepto y dos niveles de resistencia a la penetración, evidencia que únicamente las profundidades de 5.0 cm y 12.5 cm, presentan significancia estadística, con *p-value* <0.01 y *p-value* < 0.05, respectivamente. No obstante, el valor medio de resistencia a la penetración a 5.0 cm, correspondiente a 667.112 kPa, le aporta al modelo un efecto negativo, mientras que a 12.5 cm, con valor medio de resistencia a la penetración de 824.09 kPa, le aporta un efecto positivo. El índice de Akaike para el modelo es de 518.8, indicando que gran parte de las variables estudiadas no definen ajustadamente el

comportamiento de la población de *C. decolora*, no obstante, el modelo presentó un RMSPD de 1.182 (tabla 4), muy cercano a 1, que indica que esta ecuación matemática permite describir la tendencia poblacional de *C. decolora*, tal como se observa en la Figura 50.

Tabla 6. Resultados del modelo lineal generalizado para *Copitarsia decolora*, con valores de resistencia a la penetración.

| Variable | Resistencia a la penetración promedio (kPa) | Estimación | Error estándar | Z value | Pr(< z) | p_value | AIC | RMSPD |
|------------|---|------------|----------------|---------|----------|---------|-------|-------|
| Intercepto | No aplica | 0.861 | 0.113 | 7.601 | 2.95E-14 | 0.00 | 518.8 | 1.182 |
| X 5.0 cm | 667.12 | -0.0006 | 0.0002 | -3.254 | 0.001 | 0.01 | | |
| X 12.5 cm | 824.09 | 0.0003 | 0.0001 | 2.551 | 0.011 | 0.05 | | |

De acuerdo a las variables de los modelos de estimación de la tendencia poblacional para *H. subflexa* y *C. decolora*, se encontró que las profundidades de 15 a 20 cm, con resistencia a la penetración entre 908.58 kPa y 1074.09 kPa, no presentaron efecto sobre ninguno de los dos modelos. De lo anterior se puede inferir que la friabilidad del suelo en los primeros centímetros juega un papel importante en el establecimiento de las dos especies pasadores de fruto. Además, se presenta una contrariedad en la respuesta de cada especie respecto a la resistencia a la penetración, puesto que, para *H. subflexa*, los 667.12 kPa a los 5 cm, representa un factor positivo, mientras que para *C. decolora*, esta misma condición representa un

efecto negativo. Lo mismo ocurre con la resistencia a la penetración de 824.09 kPa, a los 12.5 cm de profundidad, el cual resulta con un efecto negativo para la primera especie, mientras que para la segunda aporta un efecto positivo. No obstante, a pesar de que estas dos condiciones son contrarias entre las dos especies, es importante resaltar que la significancia de estas variables es igualmente significativa para los dos modelos.

5.5.3. Modelo de *H. subflexa* a partir de variables de agronómicas

Para *H. subflexa* se encontró que solo la variable fertilización tenía relación con el cambio poblacional del nóctuido. Dado que este insecto es considerado monófago, es probable que su respuesta al incremento nutricional de la planta, sea potencialmente utilizada por el insecto para cumplir con sus necesidades nutricionales y su multiplicación.

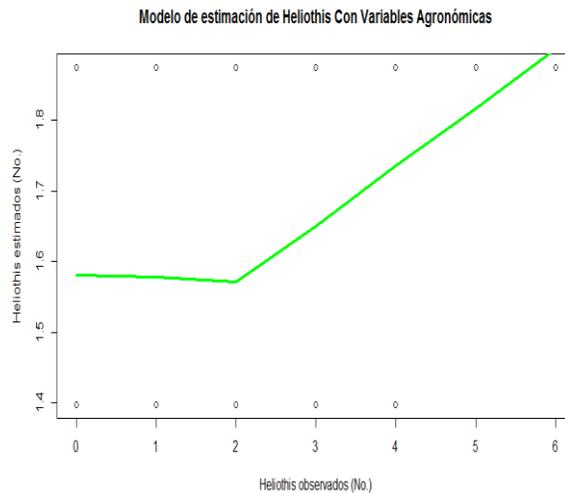


Figura 50. Modelo lineal generalizado de *Heliothis subflexa* con variables agronómicas.

$$Y.H.a. = 0.33485 + (0.29376) \text{ fertilización}$$

Ecuación 5. Modelo lineal generalizado de *H. subflexa* con variables agronómicas.

Este modelo presentó un índice de akaike de 508.89, indicando que la variable fertilizante es definitivamente importante para el desarrollo del insecto, además un estadístico RMSPD satisfactoriamente ajustado de 1.277093, el cual, a pesar de no permitir una predicción exacta de la densidad poblacional del pasador de la uchuva, si permite una estimación lo suficientemente aproximada, para poder tomar medidas de control preventivas.

Tabla 7. Resultados del modelo lineal generalizado para *H. subflexa*, con variables agronómicas.

| VARIABLE | Estimación | Error estándar | Z value | Pr(< z) | p_value | AIC | RMSPD |
|---------------|------------|----------------|---------|----------|---------|--------|----------|
| Intercepto | 0.33485 | 0.09017 | 3.714 | 0.000204 | <0.001 | 508.89 | 1.277093 |
| Fertilización | 0.29376 | 0.12465 | 2.357 | 0.018438 | <0.05 | | |

En la Figura 51 se evidencia como el modelo a partir de la frecuencia de fertilización mostró una buena predicción poblacional cuando hay un incremento poblacional de larvas en campo.

5.5.4. Modelo de *C. decolora* a partir de variables de agronómicas.

Para *C. decolora* se corrió el modelo lineal generalizado integrando las variables anteriormente mencionadas. Se encontró que cinco de las once variables, se relacionaron con la cantidad de individuos de la especie (Tabla 8).

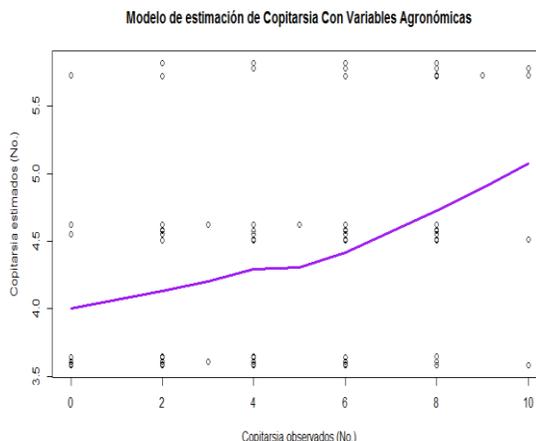


Figura 51. Modelo lineal generalizado de *C. decolora* con variables agronómicas

$$Y.C.a. = 1.53148 + (0.22299) \text{ Desmalezado} - (0.23923) \text{ Insecticida} + (0.22945) \text{ Fungicida} - (0.23843) \text{ Microorganismos} - (0.23889) \text{ Fertilización}$$

Ecuación 6. Modelo lineal generalizado de *C. decolora* con variables agronómicas

Tabla 8. Resultados del modelo lineal generalizado para *Copitarsia decolora*, con variables agronómicas.

| VARIABLE | Estimación | Error estándar | Z value | Pr(< z) | p_value | AIC | RMSPD |
|-----------------|------------|----------------|---------|----------|---------|--------|----------|
| Intercepto | 1.53148 | 0.07159 | 21.391 | <2e-16 | <0.001 | 760.86 | 2.448382 |
| Desmalezado | 0.22299 | 0.09864 | 2.261 | 0.0238 | <0.05 | | |
| Insecticida | -0.23923 | 0.10213 | -2.342 | 0.0192 | <0.05 | | |
| Fungicida | 0.22945 | 0.09264 | 2.477 | 0.0133 | <0.05 | | |
| Microorganismos | -0.23843 | 0.10579 | -2.254 | 0.0242 | <0.05 | | |
| Fertilización | -0.23889 | 0.09828 | -2.431 | 0.0151 | <0.05 | | |

En la ecuación del modelo lineal (Ecuación 6) que describe la tendencia poblacional de *C. decolora* en el cultivo de la uchuva se evidencia que la práctica de desmalezado, así como la aplicación de fungicidas, presentan un asocio positivo respecto a la densidad poblacional. Contrariamente, como era de esperarse, la

aplicación de insecticidas y microorganismos ejerció un efecto represivo en la población muestreada, además, la práctica de fertilización tuvo un efecto negativo, en contraste con el efecto positivo en *H. subflexa*.

El modelo presentó un índice de akaike de 760.86 que indica que solo una porción de la información aportada por las variables agronómicas, permite describir acertadamente los datos calculados respecto a los evaluados. Por otra parte, el estadístico RMSPD de 2.448382, indicó que el modelo permite establecer una tendencia poblacional aproximada de la población de *C. decolora*, sin embargo, como su valor está alejado del cero, no permite realizar predicciones exactas del número de individuos futuros, solamente usando estas variables. La Figura 52 mostró una tendencia creciente de la población de *C. decolora* probablemente favorecida por el incremento en el recurso alimenticio presente en las plantaciones evaluadas.

5.5.5. Estimación poblacional de nóctuidos asociados a la uchuva, a partir de variables climáticas

Las condiciones climáticas, especialmente las relacionadas con la temperatura, la humedad relativa y la precipitación, determinan las condiciones agroclimáticas tanto para el desarrollo del cultivo, así como para los insectos asociados a éstos.

5.5.5.1. Modelos para *H. subflexa* a partir de variables climáticas

El modelo lineal obtenido para determinar la tendencia poblacional de *H. subflexa* indicó una relación entre la precipitación media y la temperatura máxima, siendo la primera estadísticamente significativa. Este modelo presentó un índice de akaike que referencia que las variables que componen el modelo permiten explicar el comportamiento de la densidad poblacional del insecto, además el RMSPD de 1.246937, indicó un buen ajuste el modelo (Tabla 9).

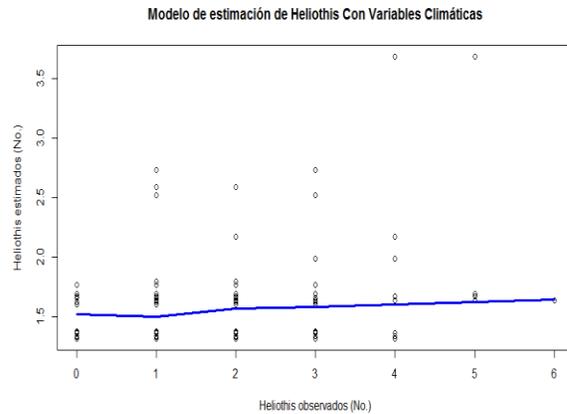


Figura 52. Modelo lineal generalizado de *H. subflexa* con variables climáticas.

$$Y.H.c. = -0.211496 + (0.006577) \text{ Precipitación media} + (0.021851) \text{ Temperatura máxima.}$$

Ecuación 7. Modelo lineal generalizado de *H. subflexa* con variables climáticas.

Tabla 9. Resultados del modelo lineal generalizado para *H. subflexa*, con variables climáticas.

| VARIABLE | Estimación | Error estándar | Z value | Pr(< z) | p_value | AIC | RMSPD |
|---------------------|------------|----------------|---------|----------|---------|-------|----------|
| Intercepto | -0.211496 | 0.413307 | -0.512 | 0.60885 | | 505.7 | 1.246937 |
| Precipitación media | 0.006577 | 0.001886 | 3.487 | 0.000488 | <0.001 | | |
| Temperatura máxima | 0.021851 | 0.014783 | 1.478 | 0.139366 | | | |

La Figura 53 muestra una baja respuesta de la estimación poblacional respecto a la población observada, por lo tanto, a pesar de que hay una buena relación explicativa, el uso exclusivo de estas variables, no permite obtener una predicción poblacional ni una descripción de la tendencia de la misma.

5.5.5.2. Modelos para *C. decolora* a partir de variables climáticas

Para la estimación de la tendencia poblacional de *C. decolora* a partir de variables climáticas, se encontró que cuatro de las seis variables se asocian con su población (Tabla 10). Entre estas variables se encuentran la precipitación acumulada y la precipitación media, la humedad relativa media y la temperatura mínima.

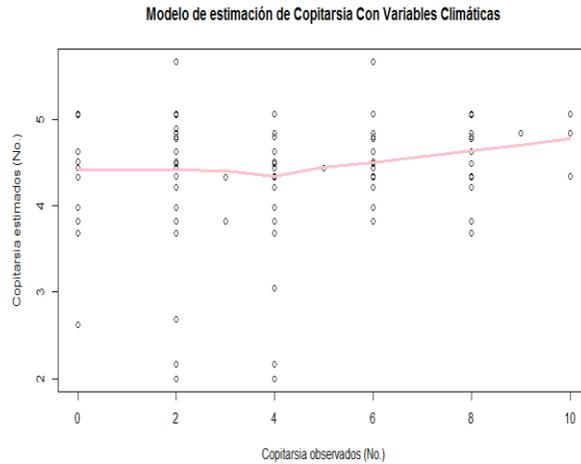


Figura 53. Modelo lineal generalizado de *C. decolora* con variables climáticas.

$$Y.C.c. = 8.52953 + (0.001914) \text{ Precipitación acumulada} - (0.01223) \text{ Precipitación media} - (0.077949) \text{ Humedad relativa media} - (0.036752) \text{ Temperatura mínima.}$$

Ecuación 8. Modelo lineal generalizado de *C. decolora* con variables climáticas.

Tabla 10. Resultados del modelo lineal generalizado para *Copitarsia decolora*, con variables climáticas.

| VARIABLE | Estimación | Error estándar | Z value | Pr(< z) | p. value | AIC | RMSPD |
|-------------------------|------------|----------------|---------|----------|----------|--------|----------|
| Intercepto | 8.52953 | 2.724934 | 3.13 | 0.001747 | <0.01 | 760.88 | 2.469647 |
| Precipitación acumulada | 0.001914 | 0.001018 | 1.88 | 0.060067 | <0.1 | | |
| Precipitación media | -0.01223 | 0.003605 | -3.392 | 0.000693 | <0.001 | | |
| Humedad relativa media | -0.077949 | 0.031593 | -2.467 | 0.013615 | <0.05 | | |
| Temperatura mínima | -0.036752 | 0.012374 | -2.97 | 0.002977 | <0.01 | | |

De estas cuatro variables, solo la precipitación acumulada favoreció el incremento poblacional de este pasador del fruto de la uchuva, mientras que las variables de precipitación media, humedad relativa media y temperatura mínima, generaron un efecto negativo sobre *C. decolora*. El modelo lineal de estimación poblacional mostró un índice de akaike de 760.88, indicando que las variables seleccionadas en el modelo, describieron débilmente el comportamiento de la población, lo cual se reflejó en el estadístico RMSPD de 2.469647, que indica bajo ajuste del modelo y carencia para ser usado en una predicción, no obstante, permite describir la tendencia poblacional.

La figura 54 sugiere que las variables del modelo carecen de aproximación para la estimación poblacional. Es probable que ésta especie tenga más sensibilidad hacia otro tipo de variables climáticas no caracterizadas en este trabajo.

5.5.6. Estimación poblacional de nóctuidos asociados a la uchuva, a partir de variables agronómicas, climáticas y edáficas.

Teniendo en cuenta que los insectos no responden aisladamente a los fenómenos climáticos, edáficos y antrópicos, se procedió a integrar las variables edafoclimáticas, con los registros de presencia de las dos especies de insectos pasadores de fruto, en el agroecosistema de uchuva, con el fin de obtener modelos más precisos y eficaces, que se puedan utilizar en los proyectos agrícolas de la uchuva.

5.5.7. Modelos para *Heliothis subflexa* a partir de variables agronómicas y edafoclimáticas

Para el modelo de estimación poblacional de *H. subflexa* en el cultivo de la uchuva, en el cual se integró todas las variables edafoclimáticas, se encontró que la variable punto correspondiente a la ubicación de la planta dentro del lote, tiene un efecto, sobre la población de *H. subflexa*, así mismo la variable “Y” que hace

referencia a la ubicación en metros, de la planta en el eje proyectado de la latitud Norte, presenta un efecto sobre el modelo, estas dos variables se relacionan con la ubicación de la planta dentro de los lotes, y probablemente se asocia con la distribución agregada de esta especie.

Por otra parte, las variables agronómicas en el modelo integrado, mostró que la poda, el encalado y la aplicación de insecticidas, presentan efecto sobre el modelo final. De estas variables, la poda fue la única que presentó un efecto negativo, mientras que la aplicación de cal agrícola y la rotación de insecticidas usados ejercieron un efecto positivo al establecimiento del insecto, lo cual puede indicar que, puede existir problemas en la selectividad de la molécula para afectar este grupo de lepidópteros, o problemas relacionados con incompatibilidades de mezcla de productos que causen inactivación de ingredientes activos, o mala operación de aplicación así como equipos sin calibrar. Cabe resaltar que, en el modelo de

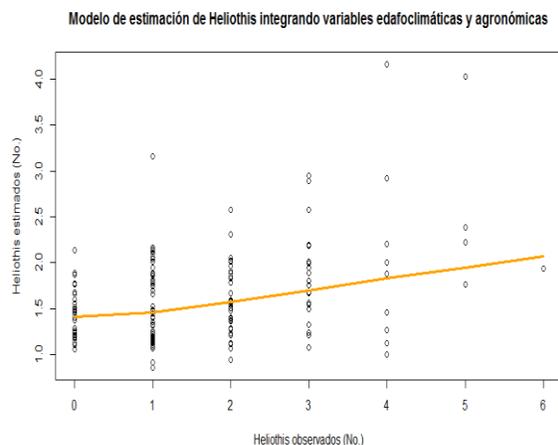


Figura 54. Modelo lineal generalizado de *H. subflexa* a partir de variables edafo-climáticas y agronómicas.

variables agronómicas, la única práctica que afecto el número de insectos fue la fertilización. Siguiendo con las variables climáticas, se encontró que al igual que el modelo climático, la temperatura máxima presenta un efecto positivo al comportamiento de *H. subflexa*, no obstante, en el modelo integrado aparece además un efecto negativo aportado por la viable Temperatura media (Ecuación 9).

$$Y.H.t = 3.40E+01 - (3.07E-03) \text{ Punto} - (4.32E-05) Y - (2.63E-01) \text{ Poda} + (4.68E-01) \text{ Encalado} + (2.14E-01) \text{ Insecticida} - (1.01) \text{ Temperatura media} + (6.59E-01) \text{ Temperatura máxima}.$$

Ecuación 9. Modelo lineal generalizado de *H. subflexa* con variables edafo-climáticas y agronómicas.

Tabla 11. Resultados del modelo lineal generalizado para *H. subflexa*, a partir de variables edáficas, climáticas y agronómicas.

| VARIABLE | Estimación | Error estándar | Z value | Pr(< z) | p_value | AIC | RMSPD |
|--------------------|------------|----------------|---------|----------|---------|-------|----------|
| Intercepto | 3.40E+01 | 1.10E+01 | 3.078 | 0.002083 | <0.01 | 503.4 | 1.188661 |
| Punto* | -3.07E-03 | 1.69E-03 | -1.818 | 0.069 | .<0.1 | | |
| Y** | -4.32E-05 | 1.25E-05 | -3.469 | 0.000523 | <0.001 | | |
| Poda | -2.63E-01 | 1.67E-01 | -1.57 | 0.116379 | <1 | | |
| Encalado | 4.68E-01 | 2.45E-01 | 1.915 | 0.055474 | .<0.1 | | |
| Insecticida | 2.14E-01 | 1.44E-01 | 1.485 | 0.137567 | <1 | | |
| Temperatura media | -1.01E+00 | 3.30E-01 | -3.062 | 0.002198 | <0.01 | | |
| Temperatura máxima | 6.59E-01 | 3.22E-01 | 2.047 | 0.040632 | <0.05 | | |

*Punto: Ubicación de la planta dentro del lote. **Y: ubicación en metros, de la planta en el eje proyectado d e la latitud Norte

Este modelo mostró un índice de akaique de 503.4, que indica que a pesar de que solo siete de las 33 variables aportan un efecto estadísticamente importante al modelo, éstas logran describir suficientemente el fenómeno; además el RMSPD de 1.188661 (Tabla 11) muestra que la estimación de la tendencia poblacional del modelo es lo suficientemente ajustada para estimar la tendencia poblacional de *H.*

subflexa, con el fin de establecer medidas de acción preventivas ante un eventual incremento poblacional (Figura 55).

5.5.8. Modelos para *Copitarsia decolora* a partir de variables agronómicas y edafoclimáticas

De la integración de las 33 variables edafo-climáticas, para estimar el modelo de la tendencia poblacional de *C. decolora*, se obtuvo que 13 variables presentaron una relación estadísticamente confiable, con el comportamiento de la población de este pasador del fruto de la uchuva (Ecuación 10).

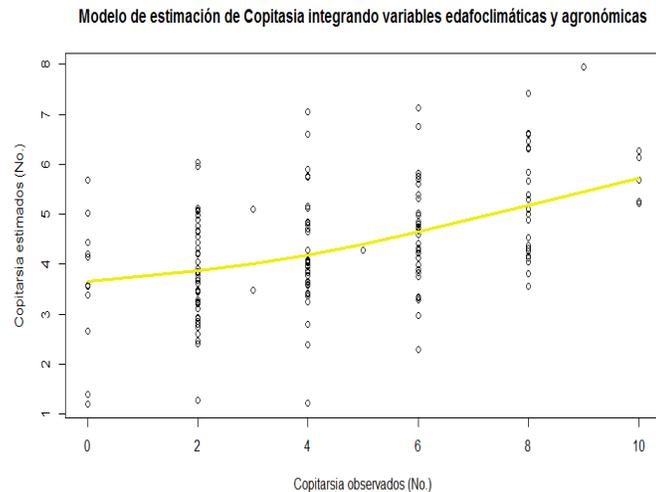


Figura 55. Modelo lineal generalizado de *C. decolora* con variables edafo-climáticas y agronómicas

De las variables del suelo que reaparecieron en este modelo edafoclimático, se encuentra la resistencia a la penetración a los 5 cm y a los 15 cm, aunque con diferente magnitud y con efecto contrario; además, en este modelo integrado el efecto de la resistencia a la penetración a los 10 cm y a los 20 cm, fue importante en la descripción del fenómeno de la tendencia poblacional. La posición en el eje X, correspondiente a la coordenada planta y la altura en metros sobre el nivel del mar, aparecieron también en este modelo completo.

$$Y.C.t = (-1.43E+01) - (-3.46E-04) X5_cm + (2.24E-04) X10_cm + (3.18E-04) X15_cm - (2.60E-04) X20_cm + (8.30E-05) X - (1.73E-03) \text{Altura} - (2.46E-01) \text{Poda} + (2.19E-01) \text{desmalezado} - (1.47E-01) \text{Fertilización} + (3.44E-03) \text{Precipitación acumulada} - (7.89E-03) \text{Precipitación media} - (1.93E-01) \text{Humedad relativa media} - (1.54E-01) \text{Temperatura media}.$$

Ecuación 10. Modelo lineal generalizado de *C. decolora* con variables edafo-climáticas y agronómicas

Tabla 12. Resultados del modelo lineal generalizado para *Copitarsia decolora*, con variables edáficas, climáticas y agronómicas.

| VARIABLE | Estimación | Error estándar | Z value | Pr(< z) | p_value | AIC | RMSPD |
|-------------------------|------------|----------------|---------|----------|---------|--------|----------|
| Intercepto | -1.43E+01 | 1.37E+01 | -1.047 | 0.29514 | <1 | 741.08 | 2.242403 |
| X5_cm | -3.46E-04 | 1.41E-04 | -2.451 | 0.01423 | <0.05 | | |
| X10_cm | 2.24E-04 | 1.50E-04 | 1.493 | 0.13536 | <1 | | |
| X15_cm | 3.18E-04 | 1.26E-04 | 2.524 | 0.01159 | <0.05 | | |
| X20_cm | -2.60E-04 | 1.08E-04 | -2.411 | 0.01592 | <0.05 | | |
| X | 8.30E-05 | 3.47E-05 | 2.395 | 0.0166 | <0.05 | | |
| ALTURA | -1.73E-03 | 9.18E-04 | -1.889 | 0.05889 | <0.1 | | |
| poda | -2.46E-01 | 1.15E-01 | -2.135 | 0.0328 | <0.05 | | |
| desmalezado | 2.19E-01 | 1.08E-01 | 2.016 | 0.04376 | <0.05 | | |
| fertilización | -1.47E-01 | 9.49E-02 | -1.545 | 0.12228 | <1 | | |
| Precipitación acumulada | 3.44E-03 | 1.15E-03 | 2.987 | 0.00281 | <0.01 | | |
| Precipitación media | -7.89E-03 | 4.44E-03 | -1.778 | 0.07544 | <0.1 | | |
| Humedad relativa media | -1.93E-01 | 4.56E-02 | -4.226 | 2.38E-05 | <0.001 | | |
| Temperatura mínima | -1.54E-01 | 5.55E-02 | -2.784 | 0.00536 | <0.01 | | |

En cuanto a las variables agronómicas, se evidenció que, con respecto al modelo obtenido con las variables agronómicas únicamente, la variable poda mostró un efecto negativo en la tendencia poblacional de este insecto, además del desmalezado y la fertilización que presentó un efecto positivo y negativo, respetivamente, semejante al modelo agronómico, aunque con diferente magnitud.

Para el caso de las variables climáticas, son las mismas que componen el modelo climático del pasador del fruto, cambiando la magnitud de la variable y su significancia estadística.

El índice de akaike de este modelo fue de 741.08, indicando que muchas de las variables evaluadas no aportaban información suficiente para interpretar el fenómeno de la ocurrencia de la especie en el lote. Por otra parte, presentó un RMSPD de 2.242403 que, a pesar de ser amplio para realizar predicciones, permite determinar la tendencia poblacional de *C. decolora* en las plantaciones de uchuva (Tabla 12). El gráfico del modelo lineal generalizado para la determinación de la tendencia poblacional de *C. decolora* en uchuva, mostro un comportamiento ajustado respecto a la información obtenida en campo (Figura 56), lo cual representa una prometedora herramienta para la determinación poblacional de los insectos en el campo, para establecer programas de manejo integrado con antelación.

6. Discusión

Partiendo de los resultados obtenidos, donde la resistencia a la penetración presentó una relación directamente proporcional con respecto a la profundidad del suelo, con un R^2 de 0.9483, se destaca que con relación a los dos modelos de tendencia poblacional de *H. subflexa* y *C. decolora*, hasta los 15 cm de profundidad, con resistencia a la penetración promedio de 909 Kpa, hay un efecto sobre la presencia de ambas especies. Probablemente, la baja resistencia a la penetración a esta profundidad facilita el ingreso de las larvas para iniciar la etapa de pre-pupa

y pupa. Además, en estos primeros centímetros del suelo, se presenta una combinación de factores como temperatura, humedad y aireación, que favorece la presencia de la entomofauna asociada al suelo (King, 1939), lo cual podría indicar el porqué, la resistencia a la penetración en las profundidades entre 15 y 20 cm, no fue estadísticamente significativa para determinar la estimación de la tendencia poblacional de estos noctuidos (Tabla 13).

Tabla 13. Comparación de variables y significancia de los modelos de los pasadores del fruto con la resistencia a la penetración.

| VARIABLE | Modelo de resistencia a la penetración promedio (Kpa) | | | |
|------------|---|----------------|----------------------------|----------------|
| | <i>Heliothis subflexa</i> | <i>p-value</i> | <i>Copitarsia decolora</i> | <i>p-value</i> |
| Intercepto | No aplica | 0.1 | No aplica | 0.00 |
| X 2.5 cm | 466.67 | 1 | Sin efecto sobre el modelo | No aplica |
| X 5.0 cm | 667.12 | 0.01 | 667.12 | 0.01 |
| X 12.5 cm | 824.09 | 0.05 | 824.09 | 0.05 |
| X 15.0 cm | 908.58 | 0.1 | Sin efecto sobre el modelo | No aplica |

Adicionalmente, es importante mencionar que *H. subflexa*, presentó mayor relación con el suelo en las diferentes profundidades, no obstante, las resistencias a las penetraciones que resultaron estadísticamente significativas para ambas especies correspondieron a las profundidades de 5.cm y 12.5 cm, con resistencias de 668 Kpa y 824 Kpa respectivamente, presentando un $pvalue < 0.05$, lo cual permite inferir que éste sea el rango de profundidad en la cual ingresan las larvas para continuar su desarrollo.

Por otra parte, en los modelos elaborados para los pasadores del fruto de la uchuva a partir de las variables de manejo agronómico, se destaca que *H. subflexa* solo

resultó relacionada con la variable fertilización con un $p\text{-value}<0.05$ (Tabla 14), y dado que ésta actividad va encaminada a la nutrición vegetal, para el sostenimiento nutricional, de los diferentes tejidos vegetales, principalmente hojas y frutos, es probable que este noctuido responda mejor a la composición nutricional de su hospedero, concordando con que ésta especie ha sido reportada como monófaga de *Physalis* (Campos de Melo, et al., 2017). Por el contrario, el modelo de *C. decolora* resultó relacionado con mayor cantidad de actividades agronómicas presentaron significancia estadística, con $p\text{-value}<0.05$.

Tabla 14. Comparación de variables y significancia de los modelos de los pasadores del fruto con las practicas agronómicas.

| VARIABLE | Modelo con variables agronomicas | | | |
|-----------------|----------------------------------|----------------|----------------------------|----------------|
| | <i>Heliothis subflexa</i> | <i>p_value</i> | <i>Copitarsia decolora</i> | <i>p_value</i> |
| Intercepto | 0.33485 | <0.001 | 1.53148 | <0.001 |
| Desmalezado | Sin efecto sobre el modelo | No aplica | 0.22299 | <0.05 |
| Insecticida | Sin efecto sobre el modelo | No aplica | -0.23923 | <0.05 |
| Fungicida | Sin efecto sobre el modelo | No aplica | 0.22945 | <0.05 |
| Microorganismos | Sin efecto sobre el modelo | No aplica | -0.23843 | <0.05 |
| Fertilización | 0.29376 | <0.05 | -0.23889 | <0.05 |

En cuanto a los modelos de tendencia poblacional para *H. subflexa* y *C. decolora*, elaborados a partir de las variables climáticas, se destaca que el modelo del primer pasador del fruto, se relacionó solo con las variables Precipitación media y Temperatura máxima, indicando que esta especie es más sensible a estos dos factores, mientras que el modelo del segundo nóctuido está relacionado con otros factores como la Precipitación acumulada, Humedad relativa media y Temperatura mínima, sin embargo no se relaciona con la variable Temperatura máxima (Tabla 15).

Tabla 15. Comparación de variables y significancia de los modelos de los pasadores del fruto con variables climáticas.

| VARIABLE | Modelo con variables climáticas | | | |
|-------------------------|---------------------------------|----------------|----------------------------|----------------|
| | <i>Heliothis subflexa</i> | <i>p-value</i> | <i>Copitarsia decolora</i> | <i>p-value</i> |
| Intercepto | -0.211496 | | 8.52953 | <0.01 |
| Precipitación acumulada | Sin efecto sobre el modelo | No aplica | 0.001914 | <0.1 |
| Precipitación media | 0.006577 | <0.001 | -0.01223 | <0.001 |
| Humedad relativa media | Sin efecto sobre el modelo | No aplica | -0.077949 | <0.05 |
| Temperatura mínima | Sin efecto sobre el modelo | No aplica | -0.036752 | <0.01 |
| Temperatura máxima | 0.021851 | <1 | Sin efecto sobre el modelo | No aplica |

Es importante resaltar que las variables asociadas al modelo de *C. decolora* concuerdan con algunas de las variables climáticas estadísticamente significativas para el modelo de descripción de la tendencia poblacional del complejo de pasadores del fruto de la uchuva, previamente realizado en el municipio de La Unión-Antioquia (Guzmán-Cabrera, et al., 2018). Sin embargo, el presente trabajo, presenta los modelos para cada especie, en el cual las variables climáticas, que componen el modelo de *H. subflexa*, corresponden a Temperatura máxima y Precipitación media, siendo esta última la única que presenta significancia estadísticamente significativa con un $p\text{-value}<0.001$.

La semejanza de las variables climáticas de los modelos para *C. decolora* de ambos trabajos, puede deberse a que en el modelo elaborado en este municipio, había mayor presencia de *C. decoloracopitarcia* que *H. subflexa*, por lo cual, la información asociada a esta especie, pudo haber aportado mayor información.

Por otra parte, la integración de las diferentes variables climáticas, edáficas y agronómicas, para describir los modelos dejan en evidencia, que hay un efecto

espacial, asociada a los puntos de muestreo, puesto que la variable Punto, correspondiente a la ubicación de la planta muestreada dentro del lote y la variable Y, correspondiente a la coordenada Norte proyectada en metros, resultaron significativas para el modelo de *H. subflexa*, mientras que las variables X correspondiente a la proyección en metros de la coordenada longitudinal Oeste, y la Altura en msnm, de los puntos de muestreo, aportaron información en el modelo de *C. decolora*. La significancia de la ubicación de la planta con relación a los insectos estudiados, debe ser congruente con una distribución agregada e inicio de ataque en focos de estas plagas, lo cual se debe considerar para el manejo integrado de plagas. Además, al integrar todas las variables en el modelo de *H. subflexa*, se destacó que el efecto aportado por la resistencia a la penetración deja de aportar información, mientras que las variables agronómicas como Poda, Encalado y aplicación de Insecticidas, así como las variables de Temperatura media y máxima, describen mejor el comportamiento de la tendencia poblacional de *H. subflexa*.

Tabla 16. Comparación de variables y significancia de los modelos de los pasadores del fruto con variables edafo-climáticas

| VARIABLE | Modelo con variables edafo-climáticas y agronómicas | | | |
|------------|---|----------------|----------------------------|----------------|
| | <i>Heliothis subflexa</i> | <i>p_value</i> | <i>Copitarsia decolora</i> | <i>p_value</i> |
| Intercepto | 3.40E+01 | <0.01 | -1.43E+01 | <1 |
| Punto | -3.07E-03 | .<0.1 | Sin efecto sobre el modelo | No aplica |
| Y | -4.32E-05 | <0.001 | Sin efecto sobre el modelo | No aplica |
| X | Sin efecto sobre el modelo | No aplica | 8.30E-05 | <0.05 |
| ALTURA | Sin efecto sobre el modelo | No aplica | -1.73E-03 | <0.1 |
| X5_cm | Sin efecto sobre el modelo | No aplica | -3.46E-04 | <0.05 |

| | | | | |
|-------------------------|----------------------------|-----------|----------------------------|-----------|
| X10_cm | Sin efecto sobre el modelo | No aplica | 2.24E-04 | <1 |
| X15_cm | Sin efecto sobre el modelo | No aplica | 3.18E-04 | <0.05 |
| X20_cm | Sin efecto sobre el modelo | No aplica | -2.60E-04 | <0.05 |
| Poda | -2.63E-01 | <1 | -2.46E-01 | <0.05 |
| Encalado | 4.68E-01 | .<0.1 | Sin efecto sobre el modelo | No aplica |
| Insecticida | 2.14E-01 | <1 | Sin efecto sobre el modelo | No aplica |
| Desmalezado | Sin efecto sobre el modelo | No aplica | 2.19E-01 | <0.05 |
| Fertilización | Sin efecto sobre el modelo | No aplica | -1.47E-01 | <1 |
| Precipitación acumulada | Sin efecto sobre el modelo | No aplica | 3.44E-03 | <0.01 |
| Precipitación media | Sin efecto sobre el modelo | No aplica | -7.89E-03 | <0.1 |
| Humedad relativa media | Sin efecto sobre el modelo | No aplica | -1.93E-01 | <0.001 |
| Temperatura mínima | Sin efecto sobre el modelo | No aplica | -1.54E-01 | <0.01 |
| Temperatura media | -1.01E+00 | <0.01 | Sin efecto sobre el modelo | No aplica |
| Temperatura máxima | 6.59E-01 | <0.05 | Sin efecto sobre el modelo | No aplica |

Y: Ubicación en metros, de la planta en el eje proyectado de la latitud Norte: **X:** Ubicación en metros, de la planta en el eje proyectado de la longitud Oeste. **Altura:** Metros sobre el nivel del mar de los puntos de muestreo.

Contrariamente, el modelo de *C. decolora*, es descrito por mayor cantidad de variables, destacándose los valores de resistencia a la penetración, la actividad agronómica de Poda, Desmalezado y Fertilización, así como la precipitación media, acumulada, la humedad relativa y la temperatura mínima.

En cuanto al ajuste de los modelos para configurar una herramienta de descripción de la tendencia poblacional de los pasadores del fruto, con las diferentes variables descriptoras, se tiene que, los modelos que presentan mejor descripción de la tendencia poblacional de los nóctuidos pasadores del fruto de la uchuva, correspondieron a los modelos de *H. subflexa* y *C. decolora* con las variables edáficas, así como los modelos de *H. subflexa* descrito con variables agronómicas

y con variables climáticas, puesto que estos cuatro modelos presentaron índices de AIC menores a 520, y con RMSPD menores a 1.3, lo cual, les aporta cierto grado de robustez, para configurar herramientas de la tendencia poblacional.

Contrariamente los modelos correspondientes a *C. decolora* con variables agronómicas, climáticas y edafo-climáticas, así como el modelo para *H. subflexa* con variables edafo-climáticas, presentan índices AIC superiores a 740, y valores de RMSPD superiores a 2.24, por lo cual, presentan menos robustez estadística para describir la tendencia poblacional.

7. Conclusiones y recomendaciones finales

Este trabajo permite concluir que efectivamente la resistencia a la penetración del suelo, es una variable asociada al establecimiento de *H. subflexa* y *C. decolora*, en el cultivo de la uchuva, puesto que estos Noctuidae tienen parte de su ciclo de vida dentro del suelo, en las etapas de pre-pupa y pupa, y la emergencia del imago. Esta variable resistencia a la penetración del suelo, nunca antes había sido estudiada para explicar la población de insectos.

El establecimiento de los pasadores de uchuva está afectado por los valores de resistencia a la penetración del suelo inferior a 1.100 kPa, a una profundidad menor a 15 cm, que probablemente es la profundidad hasta la cual estos dos insectos pueden habitar. En este sentido, los suelos friables que presentan resistencia a la penetración baja, menor a 1.100 kPa como consecuencia del laboreo del suelo,

pueden ejercer un efecto favorable para el establecimiento de las poblaciones de este tipo de insectos. Sin embargo, la preparación del suelo, podría favorecer el control mecánico y biológico de estos dos insectos.

Del mismo modo, se encontró que condiciones ambientales como temperatura, humedad relativa y precipitación, afectan diferencialmente cada una de las dos especies y que una misma condición climática genera respuestas divergentes para cada especie. Además, las prácticas agronómicas de fertilización, poda y manejo fitosanitario, están estrechamente relacionadas con el establecimiento de las especies fitófagas dentro del cultivo, por lo cual es importante identificar cuál de éstas, inciden en el aumento de cada una de las especies de insectos plaga, para generar estrategias que eviten un incremento poblacional de dichas especies.

Asimismo, se evidenció que los modelos que presentan mejor ajuste estadístico respecto a los índices de AIC y al estadístico de prueba RMSPD, correspondieron a aquellos que presentaban menor cantidad de variables descriptivas para analizar, por lo cual, se recomienda que para próximos estudios, se tengan en cuenta solo las variables que resultaron estadísticamente significativas para describir mejor la tendencia poblacional de estos nóctuidos, y de esta manera construir modelos lineales generalizados mucho más robustos en la descripción.

Bibliografía

AGRONET, 2018. AGRONET. [En línea]
Available at: <http://www.agronet.gov.co/estadistica/Paginas/default.aspx>

Amate, J., Barranco, P. & Cabello, T., 1997. Identificación de larvas de las principales especies de noctuidos plaga de España (Lepidoptera: Noctuidae). *Boletín Sanidad Vegetal y Plagas*, Volumen 24, pp. 101-106.

ANALDEX, 2017. Comportamiento de la uchuva – Producción y comercio. pp. 1-7.

Angulo, A., Olivares, T. & Giselin, T., 2008. *Estados inmaduros de lepidopteros de importancia agrícola y forestal en Chile y Claves para su identificación (Lepidoptera: Noctuidae)*. s.l.:s.n.

Benavidez, M. A. & Mora, H. R., 2005. Los insectos-plaga limitantes en el cultivo de la uchuva y su manejo. En: F. Gerhard, W. Piedrahira, D. Miranda & R. Jorge, edits. *Avances en el cultivo, postcosecha y exportación de la Uchuva Physalis peruviana L. En Colombia*. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Agronomía, pp. 83-95.

Biol.wwe., 2015. [En línea]
Available at: <http://pnwmoths.biol.wwu.edu/browse/family-noctuidae/subfamily-plusiinae/tribe-plusiini/megalographa/megalographa-biloba/>

Borror, D. & DeLong., 1971. *An introduction to the study of insects*. Third edition ed. s.l.:Holt, Rinehart and Winstone Inc..

Caballero, R., Habeck, D. & Andrews, K., 1994. Clave ilustrada para larvas de noctuidos de importancia económica de El Salvador, Honduras y Nicaragua.. *CEIBA*, 35(2), p. 225.

Campos de Melo, A. P. y otros, 2017. First record of Chloridea (Heliiothis) subflexa (Lepidoptera: Noctuidae: Heliiothinae) on cape gooseberry (Physalis peruviana) in Brazil. *REVISTA COLOMBIANA DE CIENCIAS HORTÍCOLAS* , julio-diciembre, 11(2), pp. 267-272.

Canacuan-Nasamuez, D., Bernal, A. & Chacon, P., 2009. Presencia Del Género Zale sp. (Lepidoptera: Noctuidae) En Cultivares de Heliconias del Valle del Cauca.. *Boletín del museo de Entomología de la Universidad del Valle* , 10(2), pp. 19-21.

Chapman, R. F., 1998. *The Insects, Structure and Functions*. 4 ed. New York: Cambridge University Press.

Crumb, S., 1956. The larvae of Phalaenidae.. *Technical Bulletin* , p. 1.

Dindal, D., 1990. *Soil Biology Guide*. s.l.:John Wiley & Sons Inc.

Doblas-Miranda, E., Sánchez-Piñero, F. & González-Megías, A., 2009. Vertical distribution of soil macrofauna in an arid ecosystem: Are litter and belowground compartmentalized habitats?. *Pedobiología*, 25 Septiembre, 52(6), pp. 361-373.

Doblas-Miranda, E., Sánchez-Piñero, F. & González-Megías, A., 2009. Different microhabitats affect soil macroinvertebrate assemblages in a Mediterranean arid ecosystem. *Applied Soil Ecology*, 41(3), pp. 329-335.

Eichlin, T., 1975. Guide to the Adult and larval Plusiinae of California (Lepidoptera: Noctuidae). *Occasional Papers in Entomology*, Issue 21, p. 21.

Fischer, G., Almanza-Merchán, P. J. & Miranda, D., 2014. Importancia y cultivo de la Uchuva (*Physalis peruviana* L.). *Rev. Bras. Frutic., Jaboticabal - SP*, Março, 36 (1), pp. 001-015.

Giraldo, G., Cruz, C. D. & Sanabria, N. R., 2017. Propiedades Físicas del Jugo de Uchuva (*Physalis peruviana*) Clarificado en Función de la Concentración y la Temperatura. *Información Tecnológica*, 28 (1), pp. 133-142 .

Gómez-López, V., Cabral-Antunez, C. & Ramirez-López, M., 2009. Aspectos biológicos de *Spodoptera eridania* (Lepidoptera: Noctuidae) criadas en diferentes tipos de dieta. *Departamento de Proyección Vegetal*.

Guillén, L., Aluja, M., Equihua, M. & Sivinski, J., 2002. Performance of Two Fruit Fly (Diptera: Tephritidae) Pupal Parasitoids (*Coptera haywardi* [Hymenoptera: Diapriidae] and *Pachycrepoideus vindemiae* [Hymenoptera: Pteromalidae]) under Different Environmental Soil Conditions. *Biological Control*, 23(3), pp. 219-227.

Guzmán-Cabrera, S., Gaviria-Rivera, a., Quiróz-Gamboa, J. & Castañeda-Sánchez, D., 2018. Modeling of the immature stages of the species of Noctuidae associated with *Physalis peruviana* L.. *Revista Facultad Nacional de Agronomía*, 22 January, 72(1), pp. 8673-8684.

Heppner, J., 1998. *Spodoptera* armyworms in Florida (Lepidoptera: Noctuidae). *Entomology Circular*, Sep/Oct. Issue 390.

Kann-Woon, L., Dong-Jae, L. & Jeong Joon, A., 2014. Temperature-dependent development of overwintering *Sericus montela* Gray (Lepidoptera: Papilionidae) pupae and its validation. *Journal of Asia-Pacific Entomology*, Septiembre, 17(3), pp. 445-449. King, K. M., 1939. Population Studies of Soil Insects. *Ecological Monographs*, 9(3), pp. 270-286.

Kleynhans, E., Conlong, D. & Terblanche, J., 2014. Direct and indirect effects of development temperature on adult water balance traits of *Eldana saccharina* (Lepidoptera: Pyralidae). *Journal of Insect Physiology*, Volumen 68, pp. 69-75.

Klowden, M. J., 2007. *Physiological Systemen in Insects*. Idaho: ELSEVIER.

Kyung San, C. & Dong-Soon, K., 2014. Temperature-dependent development of *Ascotis selenaria* (Lepidoptera: Geometridae) and its stage emergence models with field validation. *Crop Protection*, Volumen 66, pp. 72-79.

Lafontaine, D., 2006. Revised Higher Classification of the Noctuoidea (Lepidoptera).. *The Canadian Entomologist*, pp. 610-635.

Ligarreto, G. A., Lobo, M. & Correa, A., 2005. Recursos genéticos del género *Physalis* en Colombia. En: F. Gerhard, W. Piedrahita, D. Miranda & J. Romero, edits. *Avances en el cultivo, postcosecha y exportación de la uchuva Physalis peruviana L.*. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Agronomía, pp. 9-26.

Mardani-Talaei, M., Nouri-Ganbalani, G., Naseri, B. & Hassanpour, M., 2012. Life History Studies of the Beet Armyworm, *Spodoptera exigua* (Hübner) (Lepidoptera: Noctuidae) on 10 Corn Hybrids.. *J. Entomol. Res. Soc.*, 14(3), pp. 09-10.

Matthews, M., 1991. Clasificación de the Heliiothinae.. *Natural Resources Institute Bulletin*, Volumen 44, p. 198.

Mazza, S. M., Sosa, M. A., Avanza, M. M. & Bóbeda, G., 2006. Comportamiento temporal de plagas del algodónero (*Gossypium hirsutum*, L.) en el nordeste argentino. I – Oruga de la hoja (*Alabama argillacea* (Hbn.), Lepidoptera: Noctuidae).. *Universidad Nacional del Nordeste, Comunicaciones Científicas y Tecnológicas*, Volumen A-050.

Milano, P., Filhol, E. B., Parrall, J. R. & Cònsoli, F. L., 2008. Influência da temperatura na frequência de cópula de *Anticarsia gemmatalis* Hübner e *Spodoptera frugiperda* (J.E. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae). *Neotropical Entomology*, Septiembre-Octubre, 35(1), pp. 528-535.

Montezano, D. G. y otros, 2013. Immature stages of *Spodoptera albula* (Walker) (Lepidoptera: Noctuidae): Developmental parameters and host plants. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 85(1), pp. 271-824.

Moreno Fajardo, O. L. & Serna Cardona, F. J., 2006. Biología de *Peridroma saucia* (Lepidoptera: Noctuidae: Noctuinae) en Flores Cultivadas del Híbrido Comercial de *Alstroemeria* spp.. *Revista Facultad Nacional de Agronomía, Medellín*, Julio-Diciembre, 56(2), pp. 3435-3448.

Murúa, M. G. y otros, 2010. Revisión de los hospederos del gusano cogollero del maíz, *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae). *Revista Sociedad Entomológica Argentina*, 69(3-4), pp. 209-231.

Navarro, R., Gutiérrez, M., Alfonso, N. & Piñango, L., 2010. Cultivo del algodón en las zonas de vega del río Orinoco y sus afluentes.. *Maracay, VE, Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas.* , p. 46.

Okuruma, G., 1961. Identification of Lepidopterous larvae attacking cotton, with illustrates key. *State of California Department of Agriculture Sacramento*, Issue 282.

Pedigo-Larry, P. & Rice, M. E., 2008. *Entomology and Pest management*. s.l.:Pearson Prentice Hall.

Petzold, J., Brownie, C. & Gould, F., 2009. Effect of *Heliothis subflexa* herbivory on abscission by *Physalis* species: the roles of mechanical damage and chemical factors.. *Ecological Entomology*, Volumen 34, pp. 603-613.

Quimbayo, N. S. F., Olivares, T. & Angulo, A., 2010. Noctuidos (Lepidoptera) en cultivos de flores colombianas. *Revista Colombiana de Entomología*, 36(1), pp. 38-39.

Rafael, J. A. y otros, 2012. Anatomía Interna y Lepidoptera. En: *Insetos do Brasil, Diversidade e Taxonomia*. s.l.:s.n.

Ribeiro, L. & Corrêa, E., 2008. Occurrence of *Erinnys ello* and *Spodoptera marima* in castor bean plantation in Rio Grande do Sul State, Brazil.. *Ciencia Rural*, 38(8), pp. 2351-53.

Ribeiro, Z. y otros, 2012. The feeding preferences of *Spodoptera frugiperda* Q. E. SMITH) (Lepidoptera: Noctuidae) on cotton plant varieties. ,. *Acta Scientiarum. Agronomy*, April, 34(2), pp. 125-126.

Roach, S. & Campbell, R., 1983. Effects of soil compactation on bollworm (Lepidoptera: Noctuidae) moth emergence. *Environmental Entomology*, 12(6), pp. 1882-1885.

Sanabria, S., 2005. Situación actual de la uchuva en Colombia. En: F. Gerhard, W. Piedrahita, D. Miranda & R. Jorge, eds. *Avances en el cultivo, postcosecha y exportación de la uchuva *Physalis peruviana* L. en Colombia*. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Agronomía, pp. 1-8.

Sardinha, B., Benites, D. & Goncalves, A., 2013. Feeding non-preference by *Spodoptera frugiperda* and *Spodoptera eridania* on tomato genotypes. *Revista Ceres*, 60(1), pp. 021-029.

Saunders, J., Coto, D. & King, A., 1998. Plagas invertebradas de cultivos anuales alimenticios en América Central. *CATIE, Programa de investigación*, p. 305.

Schabenberger, O. & Pierce, F. J., 2002. *Contemporary Statistical Models for the Plant and Soil Science*. s.l.:CRC Press.

Simmons, R. & Pogue, M., 2004. Redescription of two often-confused noctuid pest, *Copitarsia decolora* and *Copitarsia incomoda* (Lepidoptera: Noctuidae: Cucullinae). *Annals of Entomological Society of America*, 97(6), pp. 1159-1164.

Stehr, F., 1991. *Immature Insects*. s.l.:s.n.

Triplehorn, A. C. & Johnson F, N., 2005. *Borror and DeLong's Introduction to the study of insects*. 7th edition ed. s.l.:Thomson Brooks/Cole.

USDA, 2019. [En línea]
Available at: [USDA. http://plants.usda.gov/core/profile?symbol=PHPE4](http://plants.usda.gov/core/profile?symbol=PHPE4)

Vélez-Angel, R., 1997. *Plagas Agrícolas de Impacto económico en Colombia: Binomia y manejo integrado*. Medellín: Universidad de Antioquia.

Wagner, D., 2005. Caterpillars of Eastern North America: A guide to identification and natural history.. *Princeton University Press*, Issue 380, pp. 432-433.

Zapata P, J. L., Saldarriega C, A., Londoño B, M. & Díaz, C., 2002. *Manejo del Cultivo de la Uchuva en Colombia. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria, CORPOICA. Boletín Técnico*. Rionegro(Antioquia): s.n.

Zenner-Polanía, I., Álvarez-Rodríguez, J. A. & Arévalo-Maldonado, H. A., 2009. Respuestas de *Helicoverpa zea* (Lepidoptera: Noctuidae), Procedente del Piedemonte Llanero Colombiano, a la Toxina Cry1Ac del *Bacillus thuringiensis*.. *SOUTHWESTERN ENTOMOLOGIST.*, Mar., 35(1), pp. 85, 86,95,96..

Zhang, B., LIU, H., Hull-Sanders & Jin-jun, W., 2011. Effect of Host Plants on Development, Fecundity and Enzyme Activity of *Spodoptera exigua* (Hübner) (Lepidoptera: Noctuidae).. *Agricultural Sciences in China*, 10(8), p. 1232.



45 CONGRESO SOCOLEN

La Sociedad Colombiana de Entomología certifica que el trabajo:

Resistencia a la penetración del suelo en la estimación poblacional de noctuidos
asociados a la uchuva

de los autores:

Sebastián Alfonso Guzmán Cabrera; Adelaida María Gaviria Rivera;
Dario Antonio Castañeda Sánchez

fue presentado en el 45 Congreso de la Sociedad Colombiana de Entomología,
realizado en Cali del 11 al 13 de julio de 2018

James Montoya Lerma
Presidente comité organizador

Jonathan Rodríguez G.
Secretario comité organizador

Publicación de artículo en Revista Facultad Nacional de Agronomía.

Disponible en:

<https://revistas.unal.edu.co/index.php/refame/article/view/69922/69497>

Research article

<http://www.revistas.unal.edu.co/index.php/refame>

Revista
Facultad Nacional
de Agronomía

Modeling of the immature stages of the species of Noctuidae associated with *Physalis peruviana* L.



Modelación de estados inmaduros de especies de Noctuidae asociados a *Physalis peruviana* L.

doi: 10.15446/rfnam.v72n1.69922

Sebastián Guzmán Cabrera¹, Adelaida María Gaviria Rivera^{1*}, John Quiroz¹ and Darío Castañeda Sánchez²

ABSTRACT

Keywords:
Copitarsia decolora
Generalized linear
models
Golden berry
Heliothis subflexa
Solanaceae

Physalis peruviana L. is currently the second fruit crop more exported of Colombia; however, the pests associated with the culture have been little studied which is important considering that some Noctuidae can cause a decrease of 20% in its production. In this research, the Noctuidae species related to *P. peruviana* were studied in three farms of La Unión, Antioquia, Colombia. Twelve sampling units, with 30- and 45-day transplanted plants, were distributed throughout the farms and sampled biweekly from March 1st to August 29th of 2014. In the plant canopy and the planted area, immature stages were registered, and statistic models were built in order to describe their trend. The taxonomic identification of adults was made by comparing with the Noctuidae collection of Museo Entomológico Francisco Luis Gallego at Universidad Nacional de Colombia – Sede Medellín, and by using taxonomic keys. Nine Noctuidae species were found in total. Six models were built, four oviposition models for *Agrotis ipsilon* and *Spodoptera* spp., *Copitarsia decolora* and *Heliothis subflexa*, *Megalographa biloba*, and *Peridroma saucia*; a model for larvae and pupae stages was built. The oviposition model for *P. saucia* was the more adjusted, with a Root mean squared predictive difference (RMSPD) of 0.84. The other studied models were suitable to describe the trend of the immature stages; except for *M. biloba* model. This research revealed the ecological characteristics of the Noctuidae species associated with the golden berry crop that affect its productivity.

RESUMEN

Palabras clave:
Copitarsia decolora

Physalis peruviana L. es actualmente el segundo cultivo frutícola más exportado de Colombia; sin embargo, las plagas asociadas con el cultivo han sido poco estudiadas. Lo cual es importante ya que

Artículo por someter en Revista Facultad Nacional de Agronomía.

Tipo de Artículo: Artículo de investigación científica y tecnológica

Área Temática: Sanidad vegetal y protección de cultivos

**RESISTENCIA A LA PENETRACIÓN DEL SUELO EN LA ESTIMACIÓN
POBLACIONAL DE NOCTUIDOS ASOCIADOS A LA UCHUVA**

**Resistance to Soil Penetration to Estimate the Population of Noctuids Associated with
cape gooseberry**

Resumen

El área cultivada de uchuva en Colombia ha ido en aumento en las últimas décadas, sin embargo, su rendimiento no crece y por el contrario en algunos períodos ha decrecido, lo cual indica que las condiciones fisiográficas donde se establece el cultivo deben ser determinadas. Esta investigación tuvo como objetivo estudiar la incidencia de la resistencia a la penetración del suelo, la pendiente y los rangos de altura de los lotes evaluados, sobre las poblaciones de lepidópteros de la familia Noctuidae asociados con el cultivo de la uchuva. El estudio se desarrolló en tres localidades del Oriente Antioqueño, correspondientes a los municipios de Envigado, San Vicente y Sonsón, en plantaciones de uchuva con fines de

exportación, con edad aproximada de 90 días de sembrado, en las cuales se reportaban daños causados por larvas de lepidópteros. Las plantaciones comerciales estaban ubicadas a una altura entre los 2.238 a 2.557 metros sobre el nivel del mar, con labores agronómicas del cultivo muy semejantes. Los muestreos se desarrollaron entre el 25 de agosto de 2016 al 15 de abril de 2017, con una periodicidad aproximada de 15 días. Se encontró que la resistencia a la penetración con una media de 667.12 kPa a los cinco centímetros de profundidad con un $p\text{-value} < 0.01$ y de 824.09 kPa a los 12.5 centímetros de profundidad con un $p\text{-value} < 0.05$, están asociadas con la tendencia poblacional de los perforadores del fruto de la uchuva *Heliothis subflexa* y *Copitarsia decolora*.

Keywords: *Copitarsia*, *Heliothis*, *Physalis*, Noctuidae

Abstract

The cultivated area of cape gooseberry in Colombia has been increasing in the last decades, nevertheless, its yield does not grow and on the contrary, in some periods it has decreased, which indicates that the physiographic conditions where the crop is established must be determined. The study focused on the characterization of the soil in terms of resistance to penetration, slope and height ranges, related to its incidence in the lepidopteran population of the Noctuidae family in cape gooseberry crops. The work was carried out in three localities of Eastern Antioquia, corresponding to the municipalities of Sonsón, San Vicente and Envigado, in plantations of cape gooseberry for export purposes, with an approximate age of 90 days after planting, in which damages caused by Lepidoptera larvae were reported.

Commercial plantations comprised heights between 2.238 to 2.557 meters above sea level. Agronomic management in these crops was very similar. Sampling was performed since August 25th, 2016 to April 15th, 2017, with a periodicity of approximately 15 days. It was found that resistance to penetration with a mean of 667.12 kPa at five centimeters of depth with a *p-value* <0.01, and resistance to penetration with a mean of 824.09 kPa at 12.5 centimeters of depth affected with a *p-value* <0.05, are associated with the population trend of the perforators of the cape gooseberry *Heliothis subflexa* and *Copitarsia decolora*.

Key words: *Copitarsia*, *Heliothis*, *Physalis*, Noctuidae

1 Introduction

Cape gooseberry (*Physalis peruviana* L.), Solanaceae family, has bushy bearing and its fruit is a globose berry with nutritional benefits that allow it to acquire the category of functional food, which are foods that provide an additional health benefit (Marín et al, 2005). This fruit is of great export potential for Colombia, because it has a wide demand in Europe (Buitrago Nuñez & Montoya Monsalve, 2012) and North America (Gerhard et al. , 2014). The center of origin of the fruit is the Andean region, with an altitude range of 1.500 to 3.000 meters above sea level, (Ligarreto et al. , 2005), nonetheless, its optimum range varies from 1.800 to 2.800 m.a.s.l., with temperatures between 13 and 18°C, an annual rainfall of 1.000 to 2.000 mm, a relative moisture of 70 to 80% and soil pH of 5.5 to 7.0, preferably in soils rich in organic matter (Zapata P, et al., 2002). The establishment of the crop begins with the transplantation of the seedlings, at distances of 3 x 3 or 2 x 3 meters between plants and

furrows respectively; topography is the factor that determines planting distances; the greater the slope, the greater the distance.

After about 90 days of vegetative development, the emission of reproductive structures begins, and then the fillings of fruits, which once formed must be harvested weekly according to the maturity indexes established by the market. The production and cultivation area of cape gooseberry has shown an increasing trend in Colombia, the crop went from 221 hectares planted in 1999 to 534 hectares in 2003 (Sanabria, 2005) and for 2005 (Marín, et al. , 2005) and by 2012 (Buitrago Nuñez & Montoya Monsalve, 2012) it was reported as the country's second export product after bananas.

Although the planted area has registered increases, the production of cape gooseberry does not respond in the same magnitude, so there is a decreasing trend in yield, with an average of 14.84 ton/ha (Agronet). In 2009 more than 1000 ha sown and a production close to 20.000 tons per year were registered, later for the year 2011, the area sown and production fell to approximately 750 ha and 15000 tons respectively, then there was a rebound in the planted area, with about 19.000 ha, although its production did not exceed 15.000 tons per year (Agronet, 2017).

In Colombia, cape gooseberry production is concentrated in the departments of Cundinamarca, Boyacá and Antioquia, small peasants are responsible for this production (Sanabria, 2005; Zapata P, et al. , 2002). Currently, no technological packages for cultivation have been developed, therefore, the control of pests and diseases is done in accordance with investment protection criteria and not with levels of economic damage and thresholds of

action, which would reduce crop losses, estimated to be close to 13% (Sanabria, 2005). As a result, an environmentally responsible phytosanitary management of the crop, which starts from its establishment in geographical areas with optimal conditions, will allow an increase in the profitability of the crop.

Cape gooseberry, like all the plants of agricultural importance, is attacked by some insects that have distribution in all the producing areas, among these are the Lepidoptera of the Noctuidae family, which have been a source of research in order to understand their behavior and life cycle. The biology of the insect is mainly altered by the food source and the environmental conditions, such as temperature and relative moisture (Vélez-Angel, 1997), among others. These factors, added to their natural enemies, parasitoids, predators and microorganisms, determine the density of their populations.

Within the Noctuidae family there are several species that affect different organs and phenological stages of the cape gooseberry plant, such is the case of the complex of crawling and choppers formed by *Spodoptera* sp., *Agrotis* sp. and *Feltia* sp., which are cosmopolitan, of polyphagous habit and with twilight or nocturnal activity that give the etymology to this family. The larva is the typical harmful state in these species, they are very voracious in all their instants, except in pre-pupa where they stop feeding, they can also cut seedlings at ground level, damage stems, roots and leaves as well (Benavidez & Mora, 2005). Such is the damage that these Lepidoptera can cause that *A. ípsilon* holds the little onerous title of *Bad sleep*, to the point of being inspiring of a popular saying “*If bad sleep you fear, for killing*

him do as you dare” (Santiago-Álvarez, 2012). Likewise, the larvae of *Spodoptera* genus are known as army larvae, because they progress gregariously affecting various plantations.

This harmful effect in the initial stages of the plantation is aggravated by the group of perforators of the fruit *Heliothis* sp. and *Copitarsia* sp. (Zapata P, et al. , 2002). The first one, apparently monophagous, considered the most important pest of the cape gooseberry crop; it can affect the shell, the fruit and the leaves, causing the total loss of the plantation (Zapata P, et al. , 2002). Nevertheless, *Copitarsia* sp., can cause equal damage, despite this, it is unknown if it does so to a greater or lesser extent.

A variable related to the development of noctuids is the soil, because in it they spend the pupa stage. The different resources in the soil vary greatly with the depth, thus evidencing a stratification that leads to a vertical distribution of fauna in the soil (Doblas-Mirandaa, et al., 2009). Additionally, species diversity, abundance and biomass decrease as soil depth increases; micro habitat conditions determine the patterns of diversity and biomass and, the assembly of macro invertebrate communities varies with time (Doblas-Miranda, et al. , 2009).

Another important factor in terms of soil depth is the incidence of biological controllers (Guillén, et al., 2002), in which many natural enemies also pupate. The depth to which the pupae of Diptera in the soil is, determines the efficiency of these parasitoids; the type of soil, determined by the percentage of sand, silt and clay, are determining factors of parasitism. Taking into account that part of the life cycle of the noctuids develops in the soil, the prepupa must penetrate the surface layer of the soil to make the pupal cell. This research aimed to study the relationship between depth and resistance to soil penetration (which allows

inferring the compaction state, friability and soil texture), with the spatial distribution of noctuids within the cape gooseberry crop in order to contribute to the knowledge of optimal characteristics for the establishment of the crop.

Materials and methods

Location

The research was carried out in five locations, one located in the municipality of Envigado, two in the municipality of San Vicente and two more in the municipality of Sonsón, chosen at the suggestion of technical agricultural advisors of cape gooseberry crops from East Antioquia who knew the problems of noctuid pests associated with this particular crop.

Georeferencing

The perimeter, the area of each of the lots and the georeferencing was performed using a Garmin Etrex 10® GPS, adjusted to WGS84 *Datum* and UTM projection system, zone 18N. Subsequently, a mesh of control points with a grid size of approximately 20 x 20 meters was prepared, which resulted in a total of 16 control points in Envigado town, 48 control points for the town of San Vicente_1, 16 control points for the town of San Vicente_2, 32 control points for the town of Sonsón_1, and 48 control points for the town of Sonsón_2 as well.

Determination of variables associated with soil.

With the help of GPS, each monitoring point was located in the field, which were used to analyze and obtain both the height and slope of the lot. Additionally, at each point the penetration resistance was measured in kilo-Pascals (kPa), in the range 0 cm to 20 cm depth,

registering the resistance every 2.5 cm, measured with a *FieldsScout SC-900* edaphic penetrometer with Data-Logger. The penetrometer was located in the plating area of the plant, and was introduced to the required depth. The data registered in the Data-Logger of the penetrometer were then downloaded to *txt* format for its later analysis.

Zoning of penetration resistance.

In each lot, interpolations of penetration resistance values were determined every 2.5 cm depth, starting from the 0 cm layer and ending in the 20 cm deep layer. For this analysis, the strategy called empirical Bayesian kriging was applied with ArcGis 10 software. This interactive method divides the data set into smaller overlapping subsets. Each subset is estimated by the semivariogram parameters, using the restricted maximum likelihood statistic. The estimated semivariograms are used to predict the response variable at the input locations. A new semivariogram is estimated for the simulated data, the process being repeated a specific number of times. The process creates a high number of semivariograms, which when plotted, a semivariogram cloud is obtained. For the prediction of the variable in a location, in the interpolation process a single semivariogram is not used, but the semivariogram with the highest likelihood of the estimated semivariogram is used with the subsets in which the location is circumscribed.

In this way, with the values presented every 2.5 cm depth, in the depth range 0 cm to 20 cm, nine layers of penetration resistance were obtained, high resistance variability evidenced in each of the levels, as well as between each lot. Therefore, a linear regression model was performed with the average values of the penetration resistance of each of the soil depth layers, in order to recognize a possible trend or behavior of this variable, as well as, a possible

correlation between the resistance to average penetration of the soil layers, and thus obtain a parameter that will simplify this great variability, and subsequently associate the insect records in each lot.

Monitoring of perforators Noctuidae of cape gooseberry fruit

For monitoring the larvae of the gooseberry fruit perforators, *Heliothis subflexa* and *Copitarsia decolora*, the number of sites was initially calculated, taking into account the IWAO dispersion index, calculated for this complex fruit perforator. The sampling sites were weightily distributed according to the area of each lot, so that they represented the zones characterized by penetration resistance and depth ranges. Once the number of monitoring points per lot was established, the final selection was made, avoiding taking points located in the limits of the internal polygons, as well as in the perimeter of the lot, which were found by means of GPS. Once the sampling point was located in the lot, a transept monitoring was performed, which as a sampling unit comprised 10 cape gooseberry plants per site. The number of larvae present in the canopy of each plant was registered. The collected larvae were placed in plastic cups covered with muslin fabric and an elastic band, which were duly labeled and taken to the Curated Hall of the Francisco Luis Gallego Entomological Museum at Universidad Nacional de Colombia, Medellín campus, for later identification using the morphological keys of Angulo *et al*, (2008) y Sther, (1991).

Statistical analysis

The database was standardized, so that it could identify the behavior of the response variable, corresponding to the number of individuals of captured fruit perforators, with respect to the

other explanatory variables, corresponding to the penetration resistance values in the first 20 cm depth. This analysis was performed by means of a Generalized Linear Model (GLM), with distribution of the Gaussian family, with which the variables of penetration resistance (kPa) were evaluated, at their different levels of depth in the soil, associated with the variable of number of individuals of *H. subflexa* and *C. decolora*, present in the 10 cape gooseberry plants. To obtain the most parsimonious model, but with the best ability to describe the behavior, the AIC and RMSP criteria were used for the selection of variables and model.

Results and discussion

Penetration resistance

The average value of penetration resistance in relation to each level of soil depth for the five properties evaluated showed a directly proportional relationship, with an R^2 of 0.9483, in which as the soil depth increased, the resistance penetration was much higher (Figure 1).

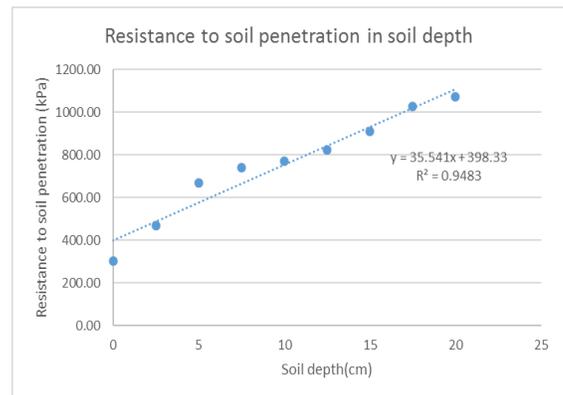


Figure 1. Average penetration resistance at different depths.

The mean values of the soil resistance revealed that the first two strips of the soil presented less resistance to penetration, compared to the others, probably because that layer corresponds to the soil released by the tillage work for the preparation of the land for culture. The soil layer at 2.5 cm depth,

presented an average resistance of 466.67 kPa, the soil layer at 5.0 cm depth, presented an average of 667.12 kPa, the soil layer at 15.0 cm presented an average of 908.58 kPa, while the 20 cm depth layer presented an average of 1074.09 kPa. This increase in resistance to penetration may be associated with the reduction in the number of arthropods as soil depth increases (Doblas-Miranda, et al., 2009).

Determination of a critical point of penetration resistance

The linear regression model with all the penetration resistance values in kilo-Pascals, with respect to the depth of the soil every 2.5 cm, in the range 0.0 cm to 20.0 cm, managed to determine that the highest proportion of soil layers in all lots have a penetration resistance below 1.100 kPa. Whereas, above this value, there was a marked differentiation between the layers, so this resistance value was

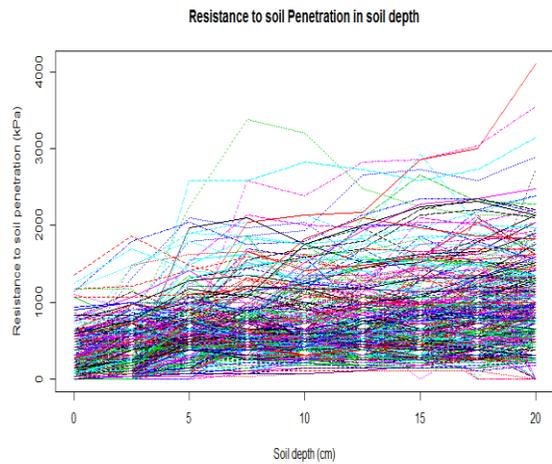


Figure 2. Resistance to soil penetration and depth.

taken as a criterion to establish the critical value that allowed characterizing the soil of the lots, in two categories, soils less than 1.100 kPa and soils greater than this value (Figure 2).

Additionally, the correlation between the different penetration resistance values was performed with each depth level evaluated, thereby identifying a linear correlation greater than 50%, between layers 0-2.5 cm, 2.5-5 cm, 5-15 cm, and 15-20 cm (Table 1).

Table 1. Linear correlation between resistance to penetration and different soil depths.

| Depth (cm) | Soil depth (cm) | | | | | | | | |
|------------|-----------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | 0 | 2,5 | 5 | 7,5 | 10 | 12,5 | 15 | 17,5 | 20 |
| 0 | 1 | 0.782 | 0.375 | 0.167 | 0.190 | 0.222 | 0.252 | 0.238 | 0.222 |
| 2,5 | 0.782 | 1 | 0.561 | 0.278 | 0.292 | 0.264 | 0.287 | 0.269 | 0.244 |
| 5 | 0.375 | 0.561 | 1 | 0.761 | 0.675 | 0.590 | 0.540 | 0.496 | 0.447 |
| 7,5 | 0.167 | 0.278 | 0.761 | 1 | 0.880 | 0.754 | 0.674 | 0.611 | 0.562 |
| 10 | 0.190 | 0.292 | 0.675 | 0.880 | 1 | 0.888 | 0.783 | 0.686 | 0.629 |
| 12,5 | 0.222 | 0.264 | 0.590 | 0.754 | 0.888 | 1 | 0.905 | 0.781 | 0.697 |
| 15 | 0.252 | 0.287 | 0.540 | 0.674 | 0.783 | 0.905 | 1 | 0.889 | 0.766 |
| 17,5 | 0.238 | 0.269 | 0.496 | 0.610 | 0.686 | 0.781 | 0.889 | 1 | 0.86 |
| 20 | 0.222 | 0.244 | 0.447 | 0.562 | 0.629 | 0.697 | 0.766 | 0.865 | 1 |

The characterization of the area of the lots of each of the five properties having as main criterion the critical value of penetration resistance of 1.100 kPa, as well as the depth ranges that showed correlations greater than 50% in the value of the resistance is seen in Table 2.

Table 2. Areas of the lots with their respective ranges of resistance to penetration, according to their range of resistance to penetration.

| LOTS | AREAS ACCORDING TO PENETRATION RESISTANCE (m ²) | | | | AREA PER FARM (m ²) | AREA (%) |
|----------------------|---|--------------------------|-------------------------|----------------|---------------------------------|----------|
| | 0 a 2.5 cm | 2.5 a 5.0 cm | 5.0 a 15.0 cm | 15.0 a 20.0 cm | | |
| Envigado | 2.302 (m ²) | | 1.789 (m ²) | | 4091 | 6,56 |
| San Vicente 1 | 22.912 | | | | 22912 | 36,76 |
| San Vicente 2 | 2.274 (m ²) | | 379 (m ²) | | 2653 | 4,26 |
| Sonsón 1 | 4.630 (m ²) | 14.717 (m ²) | | | 19344 | 31,03 |
| Sonsón 2 | 10.525 (m ²) | | 2.807 (m ²) | | 13332 | 21,39 |

Green: <1.100 kPa; Pink: >1.100 kPa

Determination of sampling areas

Taking into account the criteria of critical value of 1.100 kPa, and the four ranges of penetration resistance with a correlation greater than 50%, the coverage for each location was prepared (Figure 3) and the areas corresponding to each one of the polygons were calculated (Table 2). It was found that all the lots, with the exception of San Vicente_1lot, presented two categories of penetration resistance (applying the critical value), as it was also identified that in four of the five lots, a resistance greater than 1.100 kPa was presented, when the depth exceeded 15 cm. From these results the polygons were identified to distribute the experimental units within each lot.

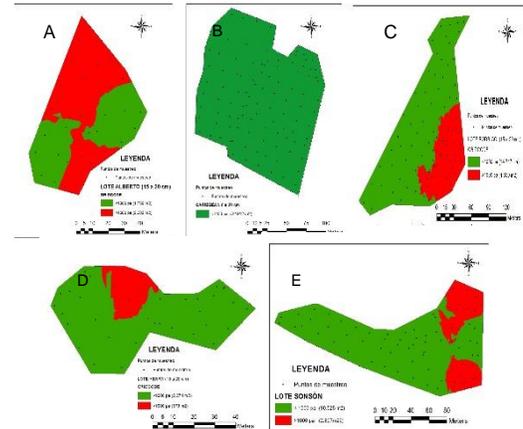


Figure 3. Maps with polygons smaller than 1.100 kPa (green) and larger than 1.100 kPa (red) for penetration resistance. (A) Envigado town, (B) San Vicente 1 town, (C) Sonsón 1 town (D) San Vicente 2 town. (E) Sonsón 2 town.

Generalized Linear Models

Generalized linear models were constructed for each of the two species of gooseberry perforators noctuids, corresponding to *H. subflexa* and *C. decolora*.

Linear Model for *Heliothis subflexa*

The population trend model of *H. subflexa*, showed that there is a slight relationship between the values of penetration resistance, and the number of larvae present in the monitored plants, the resistance to the average penetration at depths of 2.5 cm, 5.0 cm, 12.5 cm and 15.0 cm (Equation 1).

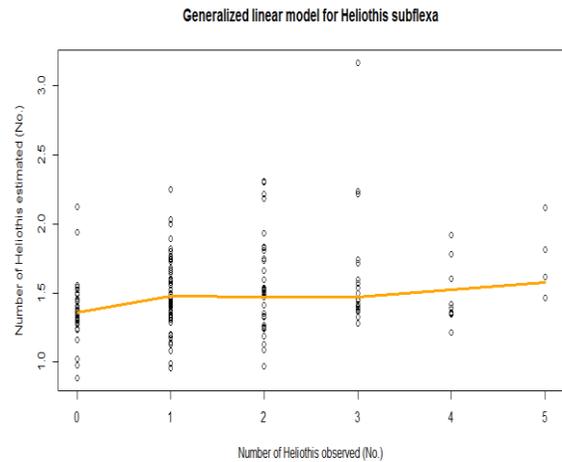


Figure 4. Generalized linear model for *Heliothis subflexa*.

$$Y_h = 0.246 - 0.0003 (x \text{ 2.5cm}) + 0.001 (x \text{ 5cm}) - 0.001 (x \text{ 12.5cm}) + 0.0004 (x \text{ 15cm}) \quad (1)$$

The model obtained, composed of the intercept and four levels of resistance to penetration, showed that only depths of 5.0 cm and 12.5 cm, have statistical significance, with *p-value* <0.01 and *p-value* < 0.05, respectively. Nonetheless, the average penetration resistance value at 5.0 cm, corresponding to 667.112 kPa, gives the model a positive effect, while at 12.5 cm, with an average penetration resistance value of 824.09 kPa, provides a negative effect. The Acaike index for the model is 498.13, indicating that a large part of the variables studied do not define the behavior of the population of *H. subflexa*, however, the model presented an RMSPD of 1.220 (Table 3), very close to 1, indicating that this mathematical equation allows describing the population trend of *H. subflexa*, as shown in figure 4.

Table 3. Results of the generalized linear model for *Heliothis subflexa*

| VARIABLE | Average penetration resistance (kPa) | Estimate | Standard error | Z value | Pr(< z) | P value | AIC | RMSP D |
|-----------|--------------------------------------|----------|----------------|---------|----------|---------|--------|--------|
| Intercept | Does not apply | 0.246 | 0.140 | 1.763 | 0.078 | 0.1 | 498.13 | 1.220 |
| X 2.5 cm | 466.67 | -0.0003 | 0.0002 | -1.447 | 0.148 | 1 | | |
| X 5.0 cm | 667.12 | 0.001 | 0.0002 | 2.707 | 0.007 | 0.01 | | |
| X 12.5 cm | 824.09 | -0.001 | 0.0003 | -1.973 | 0.049 | 0.05 | | |
| X 15.0 cm | 908.58 | 0.0004 | 0.0003 | 1.667 | 0.096 | 0.1 | | |

Linear Model for *Copitarsia decolora*

The population trend model of *C. decolora*, showed a good relationship between the values of penetration resistance and the number of larvae present in the monitored plants; the resistance to average penetration at depths 5.0 cm and 12.5 cm being decisive (Equation 2).

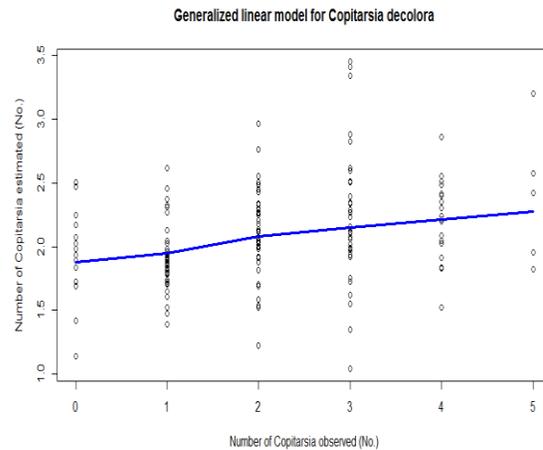


Figure 5. Generalized linear model for *Copitarsia decolora*

$$Y_c = 0.861 - 0.0006 (x \text{ 5cm}) + 0.0003 (x \text{ 15cm}) \quad (2)$$

The model obtained, composed of the intercept and two levels of resistance to penetration, showed that only the depths 5.0 cm and 12.5 cm, presented statistical significance, with $p\text{-value} < 0.01$ and $p\text{-value} < 0.05$, respectively. Nevertheless, the average penetration resistance value at 5.0 cm, corresponding to 667.112 kPa, gives the model a negative effect, while at 12.5 cm, with an average penetration resistance value of 824.09 kPa, gives a positive effect, contrary to that found for *H. subflexa*. The Acaike index for the model is 518.8, indicating that a large part of the variables studied do not define the behavior of *C. decolora* population, although, the model presented an RMSPD of 1.182 (table 4), very close to 1, indicating that this mathematical equation allows describing the population trend of *C. decolora*, as shown in figure 4.

Table 4. Results of generalized linear model for *Copitarsia decolora*.

| Variable | Average penetration resistance (kPa) | Estimate | Standard error | Z value | Pr(< z) | p_value | AIC | RMSPD |
|-----------|--------------------------------------|----------|----------------|---------|----------|---------|-------|-------|
| Intercept | Does not apply | 0.861 | 0.113 | 7.601 | 2.95E-14 | 0.00 | 518.8 | 1.182 |
| X 5.0 cm | 667.12 | -0.0006 | 0.0002 | -3.254 | 0.001 | 0.01 | | |
| X 12.5 cm | 824.09 | 0.0003 | 0.0001 | 2.551 | 0.011 | 0.05 | | |

It is worth noticing that for none of the two models for estimating the population trend of *H. subflexa* and *C. decolora*, the depths 15 to 20 cm were paramount. From which it can be inferred that the friability of the soil up to the first 15 centimeters played an important role in the establishment of the pupae of the two borer species of the fruit. Furthermore, an opposite effect was presented regarding the response of each species to the penetration resistance; for *H. subflexa*, 667.12 kPa at 5 cm represented a positive factor, while for *C. decolora*, this same condition had a negative effect. And the penetration resistance of 824.09 kPa, at 12.5 cm depth, had a negative effect for *H. subflexa*, while for *C. decolora*, provided a positive effect. Nonetheless, despite the fact that these two conditions have opposite effects to the two species, it is emphasized that the significance of these variables is equally significant for the two models.

Conclusions

This work allows us to conclude that resistance to soil penetration is a variable associated with the establishment of *H. subflexa* and *C. decolora*, in the cultivation of cape gooseberry, since these Noctuidae have part of their life cycle within the soil, in the pre-pupa and pupa stages, as well as in the emergence of the imago. The establishment of the borer species was affected by the values of resistance to soil penetration, lower than 1.100 kPa, to a depth of 15 cm. In this sense, friable soils with low penetration resistance, less than 1.100 kPa, as a result of soil tillage, can have a favorable effect for the populations of these two species of

noctuids. Nonetheless, soil preparation can favor mechanical and biological control of these species.

Acknowledgements

This work was developed thanks to the financial support of Colciencias and Universidad Nacional de Colombia, through the Young Researchers and Innovators program 706 of 2015, with code COL0010332. Also, we would like to thank the support of Luis Gallego Entomological Museum of the same university, and especially John Albeiro Quiroz-Gamboa, curator of the Entomological Collection, for their invaluable support to the accomplishment of this research. Additionally, we would like to thank Professor León Darío Vélez for his selfless loan of laboratory equipment and the farmers who kindly opened a space for us to carry out this research.

Disclaimers

All authors made significant contributions to the document and agree with its publication. They also state that there are no conflicts of interests in this study.

2 REFERENCES

Agronet. 2017. Minagricultura. Disponible en:

<http://www.agronet.gov.co/estadistica/Paginas/default.aspx> [consultada el 27 de enero de 2017].

Benavidez, M., & Mora, H. R. 2005. Los insectos-plaga limitantes en el cultivo de la uchuva y su manejo. En: F. Gerhard, W. Piedrahira, D. Miranda & R. Jorge, edits. *Avances en el cultivo, postcosecha y exportación de la Uchuva Physalis peruviana L. En Colombia*. Primera Edición, Bogotá: Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Agronomía, pp. 83-95.

Buitrago, D., & Montoya, J. 2012. Modelo de costeo para la producción y comercialización de la uchuva. *Revista Investigum, Ire*, Volumen 5, pp. 47-58.

Doblas-Miranda, E., Sánchez-Piñero, F., & González-Megías, A. 2009. Vertical distribution of soil macrofauna in an arid ecosystem: Are litter and belowground compartmentalized habitats?. *Pedobiologia*, 25 Septiembre, 52(6), pp. 361-373.

Doblas-Miranda, E., Sánchez-Piñero, F., & González-Megías, A. 2009. Different microhabitats affect soil macroinvertebrate assemblages in a Mediterranean arid ecosystem. *Applied Soil Ecology*, 41(3), pp. 329-335.

Gerhard, F., Almanza-Merchan, P., & Diego, M., 2014. Importancia del Cultivo de la Uchuva (*Physalis peruviana L.*). *Revista Brasileira de Fruticultura*, Marzo, 36(1), pp. 1-15.

Guillén, L., Aluja, M., Equihua, M., & Sivinski, J. 2002. Performance of Two Fruit Fly (Diptera: Tephritidae) Pupal Parasitoids (*Coptera haywardi* [Hymenoptera: Diapriidae] and

Pachycrepoideus vindemiae [Hymenoptera: Pteromalidae] under Different Environmental Soil Conditions. *Biological Control*, 23(3), pp. 219-227.

Ligarreto, G., Lobo, M., & Correa, A. 2005. Recursos genéticos del género *Physalis* en Colombia. En: F. Gerhard, W. Piedrahita, D. Miranda & J. Romero, edits. *Avances en el cultivo, postcosecha y exportación de la uchuva Physalis peruviana L.* Primera Edición., Bogotá: Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Agronomía, pp. 9-26.

Marín, A., Miranda, D., & Piedrahíta, W., 2005. Buenas Prácticas Agrícolas (BPA) en el cultivo de la uchuva. En: F. Gerhard, W., Piedrahíta, D., Miranda & J. Romero, edits. *Avances en el cultivo, postcosecha y exportación de la uchuva Physalis peruviana L. en Colombia.* Primera Edición, Bogotá: Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Agronomía, pp. 131-145.

Sanabria, S. 2005. Situación actual de la uchuva den Colombia. En: F. Gerhard, W. Piedrahita, D. Miranda & R. Jorge, edits. *Avances en el cultivo, postcosecha y exportación de la uchuva Physalis peruviana L. en Colombia.* Primera Edición, Bogotá: Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Agronomía, pp. 1-8.

Santiago-Álvarez, C. 2012. Los insectos y otros artrópodos en el refranero español. *Boletín de la Sociedad Entomológica Aragonesa (S.E.A.)*, 31 diciembre, Volumen 51, pp. 377-390.

Vélez-Angel, R. 1997. *Plagas Agrícolas de Impacto económico en Colombia: Binomia y manejo integrado.* Segunda edición, Medellín, Editorial Universidad de Antioquia. Pp. 220-292.

