

**Universidad Nacional de Costa Rica
Facultad de Ciencias Exactas y Naturales**

**Escuela de Ciencias Biológicas
Licenciatura en Biología con Énfasis en Manejo de Recursos Naturales**

**Proyecto de graduación presentado como requisito parcial para optar por el
grado de Licenciatura en Biología con énfasis en Manejo de Recursos
Naturales**

**Identificación de un grupo de gramíneas con potencial de cultivo trampa para
reducir el impacto del gusano cogollero *Spodoptera frugiperda* (J. E Smith
1797) (Noctuidae), sobre el maíz *Zea mays* (Poaceae), Cartago, Costa Rica**

Acta de aprobación 290-2021

Alejandro Jesús Vargas Coto

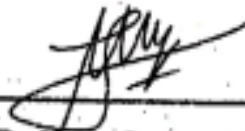
Campus Omar Dengo

Heredia, 2021

Este trabajo de graduación fue APROBADO por el Tribunal Examinador de la Escuela de Ciencias Biológicas de la Universidad Nacional, como requisito parcial para optar por el grado de Licenciatura en Biología con Énfasis en Manejo de Recursos Naturales.



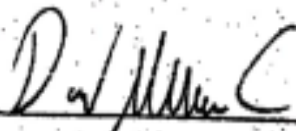
M.Sc. Alejandro Durán Apuy
Representante, Decano, quién preside



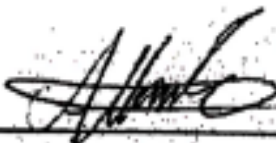
Dr. Meyer Guevara Mora
Representante, Unidad Académica



M.Sc. Rommel Vega Obando
Tutor



M.Sc. David Martínez Cascante
Asesor



M.Sc. Allan González Herrera

Resumen

El cultivo de maíz *Zea mays*, es uno de los cereales de mayor importancia en el mundo y constituye un alimento básico para el ser humano, y este comúnmente se ve afectado por diversas plagas. El gusano cogollero *Spodoptera frugiperda* es considerado una plaga primaria en dicho cultivo, siendo sus larvas las principales causantes del daño foliar. El presente trabajo evaluó el potencial de los cultivos trampa contra el cogollero del maíz, como una alternativa de siembra bajo un contexto agroecológico. Se evaluaron siete gramíneas y su poda para determinar su potencial como cultivo trampa en la protección de plántulas de maíz. Para ello, se consideró la preferencia oviposicional de *S. frugiperda* en las gramíneas trampa, así como la evaluación del daño foliar que realiza el cogollero sobre las plantas del maíz. Se encontró que tanto el tipo de gramínea y bloque presentaron el mayor ajuste y peso de los modelos estadísticos para explicar la colonización foliar de *S. frugiperda* sobre las gramíneas *Pennisetum purpureum* y *Saccharum officinarum*. Con respecto al daño foliar en *Zea mays*, no se encontró un efecto significativo de la gramínea y la poda. No obstante, el bloque como covariable mostro un efecto significativo. El daño foliar causado por el gusano cogollero fue similar a lo observado en otros estudios por larvas de la misma especie y mismo estadio de desarrollo. Tales observaciones validan el daño y consumo ejercido por la plaga en plantaciones iniciales de maíz y la necesidad incipiente de alternar con estrategias de producción como la asociación a través de cultivos trampa, y la integración el uso de tecnologías de control biológico en el en el manejo del gusano cogollero del maíz en nuestro país.

Agradecimientos

Quiero dar un gran agradecimiento al Centro Nacional Especializado Agricultura Orgánica (CNEAO) del Instituto Nacional de Aprendizaje por brindarme la instrucción y asesoría en las pruebas de campo llevadas a cabo, en especial a Rommel Vega por su guía y apoyo. Al señor director del centro Fabian Pacheco por abrirme las puertas de la institución, así como a la profesora Gina Borrero, quien me colaboro en campo con maquinaria y herramientas. También quisiera agradecer a Randall Jiménez por brindarme sus atenciones y ayuda incondicional para la realización de la tesis. Me gustaría hacer una mención especial a todas aquellas personas que en algún punto del proceso me apoyaron para su realización, en calidad de asesores a los profesores David Martínez y Hannia Vega, a Doña Carmen Isabel Vargas en calidad de mentora, a Lucrecia Brenes por sus palabras de aliento, a la señora Maritza Quesada por sus revisiones filológicas, así como a Andreina Madrigal por sus consejos.

Dedicatoria

A Dios por darme la fortaleza de haber llegado hasta este punto del camino en este proceso de formación profesional. A mi familia que de manera incondicional siempre me ha brindado apoyo tanto en lo personal como en lo académico y ha batallado conmigo muy de cerca en cada paso del trayecto para alcanzar con paciencia y esfuerzo cada pequeña y gran meta.

A mis abuelos y mi mamá en especial que siempre me han demostrado que con fe y paciencia todo se logra.

Índice

Miembros del tribunal.....	I
Resumen.....	II
Agradecimientos.....	III
Dedicatoria.....	IV
Índice.....	V
Índice de cuadros.....	VI
Índice de figuras.....	VII
Abreviaturas.....	IX
1. Introducción.....	1
1.1. Antecedentes.....	1
1.2. Justificación.....	4
1.3. Planteamiento del problema a investigar.....	8
1.4. Objetivos.....	9
1.4.1. Objetivo general.....	9
1.4.2. Objetivos específicos.....	9
2. Marco Teórico.....	10
3. Marco Metodológico.....	23
3.1. Sitio de estudio.....	23
3.2. Preselección del grupo de gramíneas para el cultivo trampa.....	24
3.3. Selección de las gramíneas para el cultivo trampa.....	25
3.4. Post-selección de las gramíneas para el cultivo trampa.....	26
3.5. Recolección, transporte, saneamiento, preparación de las potenciales gramíneas hospederas y siembra del maíz.....	27
3.6. Realización de los objetivos específicos.....	34
3.7. Análisis estadístico.....	41
4. Resultados.....	42
4.1. Análisis estadístico y cuantificación de objetivos específicos.....	42
4.2. Propuesta metodológica para manejo del cultivo trampa bajo un enfoque agroecológico.....	47
5. Discusión.....	67
6. Conclusiones y Recomendaciones	71
7. Bibliografía.....	73
8. Anexos.....	86

Índice de cuadros

Cuadro 1	Grupo de gramíneas seleccionadas con base en el hábito de crecimiento y rango de altura afín al maíz <i>Z. mays</i>	25
Cuadro 2	Grupo de gramíneas elegidas con potencial cultivo trampa en el maíz (<i>Zea mays</i>) según hábito de crecimiento y rango de altura.....	26
Cuadro 3	Modelos generados para determinar la colonización del gusano cogollero en las gramíneas empleadas como cultivo trampa.....	41
Cuadro 4	Evaluación de modelos candidatos sobre la influencia del gusano cogollero <i>S. Frugiperda</i> en la colonización foliar del cultivo trampa. Número de parámetros (K), valores de Criterio de información de Akaike (CIAC), diferencia en el CIAC entre el modelo actual y el mejor modelo (Δ CIAC) y pesos de CIAC (w).....	43
Cuadro 5	Probabilidad de que una hoja sea colonizada para las diferentes especies de gramíneas utilizadas como cultivo trampa.....	43
Cuadro 6	Modelos candidatos para evaluar el efecto de la gramínea y el tipo de poda en el daño foliar de <i>Zea mays</i> . Número de parámetros (K), valores de Criterio de información de Akaike (CIAC), diferencia en el CIAC entre el modelo actual y el mejor modelo (Δ CIAC) y pesos de CIAC (w).....	45
Cuadro 7	Propagación de incertidumbre del daño foliar entre bloques mediante las simulaciones de Monte Carlo (JCGM, 2008).....	46

Índice de figuras

Figura 1	Mapa de la Provincia de Cartago con sus cantones correspondientes.....	24
Figura 2	Extracción del rizoma de <i>Axonopus scoparius</i> (izquierda) y <i>Andropogon glomeratus</i> (derecha).....	27
Figura 3	Movilización de los rizomas de <i>Axonopus scoparius</i> (izquierda) y <i>Andropogon glomeratus</i> (derecha).....	28
Figura 4	Llenado de bolsas, selección de semilla y siembra de <i>Saccharum officinarum</i>	29
Figura 5	Etapa de desarrollo y germinación del almácigo. La imagen a la izquierda pertenece al progreso vegetativo de <i>Andropogon glomeratus</i> y la imagen a la derecha al surgimiento de las primeras yemas de <i>Saccharum officinarum</i>	29
Figura 6	Demarcación y delimitación espacial del terreno donde se dispusieron las plantas de maíz y las potenciales gramíneas trampa.....	30
Figura 7	Modificación del diseño de bloques completos al azar ideado por Peralta y Hilje (1993), junto a los tratamientos de poda y no poda. Las letras simbolizan los tratamientos evaluados como cultivo trampa (periferia de línea punteada) y el cuadrante representa el área donde se concentraron las plántulas de maíz. Dentro de las letras aleatorizadas, se situó una especie diferente al conjunto de Poaceas y un grupo control (plántulas de maíz sin cultivo trampa).....	31
Figura 8	Esquema de la disposición espacial de las gramíneas trampa (izquierda) y distribución de las plántulas de maíz (derecha), para cada unidad experimental.	32
Figura 9	Trasplante de <i>Paspalum paniculatum</i> (izquierda) y <i>Andropogon glomeratus</i> (derecha).....	33
Figura 10	Desarrollo foliar y poblado de las unidades experimentales previo a la siembra del maíz: 1) <i>Saccharum officinarum</i> , 2) <i>Paspalum saccharoides</i> , 3) <i>Pennisetum purpureum</i> , 4) <i>Paspalum paniculatum</i> , 5) <i>Axonopus scoparius</i> , 6) <i>Andropogon glomeratus</i>	33
Figura 11	Germinación de las plántulas de maíz Cartago dentro del recuadro perimetral de gramíneas trampa.....	34
Figura 12	Presencia de daño foliar realizado por larvas de <i>S. frugiperda</i> , en 3 diferentes gramíneas trampa.....	35
Figura 13	Identificación de larvas de <i>S. frugiperda</i> con sus rasgos característicos de patrón de Y invertido en la cabeza, puntos negros en el octavo segmento abdominal y franja pálida a lo largo de todo el dorso.....	36
Figura 14	Daños foliares realizados por las larvas del gusano cogollero del maíz <i>S. frugiperda</i>	38

Figura 15	Láminas foliares de maíz con daño ejercido por <i>S. frugiperda</i>, dispuestas sobre pliegos de papel para su respectivo análisis.....	38
Figura 16	Visualización en formato binario de las láminas foliares con varios daños realizados por las larvas del cogollero del maíz <i>S. frugiperda</i>.....	39
Figura 17	Trazado del contorno foliar a mano alzada para la obtención del área total de cada hoja con daño realizado por larvas de <i>S. frugiperda</i>.....	40
Figura 18	Frecuencia de aparición de larvas para las diferentes gramíneas utilizadas como cultivo trampa en los tratamientos de poda y no poda.....	44

Abreviaturas o acrónimos

CNEAO	Centro Nacional Especializado Agricultura
CO ₂	Dióxido de Carbono
HBCN	Hipótesis del balance carbono-nutrientes
INA	Instituto Nacional de Aprendizaje
IRET	Instituto Regional de Estudios en Sustancias Tóxicas
MIP	Manejo Integrado de Plagas
MLG	Modelos Lineales Generalizados
NDE	Nivel de Daño Económico
OFM	Oxidasas de Función Múltiple
OR	Odds Ratios
SFE	Servicio Fito Sanitario del Estado
UE	Umbral Económico
UED	Umbral Económico de Daño

1. Introducción

El presente trabajo desarrolla una propuesta a nivel experimental para cuantificar la reducción de la fitofagia que realiza la plaga del gusano cogollero *Spodoptera frugiperda*, en el cultivo del maíz (*Zea mays*), en un contexto agroecológico, y fundamentado con bases científicas para una agricultura sustentable. Se parte del principio de utilizar insumos renovables existentes en la región, así como los rasgos ecológicos y estructurales propios de los campos y la vegetación circundante para mejorar el potencial local en torno a un oportuno manejo integrado de plagas (Hecht, 1999).

La búsqueda de la conservación y rehabilitación de los recursos naturales a escala local, regional y global con enfoque holístico promueve la biodiversidad funcional y estructural como soporte de vida (Sarandón y Flores, 2014). Estos mecanismos de control biológico en conjunto con asociaciones heterogéneas de plantas proporcionan más biomasa, recursos alimenticios y persistencia temporal en el agroecosistema (Nicholls, 2008). En contraste con la agricultura moderna, que simplifica estructuralmente el medio, ya que reemplaza la diversidad de la naturaleza con un número pequeño de plantas cultivadas y una estructura trófica reducida (Nicholls, 2010).

Dentro de las alternativas para desarrollar agroecosistemas sostenibles, los cultivos trampa ofrecen una opción viable a nivel local para el combate de insectos. Su esencia radica en captar la atención de una determinada plaga al crear una barrera vegetal viva y desviar la atención de esta para impedir o disminuir la fitofagia que pueda provocar en una siembra focal de interés comercial (Navarro, 2010). Esta técnica implica la mejora en las condiciones de producción para el agricultor local, trayendo consigo beneficios en la tecnificación productiva como rendimiento en la cosecha, incremento del microbiota del suelo, saneamiento de aguas, calidad de vida, entre otros.

1.1. Antecedentes

Investigaciones relacionadas con la asociación de plantas hospederas del gusano cogollero (*Spodoptera frugiperdo*), realizadas por Chang et al. (1985) estudiaron la preferencia de la especie con el zacate bermuda (*Cynodon dactylon*), la hierba *Eremochloa ophiuroides* y la zoysia (*Zoysia* spp), para las cuales se midió la recepción química como mecanismo de orientación de las larvas. Los resultados indicaron una respuesta positiva y significativa de *S. Frugiperda* hacia el estímulo químico de todas las hierbas en una evaluación de preferencia múltiple. La respuesta fue de un daño 50 veces mayor hacia la especie *C. dactylon*, en comparación con *Zoysia* spp, indicando que una selección de pastos puede influir significativa y diferencialmente la densidad de estos defoliadores.

Se conoce que varias plantas hospederas como el algodón y el perejil inducen la actividad monooxigenasa microsomal, causante de inducir enzimas de desintoxicación en insectos herbívoros (Yu, 1986). Esto da paso a una disminución de la toxicidad de los insecticidas (metomilo, acefato, trichlofon, diazinon, metamidofos, monocrotofos, permetrina y cipermetrina), a través de una desulfatación y sulfaoxidación de los organofosfatos en las larvas del gusano cogollero. El análisis de los insecticidas reveló que las larvas inducidas a cargas químicas retuvieron menos fosfatos, mostrando que la inducción en este insecto provoca un aumento en el grado de metabolismo de los insecticidas (Yu, 1986).

Mediante una revisión sobre hospederos de *S. frugífera*, se encontró que el gusano cogollero ataca a gran variedad de cultivos, sin embargo, tiende a preferir las gramíneas durante las etapas de crecimiento vegetativo (Buntin, 1986). Las larvas del cogollero del maíz consumen principalmente las hojas que afectan el rendimiento de los cultivos (e.g, los granos), reduciendo así el área fotosintética de la hoja al dañar o destruir los tejidos meristemáticos, al dar como resultado una reducida población de plantas o una modificación en su arquitectura.

La métrica del desarrollo de larvas del gusano cogollero en dos poblaciones de Honduras y Mississippi en sorgo y maíz a nivel de laboratorio fue descrita por Castro y Pitre (1988). La experimentación se desarrolló con un rango de temperatura y cantidad horas de exposición a la luz

iguales. En el estudio no se observaron diferencias en el tiempo de desarrollo de las larvas de ambas poblaciones en relación con la planta hospedera, ni hubo una diferencia significativa en ninguno de los tratamientos en las etapas de pre pupa y pupa. No obstante, Castro y Pitre (1988); afirman que los insectos alimentados con maíz parecen ser más fecundos que aquellos a los cuales se les alimentó con sorgo.

Experiencias con dos razas del gusano cogollero extraídas por Whitford et al. (1988), en el cultivo del maíz y arroz, relacionaron la preferencia ovoposicional y compatibilidad de apareamiento con cuatro especies de gramíneas, el maíz (*Z. mays*) y de arroz (*Oryza sativa*), el zacate bermuda (*C. dactylon*) y el sorgo (*Sorghum bicolor*). Con la raza proveniente del maíz, se determinó que la afinidad por ovoposición iba dirigida en una mayor proporción hacia *Z. mays* y *S. bicolor*.

En el área de genética, Mihm et al. (1988), se realizaron esfuerzos para desarrollar el germoplasma del maíz con niveles de resistencia contra el gusano cogollero, creando técnicas eficientes para la crianza masiva e infestación artificial a nivel de campo. Dichos esfuerzos dieron como resultado programas para la evaluación y desarrollo de nuevas fuentes de resistencia y formación de variedades (vigor híbrido) e híbridos no convencionales con resistencia a la plaga.

Existe interés en los complejos derivados de plantas exóticas no consideradas como hospederas que pudieran servir como fuente para reducir la capacidad de alimentarse y desarrollarse en insectos herbívoros (Wiseman et al., 1996). Por ejemplo, larvas del cogollero; alimentadas con hojas de *Cornus florida*, *Hydrangea macrophylla*, *Prunus serotina* o *Pyrus calleryna* mostraron una reducción del crecimiento y de la producción de excretas. A excepción de *H. macrophylla*, que durante el quinto instar larval se mostró una ganancia de peso. No obstante, estos resultados sugieren la presencia de un componente tóxico en las hojas que reduce el crecimiento de *S. frugiperda*.

Con miras de comprender el desarrollo y comportamiento de alimentación de las larvas de *S. frugiperda*, estas fueron evaluadas en plantas hospederas de cobertura típica y plantas aspirantes a ser usadas como cobertura por Meagher et al. (2004). Los resultados arrojaron que las larvas de diferentes crías de hospederos se desarrollaron de manera muy similar en los cultivos de maíz y

pasto del Sudán, a diferencia de las plantas de caupí (*Vigna unguiculata*) y en crotalaria (*Crotalaria juncea*), donde el tiempo de desarrollo se vio alargado y aumento la mortalidad de las larvas. Experimentos sobre oviposición también indican que hay una preferencia por el maíz y sorgo de Sudán, sugiriendo que las señales táctiles como el contacto corporal sobre la superficie de la planta pueden ser más importantes que la propia volatilización de compuestos orgánicos emitidos por la planta

Con el objetivo de conocer y evaluar los hospederos de *S. frugiperda* por región y país, Casmuz et al. (2010) realizaron una revisión bibliográfica, que fue agrupada a su vez por zona y país. Los autores encontraron 186 hospederos, repartidos en 42 familias, los hospederos con mayor número de citas incluyeron las familias Poaceae con 35,5 %, Fabaceae con 11,3 %, Solanaceae 4,3 %, Asteraceae 4,3 %, Rosaceae 3,7% y Chenopodiaceae 3,7%. Del total de plantas el 64% se encontraron presentes en Norteamérica y Centroamérica.

Por último, Roy et al. (2016) llevó estudios ligados a la adaptación dietaria del género *Spodoptera* en el área de bioquímica, relativos a los cambios dietarios de plantas hospederas para insectos polívoros. Se compararon tres taxones del género (*S. littoralis* y dos cepas de *S. frugiperda*). Para todos los taxones se evidenció una alteración en los niveles de transcripción de los transcriptores relacionadas con la función fisiológica del intestino medio (enzimas digestivas, desintoxicantes y de inmunidad). Dentro de los resultados y hallazgos se encontró una mayor expresión de la UDP-glucosil transfera, (enzima encargada de neutralizar toxinas de la hoja del maíz), en la cepa de *S. frugiperda* adaptada al maíz. Esto trae como consecuencia una mayor optimización y adaptación de una dieta vegetal, optimizando los hábitos de alimentación en el maíz.

1.2. Justificación

Costa Rica es un país conocido en el ámbito internacional por sus altos niveles de productividad agrícola y por ser a su vez, el país dentro de la región centroamericana con mayor consumo de plaguicidas por hectárea cultivada (REPCar, 2011). Según el Instituto Regional de

Estudios en Sustancias Tóxicas (IRET) de la Universidad Nacional, Costa Rica consume unos 20 kilogramos de ingrediente activo por hectárea (La Nación, 2014). De acuerdo con los datos emitidos por el Instituto de Recursos Mundiales, Costa Rica se presenta como el primer país del mundo en uso de agroquímicos, con un promedio de 51 kilos por hectárea (Núñez, 2011), inclusive con las reducciones de agroquímicos confirmadas en el año 2013 por las autoridades del Servicio Fito Sanitario del Estado (SFE).

En los últimos 20 años, el sector agrícola se ha transformado de una actividad tradicional productora de granos básicos a un sector dominado por la producción de monocultivos para la exportación dependiente de insumos agroquímicos (Estado de la Nación, 2013). Al presente la creciente problemática de los agroquímicos y agricultura industrial en el país, ha llevado a evidenciar múltiples deterioros tanto a la salud humana como al ambiente. Los productos químicos han alterado los agentes abióticos y bióticos por acción del ser humano; en consecuencia, se evidencia la presencia de residuos de agroquímicos en los suelos, aguas superficiales y aguas subterráneas poniendo en riesgo la disponibilidad del recurso hídrico, así como alteración de los ecosistemas ribereños y marinos en los cuales el crecimiento de algas y bacterias causan un daño irreparable al medio ambiente (Brizuela, 2013).

La búsqueda e implementación de nuevas y mejores alternativas de producción agrícola actualmente se está llevando a cabo mediante una nueva disciplina científica llamada agroecología. Esta utiliza conceptos y principios ecológicos para el diseño y manejo de agroecosistemas, donde los insumos externos se sustituyen por procesos naturales como la fertilidad natural del suelo y el control biológico, al tomar como base la agricultura campesina y proporciona alternativas para el desarrollo agrícola de manera sostenible, resiliente, biodiverso y socialmente justo (Altieri y Nicholls, 2012).

Una de las estrategias que utiliza la agroecología es el Manejo Integrado de Plagas (MIP), es un conjunto de herramientas, que, manejadas de manera coordinada y oportuna, logran mantener controladas las siguientes poblaciones de plagas: malezas, enfermedades, insectos o vertebrados, de manera que no provoquen pérdidas de naturaleza económica (Vivas-Carmona, 2017). Además, el MIP permite a los agricultores vigilar y realizar un manejo de las plagas en sus campos,

reduciendo al mínimo la utilización de plaguicidas químicos costosos. Esto ofrece a los agricultores los medios para tomar decisiones con el fin de no desperdiciar sus recursos y prevenir daños a la salud, tanto de ellos mismos como de los propios cultivos o el medio ambiente (FAO, 1998).

El cultivo del maíz *Zea mays* es uno de los cereales de mayor importancia en el mundo, ocupando la tercera posición después del trigo y el arroz, desde antaño constituye un alimento básico para muchas poblaciones (Rogg, 2001). Este grano es una planta completamente domesticada, el hombre y el maíz han evolucionado juntos desde tiempos remotos, siendo una de las especies cultivadas más productivas (Paliwal, 2001). Su cultivo en Costa Rica es milenario, en todas las etapas históricas, el maíz ha sido esencial en la dieta popular del costarricense, siendo consumido en todo el territorio nacional en diversos platillos gastronómicos (Obregón, 2013).

El maíz tiene una gran variedad de usos tan basta que supera a cualquier otro cereal, ya que todas las partes de la planta son aprovechadas en la alimentación (Chavarría y Alfaro, 2005). Hoy en día con el desarrollo de la industria se ha convertido en materia prima para la elaboración de almidón, alimento balanceado, mieles, jarabes, azúcar, aceite, dextrinas y en la rama pecuaria (Rogg, 2001). El maíz es una materia prima para la fabricación de diversos productos y alimentos primordiales para el consumo de una variada gama de animales domésticos (Cortés, 1994). Es el único cereal que puede ser usado como alimento en cualquier fase del desarrollo de la planta, así como la utilización de residuos del maíz como fuente de alimentación para rumiantes (Sánchez, 2014).

Como todo cultivo de importancia económica, el maíz se ve afectado por diversas plagas; entendiéndose por plaga, como la aparición masiva y repentina de seres vivos de la misma especie que causan graves daños a poblaciones animales o vegetales (RAE, 2017). El gusano cogollero del maíz *Spodoptera frugiperda* (*Lepidoptera: Noctuidae*), es un insecto oriundo del trópico y subtrópico americano considerado una de las plagas omnívoras de mayor importancia económica en el sur de Estados Unidos, Centro y Sur América, siendo las larvas de esta polilla las principales causantes del daño, al alimentarse mayoritariamente de las hojas nuevas de los cultivos (Polania et al., 2009). No obstante, el daño al cultivo no se limita a las hojas tiernas, ya que la plaga puede

afectar en sus fases de cortador, barredor y cogollero, lo cual ocasiona el deterioro de las mazorcas (Salas, 2001).

La larva de *S. frugiperda* puede atacar aproximadamente 38 tipos cultivos, razón por la cual es considerada una plaga primaria en el cultivo de maíz, y como una plaga secundaria en los cultivos de algodón, caña de azúcar, arroz, sorgo y pastos (Vélez-Arango et al., 2008). Las larvas recién eclosionadas atacan el parénquima foliar de una de las caras de la hoja y dejan solo una epidermis membranosa con aspecto transparente en los primeros instares larvales; Sin embargo, conforme al desarrollo de las larvas, estas comienzan a perforar las hojas y cuando el ataque ocurre en estadios iniciales del cultivo pueden ocasionar la muerte o reducción en el desarrollo de las plantas (Polanczyk, 2004).

En términos generales no existen estadísticas referentes a pérdidas reales causadas por el insecto, pero en países como Colombia el cultivo de maíz tecnificado considera que un 5,6% aproximadamente de los costos de producción corresponden al manejo químico de la plaga (Polania et al., 2007). En 2009, dichos autores prueban que los costos por manejo químico aumentaron hasta un 10%, debido a la resistencia innata de la larva de la polilla hacia los pesticidas, por lo que el manejo con productos químicos se dificulta cada vez en relación con los costos de producción total del cultivo en años anteriores (Polania et al., 2009).

Los esfuerzos realizados para manejar dicha plaga requieren de hasta tres aplicaciones de insecticidas químicos, y desgraciadamente las aplicaciones de estos productos pueden seleccionar poblaciones resistentes, además, de los problemas de toxicidad que generan estas aplicaciones, también se afectan los enemigos naturales de esta plaga y al medio ambiente en general (Yasem de Romero y Romero, 2009). En la actualidad las estrategias para el manejo del gusano cogollero incluyen mejoras en los insecticidas químicos y la utilización de nuevas metodologías como la cisgénesis e intragénesis. En México han desarrollado estas tecnologías en el maíz, dando paso al maíz transgénico, el cual puede emitir toxinas derivadas de la bacteria *Bacillus thuringiensis Berliner*, nombrados como Bt, esto crea plantas resistentes a la plaga y aumenta se número en las cosechas (Casmuz et al., 2010).

La aplicación de organismos transgénicos debe realizarse bajo un riguroso análisis de los riesgos que puedan ocasionar a la salud humana, el medio ambiente y la biodiversidad (Ortega, 2008). De manera tal que la búsqueda de alternativas amigables con el ambiente mediante las bases agroecológicas es de gran importancia para disminuir el daño por herbivoría ocasionado por el gusano cogollero hacia las plantas del maíz. Una de las técnicas que utiliza la agroecología es el uso de cultivos trampa, estos cultivos pueden ser de una especie o variedad diferente al cultivo principal, el cual es considerado como atractivo para las plagas. Los cultivos trampa son sembrados alrededor del cultivo principal creando una barrera vegetal, y así desviando la atención de la plaga al depredar el cultivo trampa disminuyendo el daño ocasionado al cultivo de interés comercial (Navarro, 2010).

Debido a las razones expuestas y a la problemática actual por el uso desmedido de agroquímicos, la búsqueda de alternativas de cultivos amigables con el ambiente es de suma importancia para el acontecer nacional. Dada la importancia que tiene este cultivo en la dieta de los costarricenses, el presente estudio investigó el potencial del uso de cultivos trampa contra el cogollero del maíz (*S. frugifera*), con el fin de mejorar el panorama ambiental y socioeconómico de los recursos naturales asociados entorno a la siembra del maíz.

1.3. Planteamiento del problema a investigar

Como resultado en la problemática actual de manejo de plagas y amenaza que representa el gusano cogollero en el cultivo del maíz, se dan a conocer alternativas de intervención que no impacten al medio ambiente. Al aprovechar los recursos y oportunidades que brinda la vegetación local, así como los hábitos polípagos que presenta *S. frugiperda*.

La presente propuesta experimental radica en evidenciar la preferencia y manifestación del gusano cogollero en especies seleccionadas del grupo meta (familia *Poaceae*), al constituirse la misma como recurso trófico de excelencia para dicha especie. Se genera la siguiente pregunta de investigación: ¿Cuáles son las especies de gramíneas que puedan resultar atractivas para el

cogollero del maíz bajo el contexto de cultivo trampa, y que además puedan minimizar el daño foliar que muestra la plaga sobre *Zea mays*?

Actualmente se conoce que hay una gran variedad de gramíneas con alto potencial hospedero para el gusano cogollero (Casmuz et al., 2010), entre ellas *Saccharum officinarum* (caña de azúcar) y *Pennisetum purpureum* (pasto elefante o gigante) o el género *Paspalum spp.* Por lo que surge la hipótesis en torno a que gramíneas hospederas pueden resultar más atractivas respecto a otros pastos para el manejo del gusano cogollero en el maíz y su vez resulte funcional como cultivo trampa en aras de implementar métodos culturales que minimicen daños y pérdidas en la producción de granos.

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo General

Evaluar las especies de gramíneas con mayor potencial de cultivo trampa como estrategia alternativa de fitoprotección en la reducción de daño foliar que ocasiona el gusano cogollero (*Spodoptera frugiperda*) sobre plantas de maíz.

1.4.2. Objetivos Específicos

- Determinar la preferencia oviposicional del cogollero del maíz *S. frugiperda*, en gramíneas seleccionadas como cultivo trampa.
- Estimar el daño foliar que realiza el gusano cogollero *S. frugiperda* en plántulas de maíz, utilizando gramíneas en condición de cultivo trampa.
- Realizar una propuesta metodológica para el cultivo y manejo agroecológico de las gramíneas con potencial de cultivo trampa.

2. Marco Teórico

Como parte de la problemática que representa *S. frugiperda* sobre los cultivares, resulta de gran importancia conocer y profundizar la interacción insecto-planta en un ámbito integral capaz de evidenciar de las problemáticas asociadas al creciente impacto y daño que ejerce dicho insecto al cultivo de maíz. Por lo que resulta importante entender los factores que influyen y explican los posibles daños que generan a las plantas. A continuación, se detalla y abordan los argumentos atinentes para comprender el origen y persistencia en el tiempo que reside en dicha problemática.

Los insectos herbívoros constituyen una gran proporción de la biodiversidad global, comprenden alrededor de una cuarta parte de todas las especies descritas, la mayoría de estas especies tienen algunas plantas huésped, y, por el contrario, la mayoría de las especies de plantas son consumidas por una pequeña fracción de las especies de insectos (Almeida-Neto et al., 2011). En el caso de las polillas, la tendencia de usar espectros muy estrechos o amplios de plantas hospederas ha seguido patrones muy diversos, en algunos linajes se incluyen grupos de plantas que ya sea por su taxonomía o química asociada, no se hayan muy relacionados (Ávila, 2002). Por lo tanto, utilizan como recurso trófico un grupo particular de plantas hospederas que cubran requerimientos de alimentación, protección y reproducción como parte del ciclo de vida del individuo (Centella et al., 2003).

La información relacionada al uso de una amplia gama de plantas hospederas se halla vinculada en las investigaciones de Mayhew (1997), donde sugiere teorías como la de Levins y MacArthur (1969). Dicha teoría cuestiona si la aceptación de una mayor variedad de plantas en la dieta resulta en una mayor aptitud biológica, teniendo como consecuencia un aumento en la oportunidad de ovipositar; sin embargo, al hacerlo se corre el riesgo de ovipositar plantas inadecuadas. Esto presenta un dilema para la especie, especialmente si las plantas aceptables son raras o la vida útil es corta, no obstante, en ese caso las plantas menos adecuadas pueden ser contenidas en la dieta, debido a que la pérdida de aptitud promedio de la descendencia de aceptar hospedantes de baja calidad no supera la pérdida de tiempo buscando hospedantes más apropiados.

La otra teoría de trascendencia se vincula a Jaenike (1978). Esta considera dentro de los supuestos a un insecto con un flujo de ovoposición de ritmo constante, ya que a medida que el tiempo avanza, se presenta un riesgo el dejar una planta de baja calidad sin ovipositar, en el caso de no haber hallado otra planta huésped, antes de que se coloque el siguiente huevo, por lo que los insectos son más propensos a aceptar hospederos de una calidad inferior. La presencia de patrones adaptativos en el caso de insectos fitófagos respecto a la gama de hospederos lleva, en consecuencia, a crear varios problemas asociados, como lo son: problemática bajo el contexto coevolutivo, problemática bajo el concepto de domesticación y problemática bajo el contexto de eliminación de enemigos naturales. A continuación, se detalla cada una de estas problemáticas:

A) Problemática bajo el contexto coevolutivo: La teoría clásica de coevolución expuesta por Ehrlich y Raven (1964), sustenta la interacción evolutiva ajustada entre las plantas e insectos fitófagos, donde se crea una presión ejercida por estos últimos, la cual aumenta el desarrollo de mecanismos de defensa en las plantas. Entran a una nueva zona adaptativa y de radiación evolutiva, donde algunos insectos podrían tener éxito en la adaptación emitida por las plantas, incorporándose del mismo modo en una nueva zona adaptativa donde son libres para diversificar en gran medida en ausencia de otras especies de insectos fitófagos en competencia. Estas respuestas entre insectos y plantas resultan entonces en un aumento de la diversidad de las especies de ambos grupos, teniendo efectos selectivos recíprocos.

De forma general, bajo el modelo de Ehrlich y Raven (1964), una gran diversidad de metabolitos secundarios ha evolucionado en respuesta a ataques de insectos herbívoros, en contra parte en el caso de los insectos con alta gama de hospederos (generalistas). Tales metabolitos deben tener una serie de “mecanismos generales” para tolerar una serie de defensas procedentes de la planta, además de poseer mecanismos para manipular las plantas a través de vías altamente conservadas (Ali y Agrawal, 2012).

Con la certeza las interacciones entre planta-insecto fitófago son asimétricas. Pérez (1999), proporciona evidencia de las asimetrías y limitantes para la teoría de la coevolución en insectos. A continuación, se mencionan algunas de ellas:

- Cuando la resistencia o defensa de la planta es una respuesta muy limitada al daño realizado por los fitófagos.
- Cuando grupos de herbívoros atacan en concierto y la coevolución recíproca entre la planta hospedera y uno o dos especies de insectos fitófagos genera presiones selectivas conflictivas restringiendo la coevolución.
- Cuando la coevolución se considera bajo un contexto de comunidad, esto implica que las defensas de las plantas han evolucionado para hacer frente a ataques de muchos grupos y no solo de uno.
- Cuando las interacciones entre las especies de la comunidad son tan fuertes que la evolución de cualquier especie afectará la evolución de las demás.
- Cuando el proceso coevolutivo es más dinámico de lo que aparenta en el estudio de poblaciones individuales, ya que las diferencias entre una o más especies crean un mosaico geográfico de interacciones. Permite que la evolución total de una especie sea el resultado de la coevolución con varias especies.

Es poco probable que diferentes especies de hospedadores impongan idénticas presiones selectivas en insectos olífagos, la interacción recíproca necesaria para la coevolución parecería más improbable para el caso de insectos polífagos (generalistas). Los insectos no son los únicos organismos que afectan a las plantas, y, por lo tanto, no se puede asumir que las defensas de las plantas hayan siempre evolucionado para repeler insectos. Los cambios en el uso de hospedador han ocurrido muchas veces durante la evolución, existen ejemplos de especies fitófagas que han añadido nuevos hospedadores a su dieta en los últimos 100 años, considerado como una expansión del rango del hospedador incrementando la oportunidad ecológica (Pérez, 1999).

B) *Problemática bajo el contexto de la domesticación:* Entre los cambios asociados a la domesticación destacan un mayor tamaño y diversidad morfológica de las partes útiles de la planta, cambios en la arquitectura, en la forma de vida, en sistemas reproductivos y en procesos ecofisiológicos, algunos de estos cambios involucran pérdida de mecanismos de protección contra herbívoros, resta a las plantas domesticadas su capacidad de sobrevivir (Rodríguez-Morales et al., 2013). Efectivamente, las razas o variedades seleccionadas no solo han diferido en relación con sus antepasados en un solo rasgo objetivo, sino más bien en muchos otros rasgos correlacionados

contribuyendo a aumentar la capacidad productiva, originando por consecuentemente “síndromes de domesticación” (Santos-del-Blanco et al., 2015).

De forma muy general, el síndrome de domesticación incluye un aumento en el tamaño de rasgos deseados, como lo son: un mayor zumo en fruto, aumento en el tamaño, indiferencia al fotoperiodo, supresión de latencia en las semillas y depreciación en la capacidad de dispersión. Durante el proceso de domesticación la pérdida de diversidad genética trae consigo pequeñas variantes en la expresión de genes, pudiendo tener efectos recónditos en aquellos involucrados a la resistencia de enfermedades y complejidad morfológica (Raya-Pérez et al., 2010).

Los híbridos o cruces genéticos estrechos (endogamia) son producto de los esfuerzos de reproducción sistemática enfatizada en la alta productividad. En algunos casos se pueden presentar diferencias en la defensa entre plantas domesticadas y antepasados silvestres, al haber una discrepancia en la calidad o la cantidad de defensas químicas, la cual se manifiesta en los efectos directos sobre el rendimiento herbívoro (Dávila-Flores et al., 2013).

C) Problemática bajo el contexto de eliminación de enemigos naturales: Las prácticas agrícolas influyen significativamente la forma en que los enemigos naturales suprimen efectivamente a los insectos plaga en los campos agrícolas convencionales (no orgánicos) (Driesche et al., 2007). Los monocultivos son ambientes en los cuales se dificulta propulsar el control biológico, debido a la escasez de diversidad circundante, ya que estos sistemas no cuentan con los recursos suficientes para que los enemigos naturales puedan hacer su trabajo de manera positiva (Altieri, 1994).

Históricamente los ecólogos han señalado que una menor diversidad de plantas en un agroecosistema origina mayor abundancia de insectos herbívoros, las plagas especialistas son más abundantes en los monocultivos que en los sistemas diversificados (Andow, 1991). De forma combinada la simplificación de ecosistemas naturales afecta la vegetación silvestre que en muchos casos funciona como fuente de alimento o refugio para los enemigos naturales de las plagas, ya que la depredación como agente control puede facilitar la tolerancia a la fitofagia (McNutt et al., 2012).

Por otra parte, las prácticas modernas (enfocadas en el uso de plaguicidas) perturban de forma negativa a los enemigos naturales (depredadores y parasitoides), incapaces de desarrollarse bajo entornos tóxicos, dichos enemigos a menudo perciben una mayor mortalidad que los herbívoros luego de la aplicación de productos químicos (Nicholls, 2010). Sumado a estos, los plaguicidas originan nuevos problemas cuando los enemigos naturales de las especies que no son plagas económicas son suprimidos, estas plagas secundarias, posterior a lograr una densidad superior del umbral, comienzan a causar daños económicos (Pimentel y Lehman, 1993).

Efectos de la herbivoría foliar ocasionada por insectos

Otras posibles hipótesis sobre las interacciones planta-herbívoro se han dedicado a explicar las diferencias interespecíficas a niveles de defoliación, sin tener en cuenta las variaciones que presentan los individuos de una misma especie (Dimarco et al., 2004). Una excepción ha sido la hipótesis del balance carbono-nutrientes (HBCN), la cual intenta explicar la variación intraespecífica a niveles de herbivoría como una consecuencia de la variación en la disponibilidad de recursos (Bryant et al., 1983).

En síntesis, el recurso nutricional que llegue a superar las necesidades de crecimiento, el cual se halle en mayor proporción, será derivado a la producción de defensas químicas prediciendo que las plantas con alta disponibilidad de luz y limitación de nutrientes emplearan el exceso de carbono para producir defensas químicas carbonadas. De igual manera, ante una sobreabundancia de nutrientes y limitación de luz, las plantas incrementan la generación de defensas en este caso nitrogenadas, por lo tanto, a una mayor concentración se disminuiría la palatabilidad foliar para los herbívoros y menos defoliación para la planta. Pese a ello, según Koricheva et al. (1998), algunos de los estudios sobre la HBCN realizados en los últimos 20 años han obtenido resultados contrarios a los predichos por esta hipótesis, repetidamente se ha probado o manipulando con la disponibilidad de nutrientes (fertilización o enriquecimiento de CO₂), las investigaciones evidencian que los resultados sugeridos por la hipótesis son conflictivos.

En las regiones tropicales, las plantas se enfrentan a grandes pérdidas de biomasa causadas por insectos herbívoros, estos generalmente afectan a las hojas jóvenes y plántulas (Ballina-Gómez et al., 2008). El daño por herbivoría foliar hacia las plántulas puede ser lo suficientemente severo

para determinar la suerte del vegetal (Ruiz, 2012). Los herbívoros tienen efectos negativos sobre las plantas que consumen, pues reducen su desempeño y habilidad competitiva al eliminar parte de sus tejidos, el daño que se produce va a depender por ejemplo de la cantidad de tejido que se remueve, la temporada del año en la que se ataca a la planta, el tipo de tejido removido y la edad o el tamaño de la planta (Valdés et al., 2005).

Dentro de algunos efectos reportados como negativos, se encuentran principalmente la reducción del área foliar fotosintéticamente activa sufrida las plantas (Ballina-Gómez et al., 2008). El daño foliar que causan los herbívoros reduce entonces el proceso adaptativo de las plantas, ya que, al ser consumida el área fotosintética, altera la absorción radicular de nutrientes y causa cambios internos en la distribución de los recursos, lo cual a su vez estimula la recuperación de la planta (Sánchez-Ramos et al., 2010). Aunque existen estrategias para que las plantas puedan compensar la pérdida de hojas incrementando la tasa fotosintética en las hojas restantes, las plantas pueden verse afectadas negativamente por la pérdida de nutrientes, según la edad y los tejidos que hayan sido extraídos (Granados-Sánchez et al., 2008).

La frecuencia de defoliación puede afectar el crecimiento de las plantas en gramíneas ocasionando reducciones en el tamaño y la viabilidad de los meristemos axilares, el crecimiento y la producción de biomasa aérea (Gittins et al., 2010). En el caso de los pastos, estos han incorporado sustancias síliceas (vitreas) duras en sus hojas que disuaden a todos los depredadores herbívoros salvo a los que cuentan con mandíbulas poderosas, pese a ello una larga evolución ha proporcionado a los insectos variedad de herramientas para fragmentar parte de las plantas o albergar simbiontes microbianos que aumenten la digestibilidad (Granados-Sánchez et al., 2008).

En el maíz, el 25% de la pérdida por daño o defoliación se origina a causa de la herbivoría, esta provoca que las plantas produzcan hijuelos con una defoliación del 75% en las plantas se afecta la producción de grano, al reflejarse el daño durante la etapa de floración (Reyes y Martínez, 2001). De hecho, en Centro América se estima que un 20 a 35 % de las pérdidas en campo son causadas por insectos en el cultivo del maíz (Fernández, 2002).

Insectos plaga

Una plaga es cualquier organismo que aumenta su densidad o incidencia a niveles suficientes para afectar a la especie humana de forma modo importante, directa o indirectamente. Por ende, el concepto de plaga es meramente antropocéntrico y relativo, dependiendo del organismo que se trate y los intereses del hombre, y siendo el problema fundamental la abundancia del organismo en función de los intereses de la especie humana (Hilje y Saunders, 2008).

Una plaga en un cultivo es cualquier organismo (principalmente insectos), que compite con el hombre por los alimentos que produce, dicha competencia va desde “manchas” menores que reducen el valor del producto en el mercado, hasta pérdidas en el rendimiento y la destrucción completa del cultivo (Saunders et al., 1998). Cabe mencionar que los insectos “plagas” causan daño tanto en los ecosistemas naturales como en los sistemas manejados por el hombre, pero en los sistemas naturales existen factores limitantes que influyen sobre el crecimiento ilimitado de las poblaciones de plagas (Forlín, 2012). Dentro de las causas de aparición de una plaga, con base en Nicholls (2008), se encuentran:

- Cambios o simplificación de un ecosistema para transformarlo en un mono cultivo.
- Movilización o transporte de una especie de un área donde el organismo forma parte de un ecosistema balanceado a otro ecosistema o área donde no existe.
- Razones varias en el establecimiento y biología oportunista de la plaga al adaptarse en el ambiente.

No obstante, según Nicholls (2008) el asunto radica en la existencia de una baja diversidad vegetal y escasa abundancia de un complejo de enemigos naturales. Por otro parte, Coto y Saunders (2004), clasifican a las plagas de índole agrícola como:

1. Claves plagas o primarias: Estas casi siempre están presentes, pudiéndose esperar que en cada temporada del cultivo causen pérdidas económicas, fluctúan su densidad poblacional de forma escasa de un año a otro.

2. Brotes de plaga: A menudo ocurren en un grado bajo o imperceptible, pero pueden aumentar de manera súbita y masiva, como respuesta a periodos de clima favorable. El aumento puede ocurrir en el cultivo o en hospedantes alternos, presentándose una invasión desde afuera, sin embargo, estas invasiones suelen ser breves, locales y tienden a presentarse en un mismo periodo del año.
3. Plagas secundarias o intermitentes: Casi siempre están presentes en bajas densidades, debido a la acción de sus enemigos naturales, estas causan daños insignificantes durante largos periodos. De manera ocasional pueden repercutir en el cultivo cuando las condiciones ambientales se tornan favorables para la plaga, por acción combinada con otras plagas menores o cuando las condiciones de fertilidad del suelo retrasan el crecimiento del cultivo. Amplían el periodo de susceptibilidad provocando mayor daño por efecto acumulativo o por el uso desmedido de insecticidas, y durante un largo tiempo eliminan el combate natural y provocan un eventual resurgimiento de la plaga.
4. Vectores: Estos causan poco o ningún daño al cultivo por sí mismo, pero son de cuidado debido a su capacidad vírica para transmitir enfermedades a las plantas. Llegan a ser un serio problema en localidades donde existe o prevalece la enfermedad.

Manejo convencional o tradicional del insecto plaga

Según datos de producción agrícola, se estima que la pérdida por rendimiento causa por las plagas insectiles suman aproximadamente entre 10 y 30% a nivel mundial, estas traen consigo pérdidas adicionales en la postcosecha de un 10 a 20%. El efecto de las plagas acarrea rendimientos por hectárea inferiores en comparación a décadas pasadas (Rogg, 2001).

En el manejo de plagas, es requerido el establecimiento de un nivel de daño económico (NDE) y umbral económico (UE). El NDE es la densidad del insecto que ocasiona un daño al cultivo igual al costo de las medidas para su control, es decir, el número más bajo que causará pérdidas económicas. El UE es la densidad operacional de la plaga, el punto donde deben iniciarse las medidas de control para evitar que se alcance el NDE (Pedigo et al., 1986).

Los significados de los diferentes umbrales indican cual nivel de infestación de una plaga se puede aceptar en un momento específico del desarrollo del cultivo, y cual densidad de la población en teoría causa potencialmente un daño y cual no. En otras palabras, es definir un umbral de control antes de alcanzar un umbral de daño (Nicholls, 2008). El umbral económico de daño (UED) contempla el costo del tratamiento, este varía en función del costo de la aplicación y del insecticida, el costo de la aplicación entonces va depende de la maquinaria elegida, su depreciación por uso, el tiempo empleado y la mano de obra (Bielza y Lacasa, 1998).

Al tener presente los términos en relación al NDE, UE y el UED, surge la pregunta en torno a si los costos contra los beneficios son los ideales en el control de una específica plaga, bajo el contexto Centroamericano, según Staver (2004) la problemática recae en el valor del producto importado llega a más del doble entre el margen de venta y costos de aplicación, en el surgimiento de resistencia de las plagas, surgimiento de plagas secundarias, fitotoxicidad, entre otros por ende da como resultado costos por tiempo laboral perdido. En términos generales, una poca rentabilidad, al incrementar la potencial intoxicación en los usuarios, del consumidor (a causa de los residuos), problemas comerciales relacionados a que hoy en día los destinos de exportación son más exigentes en cuanto a residuos tóxicos en los vegetales, ya que cada vez son más sofisticados los aparatos electrónicos para la medición de residuos tóxicos (Pauletti, 1999).

Resistencia hacia los insecticidas y otras repercusiones

La resistencia a los insecticidas tuvo mayor incremento e impacto en los últimos 60 años, luego del descubrimiento y uso extensivo de los insecticidas orgánicos sintéticos (Conde, 2012). El uso intensivo de agroquímicos ha sido el responsable de la evolución de la resistencia a los insecticidas, por lo general al grupo del organofosforado (Bhatia et al., 2011).

La resistencia fisiológica es definida como el desarrollo de la habilidad de tolerar dosis de tóxicos, las cuales resultarían letales para la mayoría de los individuos en una población normal de la misma especie, es un cambio heredable en la sensibilidad de una población de una plaga, reflejado en repetidos fallos de eficacia en un producto al ser usado de acuerdo con las recomendaciones. Por lo tanto, una población de vectores desarrolla resistencia debido a que el insecticida elimina paulatinamente a la mayoría de los individuos susceptibles mientras permite la

sobrevivencia y reproducción de aquellos que posean mecanismos que eviten su efecto tóxico (Conde, 2012).

Con base en la revisión expuesta por Bisset (2002), los mecanismos de resistencia se clasifican en cuatro posibles categorías:

1. *Resistencia por comportamiento*: el insecto no entra en contacto con el depósito del insecticida.
2. *Resistencia a la penetración*: donde la composición del exoesqueleto llega a ser modificada inhibiendo la penetración del insecticida.
3. *Sitio insensible*: el sitio químico de acción para el insecticida se modifica reduciendo la sensibilidad a la forma activa del insecticida.
4. *Resistencia metabólica*: la vía metabólica del insecto llega a ser modificada detoxificándose el insecticida o negando el metabolismo del compuesto aplicado en su forma tóxica.

A la fecha se conocen varios mecanismos para la resistencia bioquímica a los plaguicidas, los cuales incluyen por ejemplo un aumento en la metabolización de los plaguicidas a productos no tóxicos, incremento de la sensibilidad del sitio blanco, disminución en la tasa de penetración del insecticida y aumento en las tasas de excreción de los insecticidas. Además, se ha demostrado que muchos sistemas enzimáticos están involucrados en la desintoxicación de las cuatro principales clases de insecticidas (Molina y Figueroa, 2009).

En los insectos, se han documentado muchos ejemplos de resistencia a los insecticidas que son asociados con el aumento en la producción de enzimas de desintoxicación. Uno de los mecanismos más comunes es el aumento de la transcripción de enzimas de desintoxicación como el citocromo P450s, la *Glutación S-transferasas* o esterasas ya sea por un aumento en el número de copias de genes de desintoxicación o por la sobreexpresión de un gen particular (Harrop et al., 2014).

El mecanismo de desintoxicación se basa en que el insecticida dentro del organismo sufre una serie de reacciones mediante las cuales adquiere grupos funcionales que le permiten en una segunda fase, conjugarse con sustancias endógenas y dar como resultado unos compuestos más

polares de menor solubilidad en lípidos y como consecuencia más fácilmente excretables (Bisset, 2002).

Cabe hacer la mención que, para el caso de las polillas, la resistencia a los insecticidas se puede atribuir por una mayor actividad de oxidasas de función múltiple (OFM), la epoxidasa en polillas del género *Spodoptera*, se halla en los tejidos del intestino medio como un potente agente inhibidor endógeno de oxidación microsomial de función mixta (Krieger y Wilkinson, 1970). La presencia de mutaciones en el canal de sodio por voltaje representa un objetivo importante para una gama de sustancias químicas sintetizadas (Reyes et al., 2004). En el caso de piretroides, estos modifican los canales de sodio ralentizando su cinética de activación e inactivación, teniendo como resultado aberturas del canal de larga duración y repetitivamente, no obstante, una mutación en el canal de sodio ejerce una dependencia en los cambios en la tensión de activación originando un potencial más negativo contrarrestando los efectos del piretroide, evitando la difusión de este, lo cual inhabilita el efecto insecticida (Vaisa et al., 1997).

Distribución y biología de Spodoptera frugiperda

El “gusano cogollero” *Spodoptera frugiperda*, es un insecto del Orden Lepidoptera de la familia Noctuidae, endémico del hemisferio occidental que se extiende desde Argentina hasta Norteamérica (Marenco, 1986).

Este realiza una metamorfosis completa, lo que quiere decir que consta de 4 fases; huevo, larva, pupa y adulto (Polanczyk, 2004). El periodo de adultez va de 10 a 12 días de vida y miden entre 20 mm de largo y 38 mm de envergadura, realizan su ciclo de vida de 25 a 40 días (Chango, 2012). Los adultos son de hábitos nocturnos, por lo que permanecen durante el día escondidos en el follaje de las plantas hospederas o en las grietas de suelo. Las hembras depositan los huevecillos sobre el envés de las hojas en una masa cubierta por material algodonoso formado por escamas y filamentos del insecto. Se ha reportado que en promedio las ovoposiciones rondan de 500 a 600 huevecillos, con un porcentaje de fertilidad del 60% al 64% (Schmidt-Durán et al., 2015).

Sin embargo, la densidad de larvas de forma posterior se ve reducida debido a su comportamiento caníbal (Harcos, 2009). El desarrollo larval es alcanzado a través de 6 estadios

obtenidos en 5 mudas en 14 a 21 días aproximadamente (Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura [IICA], 1984). Las larvas de neonatos se dispersan activamente en el follaje de la planta hospedera, tienden a moverse hacia arriba sobre la planta en respuesta a la luz o la gravedad, en consecuencia, las larvas jóvenes (instares 1-3) usualmente se alimentan de las hojas en la parte superior del dosel de la planta (Butin, 1986). Las larvas jóvenes consumen el tejido vegetal de un lado de la hoja, dejando la epidermis opuesta intacta, luego del segundo o tercer estadio las larvas comienzan a hacer agujeros en las hojas, incorporándose después en la vaina de la planta del maíz que produce la línea característica de perforaciones en las hojas (Harcos, 2009).

En las larvas más viejas (instares 4-6), son negativamente fototácticas alimentándose de las áreas protegidas de la planta, típicamente hay seis mudas larvales con 98% del consumo total durante los últimos tres instares (Butin, 1986). Al llegar al sexto estadio larval entre 2,5 a 7 centímetros, se dirigen al suelo, dando inicio al periodo pupal, el cual está influenciado tanto por la temperatura como por la humedad, este periodo tiene una duración aproximada de entre 6 a 10 días, donde los adultos se aparean inmediatamente al emerger de dicho periodo, iniciando la ovoposición al segundo día, con un tiempo que varía de entre 4 a 17 días (Marengo, 1986).

El gusano cogollero es una plaga primaria, que ocasiona importantes daños en la producción de maíz en toda América, presentándose en numerosas especies cultivadas, por su carácter polífago (Yasem de Romero y Romero, 2013). Esta especie prefiere para su alimentación a las gramíneas, cultivadas o no, considerándose endémica en cultivos como el maíz y el sorgo, lo que quiere decir que siempre existen poblaciones que causan daño en mayor o menor proporción al cultivo (Polania et al., 2007).

S. frugiperda es el lepidóptero plaga del maíz, este ataca al cultivo en niveles de densidad variables, daños más severos en la faja tropical se localizan a altitudes inferiores a 1200 – 1500 metros (Marengo, 1986), y pone en riesgo la productividad del cultivo. Es considerada como una de las plagas primarias de cultivos de maíz y secundaria en algodón, arroz y algunas hortalizas (Vélez-Arango et al., 2008). Además, en países como México y Canadá se han reportado daños al césped, principalmente ocasionado por las especies *Paspalum virinatum* Swart, *Cynodon dactylon*, *Lolium perenne* y *Agrostis spp* (León-García et al., 2012).

Cuando afecta las plantas jóvenes de maíz, los daños pueden ser totales, mientras que, si afecta las plantas en estados fenológicos avanzados, pueden reponerse de la defoliación llegando a una producción (Casmuz et al., 2010). Según Piñango et al. (2001), larvas de cogollero en el primer instar están significativamente correlacionados con la edad de la planta, es decir, las plantas maduras son menos atractivas para la oviposición por el cogollero. Por lo tanto, pocas o ningunas larvas de primeros instares son halladas en el follaje de plantas viejas. A pesar de ello, en el caso de una infestación tardía del verticilo, la plaga llega a afectar las espigas y todas las partes de la mazorca (Ortega, 1987).

*Soluciones alternativas para el control de *S.frugiperda*: Cultivos trampa*

Debido a los altos niveles de resistencia que presentan los insecticidas, problemas de salud pública asociados y deterioro del medio ambiente que engloban los pesticidas, es que se despliegan cada vez, un mayor número de técnicas asociadas a enfoque sostenible para el manejo de plagas combinando herramientas biológicas y culturales (Stoddard et al., 2010). Ya que las prácticas y técnicas campesinas tienden a ser intensivas en cuanto al conocimiento y no así en coste, por lo que una ligera modificación y adaptación por parte de la agroecología ha jugado un papel clave en la revitalización de sistemas de producción (Altieri y Nicholls, 2012).

Dentro de las estrategias del Manejo Integrado de Plagas (MIP), se utilizan métodos que no perjudican al medio ambiente y que son efectivos para evitar que las plagas se conviertan en una molestia, combinando tácticas de manejo para prevenir y controlar a largo plazo (UCIPM, 2014). A través de un enfoque sostenible al entender la biología de la plaga, con el fin de modelar y predecir brotes, y el concepto de umbrales de daño. Técnicas como la selección del sitio, la rotación de cultivos, fechas de siembra preferenciales, la densidad de siembra, control de malezas y rastrojos son ejemplo de estrategias utilizadas para reducir poblaciones de insectos o microorganismos plagas (Stoddard et al., 2010). Una de tales estrategias es el cultivo trampa, que ha resurgido y despertado el interés recientemente debido a las preocupaciones sobre los efectos negativos de los plaguicidas (Zhou et al., 2010).

El cultivo trampa es un método alternativo de control de plagas, en el cual se cultiva plantas de la misma u otras especies, alrededor del cultivo principal para atraer, interceptar o reducir el número de insectos o patógenos que afectan el cultivo comercial con el fin de reducir daños (Shelton y Badenes-Pérez, 2006). No obstante, la eficacia de cualquier sistema de trampa de cultivo depende de una interacción entre la disposición espacial del sistema de cultivo trampa (lugar de orientación) y los procesos de la población plaga, como los movimientos migratorios, de reproducción, entre otros (Zhou et al., 2010).

El “trap crop” o cultivo trampa es una planta que atrae plagas agrícolas, generalmente insectos. Estos pueden ser plantados alrededor de la circunferencia del terreno a proteger o de forma intercalada entre cultivos. Dentro de los beneficios de un cultivo trampa se incluye una mejor calidad del producto principal, atracción de organismos benéficos, mejora en la biodiversidad local y reducción en la dependencia de insecticidas (amplio espectro). El tipo de cultivo trampa varían según el cultivo principal, se puede usar la misma especie en una etapa distinta de crecimiento o una especie diferente al cultivo focal (Baramidze, Khetereli y Kushad, 2015).

Una diversificación vegetativa trae consigo mejoras ecológicas en el proceso de control de plagas, al sugerirse como posibles sistemas de reservorio de enemigos naturales. Hábitats semipermanentes con condiciones bióticas y abióticas adecuadas proveen refugio de las perturbaciones en las prácticas agrícolas. Los hábitats de refugio también brindan cobertura accesible para depredadores aéreos, aumento en los sitios de oviposición, perchas de alta visibilidad para presas entre la vegetación del cultivo, amortiguación del microclima, entre otros (Ratnadass et al., 2012).

Hilje y Stansly (2017), señalan que se ha experimentado poco en el tema, las asociaciones evaluadas, y sobre las que se ha publicado de manera formal hasta el momento, incluyen maíz, caupí y maní intercalados con yuca, melón con algodón, calabaza con arveja, berenjena con frijol común y calabaza con tomate. Además de numerosas referencias anecdóticas acerca de cultivos o de plantas silvestres, utilizadas como cultivos trampa. No obstante, ninguna se ha aplicado a escala comercial, a excepción de las investigaciones realizadas en Jordania, donde se logró una reducción

en la incidencia de la enfermedad causada por el virus TYLCV, al sembrar hileras de pepino (*Cucumis sativus*) intercaladas con tomate.

Balusu et al. (2012) y Majumdar (2010), enumeran las posibles ventajas y desventajas de los cultivos trampa:

Ventajas:

1. En la práctica es considerado como una tecnología sostenible, con literatura de casos exitosos en su aplicación.
2. Permite una puesta en marcha sin la necesidad de invertir en gran cantidad de equipo o maquinaria.
3. La inversión se puede llegar a pagar por si sola si el cultivo trampa es cosechado.
4. Reduce la incidencia del insecto plaga a niveles manejables.
5. Disminuye la dependencia y el uso desmedido de los insecticidas químicos.
6. Se conservan los enemigos naturales nativos.

Desventajas:

1. Es necesario en la práctica conocimiento relativo al manejo integrado de plagas, así como el comportamiento y movimientos migratorios del insecto plaga.
2. Se requiere un planeamiento adicional (siembra temprana, obtención de semilla, mano de obra).
3. Los resultados pueden ser inconsistentes (moderado por eventos climáticos).
4. Las recomendaciones para el cultivo trampa son únicas para el insecto plaga en cuestión (eficiencia del cultivo trampa), no controla todas las plagas, sino una plaga específica.
5. Control oportuno del insecto (periodo de tiempo idóneo para la aplicación de productos fitosanitarios).
6. Es necesario combinar con otros métodos de control, ya que no reemplazan totalmente a los plaguicidas sintéticos.

3. Marco metodológico

La presente sección desglosa el proceso de selección e identificación de las gramíneas candidatas en la probatoria de cultivo trampa. Dicha sección incluye el desarrollo de la preselección, selección y post-selección de las plantas aspirantes a gramínea trampa. Donde se detallan los procedimientos de recolección, transporte, saneamiento y preparación del material vegetal que fue utilizado, así como la siembra del cultivo focal maíz, todo abordado y configurado con base al diseño experimental planteado.

3.1. Sitio de Estudio

Se colectaron rizomas y tallos de gramíneas en diversos puntos de la localidad del cantón de Cartago (9° 51' 9.04" N, 83° 55' 25.94" O), Oreamuno (9° 52' 9" N, 83° 54' 12" O) y El Guarco (9° 51' 0" N, 83° 55' 59.88" O) (Figura 1). Las evaluaciones de campo se llevaron a cabo en las instalaciones de la finca del Centro Nacional Especializado Agricultura Orgánica (CNEAO) del Instituto Nacional de Aprendizaje (INA), localizado en Oreamuno de Cartago. La presente institución tiene como objetivo promover la agricultura orgánica en el territorio nacional. En la actualidad, el centro ofrece numerosos programas y cursos de capacitación en agricultura orgánica y administración de empresas agropecuarias. La finca del CNEAO tiene una extensión de 17 hectáreas donde se ubican diferentes proyectos didácticos y sistemas eco productivos (INA, s.).

El CNEAO en el sector agropecuario es un ente único a nivel nacional y regional, que se ha convertido en referente de la agricultura orgánica, brindando servicios de capacitación al sector agrario. La finca sirve como base para los programas de capacitación y gestión agronómica para la formación de productores agropecuarios. El fin primordial es proyectarse a la comunidad agropecuaria nacional, mediante proyectos que ofrecen tecnologías adecuadas, para contribuir al mejoramiento a nivel técnico, económico y social. Además, funciona como modelo de sistema productivo a pequeña escala, con las condiciones y recursos mínimos necesarios para que el sistema sea fructífero, sostenible y amigable con el ambiente (INA, 2015).

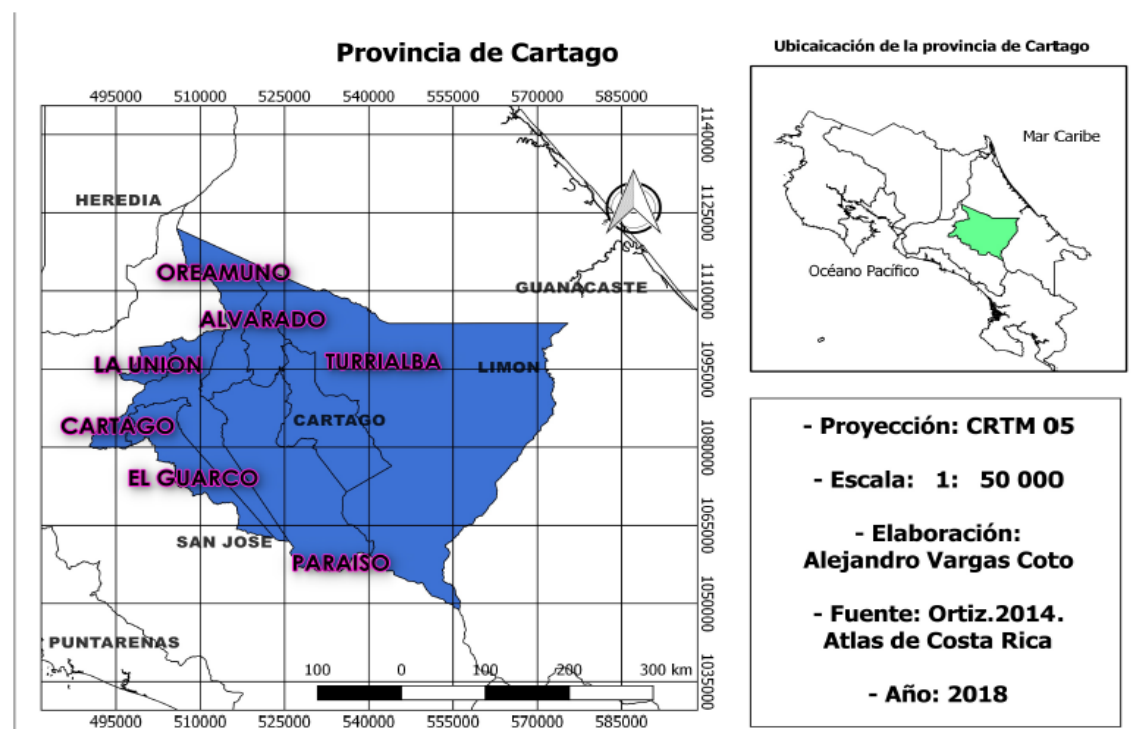


Figura 1. Mapa de la Provincia de Cartago con sus cantones correspondientes. Fuente: Elaboración propia.

3.2. Preselección del grupo de gramíneas para el cultivo trampa

La preselección se acentuó a nivel taxonómico teniendo como base la subfamilia del género *Zea* (*Panicoideae*), compuesta en nuestro país por 4 de las 7 tribus de la familia *Poaceae* (*Andropogoneae*, *Arundinelleae*, *Isachneae* y *Panicaceae*). Dichas tribus se tomaron como punto de partida para realizar una exhaustiva revisión de los géneros presentes en nuestro país tomando como referencia el Manual de Plantas de Costa Rica, Volumen 5, elaborado por Hammel et al. (2003).

Posterior a la identificación de los géneros, se realizó un listado a nivel de especie teniendo en consideración que la misma tuviera una distribución geográfica relativa o perteneciente al Valle Central. Dentro de los requisitos están hallarse en un rango altitudinal donde el valor promedio de la provincia de Cartago estuviera comprendido (1416 msnm) (Ministerio de Agricultura y Ganadería [MAG], 2013) y que se encuentre exclusivamente en los cantones de Alvarado, Cartago, El Guarco, Jiménez, Oreamuno y Paraíso por su distribución espacial conjunta.

En total se preseleccionaron 43 especies de gramíneas, donde se recopilaron datos relativos a la localización geográfica para los 6 cantones contemplados en el estudio. La información fue extraída de la base de datos del Missouri Botanical Garden (Tropicos Home) y del Portal Nacional de Biodiversidad del Museo Nacional de Costa Rica (Ecobiosis) (Anexo 1).

3.3. Selección de las gramíneas para el cultivo trampa

De la selección previa, se evaluó el hábito de crecimiento y rango de altura que caracteriza a cada una de las hospederas preseleccionadas, con el propósito de obtener rasgos de similitud propios de *Z. mays*. Para ello, se consultó el Manual de Plantas de Costa Rica Vol. 3, tomando como referencia comparativa al pasto conocido como lágrimas de San Pedro (*Croix lacryma-jobi*), por su apariencia cespitosa, de tallos sólidos y forma muy similar al maíz, como se alude en el propio manual.

Cuadro 1. Grupo de gramíneas seleccionadas con base en el hábito de crecimiento y rango de altura afín al maíz *Z. mays*. SNCC= Sin nombre común conocido o preexistente.

Nombre científico	Nombre común	Hábito de crecimiento	Rango de altura
<i>Andropogon glomeratus</i>	SNCR	Cespitoso	50 - 160 cm
<i>Arundinella deppeana</i>	SNCR	Cespitoso	1- 2,5 cm
<i>Axonopus scoparius</i>	Pasto Imperial	Cespitoso o rizomatosas	100 - 200 cm
<i>Coix lacryma-jobi</i>	Lágrimas de San Pedro	Cespitoso	0.5 - 2.5m
<i>Panicum sellowii</i>	SNCR	Cespitoso	50- 160cm
<i>Paspalum jaliscanum</i>	SNCR	Cespitoso con rizomas cortos	65- 100cm
<i>Paspalum paniculatum</i>	Zacate cabezón	Cespitoso	45- 160cm
<i>Paspalum saccharoides</i>	SNCR	Cespitoso	Hasta 200cm
<i>Paspalum turriforme</i>	SNCR	Cespitoso	80- 300cm

<i>Pennisetum purpureum</i>	Zacate elefante o gigante	Cespitoso	1- 3.5m
<i>Saccharum officinarum</i>	Caña de azúcar	Cespitoso	2- 4m
<i>Setaria paniculifera</i>	Zacate de mula	Cespitoso	50- 400cm

3.4. Post-selección de las gramíneas para el cultivo trampa

El filtrado para la selección final tuvo tres criterios en consideración:

- **La localización actual de la especie:** Las coordenadas de referencia suministradas por la fuente datan de principios del siglo pasado hasta el presente. Por lo que algunas de las locaciones durante el proceso de búsqueda se hallaron urbanizadas, edificadas o con algún cambio en el uso de la tierra, esto se convierte en motivo de descarte.
- **Invasión a la propiedad privada:** Durante el rastreo de las gramíneas el acceso a ciertos lugares o terrenos se vio comprometido e imposibilitado dada la condición de propiedad privada.
- **Floración:** La presencia de floración en muchos casos es clave para la identificación de pastos, durante el ejercicio de búsqueda especies que crearan incertidumbre en torno a su validación por carecer de floración en su momento se suprimieron del listado definitivo.

Como síntesis al proceso depurativo de selección de gramíneas, se obtuvo como resultado el siguiente registro de especies a evaluar como cultivo trampa (Cuadro 2).

Cuadro 2. Grupo de gramíneas elegidas con potencial cultivo trampa en el maíz (*Zea mays*) según hábito de crecimiento y rango de altura. SNCC= Sin nombre común conocido o preexistente.

Nombre científico	Nombre común	Hábito de crecimiento	Ámbito altitudinal
<i>Andropogon glomeratus</i>	SNCR	Cespitoso	50- 160cm
<i>Axonopus scoparius</i>	Pasto Imperial	Cespitoso o rizomatosas	100- 200cm
<i>Coix lacryma-jobi</i>	Lágrimas de San Pedro	Cespitoso	0.5 - 2.5m

<i>Paspalum saccharoides</i>	SNCR	Cespitoso	Hasta 200cm
<i>Pennisetum purpureum</i>	Zacate elefante o gigante	Cespitoso	1- 3.5m
<i>Saccharum officinarum</i>	Caña de azúcar	Cespitoso	2- 4m
<i>Paspalum paniculatum</i>	Zacate cabezón	Cespitoso con rizomas cortos	65- 100cm

3.5. Recolección, transporte, saneamiento, preparación de las potenciales gramíneas hospederas y siembra del maíz

Recolección del material vegetal

Verificada la identidad de la especie en campo e incluida dentro del grupo de gramíneas con potencial de cultivo trampa, se tomaron rizomas y tallos maduros de individuos saludables y vigorosos. La recolección del material vegetal consideró rizomas con una altura mínima de 50 centímetros desde la base del tallo hasta el fragmento inferior de la inflorescencia (altura mínima establecida en el cuadro 2). Con los tallos maduros por su parte, se tomó en cuenta que no fuera material ni muy viejo ni muy joven con al menos 3 yemas o nudos. La recolección además contempló plantas que visualmente no tuvieran plagas o enfermedades asociadas, y que aunado a ello su desarrollo foliar se mostrase turgente y frondoso.



Figura 2. Extracción del rizoma de *Axonopus scoparius* (izquierda) y *Andropogon glomeratus* (derecha)

Transporte y curado del material vegetal

El transporte de los rizomas se llevó a cabo sumergiendo los mismos en tinas de agua para evitar la deshidratación y daño físico, lo que a su vez permite conservar la integridad del terrón de tierra adherido a la raíz (Figura 3). Respecto a los tallos maduros o estacas, estos se humedecieron ligeramente antes de ser movilizados en sacos.



Figura 3. Movilización de los rizomas de *Axonopus scoparius* (izquierda) y *Andropogon glomeratus* (derecha).

Posterior a la movilización y arribo del material vegetal al sitio de trasplante, se realizó la preparación del sustrato, el cual estuvo constituido por 1 parte de tierra y 1 parte de lombricompost. Cabe mencionar que durante la mezcla del sustrato se adicionó a través de una bomba de espalda el biopreparado del hongo antagonista *Trichoderma spp* (Hypocreaceae), para asegurar la protección de las gramíneas y garantizar la inocuidad tanto del sustrato como del material terroso adherido al rizoma. Como siguiente paso se procedió a llevar a cabo tareas como el llenado de las bolsas de almácigo, la separación de algunos rizomas, la poda de raíces, recorte del extremo inferior de los tallos y la selección del material idóneo a ser trasplantado o ya sea sembrado.



Figura 4. Llenado de bolsas, selección de semilla y siembra de *Saccharum officinarum*.

El periodo de emergencia y desarrollo de las plantas tuvo lugar en un perímetro protegido, libre de depredadores y exceso de viento. Durante la etapa de desarrollo las plantas fueron salvaguardadas con malla mosquitera y de forma semanal nutridas con caldo de *Lactobacillus* + roca fosfórica a razón de 100 mililitros / Litro a suelo, para tener un control biológico constante sobre fitopatógenos circundantes y fomentar el incremento radicular. Vale la pena recalcar que durante el proceso desarrollo de las gramíneas selectas en lo que respecta a la denominada *Coix lacryma-jobi* (lágrimas de San Pedro), su adaptación se vio comprometida y presentó dificultad en su desarrollo, por lo que se tomó la decisión de descartar dicha especie como potencial cultivo trampa.



Figura 5. Etapa de desarrollo y germinación del almácigo. La imagen a la izquierda pertenece al progreso vegetativo de *Andropogon glomeratus* y la imagen a la derecha al surgimiento de las primeras yemas de *Saccharum officinarum*.

Preparación del terreno y cultivo de las potenciales gramíneas trampa

Primeramente, se efectuó la limpieza del terreno asignado para la investigación, para ello la institución suministró una podadora agrícola que limpió y redujo el número de malezas. Luego, dentro de las labores de labranza primaria se utilizó un arado de vertedera para el resquebrajamiento del suelo, seguido del uso un palín mecánico que colabora en la incorporación de residuos de restrojos, permeabilidad y aireación del suelo. De forma subsiguiente a las labores de maquinaria se prosiguió a hacer una limpieza y demarcación superficial del terreno donde se ubicaron las plantas de maíz y las potenciales gramíneas trampa a evaluar. Indicar que el terreno asignado por la institución, permitía aislar el “ruido estadístico”, debido a que el área se encontraba aislada y distante de los campos de cultivo principales., y bordeada por árboles que impedían dicha interferencia.



Figura 6. Demarcación y delimitación espacial del terreno donde se dispusieron las plantas de maíz y las potenciales gramíneas trampa.

Dicha demarcación y orientación del terreno tomó como base la metodología para el estudio y manejo de la mosca blanca y germinivirus, propuesta y evaluada por Peralta y Hilje (1993). Esta se basa en bloques completos al azar para tomate asociado a un cultivo trampa de vainica; no obstante, para la presente investigación y en torno a criterios técnicos se planteó un nuevo bosquejo modificado para el diseño de los bloques al azar.

El diseño experimental para el arreglo en campo tuvo como fin proporcionar independencia estadística para cada de las unidades experimentales a la hora de evaluar los efectos de interacción entre la especie de gramínea y la plaga en cuestión. También se valoró el efecto de poda y no poda entre los tratamientos, con el objetivo de detectar puntos comparativos en cuanto discriminación o control indirecto que se pudiera tener *S.frugiperda*, ante un escenario de gramíneas con la presencia metabolitos orgánicos de carácter repelente o el control biológico natural. El arreglo de bloques completos al azar contó con una réplica para la poda y no poda respectivamente, a continuación, se muestra la síntesis del arreglo de bloques al azar para los tratamientos citados. La presente imagen (Figura 7) hace referencia a un diseño factorial completo de 2 x 8, en otras palabras 32 unidades experimentales, el cual contó con una réplica (Figura 7).

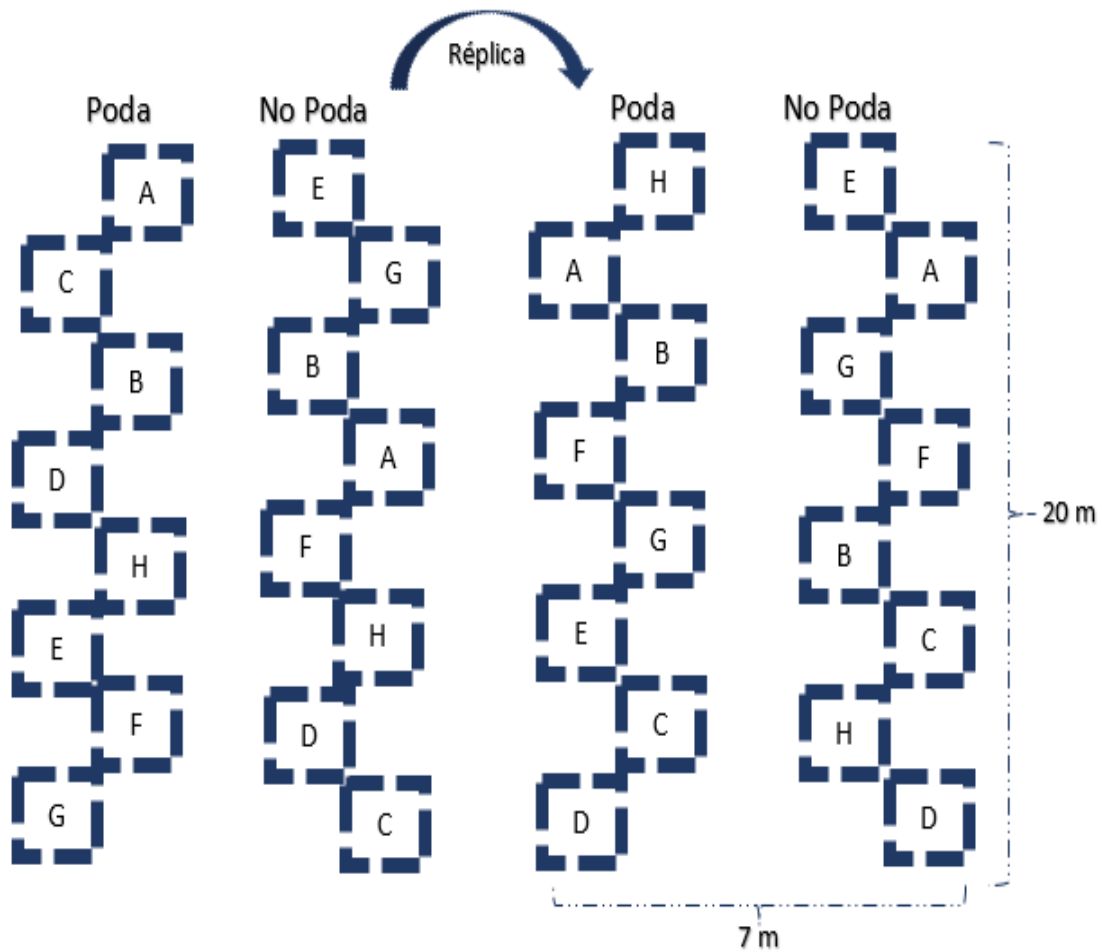


Figura 7. Modificación del diseño de bloques completos al azar ideado por Peralta y Hilje (1993), junto a los tratamientos de poda y no poda. Las letras simbolizan los tratamientos evaluados como cultivo trampa (periferia de

línea punteada) y el cuadrante representa el área donde se concentraron las plántulas de maíz. Dentro de las letras aleatorizadas, se situó una especie diferente al conjunto de *Poaceas* y un grupo control (plántulas de maíz sin cultivo trampa). Fuente: Elaboración propia.

Además, la modificación del diseño de bloques al azar contempló incluir 8 plantas de maíz por cada unidad experimental, así como 8 gramíneas adyacentes en función de cultivo trampa (Figura 8).

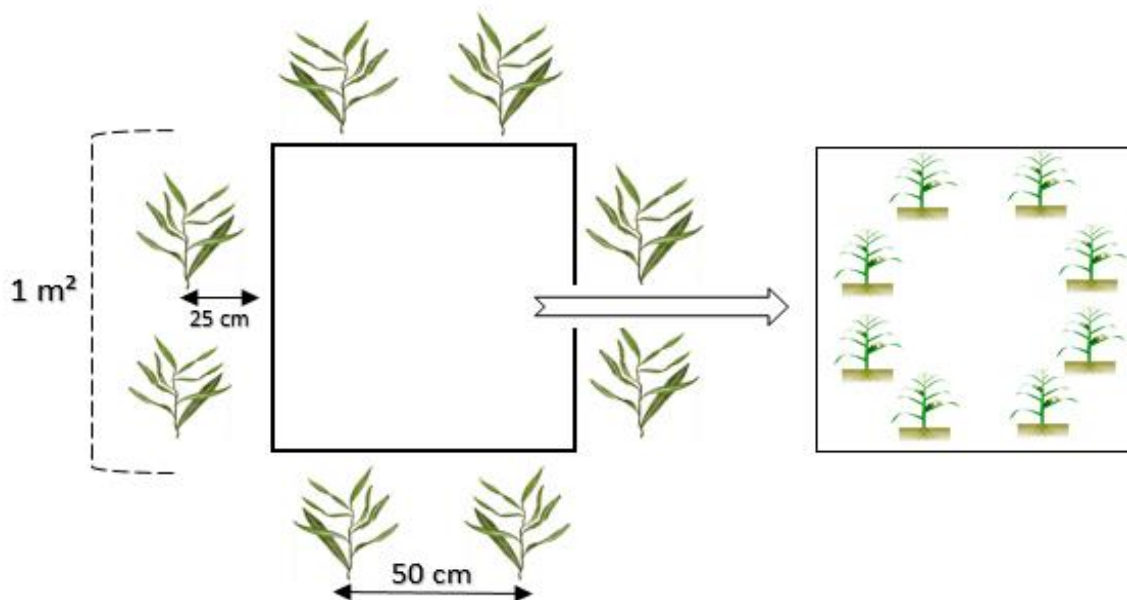


Figura 8. Esquema de la disposición espacial de las gramíneas trampa (izquierda) y distribución de las plántulas de maíz (derecha), para cada unidad experimental. Fuente: Elaboración propia.

Posterior a la demarcación del diseño en campo, se continuó con el trasplante y riego de las potenciales gramíneas trampa. Dadas las condiciones de viento que presentaba la parcela, el trasplante involucró el uso de estacas para proporcionar sostén y evitar daños mecánicos a las mismas.



Figura 9. Trasplante de *Paspalum paniculatum* (izquierda) y *Andropogon glomeratus* (derecha). Fuente: Elaboración propia.

Transcurrido el periodo de adaptación, crecimiento y desarrollo foliar de las diferentes unidades experimentales, se programó realizar la siembra del maíz.

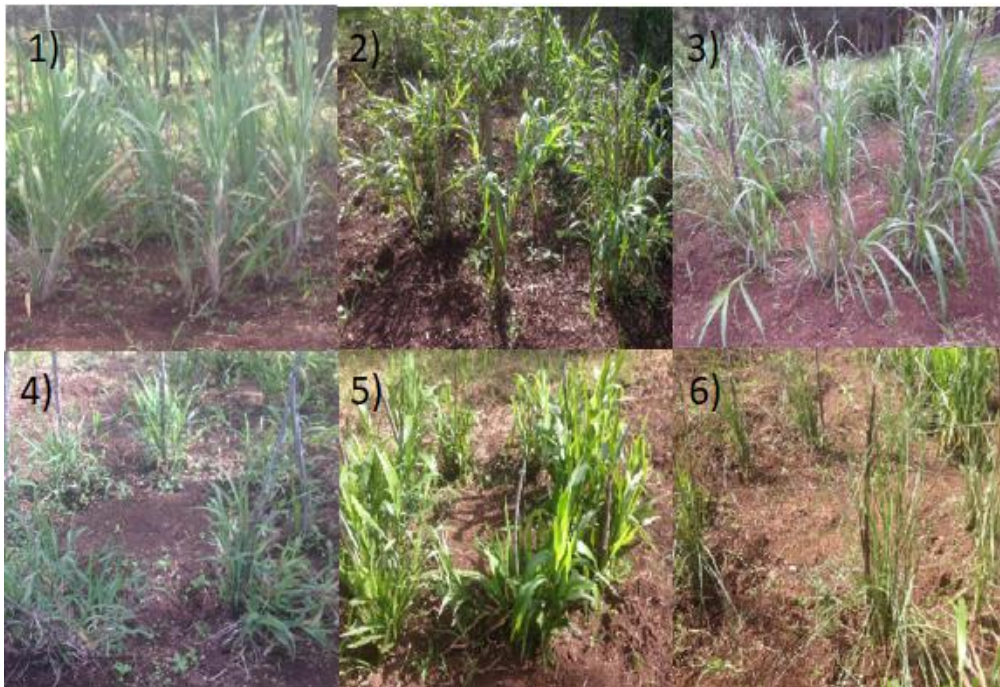


Figura 10. Desarrollo foliar y poblado de las unidades experimentales previo a la siembra del maíz: 1) *Saccharum officinarum*, 2) *Paspalum saccharoides*, 3) *Pennisetum purpureum*, 4) *Paspalum paniculatum*, 5) *Axonopus scoparius*, 6) *Andropogon glomeratus*. Fuente: Elaboración propia.

Cultivo del maíz

La semilla seleccionada para dicha labor fue la del denominado maíz Cartago, variedad autóctona afectada igualmente por el cogollero del maíz y difundida ampliamente en la zona por agricultores locales. Schmidt-Durán et al., (2015) y Chacón-Castro et al., (2009) constatan la presencia de la plaga en la zona a través de sus búsquedas e investigaciones. La variedad criolla frecuentemente sembrada en la localidad de Llano Grande de Cartago (Varela, 2019). Sin embargo, a nivel general localidades como Tierra Blanca y San Rafael de Oreamuno son territorios donde se suele sembrar y producir maíz, especialmente variedades criollas (Oreamuno-Fonseca y Monge-Pérez, 2018).



Figura 11. Germinación de las plántulas de maíz Cartago dentro del recuadro perimetral de gramíneas trampa.

Fuente: Elaboración propia.

3.6. Realización de los objetivos específicos

3.6.1. Evaluación de la preferencia oviposicional de *S. frugiperda* en las gramíneas trampa

Para evaluar la preferencia oviposicional, se contabilizó el número de larvas de *S. frugiperda*, halladas en las diferentes secciones foliares de cada unidad experimental. Para la cuantificación larval se consideraron los breves periodos de incubación que presenta la especie (2-3 días), a pesar del hecho de que cada hembra deposita entre 500 a 600 huevos (Schmidt-Durán et al., (2015), distribuidos en un número variable de posturas que promedian alrededor de 100 a 150 huevecillos (Casmuz et al., 2010).

Como primer paso a la cuantificación, se tomó en consideración el periodo de postura propio del gusano cogollero del maíz, tiempo que varía entre 4 a 17 días (Marenco, 1986). Se suma a ello la referencia del tiempo de desarrollo larval (6 estadios), espacio que por lo general puede tomar 3 semanas, dependiendo de las condiciones ambientales y época del año. Sin dejar de lado el hecho de que al momento de nacer los “gusanos”, llegan a medir a lo sumo 3 milímetro de largo, esto los prácticamente imperceptibles. En consecuencia, se realizó el conteo de larvas transcurridas las 5 semanas de haberse realizado la siembra del maíz, momento idóneo para divisar larvas de buen tamaño y con características morfológicas que permitan identificar taxonómicamente individuos de *S. frugiperda*.

Durante la inspección y búsqueda de larvas hospederas en la barrera perimetral del cultivo trampa (unidades experimentales), se procuró tener especial atención a los hábitos de alimentación y modo de resguardo que realizan las larvas de dicha especie. Las larvas tienden a preferir hojas tiernas y presentar actividad nocturna durante estadios larvales avanzados, por lo que una búsqueda minuciosa en secciones cercanas a la vaina foliar y la localización de los distintivos “espacios translucidos” fue clave en el proceso.



Figura 12. Presencia de daño foliar realizado por larvas de *S. frugiperda*, en 3 diferentes gramíneas trampa. Fuente: Elaboración propia.

La identificación de larvas se basó en la caracterización dada por Urretabizcaya et al. (2010), en su libro *Insectos Perjudiciales de Importancia Agronómica*, con énfasis en Lepidópteros. Sin embargo, la cuantificación como tal fue escalonada demostró que no todas las larvas recolectadas contaban con un tamaño adecuado que les permitiera expresar rasgos y coloración propia de *S. frugiperda*, por lo que se resolvió alimentarlas con hojas de *Cynodon dactylon* (Pasto Barmuda), a los individuos más pequeños se los colocó en recipientes de plástico hasta que alcanzarán un tamaño adecuado que facilitará su identificación.



Figura 13. Identificación de larvas de *S. frugiperda* con sus rasgos característicos de patrón de Y invertido en la cabeza, puntos negros en el octavo segmento abdominal y franja pálida a lo largo de todo el dorso. Fuente: Elaboración propia.

Después de la identificación de larvas, se procedió a cuantificar el total de hojas con larvas y número total de hojas por planta. Para ello, se utilizaron contadores manuales que facilitaron el conteo en campo. Es de suma importancia mencionar que dada la posición de resguardo de larvas al momento de la detección (sección interna de la vaina foliar), el número de hojas con larva a ser tomado en cuenta fue el de solo una. De dicha forma se evitó incrementar el número de hojas correspondientes a cada individuo, una característica importante es que la larva en condición de resguardo envuelve a más de una hoja proporcionada por la vaina foliar.

3.6.2. Evaluación del daño foliar que realiza *S. frugiperda* sobre las plantas del maíz

Modelo de medición: El daño foliar en cada unidad experimental debió ser inferido, dado a la incapacidad de medir directamente el daño foliar en todas las unidades experimentales por limitaciones de logística. El modelo de medición para hacer esta inferencia es el siguiente:

$$D_f = p * H_T * \hat{\alpha}_d$$

Donde D_f es el daño foliar en la unidad experimental; p es la porción de hojas que presentan daño por la plaga en cuestión; H_T es el total de hojas por unidad experimental; $\hat{\alpha}_d$ es una estimación del área foliar dañada por hoja. Al ser esta una estimación, la incertidumbre de cada uno de estos parámetros que conforman el modelo de medición se esparcirá al utilizar el método de Monte Carlo (JCGM, 2008).

Del área foliar dañada y el área foliar sana se obtendrá una distribución de probabilidad en la cual se reflejará el porcentaje de daño por hoja, para este análisis se utiliza una distribución Normal con media ($\bar{\alpha}_d$) y varianza $\sigma_{(\alpha_d)}^2$:

$$\alpha_d \sim Norm(\bar{\alpha}_d, \sigma_{(\alpha_d)}^2)$$

Finalmente, p es un valor conocido (no estimado) equivalente a la porción de hojas que presentan daño por la plaga entre el total de hojas en la unidad experimental.

$$p = \frac{n_d}{n_d + n_s}$$

Donde n_d y n_s son el número de hojas con daño, y el número de hojas sanas en toda la unidad experimental, respectivamente. Finalmente, H_T es la suma de n_d y n_s .

De esta manera, las cantidades a medir para alimentar el modelo son: el área foliar dañada (por hoja), el número de hojas con daño foliar en la unidad experimental, y el número de hojas sanas en la unidad experimental.

Proceso de medición del daño foliar en cada hoja: La medición del daño foliar que realiza el gusano cogollero sobre las plantas de maíz, inició en la quinta semana, durante la etapa de desarrollo vegetativo del cultivo. Primeramente, se realizó una inspección visual y reconocimiento de las plantas defoliadas y no defoliadas, para dar paso a la cuantificación del número de hojas con daño foliar y número de hojas sanas dentro de cada unidad experimental.



Figura 14. Daños foliares realizados por las larvas del gusano cogollero del maíz *S. frugiperda*. Fuente: Elaboración propia.

Como siguiente paso, se tomó el número total de hojas con daño foliar en cada unidad experimental, se tomaron de forma aleatoria 6 hojas con el propósito de evaluar el área total y área con daño en centímetros cuadrados que presentará cada una de ellas. Para ello se colocaron las láminas foliares sobre pliegos de papel de tamaño A3 (11,7 x 16,5 pulgadas), pegadas mediante foam adhesivo para evitar rugosidades y enrollamiento de las hojas.



Figura 15. Láminas foliares de maíz con daño ejercido por *S. frugiperda*, dispuestas sobre pliegos de papel para su respectivo análisis. Fuente: Elaboración propia.

Terminado el recopilado de láminas foliares para las respectivas unidades experimentales, se prosiguió a evaluar el área completa y área daño de cada hoja, mediante el programa ImageJ. Para ello se requirió procesar cada pliego partiendo en primera instancia del área sana que poseyera cada hoja, mediante el proceso del programa denominado “binario”, seguido de la opción “establecer medida”, para determinar el área como medida de superficie a calcular, previo a una calibración en centímetros, concluyendo con la opción “analizar partículas”, contemplando los agujeros expuestos, para determinar el área en centímetros cuadrados de cada hoja dañada.

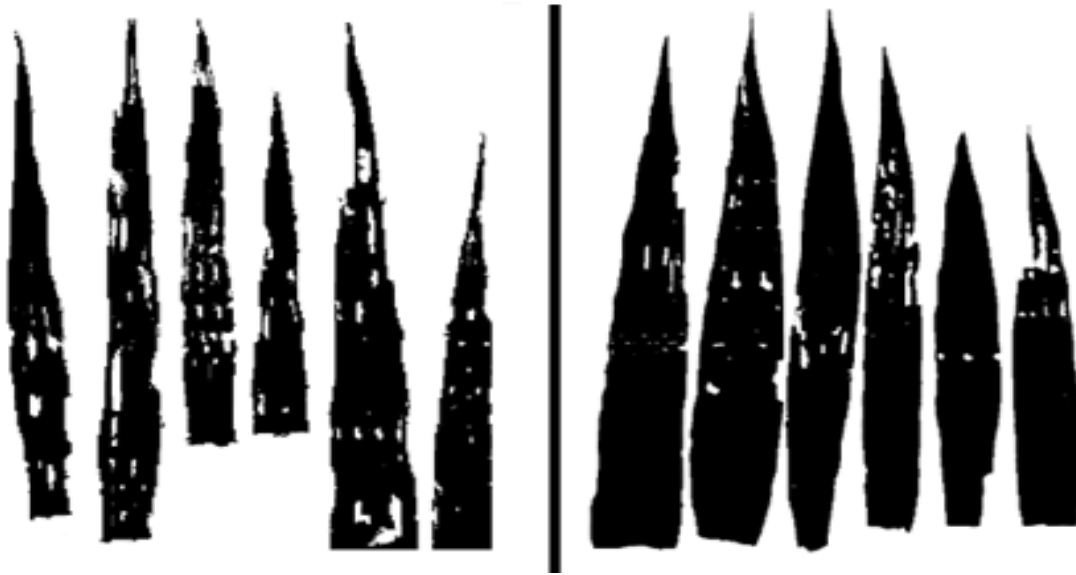


Figura 16. Visualización en formato binario de las láminas foliares con varios daños realizados por las larvas del cogollero del maíz *S. frugiperda*. Fuente: Elaboración propia.

Para la determinación del área con daño que presentó cada hoja, se acudió a diseñar el contorno de cada una, con la opción de dibujo a mano alzada que presenta ImageJ. Para dar paso a la obtención del área dañada, se resta el área obtenida al “analizar partículas” en formato binario, del área total del obtenida en el bosquejo a mano alzada.

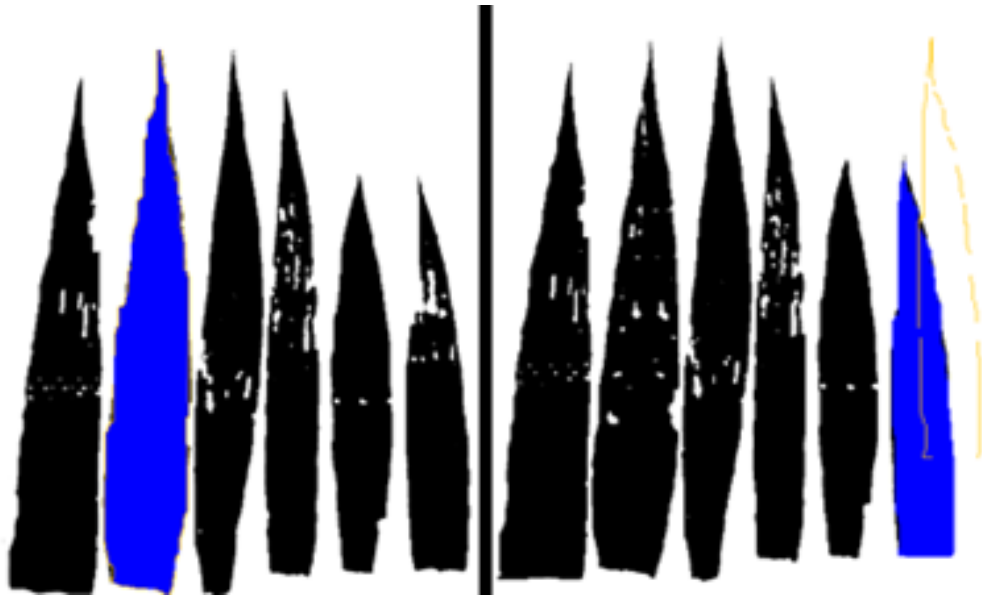


Figura 17. Trazado del contorno foliar a mano alzada para la obtención del área total de cada hoja con daño realizado por larvas de *S. frugiperda*. Fuente: Elaboración propia.

3.6.3 Propuesta metodológica para la siembra y manejo agroecológico del cultivo trampa

Para el presente apartado se efectuó una búsqueda de lineamientos y alternativas que pudieran ir de la mano con el contexto agroecológico en la implementación a campo de un cultivo trampa. Para ello se realizó una consulta bibliográfica exhaustiva capaz de referenciar metodologías prácticas, operativas y viables para el manejo de un cultivo trampa en beneficio de la plantación de maíz. Dicha propuesta pretende ser una guía que instruya al agricultor paso a paso en la ejecución sistemática un manejo cultural-biológico del gusano cogollero del maíz.

Dichas pautas metodológicas fueron diseñadas y dirigidas para orientar tanto al productor local como a estudiantes en formación del Técnico en Agricultura Orgánica del Centro Nacional Especializado en Agricultura Orgánica (CNEAO) del INA. Cabe mencionar que muchos de los estudiantes del centro son también productores, por lo tanto, dicha guía pretende ser una herramienta de fortalecimiento, conocimiento y formación integral de métodos utilizados en la agricultura sostenible.

El presente trabajo se confeccionó teniendo como base el formato de la guía para la elaboración de Biofermentos elaborada por Pacheco & Uribe (s.f), denominada Lactofermentos: “Una alternativa en la producción de abonos orgánicos líquidos fermentados”, documento oficial emitido por el INA y confeccionado en CNEAO. Posteriormente su busca su validación en el área de la psicopedagogía, con el objetivo de que el mismo pudiera hacerse llegar con un lenguaje práctico y claro al productor y/o estudiantes en general, sin dejar de lado los detalles técnicos necesarios para desempeñar las funciones requeridas.

3.7. Análisis estadístico

Se realizaron modelos lineales generalizados (MLG) con distribución binomial, para evaluar el efecto de las especies de gramíneas y tipo de poda; en la colonización del gusano cogollero *Spodoptera frugiperda*. Además, se incluyó, la variable de bloque como parámetro para determinar efectos aleatorios del sistema de siembra (Cuadro 3). Se utilizó el criterio de información de Akaike para tamaño de muestra pequeñas (CIAc), para la selección de modelos, el modelo con el menor valor de CIAc, fue considerado como el más robusto (Burnham y Anderson, 2011). La significancia estadística de las variables predictoras en los modelos se evaluó con la función ANOVA.

Cuadro 3. Modelos generados para determinar la colonización del gusano cogollero en las gramíneas empleadas como cultivo trampa.

Modelo	Efectos principales
1	Poda + Gramínea + Bloque
2	Poda+ Bloque
3	Gramínea+ Bloque
4	Poda
5	Gramínea
6	Poda+ Gramínea
7	Bloque
8	Nulo

Para evaluar la influencia de los factores Especie de Gramínea, Poda, y Bloque sobre el daño foliar en *Zea mays* se realizaron MLGs con distribución binomial. La selección del mejor modelo se efectuó utilizando el criterio de Akaike para tamaños de muestra pequeños. Se hizo uso de los *Odds Ratios* (OR) y sus intervalos de confianza al 95% (IC 95%), para estimar el tamaño de efecto del daño foliar entre las especies de gramíneas. Un traslape de los intervalos de confianza de los estimados de OR indica que no hay diferencia estadísticamente significativa; además, se realizó un modelo de propagación de incertidumbre con el método de Monte Carlo (JCGM, 2008), para corroborar el efecto biológico en el daño foliar del mejor modelo determinado por el criterio de información de Akaike. El modelo de propagación de incertidumbre, a diferencia de los *Odds Ratios*, permite una interpretación directa sobre la variable en escala natural del modelo, es decir, sobre los centímetros cuadrados de área foliar dañada.

Los análisis estadísticos se realizaron con el programa R versión 3.2.2 (R Development Core Team 2015). Asimismo, se utilizaron los paquetes de R *bbmle* (Bolker, 2017), *propagate* (Spiess, 2018), *car* (Fox y Weisberg, 2019), *emmeans* (Lenth et al., 2018) y *ggplot2* (Wickham, 2016).

4. Resultados

4.1. Análisis estadístico y cuantificación de objetivos específicos

Determinación de la preferencia oviposicional de *S. frugiperda* en las gramíneas trampa

- Selección de modelos para determinar la preferencia oviposicional de *S. frugiperda* en las gramíneas trampa

El análisis de la preferencia oviposicional de *S. frugiperda* determinó que el modelo con las variables Gramínea y Bloque presentó el mayor ajuste (CIAc = 23.6) y mayor peso ($w = 0.613$) en explicar la tasa de colonización foliar de *S. frugiperda* en el cultivo trampa. Asimismo, ambas variables independientes en el modelo fueron significativas según el análisis de *Anova* ($p < 0.01$). (Cuadro 4).

Cuadro 4. Evaluación de modelos candidatos sobre la influencia del gusano cogollero *S. frugiperda* en la colonización foliar del cultivo trampa. Número de parámetros (K), valores de Criterio de información de Akaike (CIAc), diferencia en el CIAc entre el modelo actual y el mejor modelo (Δ CIAc) y pesos de CIAc (w).

Modelo	K	CIAc	Δ CIAc	W
Gramínea + Bloque	8	23.6	0.0	0.613
Gramínea	7	25.1	1.6	0.280
Poda + Gramínea+ Bloque	9	28.0	4.4	0.067
Poda + Gramínea	8	29.1	5.5	0.038
Nulo	1	38.7	15.1	<0.001
Bloque	2	40.4	16.8	<0.001
Poda	2	41.0	17.4	<0.001
Poda + Bloque	3	42.9	19.3	<0.001

- **Modelos de medición de la preferencia oviposicional de *S. frugiperda* en las gramíneas trampa**

Según la interpretación del modelo Gramínea + Bloque la mayor tasa de colonización al cultivo trampa por *S. frugiperda* se dio en *Pennisetum purpureum* y *Saccharum officinarum*, obteniendo un 100% de colonización en ambas gramíneas. Mientras que para la gramínea *Axonopus scoparius* fue del 50%. Las especies restantes de gramíneas presentaron un 0% de colonización por parte de *S. frugiperda* (Cuadro 5).

Cuadro 5. Probabilidad de que una hoja sea colonizada para las diferentes especies de gramíneas utilizadas como cultivo trampa.

Nombre científico	Probabilidad	Error estándar
<i>Andropogon glomeratus</i>	0.0	0.0
<i>Axonopus scoparius</i>	0.5	0.25
<i>Lantana spp</i>	0.0	0.0
<i>Paspalum paniculatum</i>	0.0	0.0
<i>Pennisetum purpureum</i>	1.0	0.0
<i>Paspalum saccharoides</i>	0.0	0.0
<i>Saccharum officinarum</i>	1.0	0.0

Es importante recalcar que el tratamiento de poda no presentó apoyo de los datos (Cuadro 4), siendo la colonización de *S. frugiperda* similar entre poda y no poda para cada especie de gramínea del estudio (Figura 18).

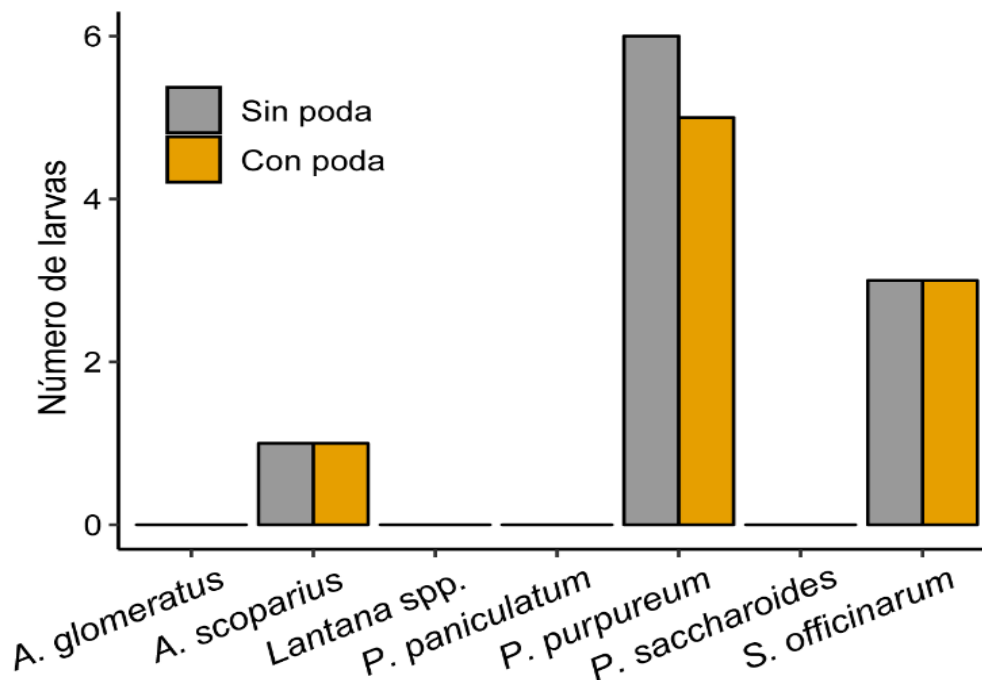


Figura 18. Frecuencia de aparición de larvas para las diferentes gramíneas utilizadas como cultivo trampa en los tratamientos de poda y no poda.

Evaluación del daño foliar que realiza *S. frugiperda* sobre las plantas de maíz

- **Selección de modelos para evaluar el daño foliar que realiza *S. frugiperda* sobre las plantas de maíz**

En la evaluación del daño foliar en *Zea mays*, se observó que los modelos con las variables independientes Gramínea y Poda no tuvieron apoyo de los datos ($\Delta \text{CIAC} > 2.0$). El mejor modelo fue el que presentó el bloque como covariable ($w = 0.692$) (Cuadro 6).

Cuadro 6. Modelos candidatos para evaluar el efecto de la gramínea y el tipo de poda en el daño foliar de *Zea mays*. Número de parámetros (K), valores de Criterio de información de Akaike (CIAC), diferencia en el CIAC entre el modelo actual y el mejor modelo (Δ CIAC) y pesos de CIAC (w).

Modelo	K	CIAC	Δ CIAC	W
Bloque	2	209.0	0.0	0.692
Poda + Bloque	3	211.0	1.9	0.254
Nulo	1	215.2	6.2	0.031
Poda	2	217.1	8.0	0.012
Gramínea + Bloque	9	218.3	9.3	0.006
Poda + Gramínea + Bloque	10	222.2	13.1	<0.001
Gramínea	8	222.8	13.7	<0.001
Poda + Gramínea	9	226.3	17.2	<0.001

- **Modelos de medición del daño foliar que realiza *S.frugiperda* sobre las plantas de maíz**

Al analizar el tamaño del efecto utilizando el modelo Gramínea + Poda responsable de evaluar el daño foliar de *S. frugiperda* sobre las plantas de maíz (Cuadro 6), pudo observarse que la proporción de daño foliar en el maíz fue similar entre todas las especies de gramíneas trampa. Esto sucedió en la relación presencia-ausencia de poda (IC 95% de odds ratio en las comparaciones múltiples traslapan el 1).

- **Modelo de propagación de incertidumbre que evalúa el daño foliar que realiza *S. frugiperda* en las plantas de maíz**

Según el modelo de propagación de incertidumbre con el método de Monte Carlo, el efecto entre bloques fue similar (los intervalos de confianza al 95% del área de daño foliar en centímetros cuadrados, se traslapan entre bloques, Cuadro 7). Para esta parte solo se utilizó el bloque en el análisis de incertidumbre, porque esta fue la covariable con mejor ajuste en el set de modelos, de

acuerdo con el filtrado de modelos usando el CIAC (Cuadro 6), además, este análisis permitió estimar el efecto biológico del bloque sobre el área foliar.

Cuadro 7. Propagación de incertidumbre del daño foliar entre bloques mediante las simulaciones de Monte Carlo (JCGM, 2008).

Bloque	Promedio	D.E.	Mediana	IC 95%
1	77.64	58.15	63.04	9.23 - 231.17
2	83.14	70.04	64.55	6.74 - 270.34

4.2. Propuesta metodológica para manejo del cultivo trampa bajo un enfoque agroecológico

Cultivos trampa

Pautas metodológicas para el cultivo y manejo de Caña de azúcar y

*Pasto elefante como cultivo trampa para el control del gusano cogollero (*Spodoptera frugiperda*), en el cultivo de maíz*

(Material libre de cualquier tipo de propiedad intelectual)

INTRODUCCIÓN

En los agroecosistemas es conocido que un aumento en la variedad de plantas contribuye a los beneficios que las personas obtienen de los ecosistemas, dentro de los cuales se incluye la regulación del número y concentración de una plaga. El manejo de hábitat para restaurar interacciones ecológicas en cuanto a la capacidad de una plaga para encontrar y explotar un recurso (planta hospedera es una herramienta que considera el manejo integrado de plagas (MIP) (Piñero y Manandhar, 2015). Aquellas plantas no consideradas cultivos dentro de la vegetación local se pueden combinar en el espacio y tiempo definidos para influir sobre la cantidad de plaga en un cultivo principal y hacer a este funcionar, así para que actúe también como un controlador biológico de plagas.

Un cultivo trampa es un conjunto de plantas que crece en compañía del cultivo principal para atraer organismos plaga dentro de una pequeña área (Capinera, 2008). Este busca a su vez desviar, impedir o retener insectos o patógenos para reducir daños a los cultivos. Dicho método se basa en una técnica indirecta de protección económicamente valiosa, y de uso común anterior a la introducción de los insecticidas sintéticos modernos. Con el resurgir de los intereses que competen a la agricultura de la conservación esta técnica ha tomado mucha más fuerza en relación con la reducción del uso y dependencia de plaguicidas (Gaba et al., 2018).

Por lo tanto, un cultivo trampa busca manipular los mecanismos que utiliza un insecto potencialmente plaga para hallar y preferir un hospedero específico, con el objetivo de alejar a una plaga del cultivo principal. Su uso efectivo requiere que los insectos plaga estén concentrados en dichos cultivos para que sean destruidos antes de que se dispersen a otras áreas de labranza (Smith y Liburd, 2012). Dicha técnica evita que las plagas alcancen la siembra y evita su concentración en ciertas partes del campo lejos del cultivo comercial. El principio de los cultivos trampa se basa en diferencias en el atractivo o interés que pueda tener una plaga hacia ciertas especies de plantas respecto al cultivo principal; limitan el daño a los cultivares y aumentan el rendimiento comercial (Wszelaki y Broughton, 2012).

El manejo del margen del campo (cultivo perimetral), es la técnica de cultivo trampa que se está utilizando comúnmente para el control de insectos en los programas de manejo integrado de plagas. Bajo esta modalidad se involucran hospederos que se deben sembrar o manejar antes que la plantación principal (Moshefi y Bahojb-Almasi, 2016). De una manera similar a las barreras vivas, crecen a la periferia del cultivo productivo, dentro de un marco ecológico relacionado al manejo del hábitat en el cual se proponen en las estrategias de gestión integrada de plagas (Martin y MacRae, 2014).

El trampeo cultural es otro método de control que tiene un gran potencial en el diseño de técnicas para el control de plagas en comparación con otros sistemas de contención basados en cultivos asociados. Este sistema se halla determinado principalmente por la cobertura y atractivo de la plaga (alimentación y postura de huevecillos), y factores que se pueden manipular en el campo (Cotes et al., 2018). No obstante, este método de control debe verse en un contexto más amplio desde la ecología del paisaje, en cualquier agroecosistema existe un mosaico cambiante de hábitats que varían en cuanto a su atractivo y aptitud para las plagas de insectos y/o sus enemigos naturales (Shelton y Badenes-Pérez, 2006).

GRAMÍNEAS TRAMPA MULTIPROPÓSITO COMO BARRERA VIVA

Según la guía técnica de barreras vivas realizada por Kondo et al. (2008), una barrera viva constituye parte de las actividades y técnicas de un control integral de plagas. Tienen como

principal función el control de plagas al obstaculizar físicamente la entrada de una plaga al sembradío. Dentro de las especies recomendadas se debería considerar:

- Plantas que alcancen alturas no menores a los 2 metros.
- Especies vegetales de crecimiento rápido y vigoroso.
- Plantas doble propósito, que funcionen tanto como trampa-barrera física y que sean aptas para la alimentación animal.
- Su establecimiento debería ser como mínimo 30 días antes de establecer el cultivo de interés.
- Para su efectividad deberá sembrarse en hileras distanciadas cada 20 centímetros tratando de que la barrera tenga como mínimo 60 centímetros de ancho y guardando distancia de 1,5 metros o más respecto al cultivo principal para evitar condiciones de sombra (Figura 1).



Figura 1. Barreras vivas establecidas en torno al cultivo principal. Tomado de: Kondo et al. (2008).

La recomendación para el tamaño de un cultivo trampa va en función de la cantidad de plaga esperada y la movilidad de la especie. Sin embargo, según Wszelaki y Broughton (2012), una proporción usualmente empleada suele ser de un 10 a 20 % en proporción al cultivo principal (Figura 2). Por otro lado, para el caso del cogollero del maíz, con base en sus movimientos migratorios y de desplazamiento sugeridos por Salazar-Blanco et al.

(2020), de norte a sur. Se recomienda realizar una doble fila perimetral en extremo norte del cultivo trampa, para garantizar una mayor protección o atracción de la gramínea por parte de la plaga.



Figura 2. La imagen número 1 muestra un cultivo trampa perimetral, con una plantación alrededor de la frontera del campo. La imagen número 2 da como referencia a la mostaza como cultivo trampa en las inmediaciones de la siembra principal de brócoli. Tomado de: Parker y Snyder, 2014.

CARACTERIZACIÓN DE LAS GRAMÍNEAS TRAMPA APTAS PARA EL CONTROL DEL GUSANO COGOLLERO

La información suministrada en este apartado se basa en el Manual de Especies Forrajeras Multipropósito, el Manual de Pastos y Forrajes de Nicaragua y el Manual de Pastos elaborado por Peters et al. (2011), el Manual de Pastos y Forrajes de Nicaragua confeccionado por Mena (2015) y el Manual de Pastos y Forrajes del INATEC (Tecnológico Nacional, 2016). A continuación, se exponen algunos requerimientos básicos para la implementación en campo de gramíneas funcionales en el control del cogollero del maíz.

CAÑA DE AZÚCAR (*Saccharum officinarum*)

Descripción: Es una planta perenne que vive más de dos años y prospera en cepas con tallos de 2 a 3 metros de altura.

Adaptación: Desde el nivel del mar hasta los 2000 metros, sin embargo, su crecimiento se ve favorecido a los 1500 m.s.n.m y con precipitaciones anuales de 800 a 2000 milímetros.

Suelos: Se adapta a rangos extensos de fertilidad, de mediana a buena fertilidad, se desarrolla mejor en suelos franco-arcillosos con pH entre 5.5 y 7.5 y buen drenaje.



Figura 3. Morfología de las hojas y tallo de la caña de azúcar. Tomado de: Stang, 2008.

Establecimiento: Su siembra se realiza en surcos de forma vegetativa, utilizando estacas o tallos con varias yemas (3-4 nudos), al sembrar se traslapa de 1 a 2 nudos por estaca a 15 o 20 centímetros de profundidad y se tapa con una delgada capa de tierra no mayor a una pulgada. Cuando se siembra en suelos secos se recomienda no removerle la cáscara a la yema ya que se logra mayor retención de humedad con ello.

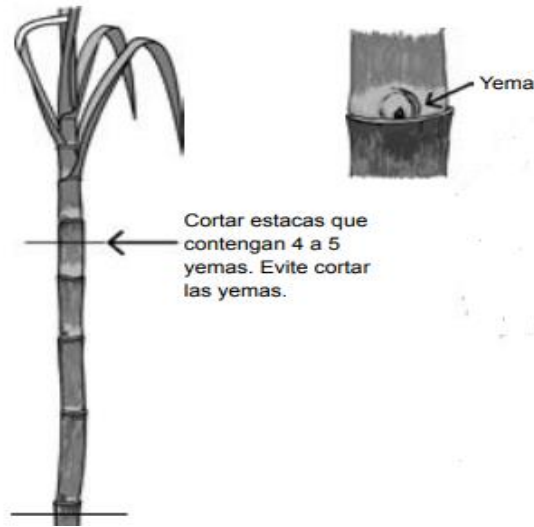


Figura 4. Disposición de las yemas y nudos en las estacas de caña de azúcar. Tomado de: INATEC, 2016.



Figura 5. Arreglo de siembra de las estacas de caña de azúcar en el surco. Fuente: Elaboración propia.

Para asegurar un mayor éxito en el crecimiento del material de siembra, debe seleccionarse un material vegetativo ni muy viejo, ni muy joven. En el caso de la caña de azúcar tallos de aproximadamente 120 días posterior a haberse realizado la siembra. Debe procurarse que el material sea sembrado inmediatamente después de cortado, de no ser así, el material vegetativo deberá guardarse a la sombra y humedecerlo de manera continua para establecer su siembra como máximo a los 3 días. Se recomienda que el terreno esté libre de malezas, realizar chapeas de ser necesario 2 semanas antes de la plantación y verificar que el sistema de riego funcione para evitar la pérdida de la caña si el trabajo se realiza en la época seca, de no ser así, se debe de sembrar entre mayo-junio o inicios de la época lluviosa.

PASTO ELEFANTE (*Pennisetum purpureum*)

Descripción: Planta de crecimiento continuo, con frecuencia alcanza de 2 a 3 metros de altura y suele formar macollas.

Adaptación: Crece bien desde el nivel del mar hasta los 2200 metros, su mejor comportamiento se observa a los 1500 m.s.n.m con precipitaciones que van de 800 a 4000 milímetros anuales. Resistente a sequías y alta humedad. No tolera el encharcamiento, por lo que requiere buen drenaje.

Suelos: No es muy exigente en cuanto a fertilidad, se adapta bien a distintos tipos de suelos y se comporta bien en terrenos ácidos a neutros con pH entre 5-7.



Figura 6. Morfología foliar del pasto elefante. Tomado de: Trópicos Stang, 2005.

Establecimiento: Se lleva a cabo mediante cepas o tallos maduros, sin embargo, la forma de propagación más frecuente es mediante estacas ya que su semilla tiene muy baja viabilidad. El material vegetativo por usar debe poseer entre 3-4 nudos con una madurez de aproximadamente 60 a 80 días. Es recomendable no quitarle las hojas para proteger las yemas y mantener humedad. Según Suárez-Ramos (2016), existen 2 métodos de siembra para el pasto elefante:

- **Siembra inclinada:** Las estacas se siembran de forma inclinada en lomillos, con los brotes hacia arriba enterrando de uno a dos entrenudos y dejando al menos 1 afuera. Las estacas

se colocan de forma continua a una distancia de 50 centímetros. Se recomienda en terrenos no mecanizados o de labranza mínima.

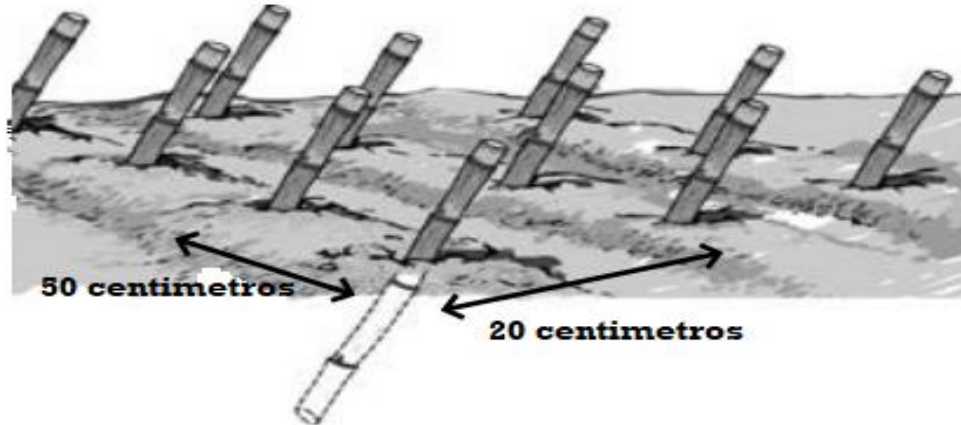


Figura 7. Siembra inclinada de gramíneas por estaca. Fuente: Tomado de: INATEC (Tecnológico Nacional), 2016.

- Siembra en surcos: Este método se realiza a una profundidad entre 15-25 centímetros. La disposición de los tallos se realiza de forma continua al fondo del surco, procurando que se cruce el ápice de uno con la base del siguiente. Posteriormente se tapa la semilla con una capa de tierra no mayor a 5 centímetros.

De los dos métodos mencionados anteriormente, el segundo es el más utilizado y el que ha mostrado mejores resultados en la práctica (referencias). Debe de procurarse que el material sea sembrado inmediatamente después de cortado, de no ser así, el material vegetativo debería guardarse a la sombra y humedecerlo de manera continua para establecer su siembra como máximo a los 3 días. Durante su establecimiento se requiere el control de malezas, por lo que se recomienda realizar de 1 a 2 chapeas unas 2 o 3 semanas antes su plantación. Se debe de verificar que el sistema de riego funcione para evitar que el pasto no se pierda si el trabajo se realiza en la época seca. De no ser así, sembrar entre mayo-junio o inicios de la época lluviosa.

Limitantes: Puede tener alta competencia con los cultivos, requerirá constante manejo en su cobertura al borde del sembradío.

CONTROL DEL GUSANO COGOLLERO EN EL CULTIVO TRAMPA MEDIANTE EL USO INTEGRADO DE MICROORGANISMOS ENTOMOPATÓGENOS

Los bioplaguicidas son productos procedentes de materiales naturales como plantas, animales, microorganismos y minerales. Son productos altamente específicos contra las plagas objetivo y no representan peligro alguno o riesgo para las personas o el medio ambiente. Por ejemplo, la mayoría de los insecticidas microbianos se degradan rápidamente luego de su aplicación o poseen la capacidad de reproducirse en condiciones de campo (Nava-Pérez et al., 2012).

Hoy en día, el sector agrario pone en práctica el uso de dicho beneficio para el control de plagas. Uno de los métodos consiste en el uso de hongos que parasitan insectos, denominados hongos entomopatógenos, estos microorganismos son antagonistas naturales de los insectos, a los cuales colonizan para alimentarse de ellos. Para llevar a cabo dicha tarea entran en contacto con la cutícula o revestimiento de este para producir enzimas (quitinasas, proteasas y lipasas) o toxinas que degradan su exterior y facilitan su penetración (Franco-Chávez et al., 2012).

Estos hongos muestran un ciclo de vida marcado por una fase de reposo en forma de esporas conocidas como conidiosporas, en ella se protegen hasta encontrar una presa. Posterior al contacto con el potencial alimento, los conidios germinan y penetran el interior del insecto mediante enzimas que generan reacciones químicas de degradación en la capa más externa. Esto propicia una diseminación sustancias tóxicas de forma interna capaces de provocar la muerte del insecto, a su vez también efectúa la alimentación del hongo, junto con la infestación y procreación de nuevas conidias (Martin et al., 2018).

Los entomopatógenos muestran un uso creciente en torno a la biodiversidad que exhiben los ecosistemas, proporcionando servicios ecosistémicos en la producción agrícola al suprimir y mantener poblaciones de plaga por debajo del nivel de daño económico, así como en el control biológico permanente por su capacidad natural de introducirse y colonizar el agroecosistema. El grupo de plaguicidas microbianos es amplio y diverso, más de 400 especies son reconocidas como infectantes de insectos. A nivel mundial se agrupan en 20 especies

distribuidas en 12 géneros. Dentro de los géneros más conocidos y populares se encuentran *Metarhizium*, *Beauveria*, *Paecilomyces*, *Lecanicillium*, *Hirsutella* y *Gliocladium* (Motta-Delgado y Murcia-Ordoñez, 2011). Para el control de lepidópteros específicamente de *Spodoptera frugiperda*, las especies *Beauveria bassiana* y *Metarhizium anisopliae* (figura 8), han sido entomopatógenos probados y validados con fuerte actividad insecticida en pruebas de laboratorio e investigaciones de campo los últimos años.

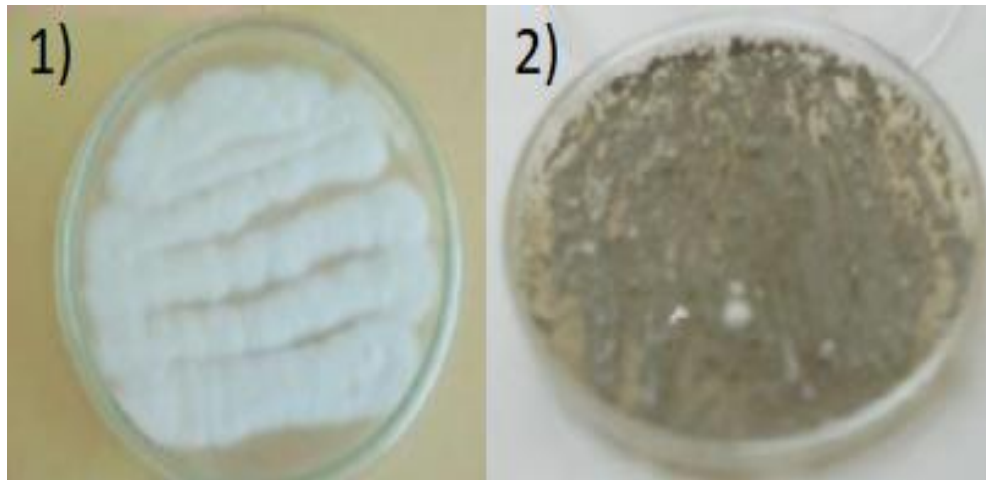


Figura 8. Aislamiento colonial de hongos entomopatógenos. La imagen número 1 ilustra a *Beauveria bassiana*, mientras que la imagen número 2 al hongo *Metarhizium anisopliae*. Tomado de: Gómez-Ramírez et al., 2014.

Aislamientos con cepas de *B. bassiana* contra *S. frugiperda* realizadas por García et al. (2011) mostraron una mortalidad del 96,6 % en un tiempo cercano a los 4 días. Ortiz-García et al. (2018) evaluaron el grado de infestación y daño de *B. bassiana* en el cultivo del maíz. El grado de infestación del entomopatógeno presentó un efecto mayor en la disminución de *S. frugiperda* del 63% al 66%.

Amaro et al. (2017), valoraron la mortalidad del gusano cogollero mediante el uso de *M. anisopliae*; donde resaltaron su alta especificidad sobre el hospedero y su baja contaminación ambiental. La cepa nativa utilizada, reportó una mortalidad del 72.5%, obteniendo el mayor índice de mortalidad a las 72 horas post infección. Muñoz-Conforme et al. (2017) estimaron en campos de agricultores el efecto de dos insecticidas biológicos comerciales para el control de *S. frugiperda*, para esto se evaluaron poblaciones del insecto antes y después de su aplicación. El producto

Methakill (*M. anisopliae*), a una dosis de 15 mL⁻¹L de agua mostró los mejores rendimientos para el control del gusano cogollero 15 días posterior a su aplicación, fue capaz de reducir los daños en un 62%.

Han et al. (2014), los aislamientos con *M. anisopliae* mostraron una mortalidad acumulada del 100% después de aislar cepas de entomopatógenos del suelo seleccionando aislamientos de alta agresividad contra el gusano de la remolacha *S. exigua*. Sucedió contra larvas de segundo estadio a los 3 días después del tratamiento. El hongo controló efectivamente la polilla, revelando su potencial como un agente de control biológico efectivo.

Otra alternativa al uso de hongos entomopatógenos es el uso de bioplaguicidas bacterianos. Estos últimos son probablemente los más empleados como método de control de plagas. Diversas especies de bacterias pueden infectar insectos, siendo las pertenecientes al género *Bacillus*, las de mayor uso. Dentro de las bacterias entomopatógenas, la *Bacillus thuringiensis* ha perfeccionado mecanismos moleculares para la producción de toxinas con acción insecticida (Ondarza-Beneitez, 2016).

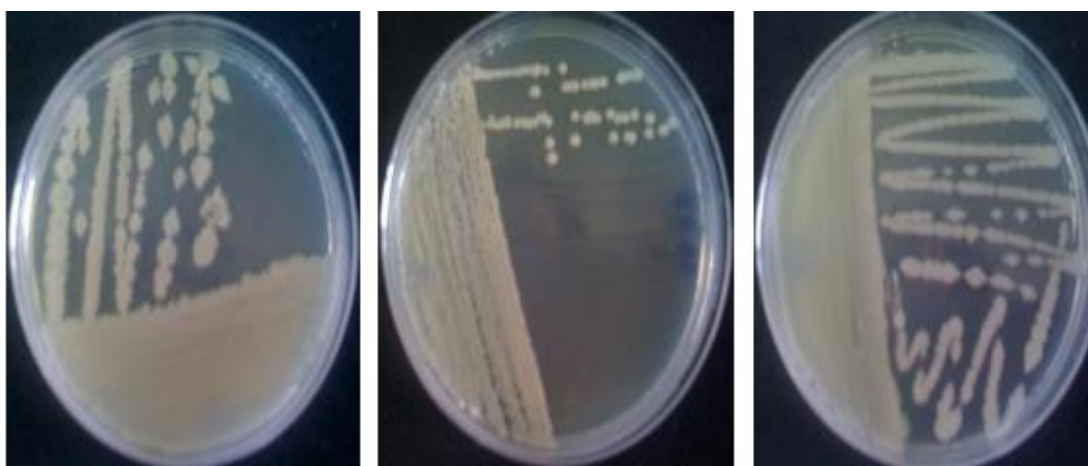


Figura 9. Aislados de colonias de *Bacillus thuringiensis*. Tomado de: Majdoub et al. (2016).

B. thuringiensis, popularmente conocida como Bt, actúa produciendo la δ -endotoxina, esta es el resultado del ensamblaje de varias unidades de polipéptidos (proteínas), que se han denominado Cry (del inglés cristal). Una proteína Cry posee efectos tóxicos hacia un organismo susceptible, el resultado final se manifiesta con la formación de huecos en la membrana del intestino del insecto (López-Pazos y Cerón, 2010).

Cuando el insecto ingiere el cristal se genera una interrupción en el consumo de alimento, parálisis del intestino, diarrea y vómito. Para que se lleve a cabo la muerte de un individuo la toxina debe estar en un ambiente de pH alto en el intestino medio (mesenterón) o estar activadas de forma natural mediante enzimas, una vez activa la toxina reconoce receptores específicos de la microvellosidad de las células del intestino. Terminada la inserción se provoca la formación de poros que vuelen inestable la membrana celular, provocan el paso del contenido intestinal hacia la hemolinfa (fluido circulatorio de los invertebrados), ocasionando una parálisis a primera instancia que conlleva a un envenenamiento en la hemolinfa y la muerte del insecto (Portela-Dussán et al., 2013).

González-Maldonado et al. (2015), se calculó la toxicidad de diferentes productos comerciales para el control biológico de larvas del gusano cogollero. Se destaca el producto comercial denominado Crimax (*B. thuringiensis*), en donde se obtuvo una mortalidad promedio del 70,66%. Mientras en Ezeta-León et al. (2018) se evaluó el control biológico de *S. frugiperda* en el cultivo del maíz, la mayor eficacia insecticida se alcanzó con *B. thuringiensis*, aquí se manifestó la ausencia de plantas atacadas a los 3 y 5 mL⁻¹L con 0 larvas por planta.

Díaz (2016) por su parte analizó la acción de cepas de *B. thuringiensis* como control biológico de *S. frugiperda* en cultivos de frijón, arveja, maíz y naranja. Se evaluó la mortalidad a las 96 y 120 horas en larvas, dando como resultado que 2 de las 11 cepas probaran tener altos promedio de mortalidad, de hasta en un 75%. En Huang et al. (2018) se notó la eficacia de *B. thuringiensis* sobre el crecimiento, desarrollo y mortalidad de *S. exigua*. Los resultados mostraron tasas de mortalidad hasta de un 55% posterior a los 7 días de tratamiento, y produjo una afectación en el crecimiento y peso de las larvas en todos sus estadios larvales.

Con lo que respecta a Bateman et al. (2018) se evaluaron opciones potenciales de bioplaguicidas para el manejo *S. frugiperda* en 30 países de África. Los investigadores tomaron en cuenta las sustancias activas registradas en los bioplaguicidas contra el cogollero del maíz. Los resultados reunieron 15 bioplaguicidas autorizados para su uso en la agricultura ecológica. Los entomopatógenos *B. bassiana*, *M. anisopliae* y *B. thuringiensis*, estuvieron incluidos por encima de otros microorganismos utilizados para el control de larvas de *S. frugiperda*, de estos

a *B. thuringiensis* se convirtió en el producto microbiológico más usado; el microorganismo probó su efectividad en ensayos y evaluaciones de campo.

RECOMENDACIONES PARA LA APLICACIÓN DE ENTOMOPATÓGENOS AL CULTIVO TRAMPA

Las recomendaciones prácticas señaladas en el siguiente apartado se establecen con base a el Manual de Producción y Uso de Hongos Entomopatógenos de Gómez-Ramírez et al. (2014) y la consulta técnica emitida por Vega (2019) del Laboratorio de Fitoprotección del Centro Nacional Especializado en Agricultura Orgánica del Instituto Nacional de Aprendizaje. Las recomendaciones pertinentes son las siguientes:

1. La programación en cuanto a la aplicación de los entomopatógenos no debe concordar con aplicaciones de fungicidas, productos azufrados, cal o fuertemente alcalinos.
2. Utilizar agua potable sin cloro, de río o de pozo (las aguas turbias, de río o pozo, se debe reposar 30 minutos antes de utilizarla). El pH del agua no debe ser mayor a 6,5.
3. Las pulverizaciones en campo deben realizarse preferiblemente en horas de la tarde, cuando la radiación solar ha bajado su intensidad.
4. Es de conveniencia que los equipos de aplicación sean nuevos o limpios y que estén libres de residuos químicos, cualquier remanente puede inhabilitar la viabilidad de las esporas del entomopatógeno. Se debe tener cuidado especial en la limpieza y lavado del equipo cuando anteriormente se ha utilizado algún funguicida.
5. Para la aplicación se debe tener en cuenta la velocidad del viento, ya que el mismo seca el producto, de preferencia asperjar con viento suave o sin él.

6. El efecto residual de los entomopatógenos es de una semana, por lo que se aconseja evitar pérdidas del producto por deriva o escurrimiento realizando aplicaciones semanales.
7. Para lograr una mayor efectividad en la aplicación se sugiere acompañar al biopreparado con algún tipo de coadyuvante o "pega" orgánica que mejore la capacidad de adherencia y dispersión del producto.
8. Se debe considerar que el uso de hongos entomopatógenos involucra un almacenamiento en condiciones refrigeración, se hace de esta forma para mantener la humedad del producto y consigo la viabilidad de las esporas del hongo entomopatógeno.
9. Es importante realizar mezclas o rotaciones de los biopreparados para potencializar su efecto insecticida. No limitarse al uso de una sola especie en la aplicación.
10. La aplicación se potencializa al combinar con insecticidas o repelentes naturales como chile picante y ajo.

PREPARACIÓN Y DOSIS DE APLICACIÓN DE ENTOMOPATÓGENOS

Dosis para *B. bassiana* y *M.anisopliae* :

- Bolsa de 300 gramos por bomba de espalda de 18 o 20 litros.
- Matriz o botella de cultivo de 300 gramos por 200 litros de agua.

Preparación:

Paso 1. Adicionar a la bolsa algunas gotas del coadyuvante de elección junto a 500 mililitros de agua.

Paso 2. Mezclar el producto con el objetivo de soltar las conidias del arroz hasta crear una emulsión.

Paso 3. Verter la mezcla dentro de un colador y almacenar el contenido en un balde. El arroz debe ser lavado con agua hasta no observar residuos del hongo.

Paso 4. Dejar reposar la solución filtrada por un tiempo mínimo de 6 horas (tiempo suficiente para que se hidraten las esporas secas).

Paso 5. Agitar la mezcla y llenar el equipo de aspersión. Agitar cada vez que se repita el llenado del equipo.

Dosis para *B. thuringiensis*:

- Aproximadamente 90 ml de solución del biopreparado por bomba de 18 litros.
- Un litro de solución del biopreparado para 200 litros de agua.

Preparación:

El producto no requiere mezcla alguna en particular más que la adición del coadyuvante orgánico de elección y agitar la mezcla a la hora de llenar el equipo de aspersión.

MOMENTO OPORTUNO DE APLICACIÓN DEL BIOPLAGUICIDA

Las aplicaciones deberían realizarse con base al monitoreo en campo y las primeras señales de daño manifestadas por el cogollero del maíz en el espaciado del cultivo trampa. De no ser así, se recomienda realizar la primera aplicación del producto 3 semanas después de la germinación del maíz, periodo de nacimiento y desarrollo de larvas. Dicho periodo referencia a la fase de desarrollo de la planta con mayor gravedad en cuanto a ataques ocasionados por la plaga.

El poder determinar el momento oportuno o inicial de aplicación del producto favorece a la concentración de larvas retenidas en la periferia del cultivo principal en relación a la eficiencia del esfuerzo y tiempo requerido para dicha acción. No obstante, según el umbral económico de

daño del maíz, sugerido por Jaramillo-Barrios et al. (2019) para *S.frugiperda*, se sugiere llevar a cabo las aplicación del insecticida ecológico al observar de dos a tres larvas por cada 10 plantas (planta trampa o plántula de maíz), para las primeros 20 días post emergencia del grano.

Se recomienda realizar aplicaciones estratégicas de bio plaguicida independientemente del estado fenológico de la planta, sobre las hojas en la parte media de la planta, en el envés y/o en la zona basal de las mismas, ya que las posturas frecuentemente suelen ser colocadas en dichas áreas. Luego de emergidas, las larvas permanecen agrupadas en la parte baja de las plantas, refugiadas entre las hojas (Casmuz et al., 2010).

Las aplicaciones semanales tienen como finalidad reducir el futuro número poblacional de adultos en las áreas circundantes a los campos de cultivo, además de llevar a cabo un manejo controlado de la plaga, ya el gusano cogollero ataca de forma generacional más de una vez al cultivo del maíz durante su ciclo de vida. Se recomienda realizar aplicaciones continuas con entomopatógenos cada 15 días tanto al cultivo trampa como al maíz, si la cantidad de plaga disminuye hasta aproximar con la época de cosecha.

CONSIDERACIONES PARA LA IMPLEMENTACION DE LA PROPUESTA METODOLOGICA

Algunas de las consideraciones previas a la implementación en campo del cultivo trampa, así como su viabilidad por parte de los agricultores, va a depender de varios aspectos a tomar en cuenta, como lo son:

1. El área de cultivo. Es viable en cuanto el cultivo no pretenda extensiones o dimensiones comerciales, se sugiere terreros que comprendan superficies no mayores a las 2 hectáreas.

2. Labranza y conservación. Es posible su puesta en marcha, si existe mano de obra suficiente o el núcleo familiar se compromete a la siembra, mantenimiento y observación periódica, ya que dichas gramíneas de corta pueden invadir los límites de borde establecidos para su propósito de cultivo trampa. Además, se promueve un estado vegetativo mucho más atractivo para la oviposición del cogollero.

3. Bionsumos agrícolas. Es factible cuando se tenga contacto con proveedores de microorganismos entomopatógenos, no obstante, en la actualidad existen empresas y emprendimientos semi artesanales que proveen el material (inoculo) a precios razonables en cantidades que se ajustan a la necesidad del agricultor.

4. Control permanente. Es conveniente cuando se logre visualizar el uso de entomopatógenos como un método de control permanente, ya que el microorganismo logra introducirse y colonizar el agroecosistema, al mantener la población de la plaga por debajo de niveles económicos de daño.

5. Dispersión y multiplicación. Es asequible al considerar que la propagación de la enfermedad y diseminación puede ocurrir por acción del viento, agua e insectos, pudiendo además colonizar materia orgánica y diseminarse mediante la remoción de suelo.

6. Plantas reservorio. Es realizable si se quiere ver dichos cultivos como reservorio de controladores naturales y barrera mecánica ante esporas de hongos y bacterias, que secundariamente se ven transportados por acción del viento y la lluvia.

7. Aplicación oportuna. Su éxito se debe a las aplicaciones de bio plaguicidas en los momentos sugeridos y oportunos del periodo larval para poder ejercer un control oportuno de la plaga, que logre cortar con el ciclo del cogollero del maíz.

8. Rentabilidad. Es productivo si se considera a mediano y largo plazo los insumos y beneficios que puede derivar de la barrera trampa, como lo es forraje para los animales de corral, material para la elaboración de los diferentes tipos compost, mulch para la retención de humedad en suelo, etc.

APLICABILIDAD DE LA INVESTIGACIÓN EN LA ZONA O DIFERENTES ZONAS DEL PAÍS

La aplicabilidad de los resultados expresados en la investigación podría sugerir algún tipo de limitación o verse comprometida en campo, si no se consideran las siguientes medidas:

1. La falta de acceso a la semilla de pasto, más si se cobra por dicho material, no obstante, entre vecinos y el gremio se suele regalar cuando el material vegetal se encuentra sazón.

2. Altura a nivel del mar, no superada por los 2000 m.s.n.m a modo general, ideal alturas comprendidas entre los 1500 m.s.n.m.

3. La época de siembra y anterioridad con que el material vegetativo sea sembrado, con la época lluviosa se asegura un mayor éxito germinativo y no requerir de equipo de riego, lo cual implica un costo adicional. La antelación de la siembra facilita el adecuado establecimiento del cultivo, al proporcionar el deseado efecto barrera.

4. La disponibilidad del espacio en el marco de plantación que requiere establecer un cultivo perimetral, el tamaño del terreno con el que se cuenta es un factor a tomar en cuenta.

RECOMENDACIONES Y CONCLUSIONES

La aplicación del cultivo trampa es una de las múltiples opciones de manejo que pueden ser manipuladas por el productor dentro del control cultural preventivo, para imposibilitar la colonización de la plaga al cultivo. Un manejo integrado y constante es fundamental para el control del gusano cogollero, la asociación de prácticas culturales en conjunto con métodos biotecnológicos como el uso de microorganismos entomopatógenos son clave en las propuestas agroecológicas, ya que la gestión anticipada del agroecosistema es pilar en los objetivos del éxito en la producción deseada.

El uso de prácticas culturales concede ventajas agronómicas y medioambientales, confiriendo a largo plazo mayor capacidad en la producción y menos dependencia de insumos externos. Poder alcanzar un equilibrio en la producción y armonía con los recursos naturales es la finalidad que engloba la agricultura ecológica de hoy en día, y tener la capacidad de guiar y orientar tanto al productor como a los futuros técnicos en agricultura orgánica que forma el Instituto Nacional de Aprendizaje, es un trabajo interdisciplinario. No obstante, desde las bases agroecológicas se cimientan metodologías que cada vez toman mayor empoderamiento en su implementación y resultados en campo.

Proveer conocimiento, así como seguimiento a partir de trabajos de investigación suscitan herramientas de crecimiento y soberanía al sector primario, fomentando el propósito de un bien común, tanto para el ambiente, la economía local y salud de sus habitantes. Se espera que el presente documento sea un instrumento práctico y útil en el control de plagas, en especial del gusano cogollero del maíz. Se recomienda el continuo uso de opciones económicamente factibles y operativamente viables como el cultivo trampa que agreguen diversidad vegetal al agroecosistema y mejoren las condiciones de productividad en el tiempo.

BIBLIOGRAFÍA

- Amaro, L., Parraguire, C., Romero, O., Rivera, J. y Sánchez, P. (2017). Evaluation of mortality of mollusc worm (*Spodoptera frugiperda* L.) with the use of *Metarhizium anisopliae* in vitro. *Manejo de Agroecosistemas e Agricultura Orgânica*, 13(1).
- Bateman, M. L., Day, R. K., Luke, B., Edgington, S., Kuhnmann, U. y Cock, M. J. (2018). Assessment of potential biopesticide options for managing fall armyworm (*Spodoptera frugiperda*) in Africa. *Journal of Applied Entomology*, 142, 805–819.
- Capinera, J. L. (2008). *Encyclopedia of Entomology*. Gainesville, Florida: Springer.
- Casmuz, A., Juárez, L., Socías, G., Murúa, G., Prieto, S., Medina, S. y Gastaminza. (2010). Revisión de los hospederos del gusano cogollero del maíz, *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae). *Revista de la Sociedad Entomológica Argentina*, 69(3-4), 209-231.
- Cotes, B., Rämert, B. y Nilsson, U. (2018). A first approach to pest management strategies using trap crops in organic carrot fields. *CROP Protection*, 141-148.
- Díaz, J. E. (2016). Action of *Bacillus thuringiensis* (Berliner), as biological control of *Spodoptera frugiperda* (J.E. Smith). *Lepidoptera: Noctuidae. Temas Agrarios*, 87-90.
- Ezeta-León, J. E., García-Brito, O. E. y Gordillo-Manssu, F. A. (2018). Evaluation of the biological control of *Spodoptera frugiperda* in corn crop. *Science and Research*, 3(11), 18-23.

- Franco-Chávez, K. G., Rodríguez-Navarro, S., Cervantes-Mayagoitia, J. F. y Barranco-Florido, J. E. (2012). Enzimas y toxinas de hongos entomopatógenos, su aplicación potencial como insecticidas y fungicidas. *Sociedades Rurales, Producción y Medio Ambiente*, 12(23), 143-60.
- Gaba, S., Smith, B. y Lichtfouse, E. (2018). *Sustainable Agriculture Reviews 28: Ecology for Agriculture*. Cham, Switzerland: Springer.
- García, C., González, M. B. y Bautista, N. (2011). Patogenicidad de aislamientos de hongos entomopatógenos contra *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) y *Epilachna varivestis* (Coleoptera: Coccinellidae). *Revista Colombiana de Entomología*, 37(2), 217-222.
- Gómez-Ramírez, H., Zapata-Granja, A., Torres Del Aguila, E. y Tenorio-Cantoral, M. (2014). *Manual de producción y uso de hongos entomopatógenos*. <http://www.funica.org.ni>
- González-Maldonado, M. B., Gurrola-Reyes, N. y Chaírez-Hernández, I. (2015). Biological products for the control of *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae). *Revista Colombiana de Entomología*, 41(2), 200-204.
- Han, J., Rae-Jin, B., Jun-Kim, J. y Yeob-Lee, S. (2014). Virulence of Entomopathogenic Fungi *Metarhizium anisopliae* and *Paecilomyces fumosoroseus* for the Microbial Control of *Spodoptera exigua*. *Mycobiology*, 385-389.
- Huang, S., Li, X., Li, G. y Jin, D. (2018). Effect of *Bacillus thuringiensis* CAB109 on the growth, development, and generation mortality of *Spodoptera exigua* (Hübner) (Lepidoptera: Noctuidea). *Egyptian Journal of Biological Pest Control*, 2-5.
- Instituto Nacional Tecnológico. (2016). *Manual del Protagonista Pastos y Forrajes*. Managua: INATEC.
- Kondo, S., Mejicano, C., Campos, J. y Zelaya, V. (2016). *Barreras vivas, guía técnica 7*. Ciudad Arce: CENTA.
- López-Pazos, S. A. y Cerón, J. (2010). Proteínas Cry de *Bacillus thuringiensis* y su interacción con coleópteros. *Ciencias Biomédicas*, 8(14), 121-240.

- Majdoub, N., Majdoub, Y., Mejri, S., Saidi, M. y Belhadj, O. (2016). Screening and Identification of *Bacillus thuringiensis* strains in Tunisia with High Larvicidal Toxicity Against *Ceratitis capitata* wiedemann (Diptera: Tephritidae). *Transylvanian Journal*, 25(4), 1039-1046.
- Martín, E. C., Gallego, L., Gámez, S., Mozo, M., Nevado, M., Pérez, I., . . . Pérez-Castiñeira, J. (2018). Hongos entomopatógenos: de la agricultura a la conservación del patrimonio histórico. *Revista PH*, 94, 352-367.
- Martin, R. y MacRae, R. (2014). *Managing Energy, Nutrients, and Pests in Organic Field Crops*. CRC Press.
- Mena, M. (2015). *Pastos y forrajes*. Catholic Relief Services (CRS); El Programa de Gestión Rural Empresarial, Sanidad y Ambiente (PROGRESA); Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT); United States Department of Agriculture (USDA). Managua: 96 p. (El Programa de Gestión Rural Empresarial, Sanidad y Ambiente).
- Moshefi, P. y Bahojb-Almasi, A. (2016). Trap Cropping. *International Journal of Research Studies in Agricultural Sciences (IJRSAS)*, 13-17.
- Motta-Delgado, P. A. y Murcia-Ordoñez, B. (2011). Hongos entomopatógenos como alternativa para el control biológico de plagas. *Revista Ambiente & Agua - An Interdisciplinary Journal of Applied Science*, 6(2), 78-84.
- Muñoz-Conforme, X. C., Comboza-Quijano, W. F., Lara-Obando, E. J., Mendoza-García, M. V., Mejía-Zambrano, N. N., Lopez-Mendoza, J. C. y Moran-Sanchez, N. L. (2017). Biological insecticides for the control *Spodoptera frugiperda* Smith, its incidence on yield. *Revista Centro Agrícola Universidad Central "Marta Abreu" de las Villas*, 20-27.
- Nava-Pérez, E., García-Gutiérrez, C., Camacho-Báez, J. R. y Vázquez-Montoya, E. L. (2012). Bioplaguicidas: una opción para el control biológico de plaga. *Ra Ximhai*, 8(3), 17-26.
- Ondarza-Beneitez, M. A. (2016). Biopesticides: types and applications in the control of agricultural pests. *Agro Productividad*, 10(3), 31,35.
- Ortiz-García, k. P., Aragón-García, A., Pérez-Torres, B. C., Juárez-Ramón, D. y López-Olguín, J. F. (2018). Efecto de extractos vegetales y hongos entomopatógenos para el control de

- Spodoptera frugiperda, smith* (lepidoptera: noctuidae) en cultivo de maíz. *Entomología Mexicana*, 5, 136-140.
- Parker, J. y Snyder, W. (2014). *Diversity by design: using trap crops to control the crucifer flea beetle*. <http://www.eorganic.org>
- Peters, M., Franco, L. H., Schmidt, A. y Hincapié, B. (2011). *Especies forrajeras multipropósito*. Opciones para productores del trópico americano. CIAT-Cali.
- Piñero, J. y Manandhar, R. (2015). Effects of increased crop diversity using trap crops, flowering plants, and living mulches on vegetable insect pests. *Trends in Entomology*, 92-106.
- Portela-Dussán, D. D., Chaparro-Giraldo, A. y López-Pazos, S. A. (2013). La biotecnología de *Bacillus thuringiensis*. *NOVA-Publicación Científica en Ciencias Biomédicas*, 11(20), 87-95.
- Salazar-Blanco, J.D., Cadet-Piedra, E. y González-Fuentes, F. (2020). *Spodoptera* spp. monitoring in sugarcane: use of sex pheromone traps. *Agronomía Mesoamericana*, 31(2) 445-459.
- Shelton, A. M. y Badenes-Perez, F. R. (2006). Concepts and applications of trap cropping in pest management. *Annual. Rev. Entomol*, 51, 285-380.
- Smith, H. y Liburd, O. (2012). *Cultivos en asocio, diversidad de cultivos y manejo integrado de plagas*. <http://www.edis.ifas.ufl.edu>
- Stang, D. (2005). Tropicos Home. Recuperado Agosto, 2019, Tomado de: <http://legacy.tropicos.org/Image/100117573>
- Stang, D. (2008). Tropicos Home. Recuperado Agosto, 2019, Tomado de: <http://legacy.tropicos.org/Image/100119984>
- Suárez-Ramos, C. A. (2016). *Evaluación agronómica y nutricional del pasto elefante* [Tesis de Maestría, Universidad de Manizales, Colombia]. http://ridum.umanizales.edu.co/xmlui/bitstream/handle/20.500.12746/2577/Suarez_Ramos_Claudia_2016.pdf?sequence=1
- Vega, R. (2019, agosto). Aplicación de microorganismos benéficos en la agricultura. (A. Vargas, Entrevistador).

Wszelaki, A. y Broughton, S. (2012). *Trap Crops, Intercropping and Companion Planting*.
<http://www.es.slideshare.net>

5. Discusión

En este estudio se encontró que las gramíneas influyen en la preferencia oviposicional del cogollero del maíz *S. frugiperda*, siendo *P. purpureum* y *S. officinarum*, las que presentaron el mayor número de larvas. El hecho que *S. frugiperda*, a pesar de tener una variedad de hospederos es considerada una plaga importante en plantas de la familia Poacea (Barros et al., 2010). Según Casmuz et al. (2010) es un lepidóptero con tendencia a preferir distintas especies de gramíneas, siendo *P. purpureum* y *S. officinarum* sus hospederos más habituales. Inclusive dentro de la misma familia *S. frugiperda* selecciona especies de interés específico. Asimismo, muchas “arvenses” que conforman las Poáceas, se encuentran naturalmente en los campos y representan un medio adecuado para el desarrollo de las poblaciones del cogollero del maíz. Los resultados del presente estudio concuerdan con Casmuz et al. (2010) y Montezano et al. (2018), donde las especies de gramíneas *Pennisetum purpureum* y *Saccharum officinarum* actúan como plantas hospederas efectivas.

Al examinar los principales hospederos del pasto elefante *P. purpureum*, Quero-Carrillo y Enríquez-Quiroz (2013) menciona a *P. purpureum* como un pasto susceptible a *S. frugiperda*. Asimismo, Van den Berg y Van Hambur (2015) valoraron la reducción de infestación de *C. partellus* y *Busseola fusca* (Lepidoptera: Noctuidae) en campos con bordes de *P. purpureum* y maíz como cultivo central, manifestando que el método de cultivo trampa; resulta en una supresión de plagas. No obstante, los investigadores señalan que más allá de la preferencia por el huésped, atribuyen a la gramínea borde como un efecto barrera generado por la altura de la planta. Finch y Collier (2012) mencionan que cuando las polillas se encuentran con vegetación alta, la gramínea utiliza un sistema de extracción y empuje, donde las polillas vuelan o retroceden sobre la barrera, resultando ser un obstáculo físico para alcanzar el maíz, limitando el hallazgo del huésped principal.

Por otro lado, Salazar-Blanco et al. (2020) mencionan que entre los cultivos donde se halla *S. frugiperda* se encuentra la caña de azúcar, *S officinarum*. En el caso de la caña, es considerada una plaga menor, no obstante, si bien los niveles de infestación son bajos, se ha observado que la eliminación de malezas cercanas a la plantación presiona a migrar y utilizar a la caña de azúcar como hospedero. Torres & Barros (2004) citan que *S. frugiperda* se desarrolla en huéspedes no cultivados de escaso conocimiento, sugiriendo la importancia de utilizar hospederos alternativos en los agroecosistemas.

La preferencia observada de *S. frugiperda* por determinadas plantas hospederas puede ser explicada como resultado de factores fisiológicos asociados al desarrollo larval, al comportamiento de los adultos (preferencia de oviposición) o la combinación de ambos (Groot et al., 2010). Rharrabe et al. (2014) mencionan que individuos del género *Spodoptera* pueden aprender el olor de la planta huésped de la cual se alimentan, teniendo un sistema olfativo muy elaborado que les permite tomar decisiones ecológicamente relevantes. No obstante, señales perceptibles podrían ser incluso más importantes que la volatilización de compuestos orgánicos emitidos por la planta (Meagher et al., 2004).

Finch y Collier (2000) sugieren la teoría que se basa en el hecho, durante el hallazgo de la planta huésped. Donde los insectos buscadores aterrizan indiscriminadamente sobre objetos verdes como hojas de plantas huésped (aterrizajes apropiados) y plantas no hospedantes (aterrizajes inapropiados), pero evitan aterrizar en superficies marrones, como tierra. El sistema completo de selección de plantas hospedantes implica una cadena de eventos de tres eslabones en los que el primer eslabón está gobernado por señales de sustancias químicas vegetales volátiles, el enlace central por estímulos visuales y el enlace final por señales de sustancias químicas vegetales no volátiles.

La predilección por una u otra planta hospedera en conjunto a la calidad de nutrimentos promueve sitios de oviposición (Awmack y Leather, 2002). La sucesión de hospederos es claramente una cuestión alimenticia y de preferencia (Vickery, 1929). La herbivoría en lepidópteros está mediada por factores como la escogencia del sitio de oviposición por parte de la hembra, los nutrientes de la planta y la composición química de las mismas (Claro y Ruiz, 2009).

Rharrabe et al. (2014) enfatizan el rol de las hembras adultas de *Spodoptera spp* para encontrar un huésped adecuado, bajo el supuesto de que las larvas son menos móviles que los adultos y que "la madre sabe mejor", dicha labor la realiza con base a un aprendizaje asociativo constante, mediante estímulos nocivos relacionados a la alimentación de un huésped desfavorable (Salloum et al., 2011).

Con base en los resultados obtenidos, se denota la propensión de la hembra del cogollero del maíz en utilizar *P. purpureum* y *S. officinarum* como un recurso óptimo para su progenie. Peters et al. (2011) indican valores proteicos para el pasto elefante de 7-10%, superior al de la caña de azúcar de 4-5%. El Instituto Nacional Tecnológico [INATEC] (2016) arroja valores similares en proteína para el pasto elefante de 8-10% y la caña de azúcar de 4-7%. Urdaneta (2005); evidencia valores en el porcentaje de materia seca (MS) y fibra para dichas gramíneas. *P. purpureum* brinda un 19,5 – 25% de MS y un 28,6 – 36,1% de fibra, Por otro lado *S. officinarum* ofrece un 26,2 – 28,7% de MS y un 36,1 – 48,1% de fibra, valores nutricionales óptimos para la ingesta larval en comparación a algunos de los pastos restantes incluidos en el diseño experimental (Proteína= 3- 6%, MS = 22 – 33,7% y fibra = 23-39%). Dicha composición se asocia a un consumo dietario óptimo para las larvas, al alimentarse con hojas bajas en fibra (fácilmente digeribles), bajas en proporción de materia seca y con buen contenido proteico (Claro y Ruiz, 2009).

Por otro lado, en el presente estudio se observó que la variable poda no influyó en la colonización del gusano. Esto puede deberse a que la porción de pasto tomada para la poda en los grupos experimentales no fue lo suficientemente amplia para promover el crecimiento notable de brotes que pudieran captar una mayor atención de las hembras de *S. frugiperda*, en comparación con la no poda. También, la carencia de un efecto por parte de la poda puede deberse a la emisión de metabolitos secundarios sin características repelentes. Dicha emisión se promueve debido a señales de interacción insecto-planta y no a daños infringidos de manera intencional como la poda, ya que en cada una de dichas interacciones tanto el insecto como la planta, reciben y envían señales químicas que determinan el éxito de la misma (Camarena, 2009). En el caso de *S. frugiperda*, las células de la planta reconocen y responden al movimiento del insecto. Las heridas originadas durante la alimentación y los compuestos en las secreciones orales, evitan el gasto de recursos de

defensa, ya que las plantas deben diferenciar entre la alimentación del insecto y el daño mecánico simple, como el que causa el viento, aguaceros o heridas mecánicas (Schmelz et al., 2006).

Relativo al efecto de las gramíneas y el tipo de poda para el daño foliar al maíz, mediante los MLGs, según el CIAC para el mejor modelo candidato, señala al modelo con la variable Bloque como el más sólido. El hecho de que el factor Bloque haya sido quien mejor explica las diferencias en el daño foliar, puede considerarse como un efecto espureo más que un resultado explicado por un proceso biológico. La afirmación anterior se respalda en los resultados de la propagación de incertidumbre de los parámetros del modelo, sobre la escala natural del daño foliar. La propagación de incertidumbre muestra un gran solapamiento en los intervalos de confianza del área foliar dañada entre el Bloque 1 y el Bloque 2, que contienen todas las unidades experimentales analizadas. Lo que claramente refleja, que el efecto Bloque realmente no tiene significancia biológica. Los resultados indican que el Bloque es simplemente un efecto aleatorio sin relevancia biológica, porque una vez que la plaga ha llegado al maíz, la voracidad de las larvas no cambia independientemente de las plantas que componga la barrera de cultivo trampa.

Según Urretabizcaya et al. (2010) la fase larval se caracteriza por ser un estado muy voraz, ya que, durante esta etapa el individuo crece y eventualmente acopia nutrientes para poder transformarse en adulto. Dicho apetito se asocia con requerimientos nutricionales de carácter acumulativo, al aprovechar los recursos, maximizar las tasas de crecimiento y optimizar la eficiencia en la toma de alimentos (Claro y Ruiz, 2009). En esta etapa, el individuo se limita a alimentarse y crecer, transforma grandes cantidades de follaje en tejido y reservas alimenticias útiles en fases próximas de desarrollo y amplía la acción de forrajeo en instares iniciales, reduciendo su actividad en los últimos instares previos a pupar (Vélez, 2005).

El daño foliar observado en el gusano cogollero fue similar a lo observado en otros estudios para larvas de la misma especie y mismo estadio de desarrollo. Los resultados obtenidos para ambos bloques exponen promedios de daño-consumo de 77,6 y 83,1 centímetros cuadrados, respectivamente. Al considerar los instares larvales de los individuos colectados (L4-L5), se aproximó un criterio de edad de hasta 15 días, que de forma comparativa se obtienen resultados cercanos a lo obtenido por Rezende et al. (1994). Los autores estimaron que el consumo requerido

por *S. frugiperda* para completar su ciclo larval, obtuvieron un consumo foliar promedio de 78 y 79 centímetros cuadrados de hoja de maíz a los 15 días de alimentación, llegando a consumir en total 179,7 centímetros cuadrados previo a la fase de pupa.

Cruz et al. (1997) hallaron un mayor consumo foliar de hojas de maíz durante un promedio de 25 días ($209.3 \pm 8,7$ centímetros cuadrados de área foliar), aumentando de manera adjunta el peso larval y número de hojas afectadas. En términos generales, los daños infligidos por *S. frugiperda* al maíz, en cuanto a la producción y rentabilidad se consideran de carácter sustancial, ya que se termina afectando el desarrollo y crecimiento de la planta de maíz (Hernández-Trejo et al., 2018). Los daños asociados a las primeras etapas fenológicas del cultivo como un retraso en el desarrollo y disminución del rendimiento del forraje, así como del grano, se citan como los de mayor repercusión (Rangel et al., 2014).

6. Conclusiones y Recomendaciones

Conclusiones

1. Las gramíneas *P. purpureum* y *S. officinarum* son hospederos estratégicos que logran atraer y motivar la oviposición de *S. frugiperda*. Siendo *P. purpureum* el pasto que mayor número de larvas hospedo en función de cultivo trampa.

2. La persuasión o repelencia en el cultivo trampa mediada por la técnica de poda no tiene como resultado un efecto concreto, ya que las plantas pueden distinguir el tipo de daño al cual se ven expuestas como consecuencia del complejo de interacción insecto-planta.

3. *S. frugiperda* es insecto plaga que al invadir el cultivo de maíz, muestra un apetito larval que sugiere no verse afectado pese a la composición de la barrera trampa o sistema de borde que se emplee.

4. Los indicios de daño y consumo realizado por *S. frugiperda* en las hojas de maíz, son patrones de alimentación que manifiestan uniformidad en las fases de desarrollo larval, al evidenciar hábitos propios y constantes de alimentación sobre el maíz.

5. El control cultural preventivo mediado por cultivos trampa debe ser una gestión bajo un enfoque integral, ya que en la agricultura orgánica una sola alternativa de control no lo es todo. Por lo tanto, se debe asociar con prácticas como el uso de microorganismos benéficos para potencializar los efectos de control en la plaga a combatir.

Recomendaciones

1. Realizar investigaciones a futuro que cuantifiquen una reducción en la incidencia de *S. frugiperda* mediada por cultivos trampa en el maíz, especialmente por *P. purpureum* y *S. officinarum* que generen un mayor campo de conocimiento en la eficiencia del uso de prácticas culturales en beneficio y protección del cultivo.

2. Fomentar el uso de huéspedes estratégicos en la asociación de cultivos que susciten un bajo nivel del umbral económico de daño, que permitan limitar el acceso de la plaga al cultivo principal suprimiendo en la mayor medida el daño generalmente ocasionado.

3. Promover la difusión e implementación del uso de metodologías alternativas como lo es el cultivo trampa y una diversificación vegetal en el agroecosistema, para favorecer un control de plagas de carácter integral y una agricultura menos dependiente en el uso de agroquímicos. Al fortalecer el uso y gestión de insumos locales.

4. El uso de material de carácter didáctico o técnico generado para la aplicación de lineamientos agrícolas es información clave en el apoyo y beneficio del productor a la hora de poner en marcha prácticas agrícolas que garanticen una gestión exitosa en el tiempo. Por consiguiente, se debe continuar trabajando en la creación de información que acompañe al productor en la obtención de mayores y mejores rendimientos en la producción.

7. Bibliografía

- Ali, J. G. y Agrawal, A.A. (2012). Specialist versus generalist insect herbivores and plant defense. *Trends in Plant Science*, 17(5), 293-302.
- Almeida-Neto, M., Prado, P. y Lewinsohn, TM. (2011). Phytophagous insect fauna tracks host plant responses to exotic grass invasion. *Oecologia*, 165(4), 1051-1062.
- Altieri, M. (1994). Bases científicas para una agricultura sustentable. *Agricultura Técnica.Chile*, 54(4), 371-386.
- Altieri, M. y Nicholls, C. (2012). Agroecología: única esperanza para la soberanía alimentaria y la resiliencia socioecológica. *Agroecología*, 7(2), 65-83.
- Andow, D. A. (1991). Vegetational Diversity and Arthropod Population Response. *Annual Review of Entomology*, 36, 561-586.
- Ávila, L. (2002). *Cianogénesis en la interacción Passiflora capsularis (passifloraceae) con lepidópteros especialistas y generalistas* [Tesis de Maestría. Universidad de Los Andes- Facultad de Ciencias-Postgrado en Ecología tropical]. <http://www.saber.ula.ve/handle/123456789/35402>
- Awmack, C. S. y Leather, S. (2002). Host plant quality and fecundity in herbivorous insects. *Annu. Rev. Entomol*, 47, 817-844.
- Ballina-Gómez, H., Iriarte-Vivar, S. y Orellana, R. (2008). Crecimiento, supervivencia y herbivoría de plántulas de *Brosimum alicastrum* (Moraceae), una especie del sotobosque Neotropical. *Revista de Biología Tropical*, 56(4), 2055-2067.
- Balusu, R., Majumdar, A., & Fadamiro, H. (2012). Trap cropping in vegetables insect pest management. <http://www.es.slideshare.net>
- Baramidze, V., Khetereli, A., & Kushad, M. (2015). Identification and control of major diseases and insect pests of vegetables and melons in Georgia. Tbilisi: Agricultural University of Georgia.

- Barros, E., Torres, Bueno, J. y Adeney, F. (2010). Oviposição, Desenvolvimento e Reprodução de *Spodoptera frugiperda*. *Pest Management*, 39(6), 996-1001.
- Bastos, C.S. y Torres, J. B. (2004). Os perigos às escondidas. *Rev Cultivar*, 60, 10-13.
- Bhatia, V., Uniya, P. y Bhattacharya, R. (2011). Aphid resistance in Brassica crops: challenges, biotechnological progress and emerging possibilities. *Biotechnology Advances*, 29(6), 879-888.
- Bielza, P. y Lacasa, A. (1998). Cálculo del umbral económico de daño del trips del trigo, *Haplothrips tritici* (Kurdjumov). *Boletín de Sanidad Vegetal Plagas*, 24, 239-250.
- Bisset, J. (2002). Uso correcto de insecticidas: control de la resistencia. *Revista Cubana de Medicina Tropical*, 54(3), 202-219.
- Bolker, B. (2017). Bbmle: Tools for General Maximum Likelihood Estimation. R package, version 1.0.20.
- Brizuela, P. (2013, marzo 22). Contaminación del agua por abonos químicos. *La Nación*.
- Bryant, J. P., Chapin, S.F. y Klein, D.R. (1983). Carbon/Nutrient Balance of Boreal Plants in Relation to Vertebrate Herbivory. *Oikos*, 40(3), 357-368.
- Buntin, D. (1986). A Review of Plant Response to Fall Armyworm, *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith), Injury in Selected Field and Forage Crops. *The Florida Entomologist*, 69(3), 549-559.
- Burnham, K. P. y D. R. Anderson. (2002). *Model selection and multimodel inference: a practical information-theoretic approach*. New York: Springer.
- Camarena, G. (2009). Señales en la interacción planta-insecto. *Revista Chapingo*, 15(1), 81-85
- Casmuz, A., Juárez, L., Socías, G., Murúa, G., Prieto, S., Medina, S. y Gastaminza. (2010). Revisión de los hospederos del gusano cogollero del maíz, *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae). *Revista de la Sociedad Entomológica Argentina*, 69(3-4), 209-231.

- Castro, M. y Pietre, H. (1988). Desarrollo del gusano cogollero del maíz, *Spodoptera frugiperda*, de Honduras y Mississippi el sorgo o maíz en el laboratorio. *The Florida Entomologist*, 71(1), 49-56.
- Centella, C., Jerez, V., González, U. y Bittner, M. (2003). Especialización en el uso de hospederos de *Dictyoneis asperatus* (Blanchard 1851) en un fragmento de vegetación esclerófila-higrófila en la Península de Hualpén, Chile. *Revista Chilena de Historia. Natural*, 76(3), 391-400.
- Chacón-Castro, Y., Garita-Rojas, C., Vaglio-Cedeño, C., & Villalba-Velásquez, V. (2009). Desarrollo de una metodología de crianza en laboratorio del gusano cogollero del maíz *Spodoptera frugiperda* (Smith) (Lepidoptera: Noctuidae) como posible hospedante de insectos biocontroladores de interés agrícola. *Tecnología en Marcha*, 22 (4), 28.
- Chang, N., Wiseman, B., Lynch, R. y Habeck, D. (1985). Fall Armyworm (Lepidoptera: Noctuidae) Orientation and Preference for Selected Grasses. *The Florida Entomologist*, 60(2), 296-303.
- Chango, L. (2012). *Control de gusano cogollero (Spodoptera frugiperda) en el cultivo de maiz (Zea mays L.)* [Tesis de Licenciatura, Universidad Técnica de Ambato, Ecuador]. <https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/3174/1/Tesis-33agr.pdf>
- Chavarría, G. y Alfaro, A. (2005). La cultura del maíz y el espantapájaros: Una temática para correlacionar el español y los Estudios Sociales. *Revista Pensamiento Actual*, 5(6), 32-42.
- Claro, R. A. y Ruiz, N. (2009). Acceptance of an Artificial Diet for Caterpillars of the Butterfly *Battus polydamas polydamas* (Lepidoptera: Papilionidae). *Acta biológica. Colombiana*, 15(1), 47-62.
- Conde, A. (2012). *Caracterización del nivel de resistencia y mecanismos a insecticidas en larvas y adultos de Aedes (Stegomyia) aegypti, Linnaeus 1762, en los municipios de victoria, Viterbo, Marquetalia y la Dorada, departamento de Caldas* [Tesis de Maestría, Universidad Nacional de Colombia]. <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/9443>
- Cortés, G. (1994). *Atlas agropecuario de Costa Rica*. San José: EUNED.

- Coto, D. y Saunders, J. (2004). *Insectos plagas de cultivos perennes con énfasis en frutales en América Central*. Turrialba: CATIE.
- Cruz, I., Figueiredo, M., Gonçalves, E., Lima, D. y Diniz, E. (1997). Efeito da Idade de Lagartas de *Spodoptera frugiperda* (Smith) (Lepidoptera: Noctuidae) no Desempenho do Parasitóide *Campoletis flavicincta* (Ashmead) (Hymenoptera: Ichneumonidae) e Consumo Foliar por Lagartas Parasitadas e Não-Parasitadas. *An. Soc. Entomol. Brasil*, 26(2), 229-234.
- Dávila-Flores, A., Dewitt, T. y Bernal, J. (2013). Facilitated by nature and agriculture: performance of a specialist herbivore improves with host-plant life history evolution, domestication, and breeding. *Oecologia*, 173(4):1425-37.
- Dimarco, R., Russo, G. y Farji-Brener, A. (2004). Patrones de herbivoría en seis especies leñosas del bosque templado de América del Sur: evidencia preliminar a favor de la hipótesis del balance carbono–nutrientes. *Ecología Austral*, 14,39-43.
- Driesche, R., Hooddle, M. S. y Center, T. D. (2007). *Control de plagas y malezas por enemigos naturales*. Washington D.C: Forest Health Technology Enterprise Team.
- Ehrlich, P. y Raven, P.H. (1964). Butterflies and Plants: A Study in Coevolution. *Evolution*, 18(4), 586-608.
- Estado de la Nación. (2013). *Vigésimo Informe del Estado de la Nación en Desarrollo Humano Sostenible*. <https://estadonacion.or.cr/informes/>
- FAO. (1998, noviembre 27). *La Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura*. <http://www.fao.org/Noticias/1998/ipm-s.htm>
- Fernández, J. L. (2002). Estimación de umbrales económicos para *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae) en el cultivo del maíz. *Investigación agraria. Producción y protección vegetal*, 17(3), 468-474.
- Finch, S., y Collier, R. H. (2000). Host-plant selection by insects – a theory based on ‘appropriate/inappropriate landings’ by pest insects of cruciferous plants. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 96, 91–102.

- Finch, S., y Collier, R. (2012). The influence of host and non-host companion plants. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 142, 87-96.
- Forlín, A. (2012). *Identificación de insectos plagas en cultivos hortícolas orgánicos*. El Colorado: INTA. https://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-identificacin_de_insectos_plagas_en_cultivos_horticol.pdf
- Fox, J. y Weisberg, S. (2019). *An R Companion to Applied Regression*. Thousand Oaks: Third edition, Sage.
- Gittins, C., Busso, C.A., Becker, G., Ghermandi, L. y Siffredi, G. (2010). Defoliation frequency affects morphophysiological traits in the bunchgrass *Poa ligularis*. *Phyton, International Journal of Experimental Botany*, 79, 55-68.
- Granados-Sánchez, D., Ruíz-Puga, P. & Barrera-Escorcia, H. (2008). Ecología de la herbivoría. *Revista Chapingo*, 4(1), 51-64.
- Groot, A., Marr, M., Heckel, D. y Schöfl, G. (2010). The roles and interactions of reproductive isolation mechanisms in fall armyworm (Lepidoptera: Noctuidae) host strains. *Ecological Entomology*, 35(1), 105-118.
- Hammel, B. E., Grayum, M. H., Herrera, C. y Zamora, N. (2003). *Manual de Plantas de Costa Rica Volumen III*. St. Louis, Missouri: Missouri Botanical Garden Press.
- Harcos, F. (2009). *Embrapa*. <https://www.embrapa.br/documents/1344498/2767891/control-biologico-da-lagarta-do-cartucho-com-baculovirus.pdf/2e536084-d40f-4e6f-8145-b6880c1487a5>
- Harrop, T. W., Sztal, T., Lumb, C., Good, R.T., Daborn, P.J., Batterham, P. y Chung, H. (2014). Evolutionary Changes in Gene Expression, Coding Sequence and Copy-Number at the Cyp6g1 Locus Contribute to Resistance to Multiple Insecticides in *Drosophila*. *PLoS One*, 9(1), e84879.

- Hecht, S. (1999). La evolución del pensamiento agroecológico en M. Altieri (Ed), *Agroecología. Bases científicas para una agricultura sustentable* (pp. 15-30). Montevideo: Nordan Comunidad.
- Hernández-Trejo, A., Osorio-Hernández, E., López-Santillán, J., Ríos-Velasco, C., Varela-Fuentes, S. y Rodríguez-Herrera, R. (2018). Beneficial insects associated to control of the fall armyworm (*Spodoptera frugiperda*) in maize (*Zea mays* L.) cultivation. *Agroproductividad*, 11(1), 9-14.
- Hilje, L. y Saunders, J. (2008). *Manejo integrado de plagas en Mesoamérica*. Editorial Tecnológico de Costa Rica.
- Hilje, L., & Stansly, P. (2017). Methodological Constrains in Selecting Trap Crops for Managing the Bemisia complejo Bemisia tabaci-virus en tomate. *Revista de Ciencias Ambientales (Trop J Environ Sci)*, 51(1), 76-91.
- Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura. (1984). *Curso Sobre: Manejo Integrado de Plagas Agrícolas*.
- Instituto Nacional de Aprendizaje. INA. (s.f). Brochure Agricultura Orgánica. Centro Nacional Especializado en Agricultura Orgánica. <https://www.ecologica.com/app/download/13886245478/Brochure+Agricultura+Org%C3%A1nica.pdf?t=1589572413>
- Instituto Nacional de Aprendizaje. INA. (2015). Forrajes Hidropónicos una alternativa para comunidades rurales, afectadas por el cambio climático. <https://www.oitcinterfor.org>
- Instituto Nacional Tecnológico. (2016). *Manual del Protagonista Pastos y Forrajes*. Managua: INATEC.
- Jaenike, J. (1978). On optimal oviposition behavior in phytophagous insects. *Theoretical Population Biology*, 14(3),350-6.

- Jaramillo-Barrios, C., Varón-Devia, E., & Monje-Andrade, B. (2019). Economic injury level and action thresholds for *Spodoptera frugiperda* (J.E. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae) in maize crops. *Rev. Fac. Nac. Agron. Medellín*, 3(1), 9065-9076.
- JCGM. (2008). *Evaluación de datos de medición —Suplemento 1 de la " Guía para la expresión de la incertidumbre de medida " — Propagación de distribuciones aplicando el método de Monte Carlo* (JCGM No. 101:2008). Centro Español de Metrología. España.
- Koricheva, J., Larsson, S., Haukioja, E. y Keinänen, M. (1998). Regulation of Woody Plant Secondary Metabolism by Resource Availability: Hypothesis Testing by Means of Meta-Analysis. *Oikos*, 83(2), 212-226.
- Krieger, R. I. y Wilkinson, C.F. (1970). An Endogenous Inhibitor of Microsomal Mixed-Function Oxidases in Homogenates of the Southern Armyworm (*Prodenia eridania*). *Biochemistry. J*, 116, 781-789.
- La Nación. (2014, diciembre 2). Costa Rica, un país inundado de agroquímicos, busca impulsar la agricultura orgánica. *La Nación*.
- Lenth, R., Singmann, H., Love, J., Buerkner, P. y Herve, M. (2019). Emmeans: Estimated marginal means, aka least-squares means. version 1.3.2.
- León-García, I., Rodríguez-Leyva, E., Ortega-Aren, L.D. y Solís-Aguilar, J.F. (2012). Insecticide susceptibility of *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae) associated with turfgrass at Quintana Roo, México. *Agrociencia*, 46, 279-287.
- Levins, R. y MacArthur, R. (1969). An Hypothesis to Explain the Incidence of Monophagy. *Ecological Society of America*, 50(5), 910–911.
- Majumdar, A. (2010). Trap Cropping Techniques. Trap cropping for sustainable crop production. <http://www.es.slideshare.net>
- Marengo, R. (1986). *Parasitoides del gusano cogollero Spodoptera frugiperda (J.E Smith), en maíz en la zona atlántica de Costa Rica* [Tesis de Maestría, CATIE]. http://201.207.189.89/bitstream/handle/11554/5388/Parasitoides_del_gusano_cogollero_Spodoptera_frugiperda.pdf?sequence=1&isAllowed=y

- Mayhew, P. J. (1997). Adaptive Patterns of Host-Plant Selection by Phytophagous Insects. *Oikos*, 79(3), 417-428.
- McNutt, D. W., Halpern, S. L., Barrows, K. y Underwood, N. (2012). Intraspecific competition facilitates the evolution of tolerance to insect damage in the perennial plant *Solanum carolinense*. *Oecologia*, 170(4), 1033–1044.
- Meagher, R., Nagoshi, R., Stuhl, C. y Mitchell, E. (2004). Larval development of fall armyworm (Lepidoptera: Noctuidae) on different cover crop plants. *Florida Entomologist*, 87(4), 454-460.
- Mihm, J., Smith, M. y Deutsch, J. (1988). Desarrollo de variedades de polinización abierta, no convencional híbridos y líneas endogámicas de maíz tropical con la resistencia a gusano cogollero del maíz, *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae), en el CIMMYT. *The Florida Entomologist*, 71(3), 262-268.
- Ministerio de Agricultura y Ganadería. (2013, marzo). *Info Agro Costa Rica*. <http://www.infoagro.co.cr/Inforegiones/RegionCentralOriental/Documents/Informacion%20General%20Region%20C%20Oriental%202013.pdf>
- Missouri Botanical Garden. (2017, febrero). *Tropicos.org*. *Missouri Botanical Garden*. <http://www.tropicos.org/Home.aspx>
- Molina, D. y Figueroa, L.E. (2009). Resistencia metabólica a insecticidas organofosforados en *Anopheles aquasalis* Curry 1932, municipio Libertador, estado Sucre, Venezuela. *Biomédica*, 29, 604-615.
- Montezano, D., Specht, A., Sosa-Gómez, D., Roque-Specht, V., Sousa-Silva, J., Paula-Moraes, S. y Hunt, T. (2018). Host Plants of *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) in the Americas. *African Entomology*, 26(2), 286-300.
- Navarro, D. (2010, mayo). Manejo Integrado de Plagas. *University of Kentucky*. College of Agriculture (Food and Environment). <http://www2.ca.uky.edu/agcomm/pubs/id/id181/id181.pdf>

- Nicholls, C. (2008). *Control biológico de insectos: un enfoque agroecológico*. Medellín: Editorial Universidad de Antioquia.
- Nicholls, C. (2010). Contribuciones agroecológicas para renovar las fundaciones del manejo de plagas. *Agroecología*, 5, 7-22.
- Núñez, Ó. (2011, septiembre 21). Costa Rica alcanza récord mundial en consumo de veneno. *Semanario Universidad*.
- Obregón, M. (2013, enero 24). El maíz, patrimonio cultural y natural de Costa Rica. *La Nación*.
- Oreamuno-Fonseca, P., & Monge-Pérez, J. (2018). Maíces nativos de Guanacaste, Costa Rica: caracterización de los granos. *Cuadernos de Investigación UNED*, 10 (2), 353-361.
- Ortega, A. (1987). *Insectos nocivos del maíz: una guía para su identificación en el campo*. México D.F: CIMMYT.
- Ortega, R. (2008). Maíz transgénico: riesgos y beneficios. *Revista Universidad de Sonora*, 22, 41-43.
- Pacheco, F. y Uribe, L. (s.f). Lactofermentos. *Una alternativa en la producción. Una alternativa en la producción de abonos orgánicos líquidos fermentados*. Cartago: Instituto Nacional de Aprendizaje.
- Paliwal, R. (2001). *El Maíz en los trópicos: mejoramiento y producción*. Roma: FAO.
- Pauletti, M. (1999). *Manual de Precauciones en El Manejo de Plaguicidas*. Montevideo: IICA.
- Pedigo, L. P., Hutchins, S.H. y Higley, L.G. (1986). Economic injury levels in theory and practice. *Annual Reviews Entomology*, 31, 341-468.
- Peralta, L. y Hilje, L. (1993). Un intento de control de Bemisia tabaci con insecticidas sistémico incorporados a la vainica cultivo trampa, aplicaciones de aceite en el tomate. *Manejo Ungrado de Plagas*, 30, 21-23.
- Pérez, T. (1999). Especialización de los insectos fitófagos: una regla más que una excepción. *Boletín de la Sociedad Entomológica Aragonesa*, (26), 759-776.

- Peters, M., Franco, L. H., Schmidt, A. y Hincapié, B. (2011). *Especies forrajeras multipropósito*. Opciones para productores del trópico americano. CIAT-Cali.
- Pimentel, D. y Lehman, H. (1993). *The Pesticide Question: Environment, Economics and Ethics*. New York and London: CHAPMAN AND HALL.
- Piñango, L., Arnal, E. y Rodríguez, B. (2001). Fluctuación poblacional de *Spodoptera frugiperda* (Smith) (Lepidoptera: Noctuidae) en el cultivo de maíz bajo tres sistemas de labranza. *ENTOMOTROPICA*, 16(3), 173-179.
- Polanczyk, R. (2004). *Estudos de Bacillus thuringiensis Berliner visando ao controle de Spodoptera frugiperda (J.E Smith)* [Tesis de Doctorado, Universidad de Sao Paulo]. https://pdfs.semanticscholar.org/76e2/fed70137cd4e1b9dc82b46973ed4cd84e568.pdf?g_a=2.163509564.1298616017.1610481952-1828460322.1568678909
- Polania, I. Z., Arévalo, H. y Mejía, R. (2007). El gusano cogollero del maíz *Spodoptera frugiperda* (J.E. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae) y algunas plantas transgénicas. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, 1(1), 103-113.
- Polania, I. Z., Arévalo, H., Mejía, R. y Diaz, J. (2009). *Spodoptera frugiperda*: respuesta de distintas poblaciones a la toxina Cry1Ab. *Revista Colombiana de Entomología*, 35(1), 34-41.
- Quero-Carrillo, A. y Enríquez-Quiroz, J. (2013). *Manejo de Pastos y Forrajes Tropicales*. Cuadernos Científicos GIRARZ 13. Maracaibo: Ediciones Astro Data.
- Rangel, J., Vázquez, M. y Del Rincón, M. (2014). Caracterización biológica y molecular de cepas exóticas de Baculovirus SfNPV, con actividad bioinsecticida hacia una población mexicana del gusano cogollero del maíz *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae). *Interciencia*, 39(5), 320-326.
- Ratnadass, A., Fernandes, P., Avelino, J., & Habib, R. (2012). Plant species diversity for sustainable management of crop pests and diseases in agroecosystems: a review. *Agron. Sustain. Dev*, 32, 273–303.

- Raya-Pérez, J., Aguirre-Mancilla, C.L., Gil-Vega, K. y Simpson, J. (2010). La domesticación de plantas en México: comparación de la forma cultivada y silvestre de *Byrsonima crassifolia* (Malpighiaceae). *Polibotánica*, (30), 239-256
- Real Academia Española (E.d)(RAE). (Agosto del 2017). *Diccionario de la Lengua Española 23a ed (2014)*. <https://dle.rae.es/plaga>
- REPCar. (2011). *United Nations Environment Programme*. <http://cep.unep.org/repcar/informacion-de-paises/costa-rica/CR%20Publicacion%20final.pdf>
- Reyes, J. y Martínez, D. (2001). La plasticidad de las plantas. *Elementos: Ciencia y Cultura*. 41(8), 39-43.
- Reyes, M., Bouvier, J.C., Boivin, T., Fuentes-Contreras, E. y Sauphanor, B. (2004). Susceptibilidad a Insecticidas y Actividad Enzimática de *Cydia pomonella* L. (Lepidoptera: Tortricidae) proveniente de Tres Huertos de la Región del Maule, Chile. *Agricultura Técnica*, 64(3), 229-237.
- Rezende, M., Cruz, I. y Della Lucia, T. (1994). Consumo foliar de milho e desenvolvimento de lagartas de *Spodoptera frugiperda* (Smith) parasitadas por *Chelonus insularis* (Cresson) (Hymenoptera: Braconidae). *An. Soc. Ent. Bras*, 23(3), 473-478.
- Rharrabe, K., Jacquin-Joly, E. y Marion-Poll, F. (2014). Electrophysiological and behavioral responses of *Spodoptera littoralis* caterpillars to attractive and repellent plant volatiles. *Frontiers in Ecology and Evolution*, 2, 1-9.
- Rodríguez-Morales, J., Guillén, S. y Casas, A. (2013). Consecuencias de la domesticación de *Stenocereus stellatus* en el tamaño de las semillas y en la germinación en un gradiente de estrés hídrico. *Botanical Sciences*, 91(4), 485-492.
- Rogg, H. (2001). *Manual: manejo integrado de plagas en cultivos de la Amazonía Ecuatoriana*. Quito: MOSSAICO.

- Roy, A., Walker, W.B., Vogel, H., Chattington, S., Larsson, M.C., Anderson, P. y Schlyter, F. (2016). Diet dependent metabolic responses in three generalist insect herbivores *Spodoptera spp.* *Insect Biochemistry and Molecular Biology*, 71, 91-105.
- Ruiz, J. (2012). Efectos de la herbivoría foliar en el crecimiento y mortalidad de plántulas de *Vochysia ferruginea* (Vochysiaceae) en un bosque en regeneración pos-huracán. *Encuentro*, (91), 76-90.
- Salas, J. (2001). Captura de *Spodoptera frugiperda* en trampas con feromona. *Manejo Integrado de Plagas (Costa Rica)*, (59) 48-51.
- Salazar-Blanco, J.D., Cadet-Piedra, E. y González-Fuentes, F. (2020). *Spodoptera spp.* monitoring in sugarcane: use of sex pheromone traps. *Agronomía Mesoamericana*, 31(2) 445-459.
- Salloum, A., Colson, V. y Marion-Poll, F. (2011). Appetitive and Aversive Learning in *Spodoptera littoralis* Larvae. *Chem. Senses*, 36, 725–731.
- Sánchez, I. (2014). Maíz I (*Zea mays*). *Reduca (Biología). Serie Botánica*, 7(2), 151-171
- Sánchez-Ramos, G., Reyes-Castillo, P., Mora-Olivo, A. y Martínez-Ávalos, J. G. (2010). Estudio de la herbivoría de la palma camedor (*Chamaedorea radicalis*) Mart., en la Sierra Madre Oriental de Tamaulipas, México. *Acta Zoológica Mexicana*, 26(1), 153-172.
- Santos-del-Blanco, L., Alía, R., Gonzáles-Martínez, S., Sampedro, L., Lario, F. y Climent, J. (2015). Correlated genetic effects on reproduction define a domestication syndrome in a forest tree. *Evolutionary Applications*, 8(4), 403-410.
- Sarandón, S. y Flores, C. (2014). *Agroecología: bases teóricas para el diseño y manejo de Agroecosistemas sustentables*. Buenos Aires: Editorial de la Universidad de la Plata.
- Saunders, J. L., Coto, D.T, y King, A.B.S. (1998). *Plagas invertebradas de cultivos anuales alimenticios en América Central*. Turrialba: CATIE
- Schmelz, E., Carroll, M., LeClere, S., Phipps, S., Meredith, J., Chourey, P., Alborn, H. y Teal, P. (2006). Fragments of ATP synthase mediate plant perception of insect attack. *Proc Natl Acad Sci U S A*, 103(23), 8894-8899.

- Schmidt-Durán, A., Villalba-Velasquez, V., Randall, C.C., Martínez, K. y Flores-Mora, D. (2015). Larval stage prediction model of *Spodoptera frugiperda* collected in fig (*Ficus carica*) and discovery of *Apanteles sp.* as its parasitoid. *Revista Tecnología en Marcha*, 28(1),47-58.
- Shelton, A. y Badenes-Pérez, A. M. (2006). Concepts and applications of trap cropping in pest management. *Annual Review of Entomology*, 51, 285-308
- Spieß, A.N. (2018). Propagate: Propagation of Uncertainty. R package version, 1.0-6.
- Staver, C. (2004). *Mip en Manos de Familias Rurales*. Managua: CATIE.
- Stoddard, F., Nicholas, A. H., Rubiales, D., Thomas, J. y Villegas-Fernández, A. M. (2010). Integrated pest management in faba bean. *Field Crops Research*, 115, 308-318.
- UCIPM. (2014, Junio 10). *University of California Agriculture and Natural Resources*. <http://www.ipm.ucdavis.edu/QT/biocontrolsp.html>.
- Urdaneta, J. (2005). “La caña de azúcar”: una opción para el ganadero. *Manual de Ganadería Doble Propósito*. C. González-Stagnaro, E. Soto-Belloso (eds.) Maracaibo: Ediciones Astro Data.
- Urretabizcaya, N., Vasicek, A. y Saini, E (2010). Insectos perjudiciales de importancia Agronómica I. Lepidópteros. Buenos Aires: INTA.
- Vaisa, H., Williamson, M.S., Hick, C.A., Eldurs, N., Devonshire, A.L. y Usherwood, P.N.R. (1997). Functional analysis of a rat sodium channel carrying a mutation for insect knock-down resistance {kdr} to pyrethroids. *FEBS Letters*, 413, 327-332.
- Valdés, T., Meave, J.A., Carabias, J. y Cano-Santana, Z. (2005). *Ecología y medio ambiente*. México D.F: Pearson.
- Van den Berg, J. y Van Hamburg, H. (2015). Trap cropping with Napier grass, *Pennisetum purpureum* (Schumach), decreases damage by maize stem borers. *International Journal of Pest Management*, 61(1), 1-7.

- Varela, O. (2019). Conservación y uso potencial de maíces criollos en Costa Rica [http://www.mag.go.cr/acerca_del_mag/programas/PITTA-Frijol/XV-Encuentro Nacional/Conservacion-Uso-Potencial-Maices-Criollos-CostaRica.pdf](http://www.mag.go.cr/acerca_del_mag/programas/PITTA-Frijol/XV-Encuentro_Nacional/Conservacion-Uso-Potencial-Maices-Criollos-CostaRica.pdf)
- Vélez, A. M. (2005). *Ciclo de vida de la mariposa de "marcas metálicas": Mesosemia mevania (lepidoptera: riodinidae) en el Parque Ecológico Piedras Blancas, Colombia. Bogotá* [Tesis de Licenciatura. Pontificia Universidad Javeriana]. <https://repository.javeriana.edu.co/bitstream/handle/10554/8823/tesis77.pdf;sequence=1>
- Vélez-Arango, A., Arango, E., Villanueva, D., Aguilera, E. y Saldamando, C. (2008). Identificación de biotipos de *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) mediante marcadores mitocondriales y nucleares. *Revista Colombiana de Entomología*, 34(2), 145-150.
- Vickery, R. A. (1929). Studies on the fall army worm in the Gulf coast district of Texas. *Technical Bulletin*, 1-64.
- Vivas-Carmona, L. (2017). El Manejo Integrado de Plagas (MIP). Perspectivas e importancia de su impacto en nuestra región. *Journal of the Selva Andina Biosphere*, 5(2), 67-69.
- Whitford, F., Quisenberry, S., Riley, T. y Lee, J. (1988). Preferencia oviposición, Apareamiento de compatibilidad, y desarrollo de dos cepas gusano cogollero del maíz. *The Florida Entomologist*, 71(3), 234-243.
- Wickham, H. (2016). *Ggplot2: Elegant Graphics for Data Analysis*. New York: Springer-Verlag.
- Wiseman, B., Carpenter, J. y Wheeler, G. (1996). Growth inhibition of fall armyworm (lepidoptera: noctuidae) larvae reared on leaf diets of non-host plants. *Florida Entomologist*, 79(3), 302-311.
- Yasem de Romero, M.G. y Romero, E.R. (2013). Reducción del consumo foliar de orugas de *Spodoptera frugiperda* (Lep.: Noctuidae) infectadas con Nucleopolyhedrovirus aislamiento Leales (Tucumán, R. Argentina). *Revista Industrial. y Agrícola de Tucumán*, 90(2), 29-38.

Yu, S. (1986). Host Plant Induction of Microsomal Monooxygenases in Relation to Organophosphate Activation in Fall Armyworm Larvae. *The Florida Entomologist*, 69(3),579-587.

Zhou, Z., Zepeng, C. y Zaifu, X. (2010). Potential of trap crops for integrated management of the tropical armyworm, *Spodoptera litura* in tobacco. *Journal of Insect Science*, 10(117), 1-11.

8. Anexos

Anexo 1. Especies de gramíneas preseleccionadas con base a los criterios expuestos en el enunciado “preselección del grupo de gramíneas para el cultivo trampa”. SNCC= Sin nombre común conocido o preexistente.

Nombre científico	Nombre común	Tribu perteneciente	Localidad (es)	Rango altitudinal (en msnm)
<i>Andropogon glomeratus</i>	SNCC	Andropogoneae	Paraíso	600-1750
<i>Arthraxon hispidus</i>	SNCC	Andropogoneae	Jiménez y Paraíso	1200-1800
<i>Arundinella deppeana</i>	SNCC	Arundinelleae	Cartago, Jiménez y Paraíso	0-1300
<i>Axonopus compressus</i>	Zacate amargo	Paniceae	El Guarco y Paraiso	0-1900
<i>Axonopus fissifolius</i>	Pie de paloma	Paniceae	El Guarco y Jiménez	1200-2500
<i>Axonopus micay</i>	SNCC	Paniceae	Cartago	0-1850
<i>Axonopus scoparius</i>	Zacate imperial	Paniceae	Jiménez, Paraíso y Oreamuno	1200-1350
<i>Chaetium bromoides</i>	Setilla	Paniceae	Cartago	1100-2000

<i>Coix lacryma-jobi</i>	Lágrimas de San Pedro	Andropogoneae	Cartago y Paraíso	0-1450
<i>Dichantherium acuminatum</i>	SNCC	Paniceae	Cartago	700-2400
<i>Dichantherium laxiflorum</i>	SNCC	Paniceae	El Guarco y Paraíso	1400-2800
<i>Dichantherium viscidellum</i>	SNCC	Paniceae	El Guarco y Jiménez	700-2000
<i>Digitaria abyssinica</i>	Alambrillo	Paniceae	Alvarado, Cartago, El Guarco y Paraíso	0-2200
<i>Digitaria costaricensis</i>	SNCC	Paniceae	El Guarco y Paraíso	1300-1950
<i>Ichnanthus nemorosus</i>	SNCC	Paniceae	Paraíso	50-2000
<i>Ichnanthus pallens</i>	SNCC	Paniceae	Cartago y Paraíso	0-1800
<i>Ichnanthus tenuis</i>	SNCC	Paniceae	Cartago	0-1900
<i>Isachne arundinacea</i>	SNCC	Isachneae	Cartago, El Guarco, Jiménez y Paraíso	0-2700
<i>Melinis minutiflora</i>	Calinguero	Paniceae	El Guarco y Paraíso	0-2200
<i>Oplismenus burmanni</i>	Colchoncito	Paniceae	Cartago	0-1800
<i>Oplismenus hirtellus</i>	Colchoncito	Paniceae	Alvarado	0-2700
<i>Panicum aquaticum. Var. Cartagoense</i>	SNCC	Paniceae	Alvarado y Paraíso	0-1700
<i>Panicum arundinariae</i>	SNCC	Paniceae	El Guarco y Paraíso	850-1800
<i>Panicum sellowii</i>	SNCC	Paniceae	Cartago y El Guarco	700-1700

<i>Paspalum acuminatum</i>	SNCC	Paniceae	Jiménez	700-1400
<i>Paspalum conjugatum</i>	Zacate amargo o Turvara	Paniceae	El Guarco y Paraíso	0-1700
<i>Paspalum distichum</i>	SNCC	Paniceae	Cartago	0- 1650
<i>Paspalum jaliscanum</i>	SNCC	Paniceae	El Guarco	1800
<i>Paspalum notatum</i>	Zacate bahía, zacate dulce o jenjibrillo	Paniceae	Cartago	0-1750
<i>Paspalum paniculatum</i>	Zacate cabezón	Paniceae	Cartago y El Guarco	0- 1450
<i>Paspalum repens</i>	SNCC	Paniceae	Paraíso	0-1350
<i>Paspalum saccharoides</i>	SNCC	Paniceae	Cartago, El Guarco, Jiménez y Paraíso	0-1800
<i>Paspalum turriforme</i>	SNCC	Paniceae	Paraíso	600- 1500
<i>Pennisetum clandestinum</i>	Kikuyo	Paniceae	Cartago	1300-3000
<i>Pennisetum purpureum</i>	Zacate elefante o gigante	Paniceae	Cartago	0-1800
<i>Pseudechinolaena polystachya</i>	SNCC	Paniceae	El Guarco y Jiménez	0-1600
<i>Saccharum officinarum</i>	Caña de azúcar	Andropogoneae	Jiménez	0-1700
<i>Sacciolepis indica</i>	SNCC	Paniceae	Jiménez y Paraíso	0-1900
<i>Setaria paniculifera</i>	Zacate de mula	Paniceae	Paraíso	0-1300

<i>Setaria parviflora</i>	SNCC	Paniceae	Cartago y Jiménez	0-2500
<i>Setaria viridis</i>	SNCC	Paniceae	Oreamuno	1500
<i>Sorghastrum incompletum.var incompletum</i>	SNCC	Andropogoneae	Paraíso	50-1300
<i>Thrasya campylostachya</i>	SNCC	Paniceae	Cartago	800-1500
<i>Urochloa plantaginea</i>	Arocillo	Paniceae	Cartago	50-1450

Anexo 2. Intervalos de confianza y valor de p de la prueba de comparaciones múltiples entre las especies de gramínea trampa.

Contraste	Odds ratio (IC 95%)	Valor-p
AGL-ASC	0.86 (0.56 - 1.33)	0.75
AGL-LAN	0.96 (0.61- 1.49)	0.96
AGL-PPA	0.77 (0.51 – 1.18)	0.32
AGL – PPU	0.97 (0.62 – 1.51)	0.96
AGL – PSA	0.70 (0.46 – 1.05)	0.13
AGL- SOF	0.92 (0.60 – 1.43)	0.93
AGL – TES	0.95 (0.61 – 1.48)	0.96
ASC – LAN	1.10 (0.72 – 1.69)	0. 80
ASC – PPA	0.89 (0.59 – 1.33)	0.77
ASC – PPU	1.12 (0.73 – 1.71)	0.77
ASC – PSA	0. 80 (0.54 – 1.19)	0.34
ASC – SOF	1.06 (0.70 – 1.62)	0.93

ASC – TES	1.10 (0.72 – 1.68)	0.80
LAN – PPA	0.80 (0.53 – 1.22)	0.35
LAN- PPU	1.01 (0.65 – 1.56)	0.96
LAN – PSA	0.72 (0.48 – 1.09)	0.13
LAN – SOF	0.96 (0.62 – 1.48)	0.96
LAN – TES	0.99 (0.64 – 1.53)	0.96
PPA – PPU	1.25 (0.82 – 1.90)	0.34
PPA – PSA	0.90 (0.61 – 1.32)	0.77
PPA – SOF	1.19 (0.79 – 1.80)	0.47
PPA – TES	1.23 (0.81 – 1.86)	0.35
PPU – PSA	0.71 (0.47 – 1.07)	0.13
PPU – SOF	0.95 (0.61 – 1.46)	0.96
PPU – TES	0.98 (0.63 – 1.51)	0.96
PSA – SOF	1.32 (0.88 – 1.98)	0.18
PSA – TES	1.36 (0.91 – 2.05)	0.13
SOF – TES	1.03 (0.67 – 1.58)	0.96

Anexo 3. Datos del primer objetivo para el análisis de la tasa de colonización de *S. frugiperda* en las gramíneas trampa.

Poda	Bloque	Especie	Nombre científico	Hojas_con_larva	Total_hojas
P	A	A	LAN	0	543
P	A	C	ASC	0	348
P	A	B	AGL	0	417
P	A	D	PSA	0	272
P	A	H	PPA	0	384
P	A	E	SOF	1	237
P	A	F	PPU	2	309

P	A	G	TES	NA	NA
P	B	H	PPA	0	357
P	B	A	LAN	0	489
P	B	B	AGL	0	392
P	B	F	PPU	3	294
P	B	G	TES	NA	NA
P	B	E	SOF	2	223
P	B	C	ASC	1	325
P	B	D	PSA	0	377
NP	A	E	SOF	2	216
NP	A	G	TES	NA	NA
NP	A	B	AGL	0	408
NP	A	A	LAN	0	432
NP	A	F	PPU	3	289
NP	A	H	PPA	0	320
NP	A	D	PSA	0	259
NP	A	C	ASC	0	332
NP	B	E	SOF	1	234
NP	B	A	LAN	0	631
NP	B	G	TES	NA	NA
NP	B	F	PPU	3	303
NP	B	B	AGL	0	411
NP	B	C	ASC	1	343
NP	B	H	PPA	0	452
NP	B	D	PSA	0	313

Anexo 4. Datos del segundo objetivo para el análisis del daño foliar que ejerce *S.frugiperda* en el maíz.

Poda	Bloque	Especie	Area_sana	Area_daño	Hojas_daño	Hojas_sanas
P	1	LAN	507.198	17.797	23	19
P	1	ASC	520.409	28.357	24	20
P	1	AGL	509.578	30.334	20	23
P	1	PSA	526.11	22.714	20	22
P	1	PPA	509.25	31.005	18	25
P	1	SOF	526.694	28.393	14	31
P	1	PPU	529.245	20.179	14	31
P	1	TES	520.493	23.774	26	15
P	2	PPA	496.108	27.541	17	25
P	2	LAN	507.477	36.538	19	22
P	2	AGL	517.203	20.807	20	23
P	2	PPU	507.606	27.94	8	38
P	2	TES	510.03	31.798	21	21
P	2	SOF	505.804	27.727	12	33
P	2	ASC	522.33	35.431	18	26
P	2	PSA	504.904	44.363	16	27
NP	1	SOF	510.672	26.985	10	36
NP	1	TES	510.685	21.707	23	19
NP	1	AGL	497.966	13.398	19	25
NP	1	LAN	501.595	27.195	20	23
NP	1	PPU	517.759	25.692	11	35
NP	1	PPA	511.496	25.617	18	26
NP	1	PSA	491.508	29.843	17	26
NP	1	ASC	500.287	26.032	22	23
NP	2	SOF	506.81	22.278	16	28
NP	2	LAN	504.454	18.886	18	22
NP	2	TES	521.808	25.806	24	17
NP	2	PPU	509.972	27.445	9	36
NP	2	AGL	502.752	32.594	21	20

NP	2	ASC	509.099	23.209	17	26
NP	2	PPA	518.74	41.161	16	26
NP	2	PSA	511.935	42.293	19	23

Anexo 5. Datos del segundo objetivo para el análisis de la propagación de incertidumbre mediante el método Monte Carlo.

Poda	Blo- que	Espe- cie	r1	r2	r3	r4	r5	r6	Hojas_dano	Hojas_sanas
P	1	LAN	4.387	1.979	1.122	5.943	1.785	2.581	23	19
P	1	ASC	3.247	1.31	5.83	1.928	9.84	6.202	24	20
P	1	AGL	3.065	4.885	8.125	5.407	2.684	6.168	20	23
P	1	PSA	2.449	1.024	4.732	4.637	8.379	1.493	20	22
P	1	PPA	2.709	1.998	8.087	2.107	8.506	7.598	18	25
P	1	SOF	2.114	5.611	2.646	7.672	2.03	8.32	12	33
P	1	PPU	1.549	4.207	3.325	5.952	0.866	4.28	14	31
P	1	TES	1.683	5.924	2.483	4.178	2.271	7.235	26	15
P	2	PPA	5.013	2.262	1.915	5.318	7.941	5.092	17	25
P	2	LAN	4.81	1.476	6.139	5.016	7.414	11.683	19	22
P	2	AGL	4.467	3.033	1.793	0.998	3.331	7.185	20	23
P	2	PPU	3.204	1.402	2.315	9.082	10.653	1.284	8	38
P	2	TES	0.905	3.416	4.932	8.607	12.045	1.893	21	21
P	2	SOF	1.745	6.048	7.386	1.692	4.133	6.723	14	31
P	2	ASC	3.872	5.356	3.139	11.822	3.759	7.483	18	26
P	2	PSA	4.329	1.696	5.853	10.383	12.198	9.904	16	27
NP	1	SOF	6.279	2.875	1.143	7.836	3.638	5.214	16	30
NP	1	TES	2.804	5.829	2.686	2.78	2.405	5.203	23	19
NP	1	AGL	3.509	1.353	1.077	3.206	2.621	1.632	19	25
NP	1	LAN	7.809	3.846	4.247	1.068	5.912	4.313	20	23
NP	1	PPU	1.12	4.956	7.725	5.378	4.544	1.969	11	35
NP	1	PPA	9.601	1.559	3.073	2.733	3.545	5.106	18	26
NP	1	PSA	2.773	6.779	7.674	7.601	2.097	2.919	17	26

NP	1	ASC	6.198	3.952	1.933	4.456	2.971	6.522	17	28
NP	2	SOF	3.776	0.849	4.846	3.418	5.141	4.248	10	34
NP	2	LAN	2.593	4.077	1.397	5.397	2.177	3.245	18	22
NP	2	TES	1.213	5.344	6.173	4.541	1.606	6.929	24	17
NP	2	PPU	3.427	7.089	3.177	7.19	4.345	2.217	9	36
NP	2	AGL	10.395	7.739	4.033	5.821	1.663	2.943	21	20
NP	2	ASC	5.07	6.685	2.039	0.936	3.571	4.908	22	21
NP	2	PPA	7.189	11.557	9.51	4.647	1.19	7.068	16	26
NP	2	PSA	11.648	10.143	9.204	6.432	3.024	1.842	19	23

Anexo 6. Código o script generado en R para el análisis del primer y segundo objetivo.

```
#Cargar paquetes
```

```
library(bbmle);library(visreg);library(dplyr);library(car);library(emmeans);library(propagate)
```

```
#Objetivo 1 - Análisis tasa de colonización
```

```
#Cargar base datos
```

```
datos <- read.csv(
```

```
  file = "datos_obj1_colonizacion.csv",
```

```
  colClasses = c("factor", "factor", "factor", "factor", "integer", "integer"),
```

```
  header = TRUE)
```

```
datos <- na.exclude(datos)
```

```
#Agregar columna de datos binarios que determine presencia o ausencia del gusano
```

```
datos$colonizacion <- ifelse(test = datos$hojas_con_larva > 0, yes = 1, no = 0)
```

```
#Crear modelos binomiales
```

```

modelo_1 <- glm(colonizacion ~ Poda + Nombre_cientifico + Bloque,
               data = datos, family = binomial(link = "logit"))
modelo_2 <- glm(colonizacion ~ Poda + Bloque,
               data = datos, family = binomial(link = "logit"))
modelo_3 <- glm(colonizacion ~ Nombre_cientifico + Bloque,
               data = datos, family = binomial(link = "logit"))
modelo_4 <- glm(colonizacion ~ Poda,
               data = datos, family = binomial(link = "logit"))
modelo_5 <- glm(colonizacion ~ Nombre_cientifico,
               data = datos, family = binomial(link = "logit"))
modelo_6 <- glm(colonizacion ~ Poda + Nombre_cientifico,
               data = datos, family = binomial(link = "logit"))
modelo_7 <- glm(colonizacion ~ Bloque,
               data = datos, family = binomial(link = "logit"))
modelo_8 <- glm(colonizacion ~ 1,
               data = datos, family = binomial(link = "logit"))

#Seleccion de modelos por AICc
AICctab(modelo_1,modelo_2,modelo_3,modelo_4, modelo_5, modelo_6
        , modelo_7, modelo_8, weights=TRUE, base= TRUE)

#significancia estadistica de variables en mejor modelo
Anova(modelo_3)
Anova(modelo_3)

##Intervalos de confianza de odds ratio de gramineas
confint(modelo_5)
exp(confint(modelo_5))

```

```

#significancia estadística de variable tratamiento poda
Anova(modelo_4)

#Odds ratios entre poda y no poda
exp(coef(modelo_4))
exp(confint(modelo_4))

#Odds ratios de las tasas de colonización en las especies de gramíneas
(plot1 <- visreg(modelo_5,"Nombre_científico", scale = "response"))
(data.plot1 <- as.data.frame(plot1$fit)) # En este dataframe están los coeficientes en escala
natural.

#Odds ratios de poda/no poda
visreg(modelo_4,"Poda", scale = "response")
(data.plot2 <- as.data.frame(plot1$fit))

#Figura de cantidad de larvas en gramíneas y por poda/no poda
library(dplyr);library(ggplot2)
resumen <- datos %>%
  group_by(Poda, Nombre_científico) %>%
  summarize(cantidad = sum(hojas_con_larva))

library(plyr)
resumen$Nombre_científico <- revalue(resumen$Nombre_científico,
  c("AGL" = "A. glomeratus",
    "ASC" = "A. scoparius",
    "LAN" = "Lantana spp.",
    "PPA" = "P. paniculatum",

```



```
"PPU" = "P. purpureum",  
"PSA" = "P. saccharoides",  
"SOF" = "S. officinarum"))
```

```
(plot1 <- ggplot(data=resumen, aes(x=Nombre_cientifico, y=cantidad, fill=Poda)) +  
  geom_bar(stat="identity", position=position_dodge(), colour="black") +  
  scale_fill_manual(values=c("#999999", "#E69F00")) +  
  theme_bw() +  
  ylab("Numero de larvas") +  
  theme(axis.title.x = element_text(color = "black"),  
        axis.title.y = element_text(size=12),  
        axis.text.x=element_text(colour="black", face="italic",  
                                  size=10,angle = 25, hjust = 1),  
        axis.text.y=element_text(colour="black", size = 10),  
        legend.text = element_text(size = 8),  
        legend.position='right',  
        axis.line = element_line(colour = "black"),  
        panel.grid.major = element_blank(),  
        panel.grid.minor = element_blank(),  
        panel.border = element_blank()  
  )  
)
```

```
ggsave("Colonizacion.pdf", plot1, width = 125, height = 90, units="mm",dpi = 300)
```

```
# Objetivo 2 - Analisis de daño foliar
```

```

#Cargar base datos
datos <- read.csv(
  file = "datos_obj2_danofoliar.csv",
  colClasses = c("factor", "factor", "factor", "numeric", "numeric", "integer", "integer"),
  header = TRUE
)

datos <- datos %>%
  mutate(suma_total = Area_sana + Area_dano) %>%
  mutate(prop_dano = Area_dano/suma_total)

#Crear modelos binomiales
glm1 <- glm(prop_dano ~ Poda + Bloque + Especie, family=binomial, weights=suma_total, data = datos)
glm2 <- glm(prop_dano ~ Poda + Bloque, family=binomial, weights=suma_total, data = datos)
glm3 <- glm(prop_dano ~ Especie + Bloque, family=binomial, weights=suma_total, data = datos)
glm4 <- glm(prop_dano ~ Poda + Especie, family=binomial, weights=suma_total, data = datos)
glm5 <- glm(prop_dano ~ Poda, family=binomial, weights=suma_total, data = datos)
glm6 <- glm(prop_dano ~ Especie, family=binomial, weights=suma_total, data = datos)
glm7 <- glm(prop_dano ~ Bloque, family=binomial, weights=suma_total, data = datos)
glm8 <- glm(prop_dano ~ 1, family=binomial, weights=suma_total, data = datos)

#Selección de modelos por AICc
AICctab(glm1, glm2, glm3, glm4, glm5, glm6,
  glm7, glm8, weights=TRUE, base= TRUE)

#significancia estadística de variables
Anova(glm1) #Modelo global

```

```
Anova(glm6) #Modelo especie
```

```
#Odds ratios entre especies de gramineas
```

```
emmeans(glm1, pairwise ~ Especie, adjust = "fdr")
```

```
data.frame(confint(pairs(emmeans(glm1, ~ Especie, type = "response"))))
```

```
(plot1 = visreg(glm1, "Especie", scale = "response"))
```

```
#Objetivo 2 - Expandir incertidumbre alrededor del mejor modelo
```

```
#Cargar base de datos
```

```
datos <- read.csv(file = "datos/datos_obj_2_propagate.csv", header = TRUE, colClasses =  
c("factor", "factor", "factor", "numeric", "numeric", "numeric", "numeric", "numeric", "numeric",  
"numeric", "numeric"))
```

```
#Identificar fuentes de incertidumbre
```

```
# Dividir datos en bloques
```

```
datos_lst <- split(x = datos, f = datos$Bloque)
```

```
datos_mtx <- sapply(X = datos_lst, FUN = function(X){
```

```
  val <- unlist(as.vector(X[,4:9]))
```

```
  return(val)
```

```
}, simplify = TRUE)
```

```
rm(datos_lst)
```

```
parametros <- apply(X = datos_mtx, MARGIN = 2, FUN = function(X){
```

```
  out <- fitDistr(X)
```

```
  return(out$par$Gamma)
```

```
)
```

```
(H_d <- tapply(X = datos$Hojas_dano, INDEX = datos$Bloque, FUN = function(X){  
  return(range(X))  
}, simplify = TRUE))
```

```
#Declarar el modelo de medición
```

```
nmcmc <- 10000 #simulaciones de Monte Carlo
```

```
MODELO_BLOQUE_1 <- expression(H_d1*a1)
```

```
a1 <- rgamma(nmcmc, shape = parametros["shape",1], rate = parametros["rate",1])
```

```
H_d1 <- runif(nmcmc, min = H_d[[1]][1], H_d[[1]][2])
```

```
data_B1 <- makeDat(MODELO_BLOQUE_1)
```

```
out_B1 <- propagate(MODELO_BLOQUE_1,data_B1,do.sim = TRUE)
```

```
out_B1
```

```
MODELO_BLOQUE_2 <- expression(H_d2*a2)
```

```
a2 <- rgamma(nmcmc, shape = parametros["shape",2], rate = parametros["rate",2])
```

```
H_d2 <- runif(nmcmc, min = H_d[[2]][1], H_d[[2]][2])
```

```
data_B2 <- makeDat(MODELO_BLOQUE_2)
```

```
out_B2 <- propagate(MODELO_BLOQUE_2,data_B2,do.sim = TRUE)
```

```
out_B2
```

```
# El daño foliar predicho para las unidades de muestreo de bloque 1 y bloque 2 es muy similar, y  
la gran mayoría del ámbito de valores predichos se sobrepone entre ambos bloques.
```

