Estrategias de control del picudo del algodón (*Anthonomus grandis* Boheman) en el Caribe Colombiano: Un modelo conceptual

Oscar Burbano-Figueroa^{a,c,*}, Alexandra Sierra-Monroy^{b,e}, Liliana Grandett Martinez^c, Christian Borgemeister^a, and Eike Luedeling^d

^a University of Bonn, Center for Development Research (ZEF), Genscherallee 3, D-53113, Bonn, Germany

^b Instituto Colombiano Agropecuario (ICA), Laboratorio de Diagnóstico Fitosanitario - ICA Seccional Tolima (LDF – Tolima), Barrio Santa Helena, Ibagué, Tolima, Colombia

^c Corporación Colombiana de Investigaciones Agropecuarias (AGROSAVIA), Centro de Investigación Turipaná, Vía Montería - Cereté Km 13, 230558, Cereté, Córdoba, Colombia

^d University of Bonn, Department of Horticultural Sciences, Institute of Crop Science and Resource Conservation (INRES), Auf dem Hügel 6, D-53121, Bonn, Germany.

^e AVAnalytics, 1670 NW 82 Avenue, 33191, Doral, Florida, United States.

* Autor para correspondencia. Email: burbano.figueroa1@gmail.com

<https://doi.org/10.31220/osf.io/db8nu>

RESUMEN

El picudo del algodonoero *Anthonomus grandis* Boheman (Coleoptera: el Curculionidae) es la principal plaga del algodón [*Gossypium hirsutum* L. (Malvaceae)] en las regiones productoras de las Américas. En el Caribe colombiano es la principal limitante económica para la producción de algodón. Las explosiones poblacionales de esta plaga son frecuentes en el Caribe resultando en la aplicación de hasta 15 insecticidas para controlar el picudo durante la temporada algodonera y en la prohibición de la siembra del cultivo en algunas localidades. La mayor parte de la información para el manejo de esta plaga corresponde a múltiples fuentes de literatura gris (reportes técnicos) y conocimiento no formalizado desarrollado por agricultores y asistentes técnicos. Este estudio recopila esta información utilizando un enfoque estandarizado de construcción participativa de modelos conceptuales para sistemas agrícolas. El modelo conceptual desarrollado en este estudio integra el conocimiento local no formalizado obtenido de expertos en el manejo del cultivo y reportes técnicos científicos relacionados con las estrategias de manejo del picudo del algodonoero. Los datos recopilados fueron evaluados y organizados bajo un enfoque de sistemas que facilita el desarrollo futuro de modelos cuantitativos y permite la visualización de brechas de conocimiento. El sistema descrito por el modelo incluye dos subsistemas: biológico y técnico. Este último subsistema describe el manejo del picudo en dos escalas espacio-temporales: el manejo a escala de campo (en el terreno) ejecutado durante la temporada algodonera y la estrategia regional (parte del programa nacional) de supresión del picudo del algodonoero dirigida principalmente a controlar las poblaciones de insectos que sobreviven entre las temporadas algodonerías. La construcción de este modelo conceptual permitió visualizar las estrategias de manejo actualmente usadas en el control del picudo, formular hipótesis sobre la efectividad de las estrategias de manejo y proporcionar pautas para futuros trabajos de investigación. Este modelo conceptual es una línea de base para el desarrollo de modelos cuantitativos y simulaciones que describen el manejo del picudo del algodonoero en el Caribe y para la formulación efectiva de un programa de manejo integrado de esta plaga en la región.

1. Introducción

El picudo del algodono *Anthonomus grandis* Boheman (Coleoptera: el Curculionidae) es la plaga más limitante del algodón [*Gossypium hirsutum* L. (Malvaceae)] en el continente americano (CABI 2019; Lanteri et al. 2003). Su alto impacto en los sistema de producción de algodón está determinado por: i) el comportamiento migratorio de la especie que facilita la dispersión; ii) la alta capacidad reproductiva o ciclo de vida multivoltino; iii); ausencia de enemigos naturales; iv) capacidad de aumentar significativamente su población a partir de un número moderado de adultos (hibernados) y generar pérdidas en rendimientos en el lapso de una sola generación (Stadler and Buteler 2007); y v) poseer una gran variabilidad genética que permite que la plaga se adapte rápidamente a los cambios ambientales o nuevos entornos, conservando su amplia capacidad de multiplicación y daño en los cultivos (Leigh et al. 1996). Tres subespecies o poblaciones de *A. grandis* son identificadas: *grandis*, *thurberiae* e *intermedia*. (Alvarado et al. 2017; Barr et al. 2013; Kuester et al. 2012; Roehrdanz 2001; Warner 1966; Werner 1960).

A. grandis grandis es la subespecie dominante en América del Sur (Burke et al. 1986; Warner 1966), con al menos dos morfotipos distintos (Scataglino et al. 2006). En Colombia, el picudo del algodono es endémico en

las sabanas secas y húmedas de las llanuras del Caribe y en la parte superior de los valles interandinos de los ríos Magdalena y Cauca. Los Llanos Orientales y el valle de Patía son zonas libres del picudo del algodón (CONALGODÓN et al. 2018; Ñañez 2012; ICA 2009; ICA 2000). Al igual que en otros países sudamericanos, en Colombia es la principal plaga limitante de los cultivos de algodón, lo que resulta en importantes pérdidas de rendimiento con costos de manejo que alcanzan hasta el 10% de los costos totales de producción (Osorio-Almanza et al. 2018). Las pérdidas asociadas a esta plaga se estiman en 250 - 500 kilos/ha de algodón-semilla cuando el control es inoportuno (CONALGODÓN et al. 2018; Ñañez 2012). La estrategia principal en Colombia para el control de picudo del algodón es el uso de aplicaciones de insecticidas de síntesis química que aumentan los costos de producción de los cultivos y afectan negativamente la sostenibilidad ambiental del cultivo (ICA 2010). En los últimos 15 años, el país registró un promedio de 7 aplicaciones (con valores más altos para algunas regiones) contra las plagas de algodón, el 70% de los cuales se utilizó para controlar el picudo del algodón (Ñañez 2012).

A pesar de la repercusión económica del picudo del algodón en Colombia, no existe descripciones apropiadas del ciclo de vida del insecto y su manejo. En el caso del Caribe colombiano, la descripción y evaluación de las estrategias de manejo de esta plaga está contenida en literatura gris. La mayor parte de las estrategias usadas en el manejo de esta plaga están basadas en el conocimiento informal de los asistentes técnicos y los agricultores. En ausencia de conocimiento formalizado que pueda usarse para evaluar estas decisiones de manejo, el uso de modelos conceptuales es una herramienta que permite compilar, discutir e intercambiar conceptos e hipótesis, integrando el conocimiento de los asistentes técnicos, agricultores y investigadores. Los modelos conceptuales permiten incluir las especificidades locales de los sistemas de producción rural al tiempo que proporcionan transparencia y un flujo claro de información representada en un resumen gráfico del conocimiento teórico y práctico de un sistema (Meylan et al. 2013; Lamanda et al. 2012). El propósito de este estudio fue desarrollar un modelo conceptual que recopile, organice y combine conocimiento informal y disciplinario relacionado con el manejo de *A. grandis grandis* en el Caribe colombiano. Este modelo conceptual es un estudio de caso para el manejo de esta plaga en los trópicos, donde la comprensión es escasa en comparación con el conocimiento en regiones subtropicales y templadas. Este estudio permite compilar el actual conocimiento de la biología y las estrategias de manejo del picudo del algodón, el desarrollo de hipótesis relacionadas con la efectividad de las medidas de manejo y la generación de nuevas estrategias para evaluar en futuras pruebas de campo.

METODOLOGÍA

Área de estudio

Este modelo conceptual fue diseñado para describir las estrategias de manejo de picudo del algodón usadas en las áreas productoras de algodón del Caribe colombiano, específicamente en el Valle de Sinú (Departamento de Córdoba) y el Departamento del Cesar. El Valle de Sinú está dividido de sur a norte en tres zonas llamadas Valle del Sinú alto, medio y bajo, predominando un clima monzónico en el sur y un clima de sabana húmeda en el norte. El Departamento del Cesar presenta un clima de sabana seca en el norte y de sabana húmeda al sur. La literatura local suele llamarle Caribe seco a las porciones de las planicies del Caribe que exhiben climas de sabana seca y Caribe Húmedo a las regiones con climas de sabana húmeda y monzón.

Colecta de datos

Los datos utilizados para construir el modelo conceptual se obtuvieron de dos fuentes. Para identificar variables y parámetros asociados con las operaciones técnicas involucradas en manejo de *A. grandis*, fueron realizadas entrevistas semi-estructuradas con expertos técnicos. El grupo de expertos de conocimiento que participaron en el desarrollo del modelo inicial incluyeron un fisiólogo con experiencia en el cultivo de algodón, 3 agricultores, 4 entomólogos (3 con experiencia en el manejo del picudo del algodón y uno con experiencia en ecología de insectos) y 5 asistentes técnicos (que son responsables en una alta proporción de toda el área productora de

algodón de la región del Caribe). Esta nueva versión del modelo conceptual incluye el papel de las agencias gubernamentales en el desarrollo de las estrategias de manejo.

La información publicada formal e informalmente sobre el manejo del picudo del algodnero fue obtenida a través de la investigación bibliográfica. Primero, utilizamos las palabras clave *Anthonomus grandis* y “algodón” como términos de búsqueda en Google, Google Scholar, Agris (<http://agris.fao.org/agris-search/index.do>) y en la Biblioteca Agrícola Colombiana (BAC) (<https://repository.agrosavia.co/>). Estas búsquedas resultaron principalmente en informes técnicos (literatura gris). Algunos informes técnicos y tesis fueron procedentes de bibliotecas locales o archivos personales. Toda la literatura gris fue evaluada y registrada manualmente para citación bibliográfica en F1000 Workspace. Las publicaciones científicas fueron identificadas con cadenas de búsqueda específicas que describen el proceso biológico y manejo del picudo del algodnero en Google Scholar. Los hallazgos descritos en estos documentos fueron registrados como notas individuales y se discutieron entre los miembros del equipo de campo con el apoyo de expertos técnicos.

Los expertos en conocimiento disciplinario y los informes técnicos están asociados al Instituto Colombiano Agropecuario (ICA), la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (CORPOICA, hoy denominada AGROSAVIA) y la Confederación Colombiana del Algodón (CONALGODON). Los asistentes técnicos pertenecen a las asociaciones de agricultores, o personas jurídicas registradas por la oficina local de CONALGODON. ICA es una institución pública dedicada principalmente a aplicar prácticas regulatorias relacionadas con medidas sanitarias y fitosanitarias y prevenir riesgos biológicos y químicos que pueden afectar a especies animales y vegetales. AGROSAVIA es una empresa estatal compuesta por 13 centros de investigación dedicados a la investigación, el desarrollo y la innovación para el sector agrícola, incluido el sector pecuario. ICA y AGROSAVIA son instituciones descentralizadas pertenecientes al Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. CONALGODON es la asociación nacional que representa a los agricultores algodneros y desmotadoras del país.

El modelo conceptual y una versión preimpresa en español de este manuscrito fue discutida con miembros de estas organizaciones afiliadas al Comité Regional del Algodón (CRA). Este comité forma parte de una iniciativa local de los agricultores del Valle de Sinú que se reúne mensualmente para discutir, proponer y evaluar todas las acciones relacionadas con la cadena de valor del algodón en el Valle de Sinú.

2. Construcción del modelo conceptual

A partir de la información obtenida durante la recopilación de datos, creamos un modelo utilizando un protocolo previamente descrito para la construcción de modelos conceptuales de agroecosistemas (Lamanda et al. 2012)

Este protocolo incluye los siguientes pasos:

(i) análisis estructural para identificar los límites del sistema, subsistemas, componentes, factores que afectan el sistema y los indicadores para evaluar el desempeño del sistema.

(ii) análisis funcional para identificar las relaciones entre los componentes del sistema, los factores y los indicadores de desempeño.

(iii) análisis dinámico para describir el comportamiento del sistema, los subsistemas y los componentes más importantes del modelo a través del tiempo. En esta etapa debe verificarse si los modelos conceptuales estructurales y funcionales son capaces de representar la dinámica del sistema. Los escenarios de manejo son identificados mediante el análisis de las escalas espacio-temporales del subsistema técnico.

El análisis dinámico del proceso de toma de decisiones del subsistema técnico fue desarrollado empleando la perspectiva usada en operaciones logísticas. Esta perspectiva es empleada en análisis y planificación de operaciones complejas, desde el transporte y la distribución de mercancías hasta la gestión de operaciones con

el fin de lograr un objetivo específico para los clientes (Swamidass 2000). Este enfoque es aplicado a varios problemas de base biológica, incluido el manejo de plagas (Rabbinge et al. 1993; Conway 1984). En la perspectiva de operaciones logísticas, el proceso de toma de decisiones puede considerarse un sistema en sí mismo que incluye varios procesos dinámicos que requieren organización y gestión en diferentes escalas espacio-temporales u horizontes de planificación (planificación jerárquica). Las decisiones relacionadas con el manejo de *A. grandis* fueron clasificadas en las siguientes escalas espacio-temporales:

- Políticas
- Nivel estratégico
- Decisiones tácticas
- Decisión operativas

Las políticas y la decisión a nivel estratégico requieren las perspectivas de horizonte de planificación más largas que cubren décadas o años, mientras que los horizontes de decisiones tácticas y operativas no son mayores de un año (Wernz and Deshmukh 2012; Farahani et al. 2011; Swamidass 2000). Para cada nivel de decisión hay un tomador de decisiones capaz de afectar el resultado de su nivel de decisión y eventualmente afectar el rendimiento del sistema (Tabla 4)

3. Un modelo conceptual de manejo del picudo del algodónero para el Caribe colombiano

El objetivo de este estudio es desarrollar un modelo conceptual que describa las estrategias utilizadas en el Caribe colombiano para el manejo del picudo del algodónero. Este modelo conceptual contiene conocimiento disciplinario e informal y tiene como objeto comprender cómo poder mejorar las estrategias de control actuales para disminuir el uso de insecticidas químicos y costos de producción y reducir las pérdidas de rendimiento de fibra asociadas con el picudo del algodónero. La representación de las estrategias de manejo del picudo del algodónero está complementada con las descripciones del desarrollo fenológico del cultivo y la plaga e interacción entre ellas (variaciones espacio-temporales de la población de picudo del algodónero y daño del algodón).

Dos subsistemas fueron incluidos en la descripción del modelo de gestión del picudo del algodónero: i) el subsistema biológico que describe la disponibilidad de plantas de algodón durante el año (y la fenología del algodón), la dinámica de la población de picudo del algodónero y la interacción algodón-picudo; y ii) el subsistema técnico-decisional que describe las estrategias de gestión utilizadas para el control de picudo del algodónero (Figura 1). Las estrategias de manejo ocurren en dos escalas espacio-temporales: una estrategia de manejo regional concentrada entre temporadas algodóneras (de marzo a agosto) y el manejo local a escala de finca durante la temporada de algodón (de agosto a marzo) (Tabla 1).

Para el periodo comprendido entre dos temporadas algodóneras, todas las operaciones técnicas están desarrolladas bajo una sola estrategia: disminuir el tamaño de las poblaciones del picudo del algodónero que migran. Este escenario estratégico se llamó Escenario 0 y las acciones desarrolladas en este escenario determinan el tamaño de la población de picudo que colonizará los cultivos de algodón a mediados de un año. Durante la temporada algodónera fueron identificados dos escenarios tácticos de manejo: i) una táctica de prevención con aplicaciones tempranas calendario de insecticidas para limitar o detener el establecimiento de poblaciones del picudo en los cultivos de algodón; y ii) una táctica de control con aplicaciones basadas en monitoreo cuando son detectados los ataques del picudo del algodónero en el campo. Estos escenarios tácticos fueron denominados Escenario 1 y Escenario 2, respectivamente (Tabla 2).

Figura 1. Modelo conceptual que describe estrategias y tácticas de manejo utilizadas para el control de *Anthonomus grandis* en la región del Caribe colombiano. Esta descripción incluye dos subsistemas: el subsistema biológico que incluye el picudo del algodonero, los cultivos de algodón (Upland) y las interacciones entre ambos componentes; y el subsistema técnico que describe las estrategias de manejo desarrolladas durante la temporada algodonera y entre las temporadas algodoneras. Para la temporada algodonera, dos escenarios tácticos de manejo fueron identificados que asumen diferentes hipótesis de cómo interactúa el picudo con las plantas de algodón.

Tabla 1. Elementos de un modelo conceptual que describe el manejo de *Anthonomus grandis* en la región del Caribe colombiano

* KE es el código asignado a cada uno de los expertos que participaron en el desarrollo del modelo conceptual. Referencias adicionales y descripción de expertos en documento anexo.

* KE es el código asignado a cada uno de los expertos que participaron en el desarrollo del modelo conceptual. Referencias adicionales y descripción de expertos en documento anexo.

Tabla 2. Dinámica temporal del algodón, de *Anthonomus grandis* y del manejo de esta plaga durante la temporada del algodón.

Componentes	Variables de estado o parámetros	Descripción	Desarrollo fenológico del algodón relacionado con la ocurrencia del picudo del algodonero					Fuente de la información	
Subsistema biológico									
Cultivo de algodón	Desarrollo fenológico del algodón (DDE) *	Eventos fenológicos / regiones de Colombia	Primer botón floral	Primera flor blanca	Apertura de cápsulas (las estimaciones se basan en ensayos de ubicaciones múltiples del cultivo M123)		Periodo vegetativo completo	Pérez et al. 1986 Cadena et al. 2001 Corpoica 2001b Corpoica 1999 Corpoica 2001c Corpoica 2001a.	
		Sabana seca del Caribe	25	44	97		120-130		
		Valle del Alto Magdalena	27-35	46	98		120-130		
		Llanos Orientales		54	100		130-145		
		Valle del Sinú	25-35	52-58	105-112		135-145		
		Valle del Cauca Alto		59	122-125		145-152		
Anthonomus grandis	Población de A. grandis	Cambios demográficos en la población del insecto	Población inmigrante		Población establecida		Polación residente	Población emigrante	KE22, KE23
		Las poblaciones de picudo del algodonero llegan al cultivo en un intervalo de tiempo de 28-60 DDE en función de la capacidad de carga del medio ambiente durante la temporada algodonera. La tasa de crecimiento de la población y el tamaño solo están limitados por la disponibilidad de botones y cápsulas. A bajas densidades, el picudo prefiere los botones sobre las cápsulas. Los datos del índice de trampas sugieren que la destrucción de las socas de algodón influye en la emigración de las poblaciones de picudo del algodonero a lugares de refugiados.							
	Daño del cultivo por A. grandis	La población de picudo aumenta su tamaño proporcionalmente a los botones disponibles. El daño es proporcional a la población existente de picudo del	Daño por alimentación temprana en terminales de algodón tierno antes de la aparición del botón		Las crecientes poblaciones de picudo del algodonero causan daños en botones, flores y cápsulas. Las poblaciones de picudo del algodonero exhiben un crecimiento lineal proporcional a las estructuras reproductivas disponibles		Disminución de daños por alimentación y oviposición. Hay una disminución de huevos que ponen las hembras.		CONALGODÓN et al. 2018
		El picudo del algodonero de ambos sexos inician su alimentación con el polen de los botones, causando daños por alimentación y oviposición							
	Dinámica espacio-temporal	Cambios espacio-temporales de las poblaciones de picudo del algodonero cuando atacan cultivos de algodón	S1. Etapa inicial	S2. Etapa de establecimiento	S3. Etapa de invasión o avance	S4. Etapa de generalización	Migración		Gómez Lopez, 1981, INTA 2014
			Desarrollo de puntos críticos de infestación. Los ataques de picudo del algodonero comienzan a orillas del cultivo, estos daños principalmente por oviposición. El daño varía desde varios botones atacados en una sola planta hasta multiples botones de varias plantas (entre 5 y 10) cercanas una de otra.	Establecimiento de población de picudo del algodonero en las zonas calidas. Hay un daño en la alimentación y la oviposición en los puntos críticos. Este daño es causado principalmente por la primera generación del picudo del algodonero proveniente de focos iniciales (S1). Es posible ver algunos adultos provocando daños en los botones o alimentándose de las flores	Esta es una etapa crucial para el manejo del picudo del algodonero en el escenario 2. La tasa de crecimiento de la población de picudo del algodonero no puede controlarse usando prácticas culturales. Durante esta etapa, hay daños en botones y flores y todas las etapas del ciclo de vida de picudo del algodonero son observables en el campo. Los adultos se pueden detectar	Todos las fases de desarrollo del picudo del algodonero se observan en los cultivos. Las flores contienen más de 1 picudo del algodonero adulto. Pérdidas significativas de rendimiento o pérdida total.	Migración de poblaciones de picudo del algodonero a lugares de refugiados.		
Subsistema técnico									
Escenario 1. Evitar la infestación de cultivos de algodón del picudo del algodonero.	Operaciones técnicas (OT)	1-2 aspersiones de insecticida de campo completo		5 - 6 aspersiones de insecticida de campo completo			defoliación		
	Evento relacionado con la decisión de iniciar la OT	los insecticidas se aplican con la aparición del primer botón.		Aplicaciones adicionales de insecticidas cuando la población de picudo se está estableciendo			Abertura de capsulas y cosecha		Negrete Barón et al. 2005, KE01, KE16, KE22
	Tiempo (DDE) cuando se desarrolla la OT	28 DDE aprox.		68 DDE approx.			120 - 150 DDE		
Escenario 2. Reducción de la tasa de crecimiento de la población de picudo del algodonero	Operaciones técnicas (OT)	Aspersiones de insecticidas basados en la detección y control de puntos críticos de infestación (IHS).	Cuando un foco de A. grandis es detectado se inicia el esquema de aplicaciones de insecticidas para interrumpir el ciclo de vida del picudo. Este esquema incluye tres aplicaciones diarias de insecticida cada 4 días directamente sobre el IHS seguido de aplicaciones generales de insecticida . Además, es necesario la recolección manual de las estructuras dañadas de las plantas y del suelo.			Hasta 15 aplicaciones de insecticidas	Defoliación		
	Evento relacionado con la decisión de iniciar la OT		Exploración	Ocurrencia de puntos calientes de infestación de picudo del algodonero.		Picudo del algodonero adultos alimentándose de flores	Abertura de capsulas y cosecha	Gomez 1981, Yepes R. 1997, KE01, KE16, KE22	
	Tiempo (DDE) cuando se desarrolla la OT		48 DDE		82 DDE		120 - 150 DDE		

* DDE, días después de la emergencia

3.1 Subsistemas

3.1.1 Subsistema biológico

Desarrollo fenológico del algodón

Las plantas de algodón crecen mediante la producción de nudos a partir de un tallo principal. Las primeras ramas fructíferas se generan a partir del quinto o sexto nudo. Una vez que la primera rama alcanza su tamaño final, aparece el primer botón floral. Como planta perenne, los botones florales emergen continuamente hasta que se termina el cultivo. En el cultivo de algodón es empleada una terminología específica para designar procesos biológicos o procesos de manejo del cultivo. En el caso de los frutos del algodón se denominan “bellotas” y en español colombiano “cápsulas”.

El desarrollo fenológico del algodón en las áreas de cultivo en Colombia exhibe una variación espacial asociada con la fertilidad del suelo, el clima (altitud) y la disponibilidad de agua, además de la variación biológica relacionada con los cultivares. Las condiciones ambientales húmedas provocan períodos vegetativos más largos, mientras que los períodos secos o sequías acortan el período vegetativo. Los ensayos de campo del cultivar M123 ilustran cómo cambian los períodos vegetativos en las regiones algodonerías colombianas (Tabla 2). Los períodos vegetativos en el Caribe son más cortos en las ubicaciones de sabana seca (As) que en la sabana húmeda (Aw). Las fechas de floración difieren entre estos lugares en aproximadamente 10 días, y diferencias similares son esperadas para la formación de cápsulas (Cadena Torres et al. 2001). Los genotipos modernos de algodón Upland utilizados en Colombia (cultivares estadounidenses y colombianos) exhiben períodos vegetativos cortos. Las diferencias máximas esperadas en los tiempos de floración entre los cultivares son de hasta 3 días (CORPOICA 2000) lo que significa que los factores ambientales (lluvia) tienen un mayor efecto sobre el desarrollo fenológico que las diferencias entre los cultivares.

Aunque el algodón es una planta perenne, generalmente se maneja como cultivo de ciclo corto. Debido a la naturaleza perenne de la planta, las socas de algodón deben destruirse al final de la temporada de cultivo. Por razones fitosanitarias, la destrucción de las socas del algodón debe ser una actividad obligatoria para todos los agricultores. Sin embargo, debido a limitaciones técnicas y socioeconómicas, una fracción considerable de los agricultores no desarrollan esta tarea a tiempo, y con frecuencia las operaciones técnicas utilizadas para la destrucción de la parte aérea no son efectivas para detener el crecimiento del algodón. En estas circunstancias, socas de algodón pueden reanudar el crecimiento (rebrotos) en abril al comienzo de la próxima temporada de lluvias, como también puede existir la emergencia de plantas voluntarias las cuales emergen de las semillas que quedan de la cosecha. Estas plantas constituyen un refugio crítico para el picudo del algodonerero, que puede alimentarse y reproducirse en ellas entre finales de agosto y mayo. Es posible observar en junio áreas de socas y plantas voluntarias provocando que las poblaciones del picudo del algodonerero solo se enfrentan a dos o tres meses sin su cultivo hospedero preferido. Un período tan corto sin alimento permite que una fracción considerable de la población de picudo sobreviva, lo que facilita la rápida colonización de los cultivos en la siguiente temporada algodonería (Figura 2).

El tiempo de generación para las poblaciones del picudo del algodonerero en las llanuras del Caribe es de 15 a 17 días (Ñañez 2012) y 22 días en el clima tropical moderado de la parte superior del Valle del Cauca (Morales et al. 1994), lo que sugiere que la temperatura (que se correlaciona con la altitud) afecta el desarrollo del picudo del algodonerero y las pérdidas asociadas en las regiones algodonerías colombianas. La variación reportada en la población de picudo depende de los gradientes latitudinales de las distintas regiones algodonerías del continente americano. (Smith and Harris 1994; Loftin 1946). El efecto de la temperatura sobre el desarrollo del picudo del algodonerero fue evaluado en condiciones de laboratorio, mostrando que los tiempos de generación más cortos se alcanzan a 30°C (Figura 3) (Martins Caldeira 2017; Spurgeon and Suh 2017; Greenberg et al. 2005).

Figura 2. Ventana de tiempo para las fechas de siembra de algodón, soca, rebrotes y plantas voluntarias. Estas poblaciones de algodón permiten la reproducción activa de *Anthonomus grandis* durante todo el año. En el español colombiano, el término “verano” es usado para designar la temporada seca o con ausencia de precipitaciones, y el término “invierno” es empleado para designar la temporada de lluvias. En este documento, los términos verano e invierno son usados en su definición técnica que es equivalente a la de los términos en inglés “summer” y “winter” (no en el uso coloquial que le es dado en Colombia). La región del Caribe colombiano presenta un patrón de lluvia bimodal y el algodón es cultivado en la estación lluviosa principal. La región exhibe variación en la cantidad de precipitación de occidente a oriente sin abandonar el patrón bimodal de precipitación. El “Veranillo de San Juan” es la sequía anual de menor longitud que interrumpe la temporada de lluvias en el Caribe y América Central provocando el patrón de lluvias bimodales. Este fenómeno meteorológico está asociado al predominio de las corrientes de viento de bajo nivel del Caribe durante el Solsticio de Invierno Austral. El patrón de precipitación bimodal asociado con el “Veranillo de San Juan” (estación seca prolongada durante el invierno boreal y estación seca más corta durante el invierno austral) define el clima de la parte central y norte de Colombia (el territorio ubicado a más de 2 ° latitud norte) (Bendix and Lauer 1992)¹.

¹ En las regiones templadas de Sudamérica, el “Veranillo de San Juan” provoca incrementos inesperados en la temperatura durante el invierno austral. Este fenómeno meteorológico está asociado a un flujo ininterrumpido del Frente Subantártico en su camino hacia el norte.

Figura 3. Desarrollo del picudo algodonero en relación a la temperatura. A bajas temperaturas (15 °C), el picudo del algodonero requiere más de 40 días para completar su ciclo de vida completo. A temperaturas entre 30-35 °C, el picudo del algodonero puede alcanzar la madurez entre 10 a 20 días. Para el Caribe con temperaturas promedio alrededor de 30° C, el consenso general es que el picudo alcanza la edad adulta en 12 días. (Martins Caldeira 2017; Greenberg et al. 2005).

Tabla 3. Descripción de la dinámica temporal de las poblaciones del picudo del algodónero a lo largo del año

Subsistemas	Componentes	Variables de estado (o parámetros)	Relaciones entre variables	Año				Fuente
				1er Trimestre	2do trimestre	3er Trimestre	4to trimestre	
Anthonomus grandis	Poblaciones del picudo del algodónero que habitan entre temporadas algodonerías	Población de picudos del algodónero refugiados	Varios huéspedes de alimentación permiten que el picudo del algodónero sobreviva en el medio ambiente cuando no hay algodón disponible. Estos refugios no favorecen la reproducción del picudo.	Refugios.				KE01, KE24
		P1	Las poblaciones de picudo del algodónero que se reproducen activamente en las socas y rebotes de algodón.	Socas y rebotes de algodón.				
		P2	Las poblaciones de picudo del algodónero que sobreviven en plantas voluntarias de algodón que crecen en campos de maíz (cultivo rotativo).		Plantas voluntarias de algodón Cultivos de maíz.			
		P3	Población de picudo del algodónero migrante a mitad de año. Esta población colonizará los cultivos de algodón en la próxima temporada. Esta población son los agregados de picudos ubicados en los refugiados y las poblaciones migratorias de P1 y P2.			Población migrante del picudo del algodónero.		
	Poblaciones de picudos que crecen en los cultivos de algodón	Parámetros que describen la dinámica de la población de picudos que crecen en el algodón	Poblaciones que crecen en cultivos de algodón de P3. Esta población se reproduce activamente en las estructuras reproductivas del algodón.	Cultivos de algodón.				
	Población migrante (circulante) del picudo del algodónero en una región	Regiones productoras de algodón	Esta población se puede estimar a partir de los datos de dinámica poblacional recolectados por ICA y CONALGODON utilizando trampas de feromonas (con la excepción de la temporada de algodón, cuando el cultivo es más atractivo para el picudo del algodónero). Estos registros se pueden convertir al índice de trampa como representaciones de la densidad de población. Las trampas se distribuyen como una proporción de uno por 100 hectáreas o una por 50 herctarias.	P1 y P2 pueden calcularse a partir de los datos de la trampa y las estimaciones de la población de picudo que pueden sobrevivir en tallos de algodón y plantas voluntarias.	El picudo se siente fuertemente atraído por el cultivo. El tamaño de esta población puede estimarse a partir de simulaciones utilizando expertos en conocimiento y modelos anteriores.			
Regiones donde el algodón ya no se cultiva		ICA utiliza los datos de trampa para evaluar las áreas libres de picudo del algodónero en el país o áreas con baja prevalencia de picudo. Esta densidad de población es una representación del tamaño de las poblaciones que sobreviven en los lugares de refugiados o la capacidad de soporte del medio ambiente para esta plaga.						

Daño del cultivo causado por el picudo del algodónero

El picudo del algodónero afecta directamente el rendimiento de fibra y la productividad del cultivo a través de la reducción del número de botones (abscisión) y el daño de las cápsulas. El algodón es una planta de crecimiento indeterminado, capaz de recuperar sus estructuras reproductivas. Sin embargo, cuando una población de picudo del algodónero ya está establecida, todas los botones florales de cualquier edad pueden ser consumidas directamente por el picudo del algodónero ((INTA 2014; Palomo Rodríguez et al. 2014). Se observa dos tipos de daño de botones en campo: por oviposición y alimentación. Los botones con un tamaño entre 5-8 mm son sitios de oviposición preferidos para las hembras del picudos del algodónero (Ñañez 2012; Barragan et al. 2005; Greenberg et al. 2004). Los botones dañados por la alimentación de picudo del algodónero pueden seguir su desarrollo fenológico y alcanzar las etapas de floración y fructificación, pero los botones ovipositados sufren abscisión y caen al suelo, donde el insecto termina su desarrollo dentro del botón. Las cápsulas también son atacadas por picudos del algodónero, pero el daño de las larvas no ocasiona su caída y afectan uno o más lóculos (Ñañez 2012; Barragan et al. 2005). El desarrollo fenológico del picudo lleva más tiempo en las cápsulas de algodón en comparación con los botones (Loftin 1946).

No hay un acuerdo entre los expertos sobre la existencia de diapausa en el picudo del algodón. En las regiones templadas donde se siembra algodón, la diapausa está definida como un período de desarrollo suspendido que generalmente coincide con las condiciones frías del invierno, o con la ausencia de un hospedero capaz de mantener la reproducción del picudo del algodón. En el último caso, la diapausa puede terminar si el picudo puede acceder a una fuente adecuada de alimento (botones de algodón). El concepto bastante impreciso de "diapausa facultativa" ha sido propuesto para designar la dependencia alimentaria específica que el picudo tiene por el algodón (Showler 2010; Showler 2009). Sin embargo en los trópicos, no hay evidencia que muestren que las poblaciones de picudo del algodón experimenten diapausa y, al menos en términos de temperatura, el picudo nunca experimenta condiciones que le impida continuar con su desarrollo. Una descripción alternativa local del ciclo de vida del picudo del algodón (Lobatón García 1981) propone la existencia de sólo dos poblaciones distintas: la población de picudo en migración y la de picudo en reproducción. Las poblaciones en reproducción dependen principalmente de la presencia de algodón. Los hospedantes salvajes de la tribu Gossypieae pueden soportar la reproducción del picudo del algodón pero son una fuente dispersa de alimentos que solo pueden mantener pequeñas poblaciones por períodos cortos de tiempo (Jones et al. 1992; Jones et al. 1989). La evidencia filogenética sugiere múltiples orígenes para las poblaciones de *Anthonomus grandis grandis* en América del Sur: 1) una población introducida de los Estados Unidos que prefiere el algodón como su principal hospedero y está caracterizado por el predominio del haplotipo mitocondrial A1 en el gene COI (subunidad I de la citocromo c oxidasa), y 2) poblaciones locales de picudo del algodón que viven en bosques (ambientes naturales) y que probablemente puedan usar otros hospederos además del algodón para la reproducción (Guzmán et al. 2007; Scataglini et al. 2006; Scataglini et al. 2000). Las poblaciones silvestres de algodón en los remanentes del bosque seco colombiano (Sierra Nevada de Santa Marta, el valle de Patía, el valle del Alto Magdalena y otros bosques secos tropicales) pueden sostener las poblaciones locales de picudos del algodón.

Los ataques de *A. grandis* en los campos de algodón en los trópicos y subtrópicos se describen en cuatro etapas (Tabla 2) que son utilizadas como criterios para diseñar estrategias de manejo: S1) Primera etapa o llegada del picudo al lote de algodón: el daño al cultivo está asociado principalmente con oviposición y ocurre en grupos cerca de los orillas del campo; S2) Etapa de establecimiento de la población: el daño está relacionado principalmente con la oviposición de las hembras migratorias, y la alimentación y oviposición de la primera generación de picudo del algodón nacida en el cultivo; S3) Etapa de invasión o avance: los botones y las flores son atacados por la población establecida de picudo del algodón. Todas las etapas del ciclo de vida del insecto son detectadas en esta fase; y S4) Etapa de generalización: la etapa más avanzada. La población de picudo del algodón ha disminuido drásticamente el número de flores amarillas y las aplicaciones químicas son necesarias para evitar pérdidas significativas de rendimiento (Figura 4) (INTA 2014; Lobatón García 1981). Antes de S1, aproximadamente 15 a 20 días después de la emergencia se pueden observar adultos de picudo del algodón en los cultivos de algodón (DDE) situados en las hojas más jóvenes, y aparecen perforaciones en los brotes terminales de las plantas.

Figura 4. Distribución espacial del picudo del algodón dentro de un campo de algodón, que ilustra la progresión del desarrollo del picudo del algodón a través de las etapas S1 a S4, que son utilizados por los asistentes técnicos y los agricultores en la región del Caribe para describir la dinámica del picudo del algodón y como un alternativa al concepto de umbral económico (basado en la densidad individual, insectos / plantas) que no es útil en la toma de decisiones de manejo de plagas con patrones agregados.

3.1.2 Subsistema técnico-decisional

Las estrategias utilizadas para el manejo del picudo del algodón incluyen una serie de intervenciones de campo, operaciones técnicas y decisiones relacionadas ejecutadas en dos escalas espacio-temporal, regional-nacional y a nivel de campo. Para una mejor comprensión y jerarquización de estos elementos, se incorporó el concepto de horizontes de planificación en el proceso de toma de decisiones con las siguientes escalas de tiempo: desarrollo de políticas, estratégico, táctico y operativo (Tabla 4) (Rabbinge et al. 1993; Conway 1984). El nivel regional y nacional corresponde a las decisiones orientadas a la ejecución de las políticas a cargo de las instituciones de los gobiernos nacionales o federales. Para el sector agrícola colombiano, el Instituto Colombiano Agropecuario (ICA) desempeña el papel de ejecutor de las políticas nacionales (cumpliendo con el rol de agencia administrativa del gobierno) (Escenario 0). A nivel de campo, dos escenarios tácticos deben identificarse para el control del picudo durante la temporada algodonera (Escenarios 1 y 2). Un escenario de gestión y toma de decisiones a nivel político afecta los escenarios estratégicos y tácticos, mientras que no hay influencia de las decisiones en los escenarios estratégicos o tácticos sobre las decisiones a nivel político. La implementación efectiva del Escenario 0 (política) genera una expectativa que resulte en menores poblaciones migratorias de picudo del algodón, lo que facilitará el manejo de plagas durante la temporada del algodón (estrategias y tácticas implementadas por los cultivadores). El marco jerárquico de toma de decisiones para el manejo del picudo del algodón descrito puede ser utilizado en el desarrollo de un programa de manejo integrado de esta plaga para la región Caribe.

Tabla 4. Manejo del picudo del algodón en escalas espaciales, incluidos los actores responsables del proceso de toma de decisiones.

Escala geográfica	Nacional	Región	Grupos de campos	Campo o individuos
Tomador de decisiones	Departamento de Protección y Cuarentena de ICA *	Asociaciones de agricultores	Asistentes técnicos	Agricultor
Horizonte de tiempo	Políticas a largo plazo	Años	Temporada de cultivo	Semana
Modelo de toma de decisiones que representa:	POLÍTICA		ESTRATEGIA	
			TÁCTICA	
Principales escenarios modelo para el manejo del picudo	Escenario 0		Escenario 1	
			Escenario 2	

* Subgerencia de regulación sanitaria y fitosanitaria

Estrategias de manejo del picudo a nivel regional (Horizonte de planificación política) (Escenario 0)

El picudo del algodón fue erradicada con éxito en Carolina del Norte, Virginia, Georgia y Texas durante las décadas de 1980 y 1990. Las condiciones ambientales del Cinturón Algodonero Americano facilitaron el éxito del Programa de Erradicación del Picudo del Algodonero. Una vez eliminadas las socas y las plantas voluntarias, hay muy pocas o ninguna fuente de alimento para el picudo del algodón durante el invierno. La escasez de alimentos y las temperaturas de congelación reducen drásticamente el tamaño de la población, facilitando la erradicación de las poblaciones remanentes utilizando prácticas culturales (reduciendo las fuentes de alimentos) y/o aplicaciones de malatión en los refugios (Smith 1998; Hardee and Harris 2003) . En el Caribe colombiano, las poblaciones de picudo del algodón son persistentes durante todo el año, alimentándose de varias fuentes sin restricciones ambientales. Un programa previo de manejo de picudo coordinado por ICA tenía como objetivo erradicar esta plaga. Tales iniciativas no han tenido éxito y en la actualidad ninguna de las estrategias actuales implementadas en las regiones algodonerías colombianas está diseñada para la erradicación de picudo.

La alternativa a un programa de erradicación es un programa de supresión. Si bien los programas de erradicación tienen como objetivo eliminar una plaga de un área definida, el propósito de un programa de supresión es reducir y controlar el tamaño de la población de plagas (de Lima Jr et al. 2013). Un programa de supresión incluye aplicaciones de insecticidas, monitoreo con trampas de feromonas y ejecución oportuna de prácticas culturales (FI). Recientemente, fue implementado un exitoso programa de supresión que abarca 3600 hectáreas en el estado de Goiás, Brasil (de Lima Jr et al. 2013).

Las poblaciones de picudo del algodón se controlan mediante trampas de feromonas. Los picudo del algodón recolectados son utilizados para estimar el tamaño de la población de insectos y el número de picudo adultos existentes en cada trampa y en cada lugar durante un período específico de tiempo (generalmente una semana). Esta estimación de la densidad de población es denominada índice de trampa (IT) y es expresada como número de picudos adultos/trampa/semana (Rummel et al. 1980). Las observaciones históricas en el Caribe indican que la población migrante de picudo del algodón a mitad de año puede oscilar entre 5 y 50 individuos IT (Figura 6). ICA considera que las regiones productoras de algodón con una densidad de 5 picudo/trampa/semana durante cinco años consecutivos son regiones con baja prevalencia de picudo del algodón. Sin embargo, este valor no ha sido alcanzado en ninguna región algodonería del Caribe (ICA 2009). Los valores de IT recolectados por ICA sugieren que este valor representa el tamaño de población más bajo de

picudo a mediados de año, después de que se han ejecutado las medidas de supresión o cuando el cultivo de algodón ha disminuido drásticamente su área (Figura 6). Este efecto es esperado considerando que la disponibilidad de plantas de algodón determina la capacidad de carga del ambiente para soportar las poblaciones de picudo. Un valor de 5 picudo IT debe ser la densidad de población alcanzada como resultado de la implementación efectiva del programa de supresión. En esta densidad de población, las poblaciones de picudo del algodónero pueden alimentarse de otros cultivos, pero la reproducción solo será posible para pequeñas poblaciones del insecto que sobreviven en hospederos dispersos en remanentes de bosques incluyendo algodones silvestres.

El programa de supresión del picudo del algodónero en el Caribe colombiano

El escenario 0 representa las políticas diseñadas por ICA (en su rol de representación del gobierno nacional) para mantener a la población del picudo del algodónero por debajo del umbral económico como parte de una serie de programas nacionales de supresión del picudo (erróneamente el ICA designó las primeras iniciativas de supresión del picudo como estrategias de erradicación, lo cual no es factible en el trópico (ICA 2000)). El propósito de estos programas de supresión del picudo está enfocado en reducir el tamaño de las poblaciones del picudo del algodónero que sobreviven en las socas y rebrotes (P1) y plantas de algodón voluntarias (P2), y eventualmente en los refugios. Las principales operaciones técnicas utilizadas en este escenario son la destrucción de las socas y la eliminación de las plantas voluntarias de algodón que crecen durante la temporada maicera. El maíz es el cultivo principal para la rotación con algodón (Negrete Barón et al. 2005). Ninguna operación de manejo de las poblaciones migratorias de picudo del algodónero está contemplada para desarrollarse al final de la temporada de cultivo. Las poblaciones de picudo que viven en los sitios de refugio no son objetivo de ninguna operación de aplicaciones de insecticidas. En los trópicos, este tipo de intervención se considera ineficaz porque múltiples hospedadores (cultivos y plantas silvestres) están disponibles para el insecto. El picudo del algodónero puede sobrevivir sin algodón durante largos períodos de tiempo alimentándose de frutas tropicales (> 7 meses) (CONALGODÓN et al. 2018; Jimenez Mass et al. 2001).

En el horizonte de planificación del proceso de toma de decisiones para el manejo del picudo del algodónero (Tabla 4), ICA es una institución orientada al desarrollo de políticas con el propósito de guiar y liderar los programas de manejo de plagas en cooperación con instituciones asociadas con el gobierno nacional y estatal (departamentos) y el sector privado. ICA es la agencia de protección de plantas y cuarentena del gobierno nacional de Colombia. Ninguna otra agencia nacional, estatal (departamental) o local puede ejercer legalmente esta función. ICA es un participante clave en la toma de decisiones para el desarrollo de las iniciativas nacionales para la supresión de picudo del algodónero y como partícipe del poder ejecutivo del gobierno colombiano, el único responsable de la aplicación de medidas sanitarias. Como parte del programa de supresión de picudos del algodónero, ICA regula las fechas de siembra de algodón y promueve la destrucción de las socas (y su rebrote) y la eliminación de plantas voluntarias con el objetivo de tener una temporada sin algodón de al menos 3 meses. Además, ICA monitorea las poblaciones de picudo del algodónero en el país y clasifica las regiones productoras de algodón de acuerdo con la densidad IT de picudos del algodónero (categorías para áreas libres de algodón) (ICA 2010; ICA 2009). En el año 2000, ICA desarrolló el "Plan Nacional para la Exclusión, Supresión y Erradicación Económica del picudo del algodónero", que promovió prácticas culturales para el control de las poblaciones de picudo: destrucción a tiempo de tallos y rebrotes, plantando en una ventana de tiempo específica, uso de densidades específicas de plantas en el cultivo, uso de reguladores del crecimiento del algodón y control etológico de la plaga (ICA 2000). En 2010, ICA desarrolló el "Plan Nacional para el Establecimiento, Declaración y Reconocimiento de Áreas Libres y de Baja Prevalencia del Picudo" basado en evaluaciones de la dinámica de la población del picudo del algodónero en las regiones productoras de algodón con el objetivo de proporcionar alertas tempranas. Este plan incluía una red de monitoreo para los departamentos de Córdoba, Cesar, La Guajira, Magdalena, Sucre, Tolima, Valle, Cundinamarca, Cauca, Antioquia y Huila (ICA 2010). Recientemente, iniciativas locales para desarrollar programas de control del picudo han sido propuestas con la intención de ser financiadas con recursos del estado más específicamente con recursos del departamento de Córdoba. Este programa sólo ejercería funciones de monitoreo de densidad

poblacional del insecto y socas sin destruir sin capacidad de iniciar o aplicar sanciones legales. Todos los hallazgos de este programa serán reportados a ICA, que eventualmente aplicará sanciones a los infractores(Polo Montes and Álvarez 2018)

Figura 5. Dinámica de la población migratoria del picudo del algodónero (adultos negros) en Córdoba, Cesar y Sucre, los estados con las áreas productoras de algodón mas grandes en Colombia. Los valores recogidos de las trampas de feromonas son presentados como valores de índice de trampa (IT) (picudos por trampa por semana) a partir de datos agregados reportados por ICA (2001-2012) (Pretelt et al. 2007; Villareal Pretelt et al. 2008; ICA 2012; Villareal Pretelt et al. 2006). Las líneas verticales asociadas con el eje x para cada mes representan datos individuales. Las curvas representan la distribución esperada de los valores IT para el periodo evaluado (11 años). Los valores IT pueden usarse como estimadores de la posible infestación de los primeros botones de algodón de los campos cercanos (Rummel et al. 1980). Córdoba, el principal productor de algodón, muestra las poblaciones migrantes de picudo de mayor tamaño a mediados de año, mientras que en Sucre ocurren en el primer trimestre del año. Las poblaciones en Cesar son relativamente pequeñas. Las poblaciones migrantes incrementan en tamaño during la destrucción de la soca y la preparación del terreno para el cultivo de rotación asociado resultando en perturbaciones ambientales que activan la migración del picudo. Las poblaciones de picudo disminuyen durante la temporada algodонера cuando el insecto es fuertemente atraído hacia los botones (Villavaso et al. 1998).

El control de plagas a nivel regional (erradicación o supresión) requiere decisiones políticas seguidas de acciones coordinadas de las partes interesadas (Simberloff 2003; Veitch and Clout 2002). Las decisiones políticas (administrativas) son tomadas por las agencias administrativas del gobierno encargadas de tal fin con efecto sobre los intereses y los derechos de los privados (Boyer 1960). Estas agencias gubernamentales pueden delegar la responsabilidad de tales iniciativas a las asociaciones o agremiaciones de agricultores. Sin embargo, evaluaciones de los programas de manejo de plagas a escala regional indican que cuando los agricultores o sus organizaciones no pueden seguir las políticas prescritas, las agencias gubernamentales encargadas de la toma de decisiones deben intervenir y liderar la aplicación de las medidas sanitarias (Simberloff 2003; Veitch and Clout 2002). Para liderar eficazmente tales esfuerzos, estas agencias gubernamentales requieren programas de manejo de plagas con objetivos claros a largo plazo, provisión adecuada de recursos financieros y técnicos y acuerdos con instituciones aliadas para facilitar la implementación de programas sanitarios (Tobin et al. 2014).

En la actualidad, el monitoreo de la destrucción de las socas es manejado por las agremiaciones de agricultores, que informan sus observaciones a ICA. Sin embargo, socas y rebrotes son observados frecuentemente a mediados de año. Las medidas de control de la soca no son posibles como resultado de las dificultades de la aplicación de sanciones legales en tierras de cultivo arrendadas. Expertos de las oficinas regionales de ICA han propuesto un cambio en el proceso de control de la destrucción de las socas, con el regreso de las actividades de monitoreo a ICA y la aplicación de las sanciones al propietario de la tierra (Tabla 1). Los propietarios de tierras pueden ser localizados y sancionados con mayor facilidad en comparación con los arrendatarios. Adicionalmente los costos de monitoreo y destrucción de las socas pueden ser transferidos a los contratos de arrendamiento de tierras con la inclusión de pagos por un depósito destinado a la destrucción de las socas. Esta medida liberaría al ICA del costo que representa el monitoreo de las socas y de la constante dificultad para cumplir con el periodo de veda.

Además de la destrucción de las socas, existen algunas propuestas relacionadas con operaciones técnicas adicionales para ser incluidas en las estrategias de manejo del picudo del algodón, pero no todas reportan evidencias de ser efectivas. No existe evidencia clara de la efectividad de los 'tubos de atracción y control' para controlar las poblaciones de picudos del algodón en el Caribe (Villarreal Pretelt et al. 2005), y hay continuos reclamos de su ineficacia por parte de agricultores en otros países. Los tubos y trampas fueron diseñados para controlar pequeñas poblaciones residuales, pero no como la principal intervención de campo para control regional de las poblaciones de picudo del algodón en migración. Los niveles poblacionales del picudo del algodón en las regiones del Caribe no son residuales sino constantes con frecuentes explosiones poblacionales.

Los tubos de atracción y control y otros tipos de trampas pueden ser reemplazados por otras intervenciones de campo que cumplen el mismo propósito de controlar la llegada del picudo del algodón al cultivo y el desplazamiento a los refugios al final de la temporada. Estas intervenciones son los cultivos trampa y las aplicaciones tempranas de insecticida (estas aplicaciones serán discutidas en mayor detalle como parte de los escenarios tácticos de control). Las aplicaciones tempranas de insecticidas (en la primera aparición al botón) son recomendadas cuando existen poblaciones migrantes de picudo en la región (medidos como IT) (Rummel et al. 1980). Con base en los registros históricos de las poblaciones de picudo en migración en la región del Caribe (Figura 5), estas primeras aplicaciones deberían ser la operación estándar de control del picudo. Sin embargo en consideración a que existe un sistema de monitoreo del picudo, la decisión de llevar a cabo o no aplicaciones tempranas debe basarse en la estimación de poblaciones de picudo presentes en la zona. Los valores IT pueden usarse para estimar el tamaño de las poblaciones de picudo del algodón migratorias antes de la temporada de algodón y predecir los riesgos de infestación de cultivos y los ajustes apropiados a las estrategias de manejo de esta plaga.

Ejecución de operaciones técnicas requeridas para el control del picudo

Figura 6. Manejo de las poblaciones migratorias de *Anthonomus grandis*. **A.** Cambios esperados de la población migrante de picudo del algodón a mitad de año en respuesta a la ejecución de todas las operaciones técnicas relacionadas con el control del Escenario 0. No hay certeza de los efectos de las operaciones técnicas propuestas para controlar el picudo en la región, pero los datos históricos sugieren que limitar el acceso a las plantas de algodón puede disminuir la población migrante de picudo del algodón a una densidad cercana a 10 adultos/semana/trampa. El tamaño de la población del picudo del algodón migrante a mediados de cada año que colonizará las plantas de algodón durante la siguiente temporada de cultivo está determinada principalmente por la capacidad de carga del ambiente. En el Caribe, la capacidad de carga está determinada principalmente por la presencia de plantas de algodón. El tamaño de la población no es afectado por la presencia de hospedadores alternativos de alimentación (maíz y frutales principalmente) y es afectado marginalmente por la presencia de hospedadores silvestres de reproducción considerando su bajo número y distribución dispersa. La línea discontinua amarilla representa el rango donde el tubo matapicudos tiene efecto (El-Sayed et al. 2009). **B.** Efecto del tamaño de la población de picudos migrando desde los refugios sobre la efectividad de trampas cebadas con picudos machos (Lloyd et al. 1972; Lloyd et al. 1983). Antes de la creación del grandlure sintético, los picudos machos fueron usados como cebo. Las trampas con grandlure sintético (incluyendo el tubo matapicudos) son 90-100% tan efectivas como las trampas cebadas con insectos machos (Hardee et al. 1974).

Tácticas de manejo del picudo a escala de finca (Manejo químico del picudo durante la temporada algodonera)

Varias estrategias basadas en el uso de insecticidas químicos son usadas para el control de *Anthonomus grandis* en el Caribe colombiano. Estas estrategias son clasificadas ampliamente en dos categorías: 1) aplicaciones tempranas de insecticidas para evitar la llegada del picudo del algodón a los cultivos de algodón (etapa de ataque S1) (Escenario 1) y aplicaciones tardías de insecticidas para reducir las tasas de crecimiento de la población y disminuir las pérdidas de rendimiento asociadas con la invasión del picudo del algodón del cultivo (etapa de ataque S3) (Escenario 2) (Tabla 2).

En el escenario 1, las aplicaciones calendario de insecticidas tienen el propósito de coincidir con el desarrollo del primer botón (28 días después de la emergencia (DDE)). Estas aplicaciones están enfocada a controlar las hembras migratorias (procedentes de los refugios) listas para la oviposición en los primeros botones y para el establecimiento de la población fundadora (S1) en el cultivo. Estas aplicaciones tempranas protegen los primeros botones inmaduros, que contribuyen con la mayor parte del rendimiento total de fibra. Los insecticidas posteriores están aplicadas en respuesta a la llegada de nuevas poblaciones migratorias de picudo del algodón. Estas aplicaciones adicionales a menudo se realizan entre 50 y 60 DDE. Daños provocados por adultos del picudo del algodón pueden ser observados antes de los 28 DDE, pero estas poblaciones generalmente no son controladas.

En el escenario 2 se deben emplear dos intervenciones de campo complementarias basadas en aplicaciones de insecticidas para controlar las poblaciones de picudo del algodón. La primera intervención de campo debe ejecutarse cuando se detectan los primeros focos de agregación de picudo del algodón en el campo (aplicaciones basadas en monitoreo). Los puntos de agregación se definen como grupos de 5-10 plantas con daño visible por oviposición y alimentación (características que definen la etapa de ataque S2). El manejo de este momento implica recoger los botones con daño de las plantas y los caídos en el suelo y la ejecución de una serie de aplicaciones de insecticidas limitada a los focos de infestación. Este esquema de aplicaciones de insecticidas tiene como propósito interrumpir el ciclo de vida de las poblaciones de picudo del algodón creciendo en el cultivo (Figura 2). La primera aplicación tiene como objetivo eliminar a todos los adultos de picudo del algodón que circulan en el campo. Deben llevarse a cabo tres aplicaciones cada 4 días con el objetivo de interrumpir el crecimiento de picudo del algodón en el cultivo. El período de alimentación es de cuatro días en los cuales una hembra adulta joven de picudo del algodón comienza un nuevo ciclo de oviposición en el clima de la sabana del Caribe (Yepes Rodriguez 1997; Gómez Lopez 1981). La población de picudo del algodón no se elimina completamente en esta intervención y avanza a la fase de invasión (S3), donde se produce daño por alimentación y oviposición en botones y cápsulas. La segunda intervención de campo se ejecuta durante esta fase. En este momento, las poblaciones de picudo del algodón se controlan con más aplicaciones de insecticidas, pero ahora en todo el campo (aplicaciones generales). Entre 4 y 5 aplicaciones desde la fase de invasión hasta la cosecha y dos más durante la temporada de cosecha son

necesarias para el objetivo de proteger las cápsulas de algodón (consumidas por picudo del algodonero cuando los botones están ausentes). Los agricultores informan con frecuencia que se requieren 10 aplicaciones por temporada de cultivo para controlar el picudo del algodonero y son requeridas hasta 15 aspersiones para las temporadas de algodón con alta presión de picudo del algodonero (Osorio-Almanza et al. 2018). El escenario 2 es la estrategia más utilizada entre los agricultores del Caribe colombiano para controlar las poblaciones de picudo del algodonero (Tabla 1).

Figura 7. Descripción del esquema de aplicación de insecticidas para interrumpir el ciclo de vida de las poblaciones del picudo del algodonero que alcanzaron la fase S2. La fase S2 hace referencia al desarrollo de focos de infestación dentro del cultivo. Estos focos deben ser controlados con la aplicación de insecticidas químicos siguiendo el Escenario 2 de manejo del picudo a nivel de lote o campo.

Las aplicaciones tempranas calendario de insecticidas del escenario 1 están pensadas para evitar el establecimiento de las poblaciones de picudo en el cultivo y facilitar el manejo posterior de la plaga. Una vez que el picudo coloniza el cultivo de algodón, es difícil eliminarlo porque una gran parte de su ciclo de vida ocurre dentro de las estructuras reproductivas de la planta de algodón, donde las larvas están protegidas de las amenazas ambientales, incluyendo las aplicaciones de insecticidas. Las aplicaciones de insecticidas basados en monitoreo son generalmente recomendadas, pero en el caso del picudo del algodonero, las aplicaciones calendario ofrecen más ventajas en el control de la plaga desde la perspectiva técnica y de toma de decisiones. Las decisiones basadas en el monitoreo requieren una exploración regular del cultivo que se traduce en un aumento en los costos de planificación y operación y un alto riesgo de ejecución deficiente. En relación con el rendimiento, los asistentes técnicos y los experimentos de campo coinciden en que las estructuras reproductivas formadas durante las pocas semanas posteriores al primer botón son responsables de una parte importante del rendimiento esperado (aproximadamente el 70%). Estas estructuras reproductivas tempranas (botones principalmente) son el objetivo de oviposición y la alimentación de la población migrante de picudos del algodonero (S1).

Experimentos de campo y entrevistas con asistentes técnicos sugieren una llegada asíncrona de las poblaciones S1 al cultivo de algodón en la región Caribe (Tabla 2) (Burbano-Figueroa and Sierra-Monroy 2019). Las poblaciones de picudo pueden llegar a un campo de algodón entre los 28 a 60 DDE. Considerando un intervalo de tiempo tan amplio para la llegada del picudo al cultivo, planteamos una hipótesis en donde los agricultores

han presenciado varias temporadas en las que poblaciones del picudo del algodón llegaron tarde al cultivo, y no atacaron los primeros botones, lo que llevó a los agricultores a una extrapolación de este patrón de comportamiento del picudo a todas las temporadas. Con estas consideraciones, las aplicaciones tempranas de insecticidas son un costo innecesario con un efecto incierto en las expectativas de rendimiento y justifica la preferencia de los agricultores por una táctica de manejo tardío del picudo. Para ambos escenarios tácticos de manejo del picudo en los lotes, existe la posibilidad de que las poblaciones del picudo del algodón sobrevivan a la intervención de campo. El escenario 2 es muy sensible a estas fallas porque depende de la eficacia de las aplicaciones de insecticidas. La efectividad del control químico en este escenario está limitada por la aplicación heterogénea del insecticida (un problema común si las aplicaciones se realizan manualmente), la precipitación excesiva después de las aplicaciones, la alta presión de la población del picudo del algodón (relacionada con el tamaño de la población) o la migración continua desde cultivos cercanos con socas sin controlar, brotes o plantas voluntarias (Lobatón Gonzalez and Jiménez Mass 1984)..

No hay datos de campo disponibles para la evaluación de estos escenarios tácticos de manejo químico del picudo del algodón a nivel de campo. Incluso, hasta donde sabemos, este es el primer reporte que da cuenta de la existencia de escenarios tácticos tan dispares en el control de las poblaciones de picudo del algodón en Colombia. Simulaciones probabilísticas de estos escenarios usando el modelo aquí presentado facilitará la comprensión de las limitaciones de ambas estrategias de control químico y ayudarán a diseñar experimentos que permitan evaluar las hipótesis subyacentes que definen la preferencia de los agricultores por una estrategia de manejo específica.

Conclusiones y perspectivas.

El picudo del algodón es la principal plaga que afecta las regiones productoras de algodón en el Caribe colombiano. El conocimiento y comprensión de las acciones de manejo utilizadas para el control del picudo del algodón en la región es escaso. Actualmente, las estrategias son superficialmente descritas en reportes técnicos y son el resultado del conocimiento local de agricultores y asistentes técnicos. El modelo conceptual presentado aquí recopila dicha información local, la combina con conocimiento científico disciplinario, y la organiza utilizando un enfoque de sistemas para mejorar la claridad de la información presentada.

El manejo del picudo del algodón ocurre en dos escalas espacio-temporales que involucran diferentes tomadores de decisiones a nivel regional y de campo. El control de plagas y enfermedades a nivel regional y nacional está impulsado por las decisiones orientadas con base a las políticas de las agencias nacionales. En el caso del sector agrícola colombiano, esta función y rol es desempeñado por el Instituto Colombiano Agropecuario (ICA). Un programa nacional de supresión del picudo del algodón fue implementado con muy poco éxito. La principal operación técnica para controlar el tamaño de la población de picudo del algodón es la destrucción de socas, rebrotes y plantas voluntarias. Esta tarea es manejada por las organizaciones de agricultores, pero se ve obstaculizada por las dificultades en el cumplimiento de las fechas límite en las que la soca debe ser destruida. Entre los cambios propuestos está que ICA cambie la norma actual de destrucción de socas a una donde las sanciones sean aplicadas a los propietarios de tierras en lugar de a los arrendatarios. El mecanismo eliminaría los costos de monitoreo del ICA e incluiría cambios en los contratos de arrendamiento que deberían contemplar un depósito de seguridad destinado a cubrir los costos de la eliminación de las socas.

A nivel de campo los agricultores controlan la población de picudo del algodón usando dos tipos de tácticas de manejo químico referidas como Escenario 1 y Escenario 2. El Escenario 1 describe una táctica de prevención ejecutada con aplicaciones calendario tempranas al inicio de la producción de botones. El Escenario 2 representa las aplicaciones de insecticidas monitoreadas basadas en la detección de focos de infestación. Asistentes técnicos promotores del escenario 1, consideran que esta táctica de manejo es más rentable, reduciendo el uso de insecticidas y el daño a los cultivos del algodón provocados por el picudo. Las aspersiones de principios de temporada para el picudo del algodón fueron usadas previamente en Texas para controlar la población de esta plaga como una alternativa a las aplicaciones monitoreadas de insecticidas. El uso de

aplicaciones monitoreadas para controlar el picudo resultaba en 10 a 15 aplicaciones por temporada de cultivo, mientras que el manejo temprano de la plaga resulta en un máximo de 5 aplicaciones (más de la mitad de las parcelas no requirieron aplicaciones adicionales) y mayores rendimientos (Showler 2006; Showler and Robinson 2005; Curry 1984). Son necesarias evaluaciones cuantitativas y datos de campo para juzgar la efectividad de los escenarios estratégicos y tácticos implementados a nivel regional y de campo para el control del picudo del algodón. Para el escenario 0, todas las operaciones técnicas están orientadas a disminuir el tamaño de la población de picudo del algodón por lo que estimar el efecto de cada operación técnica individual y los costos y beneficios asociados serán una contribución valiosa para que ICA maximice sus esfuerzos. Esta evaluación debe incluir una medida de la efectividad de otras operaciones además de la destrucción de socas. La rentabilidad de los escenarios de manejo utilizadas a nivel de finca también debe estimarse con el objetivo de proporcionar un indicador válido de decisión a los agricultores para el control de esta plaga.

Este modelo conceptual fue diseñado usando un enfoque de sistemas que permitió identificar subsistemas y horizontes de tiempo que facilitan la identificación de los escenarios en los cuales se toman de decisiones y en los que deben desarrollarse futuras simulaciones o colección adicional de datos. La construcción de un modelo conceptual con la participación de expertos permitió obtener información crítica que no es posible capturar con el proceso estándar de entrevistas estructuradas y el desarrollo de experimentos de campo sin invertir esfuerzos de investigación masivos. Este modelo conceptual se utilizará para construir modelos cuantitativos. Estos modelos se alimentarán con estimaciones probabilísticas proporcionados por expertos en conocimiento o investigaciones previas con el propósito de suministrar a los tomadores de decisiones o partes interesadas una herramienta para una mejor toma de decisiones, y en caso de los investigadores orientación en donde los esfuerzos de investigación deben centrarse. Nuestro propósito es que este modelo proporcione una línea de base para el desarrollo de mejores estrategias de manejo del picudo y la implementación de un programa de manejo integrado del picudo del algodón en el Caribe colombiano.

Agradecimientos

Esta investigación fue apoyada por el Servicio Alemán de Intercambio Académico (DAAD), la Fundación Fiat Panis y AGROSAVIA.

REFERENCIAS

- Alvarado, A., Jones, R.W., Pedraza-Lara, C., Alvarado Villanueva, O. and Pfeiler, E. 2017. Reassessment of the phylogeography and intraspecific relationships of western and eastern populations of the boll weevil, *Anthonomus grandis* Boheman (Coleoptera: Curculionidae), in North America. *Biological Journal of the Linnean Society* 122(1), pp. 29–45.
- Barr, N., Ruiz-Arce, R., Obregón, O., et al. 2013. Molecular diagnosis of populational variants of *Anthonomus grandis* (Coleoptera: Curculionidae) in North America. *Journal of Economic Entomology* 106(1), pp. 437–449.
- Barragan, E., Díaz, A., Caicedo, A., Montenegro, O. and Mendoza, A. 2005. Módulo 2: El algodón - Manejo integrado del cultivo en el Valle Cálido del Alto Magdalena. In: *El algodón - Manejo integrado del cultivo en Colombia*. Bogotá: CORPOICA, p. 143.
- Bendix, J. and Lauer, W. 1992. Die Niederschlagsjahreszeiten in Ecuador und ihre Klimadynamische Interpretation. *Erdkunde* 46, pp. 118–134.
- Boyer, W.W. 1960. Policy making by government agencies. *Midwest Journal of Political Science* 4(3), p. 267.
- Burbano-Figueroa, O. and Sierra-Monroy, J.A. 2019. Dynamics of cotton colonization by *Anthonomus grandis* in the Colombian Caribbean . *Submitted*.
- Burke, H.R., Clark, W.E., Cate, J.R. and Fryxell, P.A. 1986. Origin and dispersal of the boll weevil. *Bulletin of the Entomological Society of America* 32(4), pp. 228–238.
- CABI 2019. *Anthonomus grandis* (Mexican cotton boll weevil) [Online]. Available at: <https://www.cabi.org/isc/datasheet/5735> [Accessed: 26 January 2019].
- Cadena Torres, J., Urrea Gómez, R., Mendoza Olivella, A., et al. 2001. *Corpoica M-123 : nueva variedad de algodón de fibra media con adaptación al Caribe Húmedo*. Corpoica.
- CONALGODÓN, SENA, SAC and FFA 2018. *Biología y manejo del picudo del algodón en la región Costa - Llanos* . Confederación Colombiana de Algodón.
- Conway, G.R. 1984. *Pest And Pathogen Control: Strategic, Tactical, And Policy Models (international Series On Applied Systems Analysis)*. 1st ed. Chichester [West Sussex]: Wiley.
- CORPOICA 2000. *Aportes Tecnológicos a la Producción Competitiva Y Sostenible Del Algodonero en la Región Caribe*. Arevalo, M. and Plaza, J. eds. Bogotá, Colombia: CORPOICA.
- Curry, G.L. 1984. Strategies for cotton - Boll weevil management in Texas. In: Conway, G. R. ed. *Pest and Pathogen Control - Strategic, Tactical and Policy Models*. International series on applied systems analysis. John Wiley & Sons, pp. 169–183.
- El-Sayed, A.M., Suckling, D.M., Byers, J.A., Jang, E.B. and Wearing, C.H. 2009. Potential of “Lure and Kill” in Long-Term Pest Management and Eradication of Invasive Species. *Journal of Economic Entomology* 102(3), pp. 815–835.
- Farahani, R.Z., Rezapour, S. and Kardar, L. 2011. Logistics Operations and management: Concepts and Models.
- Gómez Lopez, U. 1981. *Manejo del Picudo Anthonomus grandis Boheman; en el Cultivo del Algodonero, en el Valle del Sinú*. El algodón.
- Greenberg, S.M., Sappington, T.W., Sétamou, M. and Coleman, R.J. 2004. Influence of different cotton fruit sizes on boll weevil (coleoptera: curculionidae) oviposition and survival to adulthood. *Environmental Entomology* 33(2), pp. 443–449.
- Greenberg, S.M., Sétamou, M., Sappington, T.W., Liu, T.-X., Coleman, R.J. and Armstrong, J.S. 2005. Temperature-dependent development and reproduction of the boll weevil (Coleoptera: Curculionidae). *Insect Science* 12(6), pp. 449–459.
- Guzmán, N.V., Lia, V.V., Lanteri, A.A. and Confalonieri, V.A. 2007. Population structure of the boll weevil in cotton fields and subtropical forests of South America: a bayesian approach. *Genetica* 131(1), pp. 11–20.
- Hardee, D.D., Graves, T.M., McKibben, G.H., Johnson, W.L., Gueldner, R.C. and Olsen, C.M. 1974. A Slow-Release Formulation of Grandlure, the Synthetic Pheromone of the Boll Weevil. *Journal of Economic Entomology* 67(1), pp. 44–46.
- Hardee, D.D. and Harris, F.A. 2003. Eradicating the boll weevil (coleoptera: curculionidae): A clash between a highly successful insect, good scientific achievement, and differing agricultural philosophies. *American Entomologist* 49(2), pp. 82–97.
- ICA 2000. *Plan nacional de exclusión, supresión y erradicación económica del picudo del algodón Anthonomus grandis Boheman (Coleoptera: Curculionidae)*. BOGOTÁ: ICA.
- ICA 2009. *Plan nacional para el establecimiento, mantenimiento, declaración y reconocimiento de áreas libres y de baja prevalencia del picudo algodón Anthonomus grandis Boheman en Colombia* . Bogotá: Instituto Colombiano Agropecuario.
- ICA 2010. *Resultados de vigilancia fitosanitaria sobre picudo del algodón - Anthonomus grandis Boheman - en Colombia*. Colombia: ICA.
- ICA 2012. *Situación actual del picudo del algodón Anthonomus grandis Boheman (Coleoptera: Curculionidae) en Colombia* . ICA.
- INTA 2014. *Picudo del algodón Anthonomus grandis Boh*.
- Jimenez Mass, N., De León Narváez, L. and Grandett Martinez, L. 2001. *Estudios preliminares sobre el movimiento del picudo del algodón en el Valle del Sinú*. Corpoica.
- Jones, R.W., Cate, J.R. and Burke, H.R. 1989. Phenology and ecology of wild cotton (malvales: malvaceae) and the boll weevil (coleoptera: curculionidae) in tamaulipas, mexico. *Journal of Economic Entomology* 82(6), pp. 1626–1632.
- Jones, R.W., Cate, J.R., Martinez Mernandez, E. and Treviño Navarro, R. 1992. Hosts and seasonal activity of the boll weevil (coleoptera: curculionidae) in tropical and subtropical habitats of northeastern mexico. *Journal of Economic Entomology* 85(1), pp. 74–82.
- Kuester, A.P., Jones, R.W., Sappington, T.W., et al. 2012. Population structure and genetic diversity of the boll weevil (coleoptera: curculionidae) on *gossypium* in north america. *Annals of the Entomological Society of America* 105(6), pp. 902–916.
- Lamanda, N., Roux, S., Delmotte, S., et al. 2012. A protocol for the conceptualisation of an agro-ecosystem to guide data acquisition and analysis and expert knowledge

integration. *European Journal of Agronomy* 38, pp. 104–116.

Lanteri, A., Confalonieri, V. and Scataglini, A. 2003. El picudo del algodónero en la Argentina: Principales resultados e implicancias de los estudios moleculares. *Rev. Soc. Entomol. Argent.*, pp. 1–15.

Leigh, T.F., Roach, S.H. and Watson, T.F. 1996. Biology and ecology of important insect and mite pests of cotton. In: King, E., Phillips, J., and Coleman, R. eds. *Cotton insects and mites: characterization and management*. Memphis, Tennessee: The Cotton Foundation, pp. 17–85.

de Lima Jr, I.S., Degrande, P.E., Miranda, J.E. and dos Santos, W.J. 2013. Evaluation of the Boll Weevil *Anthonomus grandis* Boheman (Coleoptera: Curculionidae) suppression program in the state of Goiás, Brazil. *Neotropical entomology* 42(1), pp. 82–88.

Lloyd, E.P., McKibben, G.H., Leggett, J.E. and Hartstack, A.W. 1983. Pheromones for survey, detection and control. In: *Cotton insect management with special reference to the boll weevil*. Agricultural Handbook. U.S. Department of Agriculture, pp. 179–206.

Lloyd, E.P., Merkl, M.E., Tingle, F.C., Scott, W.P., Hardee, D.D. and Davich, T.B. 1972. Evaluation of Male-Baited Traps for Control of Boll Weevils Following a Reproduction-Diapause Program in Monroe County, Mississippi 1234. *Journal of Economic Entomology* 65(2), pp. 552–555.

Lobatón García, V. 1981. Algunos aspectos de la biología del picudo del algodónero *Anthonomus grandis* Boheman (Coleoptera: Curculionidae). *Sociedad Colombiana de Entomología: Seminar. Cotton weevil. Montería, November 22, 1980. Espinal, February 6, 1981.: Seminario. Picudo del algodónero. Montería, Noviembre 22 de 1980. Espinal, Febrero 6 de 1981.*

Lobatón Gonzalez, V. and Jiménez Mass, N. 1984. *Cultivos trampa temprano como alternativa en el manejo de Anthonomus grandis en el Algodonero*. Montería, Colombia: Instituto Colombiano Agropecuario.

Loflin, U.C. 1946. *Living with the boll weevil for fifty years.*. Smithsonian Institution.

Martins Caldeira, A. 2017. Exigências térmicas do bicudo-do-algodoeiro, *Anthonomus grandis* Boheman, 1843 (Coleoptera). Undergraduate thesis.

Meylan, L., Merot, A., Gary, C. and Rapidel, B. 2013. Combining a typology and a conceptual model of cropping system to explore the diversity of relationships between ecosystem services: The case of erosion control in coffee-based agroforestry systems in Costa Rica. *Agricultural systems* 118, pp. 52–64.

Morales, G.I., Aguirre B., F., Mejía, J. and Tróchez Parra, A.L. 1994. *Ciclo de vida y tabla de fertilidad de Anthonomus grandis Boheman, Coleoptera-Curculionidae en el Valle del Cauca*. Medellín: SOCOLEN.

Ñáñez, L.C. 2012. *Manejo fitosanitario del cultivo del algodón (Gossypium Hirsutum) - Medidas para la temporada invernal*. Bogotá D.C.: ICA.

Negrete Barón, F., Morales A, J.G., Morales V, W., et al. 2005. *El Algodonero. Manejo integrado del cultivo en el Caribe Húmedo: Valle del Sinú - Sur del Cesar*. Ibagué- Colombia: Corpoica Nataima.

Osorio-Almanza, L., Burbano-Figueroa, O. and Martinez-Reina, A. 2018. Factibilidad técnica de variedades de algodón expresando proteínas Cry tóxicas contra *Anthonomus grandis* en el Valle del Sinú, Colombia. *CIENCIA Y AGRICULTURA* 15(2), pp. 47–60.

Palomo Rodríguez, M., Rodríguez Martínez, R. and Ramírez Delgado, M. 2014. *Picudo del Algodonero y prácticas de manejo integrado*. 1st ed. Reyes Juárez, I. ed. México: Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias.

Polo Montes, A.R. and Álvarez, R. 2018. *Plan de choque para el manejo integrado del picudo del algodónero durante 10 meses entre los años 2018-2019*. Córdoba: FFA.

Pretelt, N., Rivas, W., Argel, A., et al. 2007. *Informe de la red nacional de monitoreo del picudo del algodónero Anthonomus grandis Boh. 2007*. Instituto Colombiano Agropecuario.

Rabbinge, R., Rossing, W.A.H. and Werf, W. 1993. Systems approaches in epidemiology and plant disease management. *Netherlands Journal of Plant Pathology* 99(S3), pp. 161–171.

Roehrdanz, R.L. 2001. Genetic Differentiation of Southeastern Boll Weevil and Thurberia Weevil Populations of *Anthonomus grandis* (Coleoptera: Curculionidae) Using Mitochondrial DNA. *Acta Neophilologica* 94(6), pp. 928–935.

Rummel, D.R., White, J.R., Carroll, S.C. and Pruitt, G.R. 1980. Pheromone trap index system for predicting need for overwintered boll weevil control. *Journal of Economic Entomology* 73(6), pp. 806–810.

Scataglini, M.A., Confalonieri, V.A. and Lanteri, A.A. 2000. Dispersal of the cotton boll weevil (Coleoptera: Curculionidae) in South America: evidence of RAPD analysis. *Genetica* 108(2), pp. 127–136.

Scataglini, M.A., Lanteri, A.A. and Confalonieri, V.A. 2006. Diversity of boll weevil populations in South America: a phylogeographic approach. *Genetica* 126(3), pp. 353–368.

Showler, A.T. 2006. Boll weevil (coleoptera: curculionidae) damage to cotton bolls under standard and proactive spraying. *St. Petersburg State Polytechnical University Journal. Economics* 99(4), pp. 1251–1257.

Showler, A.T. 2010. Do boll weevils really diapause? *American Entomologist* 56(2), pp. 100–105.

Showler, A.T. 2009. Three boll weevil diapause myths in perspective. *American Entomologist* 55(1), pp. 40–48.

Showler, A.T. and Robinson, J.R.C. 2005. Proactive spraying against boll weevils (Coleoptera: Curculionidae) reduces insecticide applications and increases cotton yield and economic return. *Journal of Economic Entomology* 98(6), pp. 1977–1983.

Simberloff, D. 2003. Eradication—preventing invasions at the outset. *Weed Science* 51(2), pp. 247–253.

Smith, J.W. 1998. Boll Weevil Eradication: Area-Wide Pest Management. *Annals of the Entomological Society of America* 91(3), pp. 239–247.

Smith, J.W. and Harris, F.A. 1994. *Anthonomus* (Coleoptera:Curculionidae). In: Matthews, G. A. and Tunstall, J. P. eds. *Insect pests of cotton*. Wallingford: CAB international, pp. 223–265.

Spurgeon, D.W. and Suh, C.P.-C. 2017. Temperature influences on diapause induction and survival in the boll weevil (coleoptera: curculionidae). *Journal of Insect*

- 731 *Science* 17(6).
- 732 Stadler, T. and Buteler, M. 2007. Migration and dispersal of *Anthonomus grandis* (Coleoptera: Curculionidae) in South America . *Rev. Soc. Entomol. Argent* 66, pp.
- 733 205–217.
- 734 Swamidass, P.M. ed. 2000. Hierarchical planning and control. In: *Encyclopedia of production and manufacturing management*. Springer US, pp. 263–263.
- 735 Tobin, P.C., Kean, J.M., Suckling, D.M., McCullough, D.G., Herms, D.A. and Stringer, L.D. 2014. Determinants of successful arthropod eradication programs.
- 736 *Biological invasions* 16(2), pp. 401–414.
- 737 Veitch, E. and Clout 2002. The eradication of invasive species. *International Union for Conservation of Nature* (27), pp. 1–414.
- 738 Villareal Pretelt, N., Segura Rivas, W., Argel, A., et al. 2008. *Informe-Red Nacional de Monitoreo Picudo del algodonero ICA 2008.pdf*. ICA.
- 739 Villarreal Pretelt, N., Galindo Álvarez, J. and Lobatón González, V. 2005. *Evaluación post-registro de los tubos matapicudos (TMP)*. Corpoica.
- 740 Villarreal Pretelt, N.E., Lobatón González, V., Galindo Álvarez, J.R. and Mondragón Leonel, V.A. 2006. *Monitoreo del picudo del algodonero Anthonomus grandis*
- 741 *Boheman en Colombia (2001 - 2005)*. ICA.
- 742 Villavaso, E.J., Megovern, W.L. and Wagner, T.L. 1998. Efficacy of Bait Sticks Versus Pheromone Traps for Removing Boll Weevils (Coleoptera: Curculionidae) from
- 743 Released Populations. *Journal of Economic Entomology* 91(3), pp. 637–640.
- 744 Warner, R.E. 1966. Taxonomy of the Subspecies of *Anthonomus grandis* (Coleoptera: Curculionidae). *Annals of the Entomological Society of America* 59(6), pp.
- 745 1073–1088.
- 746 Werner, F.G. 1960. A New Character for the Identification of the Boll Weevil and the Thurberia Weevil (Coleoptera: Curculionidae). *Annals of the Entomological*
- 747 *Society of America*, 53(4), pp. 548–549.
- 748 Wernz, C. and Deshmukh, A. 2012. Unifying temporal and organizational scales in multiscale decision-making. *European Journal of Operational Research* 223(3), pp.
- 749 739–751.
- 750 Yepes Rodriguez, F. 1997. Consideraciones básicas sobre picudo (Coleoptera: Curculionidae) de importancia económica en Colombia: caso *Rhynchophorus palmarum*
- 751 *L. y Metamasius spp.* . Master thesis.