

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.

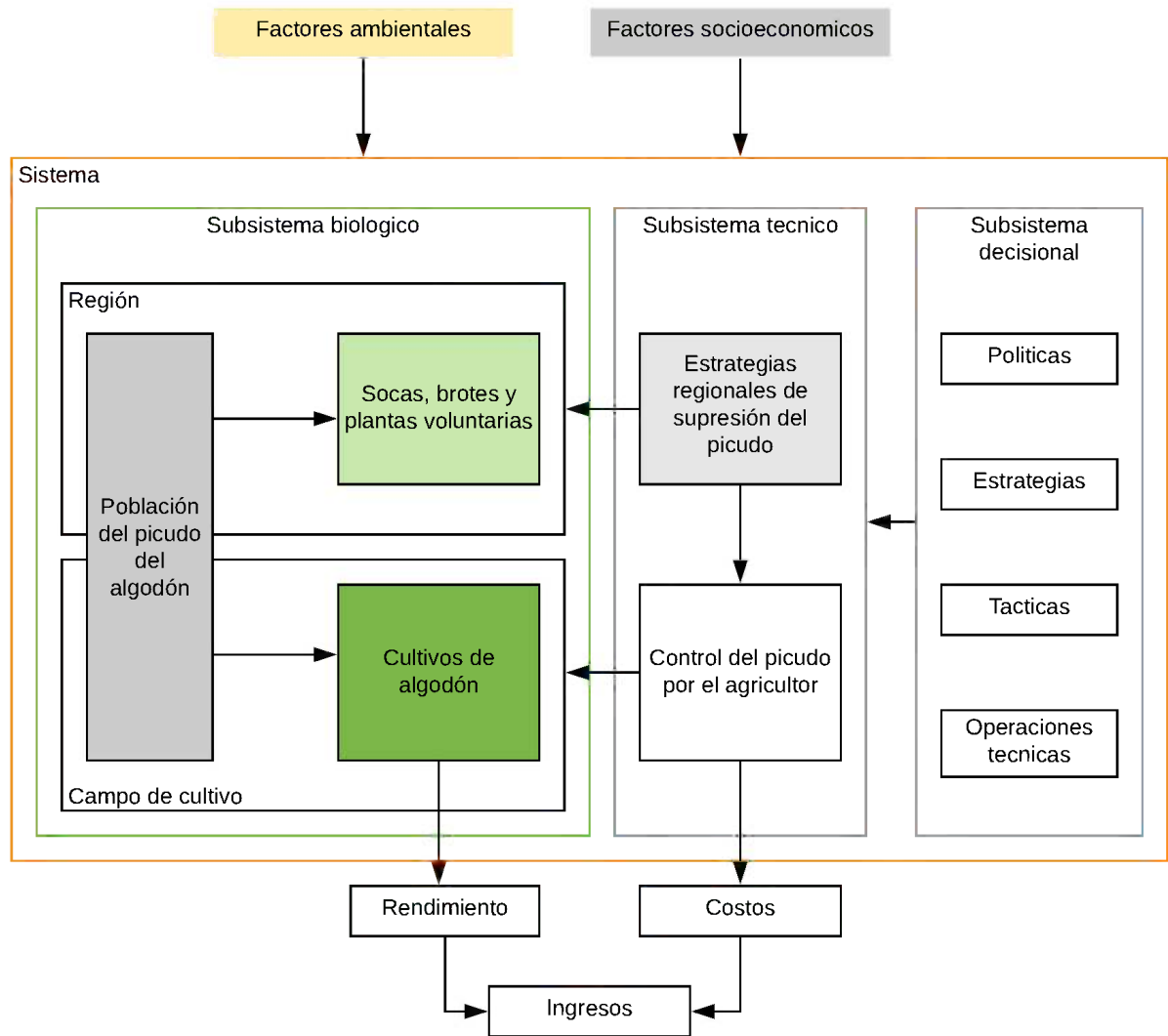
^e AVAnalytics, 1670 NW 82 Avenue, 33191, Doral, Florida, United States.

* 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 algodonoero *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 (Scatagliini et al. 2006). En Colombia, el picudo del algodonoero es endémico en

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

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

85 **METODOLOGÍA**

86 **Área de estudio**

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

94 **Colecta de datos**

95 Los datos utilizados para construir el modelo conceptual se obtuvieron de dos fuentes. Para identificar variables
96 y parámetros asociados con las operaciones técnicas involucradas en manejo de *A. grandis*, fueron realizadas
97 entrevistas semi-estructuradas con expertos técnicos. El grupo de expertos de conocimiento que participaron en
98 el desarrollo del modelo inicial incluyeron un fisiólogo con experiencia en el cultivo de algodón, 3 agricultores,
99 4 entomólogos (3 con experiencia en el manejo del picudo del algodón y uno con experiencia en ecología de
100 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

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

- 150 ● Políticas
- 151 ● Nivel estratégico
- 152 ● Decisiones tácticas
- 153 ● Decisión operativas

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

159 **3. Un modelo conceptual de manejo del picudo del algodón para el Caribe colombiano**

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

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

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

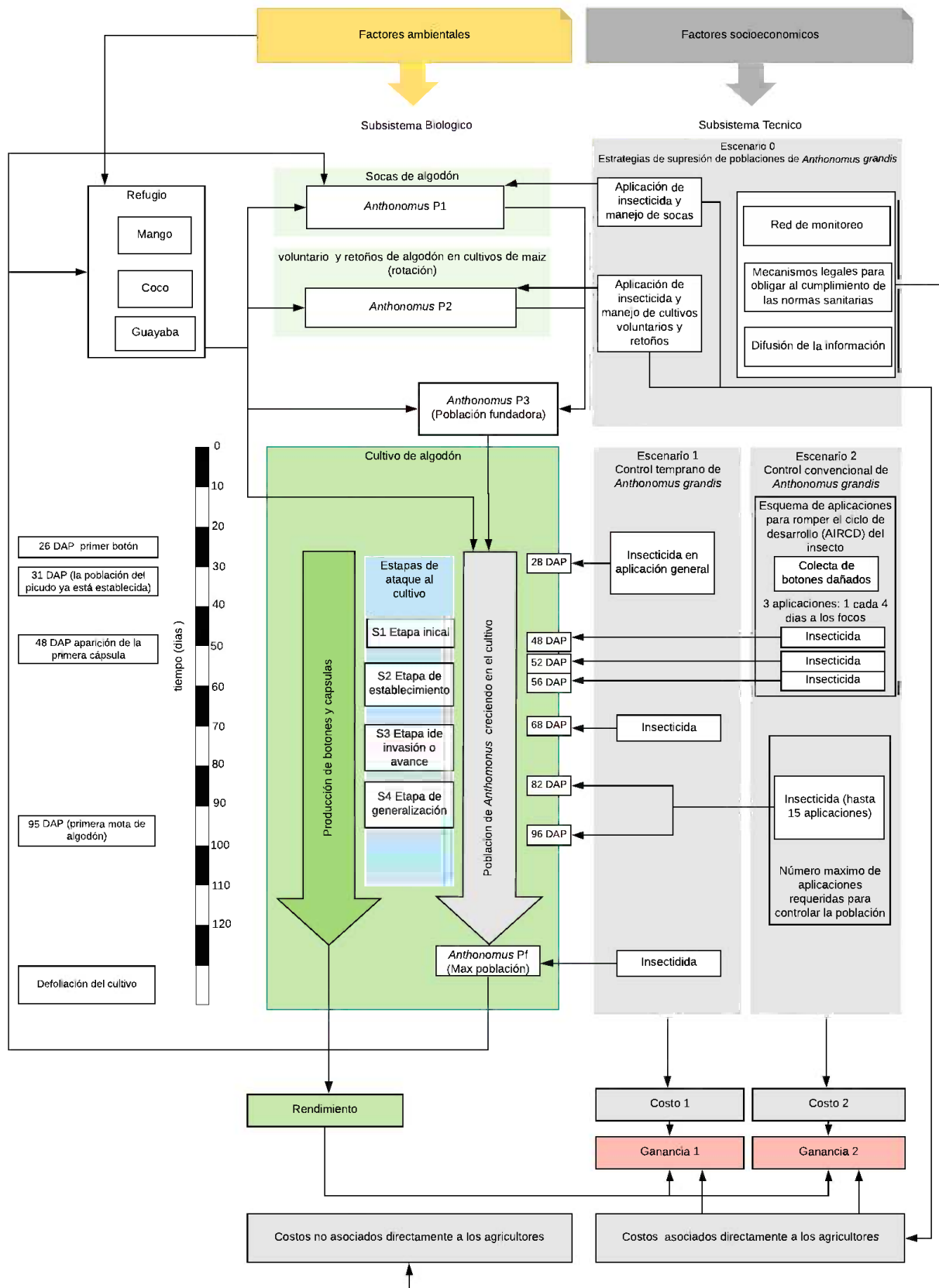


Figura 1. Modelo conceptual que describe estrategias y tácticas de manejo utilizadas para el control de *Anthonomus grandis* en la región del Caribe colombiano. Esta descripción incluye dos subsistemas: el subsistema biológico que incluye el picudo del algodón, los cultivos de algodón (Upland) y las interacciones entre ambos componentes; y el subsistema técnico que describe las estrategias de manejo desarrolladas durante la temporada algodoneira y entre las temporadas algodoneiras. Para la temporada algodoneira, 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

Tiempo (año)	Entre temporadas algodonereras Marzo - Agosto	Temporada algodонера Agosto - Marzo	Fuente*
Factores			
Factores ambientales	Climas tropicales de sabana y monzón (Aw, Am, Af) que no amenazan la supervivencia de la plaga		
Factores socioeconómicos	El 70% de los cultivadores de algodón arriendan tierras para sus plantaciones, lo que no los compromete a destruir las socas y los rebrotes y a eliminar a los algodones voluntarios que persisten entre las temporadas algodonereras. ICA (la agencia gubernamental colombiana para el sector agrícola) tiene la misión de vigilar y promover la sanidad en el sector agrícola y pecuario, pero carece de un marco legal adecuado y de recursos técnicos y financieros que le permita controlar que todos los productores de algodón destruyan socas y algodones voluntarios en las fechas límite definidas.		KE21
Refugios	Un área de refugio se define como lugares donde el picudo del algodonerero puede obtener alimento entre temporadas algodonereras. En algunas áreas de refugio, el picudo puede encontrar hospederos capaces de apoyar su desarrollo reproductivo, pero estos son escasos. Las áreas de refugio son una fuente constante de estos insectos donde su población no puede ser controlada o erradicada. Estas poblaciones no se consideran parte de este análisis del sistema porque las limitaciones económicas y técnicas dificultan su control en estas áreas. Los hospederos de alimentación incluyen guineo (un landrace de banano), manzano, mango, mataralón (<i>Girardinia sepium</i>), cocoteros, plátanos, guayaba dulce (una variedad local de <i>Psidium guajava</i>) y varias especies de gramíneas. Estas plantas permiten que las poblaciones de picudo del algodonerero sobrevivan períodos de tiempo mayores a tres meses. Además, el picudo puede sobrevivir alimentándose del polen de maíz. El maíz es el cultivo rotativo preferido para el algodón.		CONALGODÓN et al. 2018, Jimenez Mass et al. 2001, LMG
Sistema			
Subsistema biológico			
<i>Anthonomus grandis</i>	Las poblaciones de picudos del algodonerero que sobreviven y hay una reproducción en socas, rebrotes y plantas voluntarias	Las poblaciones de picudo del algodonerero provenientes de áreas de refugio llegan a las temporadas de cultivo del algodón donde pueden reproducirse y aumentar drásticamente su tamaño de población.	KE22
Poblaciones de algodón Upland	Socas, rebrotes y plantas voluntarias.	Cultivos de algodón Upland	
Subsistema técnico			
Escenarios de control	Escenario 0. Todas las medidas necesarias para reducir la población de picudo del algodonerero que sobreviven fuera de la época de temporada algodонера. Estos incluyen, entre otros, la destrucción de socas, regeneraciones y plantas voluntarias, es recomendable la aplicación de insecticidas sobre estas plantas con el objetivo de disminuir la población de picudo del algodonerero.	Escenario 1. Evitar la infestación de cultivos de algodón por el picudo. En este escenario deben realizarse aplicaciones calendario tempranas de insecticidas simultáneas a la aparición del primer botón floral.	KE01
	Las socas no son destruidas inmediatamente después de la cosecha y persisten hasta mediados de año. En mayo de 2010, hubo información sobre una superficie de 10.000 ha. de socas de algodón que no fueron destruidas.	Escenario 2. "El negocio como siempre". Reducción de la tasa de crecimiento de la población de picudo ya establecida en el cultivo del algodón. En este escenario las aplicaciones de insecticidas son monitoreados. Debe realizarse hasta 15 aplicaciones de insecticidas utilizando este método. Aproximadamente el 90% de los agricultores utilizan este método.	KE01, KE22, KE23
			(Arbelaez Farfán, 2012)
Indicadores del sistema			
Rendimiento	Las pérdidas de rendimiento relacionadas con el picudo del algodonerero cambian de acuerdo con la presión de la plaga para cada año y fecha de siembra en particular. Las fechas de siembra tardías enfrentan poblaciones de picudo más grandes que requieren más aspersiones de insecticidas para su control.		KE01, KE22
Costos de manejo	No está claro quién es responsable de los costos de destrucción de las socas al final de la temporada algodонера y no existe un método efectivo que asegure el cumplimiento de la destrucción de la soca. Algunos arrendatarios de tierras al final del contrato de arrendamiento no destruyen las socas inmediatamente después de la cosecha, dejando esa tarea al propietario de la tierra. ICA no tiene un marco legal preciso y una capacidad técnica para perseguir a estos infractores.		KE21, KE22

* 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		
Población de <i>A. grandis</i>	Cambios demográficos en la población del insecto	Población inmigrante		Población establecida		Población residente		Población emigrante	
		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.							
		KE22, KE23							
<i>Anthonomus grandis</i>	Daño del cultivo por <i>A. grandis</i>	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 espaciales-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
		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 múltiples 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.	
Gómez Lopez, 1981, INTA 2014									
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	
	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 <i>A. grandis</i> 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
	Tiempo (DDE) cuando se desarrolla la OT	48 DDE		82 DDE		120 - 150 DDE		Gómez 1981, Yepes R. 1997, KE01, KE16, KE22	

* DDE, días después de la emergencia

3.1 Subsistemas

3.1.1 Subsistema biológico

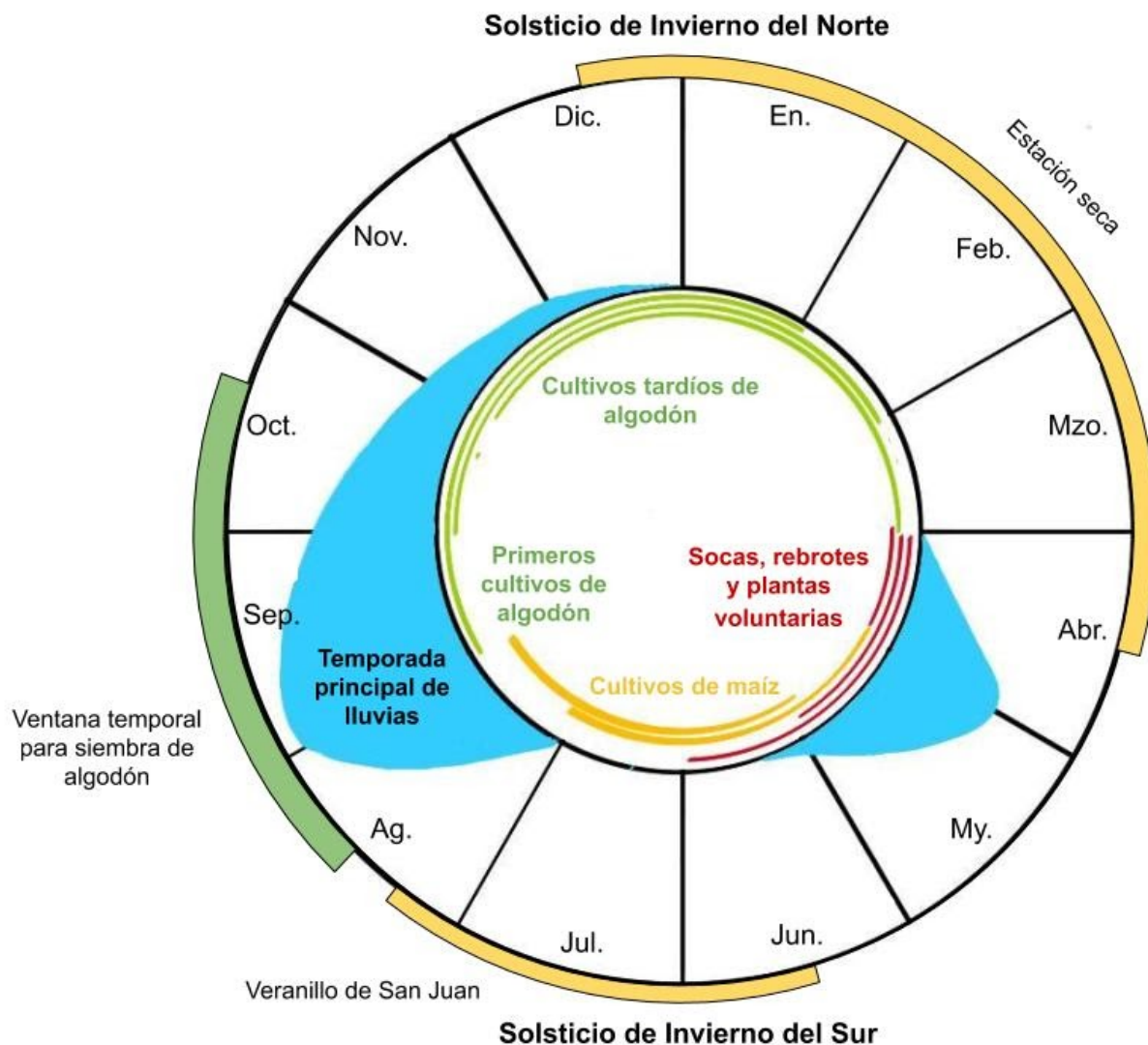
Desarrollo fenológico del algodón

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).



240 **Figura 2.** Ventana de tiempo para las fechas de siembra de algodón, soca, rebrotes y plantas voluntarias. Estas poblaciones de algodón
 241 permiten la reproducción activa de *Anthonomus grandis* durante todo el año. En el español colombiano, el término “verano” es usado
 242 para designar la temporada seca o con ausencia de precipitaciones, y el término “invierno” es empleado para designar la temporada de
 243 lluvias. En este documento, los términos verano e invierno son usados en su definición técnica que es equivalente a la de los términos
 244 en inglés “summer” y “winter” (no en el uso coloquial que le es dado en Colombia). La región del Caribe colombiano presenta un
 245 patrón de lluvia bimodal y el algodón es cultivado en la estación lluviosa principal. La región exhibe variación en la cantidad de
 246 precipitación de occidente a oriente sin abandonar el patrón bimodal de precipitación. El “Veranillo de San Juan” es la sequía anual de
 247 menor longitud que interrumpe la temporada de lluvias en el Caribe y América Central provocando el patrón de lluvias bimodales.
 248 Este fenómeno meteorológico está asociado al predominio de las corrientes de viento de bajo nivel del Caribe durante el Solsticio de
 249 Invierno Austral. El patrón de precipitación bimodal asociado con el “Veranillo de San Juan” (estación seca prolongada durante el
 250 invierno boreal y estación seca más corta durante el invierno austral) define el clima de la parte central y norte de Colombia (el
 251 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.

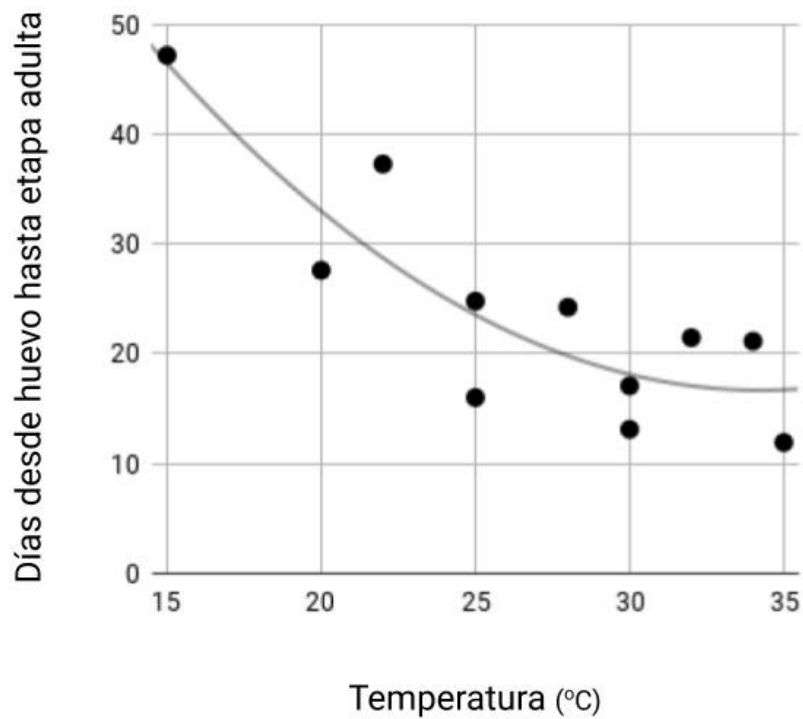


Figura 3. Desarrollo del picudo algodónero en relación a la temperatura. A bajas temperaturas (15 °C), el picudo del algodónero requiere más de 40 días para completar su ciclo de vida completo. A temperaturas entre 30-35 °C, el picudo del algodónero puede alcanzar la madurez entre 10 a 20 días. Para 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

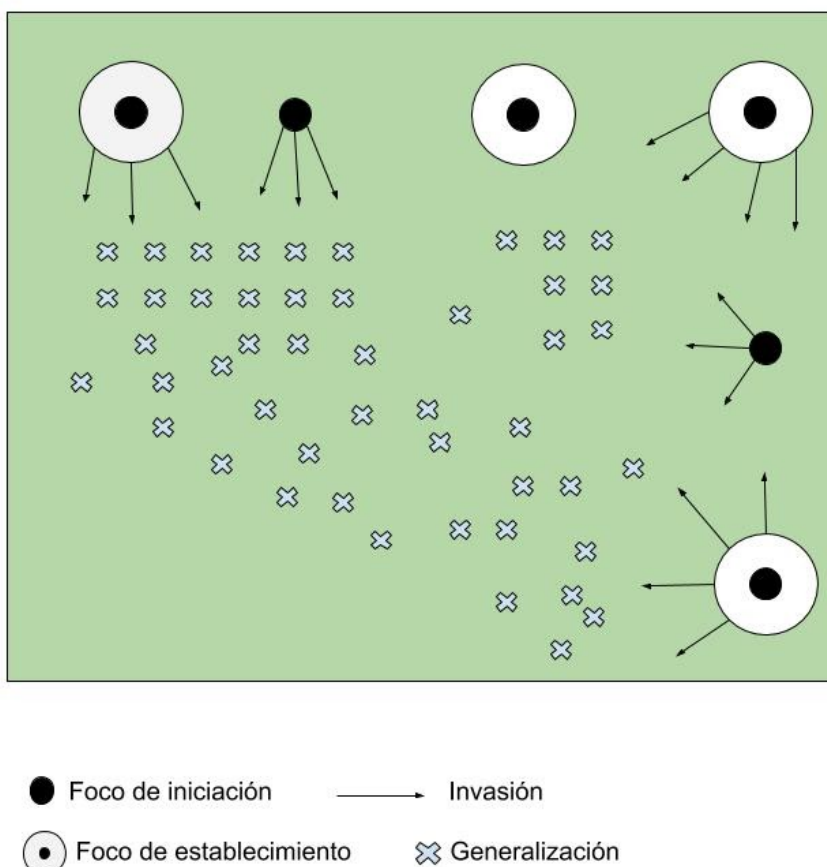
Subsistemas	Componentes	Variables de estado (o parámetros)	Relaciones entre variables	Año				Fuente
				1er Trimestre	2do trimestre	3er Trimestre	4to trimestre	
<i>Anthonomus grandis</i>	Poblaciones del picudo del algodónero que habitan entre temporadas algodonerías	Población de picudos del algodónero 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 refugios 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 hectáreas.	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 refugios 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).

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

296 Los ataques de *A. grandis* en los campos de algodón en los trópicos y subtropicos se describen en cuatro etapas
297 (Tabla 2) que son utilizadas como criterios para diseñar estrategias de manejo: S1) Primera etapa o llegada del
298 picudo al lote de algodón: el daño al cultivo está asociado principalmente con oviposición y ocurre en grupos
299 cerca de los orillas del campo; S2) Etapa de establecimiento de la población: el daño está relacionado
300 principalmente con la oviposición de las hembras migratorias, y la alimentación y oviposición de la primera
301 generación de picudo del algodón nacida en el cultivo; S3) Etapa de invasión o avance: los botones y las
302 flores son atacados por la población establecida de picudo del algodón. Todas las etapas del ciclo de vida del
303 insecto son detectadas en esta fase; y S4) Etapa de generalización: la etapa más avanzada. La población de
304 picudo del algodón ha disminuido drásticamente el número de flores amarillas y las aplicaciones químicas
305 son necesarias para evitar pérdidas significativas de rendimiento (Figura 4) (INTA 2014; Lobatón García
306 1981). Antes de S1, aproximadamente 15 a 20 días después de la emergencia se pueden observar adultos de
307 picudo del algodón en los cultivos de algodón (DDE) situados en las hojas más jóvenes, y aparecen
308 perforaciones en los brotes terminales de las plantas.



310 **Figura 4.** Distribución espacial del picudo del algodón dentro de un campo de algodón, que ilustra la progresión del desarrollo del
 311 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
 312 Caribe para describir la dinámica del picudo del algodón y como un alternativa al concepto de umbral económico (basado en la
 313 densidad individual, insectos / plantas) que no es útil en la toma de decisiones de manejo de plagas con patrones agregados.

314 3.1.2 Subsistema técnico-decisional

315 Las estrategias utilizadas para el manejo del picudo del algodón incluyen una serie de intervenciones de
 316 campo, operaciones técnicas y decisiones relacionadas ejecutadas en dos escalas espacio-temporal,
 317 regional-nacional y a nivel de campo. Para una mejor comprensión y jerarquización de estos elementos, se
 318 incorporó el concepto de horizontes de planificación en el proceso de toma de decisiones con las siguientes
 319 escalas de tiempo: desarrollo de políticas, estratégico, táctico y operativo (Tabla 4) (Rabbinge et al. 1993;
 320 Conway 1984). El nivel regional y nacional corresponde a las decisiones orientadas a la ejecución de las
 321 políticas a cargo de las instituciones de los gobiernos nacionales o federales. Para el sector agrícola colombiano,
 322 el Instituto Colombiano Agropecuario (ICA) desempeña el papel de ejecutor de las políticas nacionales
 323 (cumpliendo con el rol de agencia administrativa del gobierno) (Escenario 0). A nivel de campo, dos escenarios
 324 tácticos deben identificarse para el control del picudo durante la temporada algodonera (Escenarios 1 y 2). Un
 325 escenario de gestión y toma de decisiones a nivel político afecta los escenarios estratégicos y tácticos, mientras
 326 que no hay influencia de las decisiones en los escenarios estratégicos o tácticos sobre las decisiones a nivel
 327 político. La implementación efectiva del Escenario 0 (política) genera una expectativa que resulte en menores
 328 poblaciones migratorias de picudo del algodón, lo que facilitará el manejo de plagas durante la temporada
 329 del algodón (estrategias y tácticas implementadas por los cultivadores). El marco jerárquico de toma de
 330 decisiones para el manejo del picudo del algodón descrito puede ser utilizado en el desarrollo de un
 331 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

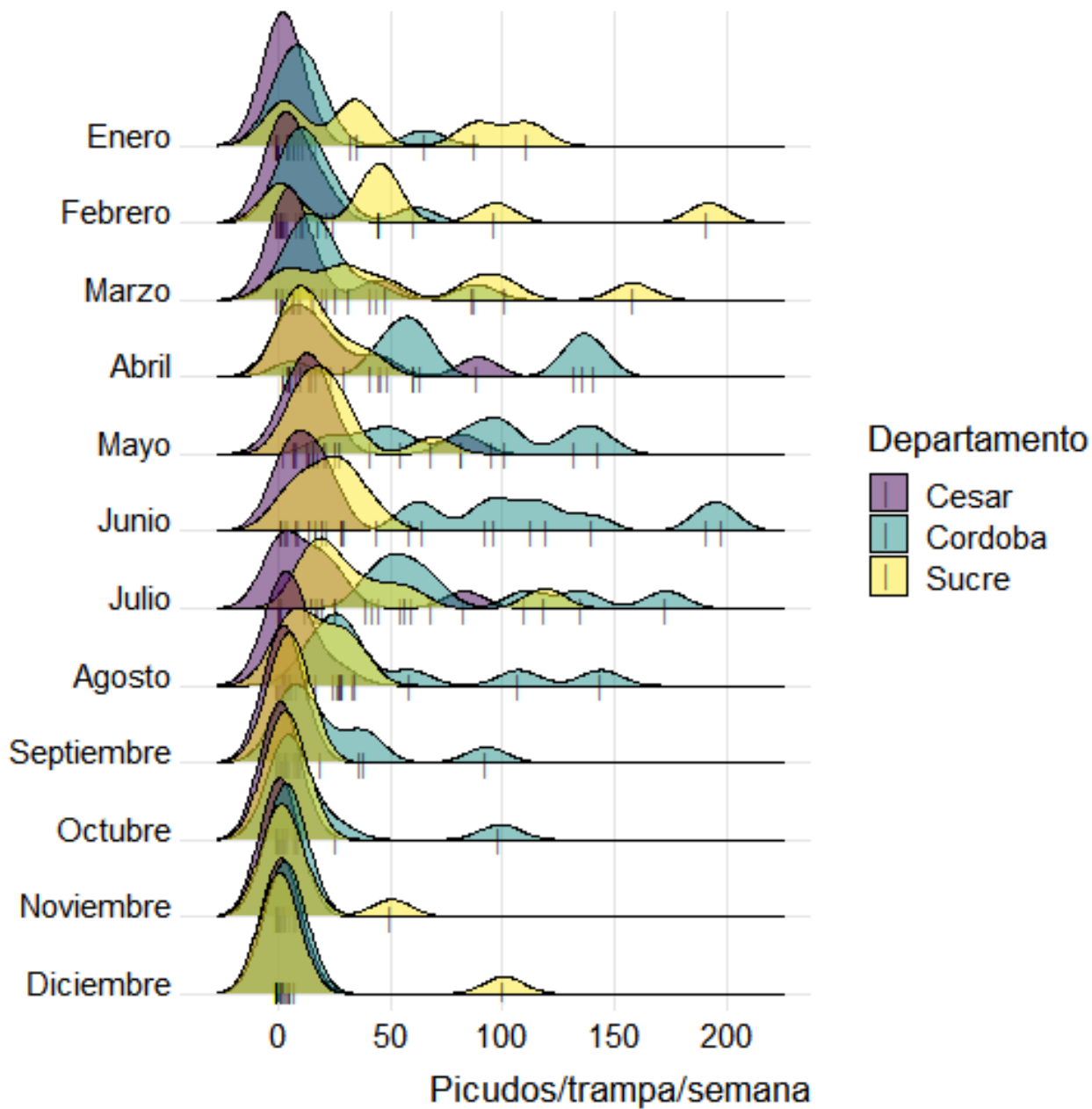
364 picudo a mediados de año, después de que se han ejecutado las medidas de supresión o cuando el cultivo de
365 algodón ha disminuido drásticamente su área (Figura 6). Este efecto es esperado considerando que la
366 disponibilidad de plantas de algodón determina la capacidad de carga del ambiente para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

372 **El programa de supresión del picudo del algodón en el Caribe colombiano**

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

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

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



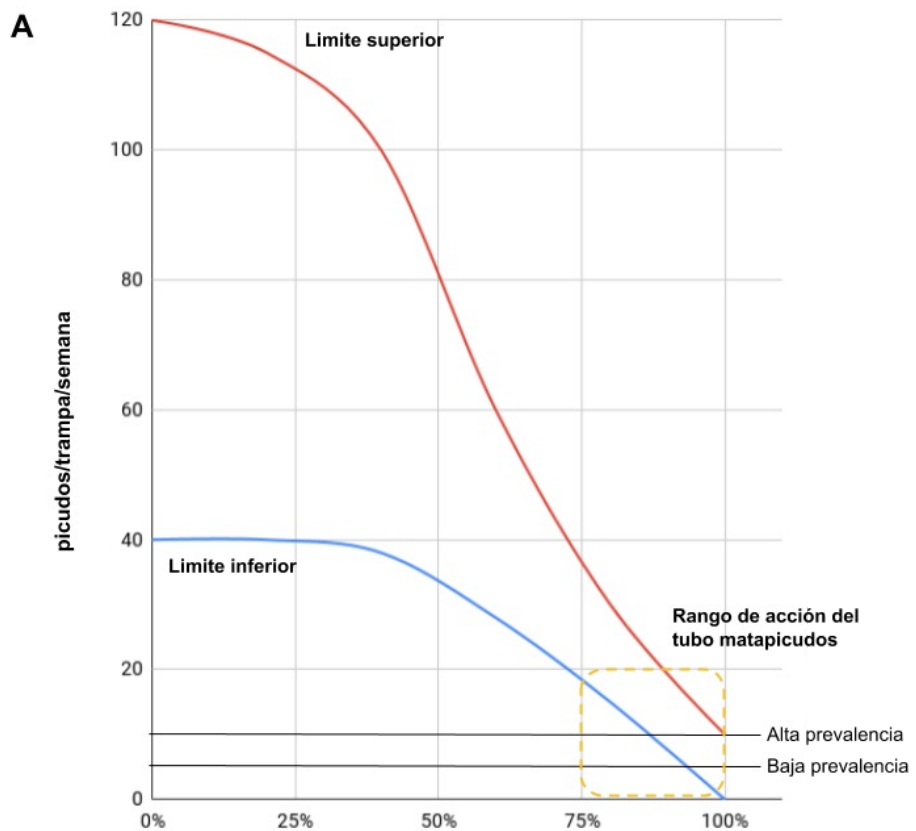
416 **Figura 5.** Dinámica de la población migratoria del picudo del algodónero (adultos negros) en Córdoba, Cesar y Sucre, los estados con
417 las áreas productoras de algodón mas grandes en Colombia. Los valores recogidos de las trampas de feromonas son presentados como
418 valores de índice de trampa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

427 El control de plagas a nivel regional (erradicación o supresión) requiere decisiones políticas seguidas de
428 acciones coordinadas de las partes interesadas (Simberloff 2003; Veitch and Clout 2002). Las decisiones
429 políticas (administrativas) son tomadas por las agencias administrativas del gobierno encargadas de tal fin con
430 efecto sobre los intereses y los derechos de los privados (Boyer 1960). Estas agencias gubernamentales pueden
431 delegar la responsabilidad de tales iniciativas a las asociaciones o agremiaciones de agricultores. Sin embargo,
432 evaluaciones de los programas de manejo de plagas a escala regional indican que cuando los agricultores o sus
433 organizaciones no pueden seguir las políticas prescritas, las agencias gubernamentales encargadas de la toma de
434 decisiones deben intervenir y liderar la aplicación de las medidas sanitarias (Simberloff 2003; Veitch and Clout
435 2002). Para liderar eficazmente tales esfuerzos, estas agencias gubernamentales requieren programas de manejo
436 de plagas con objetivos claros a largo plazo, provisión adecuada de recursos financieros y técnicos y acuerdos
437 con instituciones aliadas para facilitar la implementación de programas sanitarios (Tobin et al. 2014).

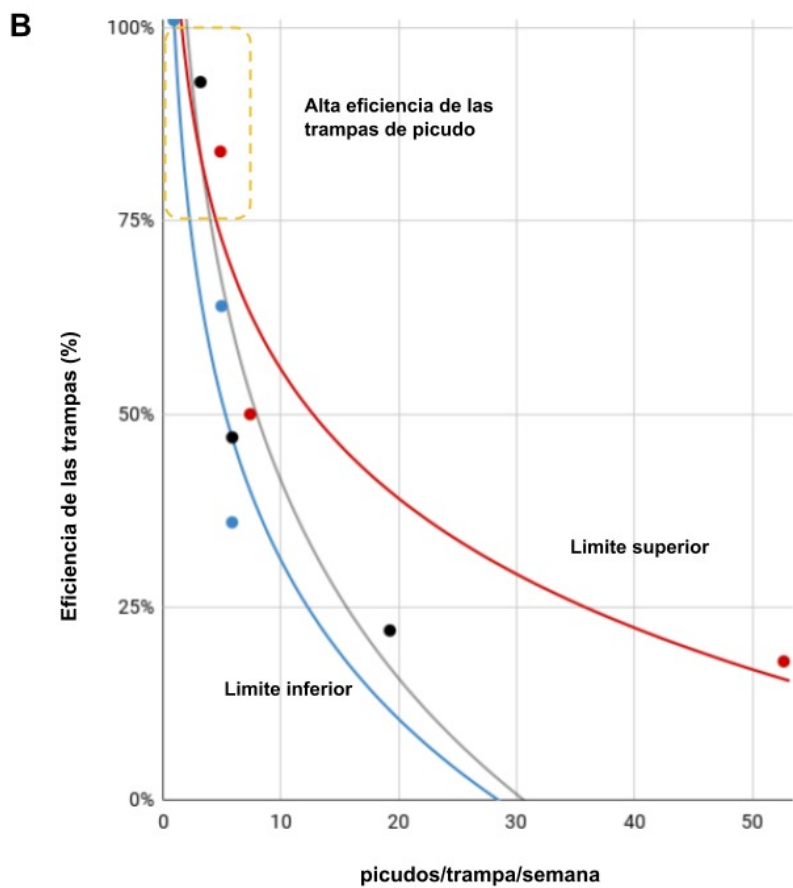
438 En la actualidad, el monitoreo de la destrucción de las socas es manejado por las agremiaciones de agricultores,
439 que informan sus observaciones a ICA. Sin embargo, socas y rebrotes son observados frecuentemente a
440 mediados de año. Las medidas de control de la soca no son posibles como resultado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

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

458 Los tubos de atracción y control y otros tipos de trampas pueden ser reemplazados por otras intervenciones de
459 campo que cumplen el mismo propósito de controlar la llegada del picudo del algodón al cultivo y el
460 desplazamiento a los refugios al final de la temporada. Estas intervenciones son los cultivos trampa y las
461 aplicaciones tempranas de insecticida (estas aplicaciones serán discutidas en mayor detalle como parte de los
462 escenarios tácticos de control). Las aplicaciones tempranas de insecticidas (en la primera aparición al botón) son
463 recomendadas cuando existen poblaciones migrantes de picudo en la región (medidos como IT) (Rummel et al.
464 1980). Con base en los registros históricos de las poblaciones de picudo en migración en la región del Caribe
465 (Figura 5), estas primeras aplicaciones deberían ser la operación estándar de control del picudo. Sin embargo en
466 consideración a que existe un sistema de monitoreo del picudo, la decisión de llevar a cabo o no aplicaciones
467 tempranas debe basarse en la estimación de poblaciones de picudo presentes en la zona. Los valores IT pueden
468 usarse para estimar el tamaño de las poblaciones de picudo del algodón migratorias antes de la temporada de
469 algodón y predecir los riesgos de infestación de cultivos y los ajustes apropiados a las estrategias de manejo de
470 esta plaga.



Ejecución de operaciones técnicas requeridas para el control del picudo



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

487 **Tácticas de manejo del picudo a escala de finca (Manejo químico del picudo durante la temporada** 488 **algodonera)**

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

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

504 En el escenario 2 se deben emplear dos intervenciones de campo complementarias basadas en aplicaciones de
505 insecticidas para controlar las poblaciones de picudo del algodón. La primera intervención de campo debe
506 ejecutarse cuando se detectan los primeros focos de agregación de picudo del algodón en el campo
507 (aplicaciones basadas en monitoreo). Los puntos de agregación se definen como grupos de 5-10 plantas con
508 daño visible por oviposición y alimentación (características que definen la etapa de ataque S2). El manejo
509 de este momento implica recoger los botones con daño de las plantas y los caídos en el suelo y la ejecución de una
510 serie de aplicaciones de insecticidas limitada a los focos de infestación. Este esquema de aplicaciones de
511 insecticidas tiene como propósito interrumpir el ciclo de vida de las poblaciones de picudo del algodón
512 creciendo en el cultivo (Figura 2). La primera aplicación tiene como objetivo eliminar a todos los adultos de
513 picudo del algodón que circulan en el campo. Deben llevarse a cabo tres aplicaciones cada 4 días con el
514 objetivo de interrumpir el crecimiento de picudo del algodón en el cultivo. El período de alimentación es de
515 cuatro días en los cuales una hembra adulta joven de picudo del algodón comienza un nuevo ciclo de
516 oviposición en el clima de la sabana del Caribe (Yepes Rodriguez 1997; Gómez Lopez 1981). La población de
517 picudo del algodón no se elimina completamente en esta intervención y avanza a la fase de invasión (S3),
518 donde se produce daño por alimentación y oviposición en botones y cápsulas. La segunda intervención de
519 campo se ejecuta durante esta fase. En este momento, las poblaciones de picudo del algodón se controlan
520 con más aplicaciones de insecticidas, pero ahora en todo el campo (aplicaciones generales). Entre 4 y 5
521 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 algodón cuando los botones están ausentes). Los agricultores informan con frecuencia que se requieren 10 aplicaciones por temporada de cultivo para controlar el picudo del algodón y son requeridas hasta 15 aspersiones para las temporadas de algodón con alta presión de picudo del algodón (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 algodón (Tabla 1).

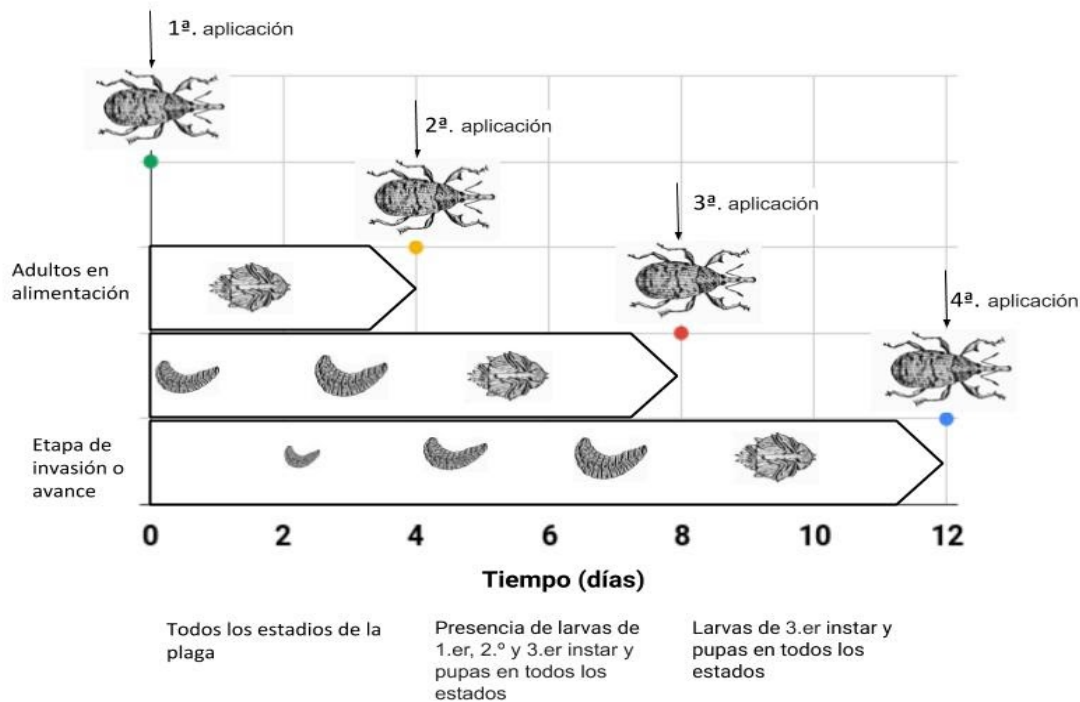


Figura 7. Descripción del esquema de aplicación de insecticidas para interrumpir el ciclo de vida de las poblaciones del picudo del algodón que alcanzaron la fase S2. La fase S2 hace referencia al desarrollo de focos de infestación dentro del cultivo. Estos focos deben ser controlados con la aplicación 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 algodón, 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 algodón (S1).

Experimentos de campo y entrevistas con asistentes técnicos sugieren una llegada asincrónica 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

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

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

570 **Conclusiones y perspectivas.**

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

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

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

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

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

621 **Agradecimientos**

622 Esta investigación fue apoyada por el Servicio Alemán de Intercambio Académico (DAAD), la Fundación Fiat
623 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 un 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 algodónero.
- 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., Setamou, 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 Weevil1234. *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

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

678 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.

679

680 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.

681

682 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.

683

684 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.

685

686 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.

687

688 Lobatón Garcia, 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.*

689

690

691 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.

692

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

694

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

696

697 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.

698

699 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.

700

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

702

703 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.

704

705 Osorio-Almanza, L., Burbano-Figueroa, O. and Martínez-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.

706

707 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.

708

709 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.

710

711 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.

712

713 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.

714

715 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.

716

717 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.

718

719 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.

720

721 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.

722

723 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.

724

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

726

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

728

729 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.

730

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

732

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

734

735 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.

736

737 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 algodón ICA 2008.pdf*. ICA.
- 739 Villareal Pretelt, N., Galindo Álvarez, J. and Lobatón González, V. 2005. *Evaluación post-registro de los tubos matapicudos (TMP)*. Corpoica.
- 740 Villareal Pretelt, N.E., Lobatón González, V., Galindo Álvarez, J.R. and Mondragón Leonel, V.A. 2006. *Monitoreo del picudo del algodón Anthonomus grandis*
741 *Boheman en Colombia (2001 - 2005)*. ICA.
- 742 Villavaso, E.J., Mcgovern, 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.