



UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA

**RELACIÓN ENTRE FACTORES BIÓTICOS Y ABIÓTICOS EN LOS
CULTIVOS DE GUAYABA CON LA INFESTACIÓN DE PICUDO
(*CONOTRACHELUS PSIDII*, COLEÓPTERA: CURCULIONIDAE) EN
PUENTE NACIONAL (SANTANDER, COLOMBIA)**

LAURA MARCELA MACHUCA MESA

Universidad Nacional de Colombia
Facultad de Ciencias
Departamento de Biología
Bogotá D.C, Colombia
2014

**RELACIÓN ENTRE FACTORES BIÓTICOS Y ABIÓTICOS EN LOS
CULTIVOS DE GUAYABA CON LA INFESTACIÓN DE PICUDO
(*CONOTRACHELUS PSIDII*, COLEÓPTERA: CURCULIONIDAE) EN
PUENTE NACIONAL (SANTANDER, COLOMBIA)**

LAURA MARCELA MACHUCA MESA

Trabajo de investigación presentado como requisito parcial para optar al título de:
MAGISTER EN CIENCIAS BIOLÓGÍA

Directora

María Argenis Bonilla Gómez

Línea de investigación:

Ecología

Grupo de Investigación:

Biología de Organismos Tropicales

Universidad Nacional de Colombia
Facultad de Ciencias
Departamento de Biología
Bogotá D.C, Colombia
2014

*A la Universidad Nacional de Colombia
(**Inter Aulas Academiae Quære Verum**) por
permitirme buscar parte de la verdad en sus aulas.*

*A mis padres Lucrecia y Daniel por apoyar mi
formación.*

*A María Argenis Bonilla por mostrarme el
magnífico mundo de la ecología.*

*A mis chikoritas del alma Cata, Azula y
Stephy por su apoyo al trabajo.*

Laura Marcela Machuca Mesa. 2014.

Agradecimientos

UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA. SEDE BOGOTÁ. Por el apoyo económico con la beca de asistente docente.

FUNDACION JUAN PABLO GUTIÉRREZ CÁCERES. Por el apoyo económico para los cuatro semestres de la maestría.

MARÍA ARGENIS BONILLA GOMEZ. Profesora Asociada del Departamento de Biología. Directora del grupo de investigación Biología de Organismos Tropicales de la Universidad Nacional de Colombia. Por la dirección del trabajo.

INTEGRANTES DEL GRUPO DE BIOLOGIA DE ORGANISMOS TROPICALES (BIOTUN). Por el apoyo humano y académico en el desarrollo del trabajo de campo y laboratorio.

IDERMAN, PRODUCTORES PUENTE NACIONAL. Por la presentación de los productores y el acceso a las fincas.

ALICIA ROMERO FRIAS. Estudiante de Doctorado de Química Universidad Nacional de Colombia. Por su apoyo en campo y en laboratorio.

ALICIA LUCIA MORALES. Por el apoyo en campo.

SVEN ALARIK y MARICELA. Por su hospitalidad, apoyo en la fase de campo y múltiples enseñanzas.

COLEGIO DELICIAS (PUENTE NACIONAL). Por el apoyo de los estudiantes a la fase de campo.

CAROLINA BECERRA. Bióloga. Laboratorio de Biología Vegetal. Por su colaboración en la fase de laboratorio.

A mis amigos Dionne, Alfonso, Manuela, Alejandra, Jossian, María del Mar, Fredy, Eliana, Angélica. Por su apoyo a la realización del trabajo. Mil Gracias a todas aquellas personas que contribuyeron al desarrollo de este trabajo.

Resumen

Los insectos que son “plagas” causan daño a los sistemas naturales y aquellos que son manejados por el hombre y durante mucho tiempo se ha demostrado que las plagas generan resistencia a los pesticidas y se ha generado un problema ambiental con el mal uso de dichos productos. Los cultivos de guayaba en el país actualmente son atacados por picudo lo que genera grandes pérdidas económicas. En la actualidad los programas agrícolas están dirigidos a controlar las plagas juntando conocimientos biológicos, culturales y químicos, pues estas prácticas son de bajo costo y no degradan el medio ambiente. El objetivo de la presente investigación fue conocer y analizar algunos de los factores bióticos y abióticos que afectan la infestación de picudo a cultivos de guayaba; adicional a esto se estudió el crecimiento en diámetro polar y ecuatorial de frutos sanos e infestados a través del tiempo de desarrollo. Se analizó el crecimiento de 508 frutos en cuatro meses y la edad más vulnerable a la infestación; adicional a esto registros de daño en flores y botones florales. Para establecer las relaciones entre factores bióticos y abióticos con la infestación se tuvieron en cuentas las siguientes variables: altitud de la finca, altura de las plantas, cobertura de las plantas, distancia de siembra, aplicación de insecticidas y aplicación de fertilizantes.

Los botones presentaron daño ocasionado por consumo y un desarrollo de tipo exponencial en 30 días de crecimiento. El crecimiento de los frutos sanos e infectados tardo en promedio 120 días y el diámetro ecuatorial y polar presento un crecimiento ajustado a la curva de Gompertz, dividida en tres etapas que se caracterizaron por la velocidad de crecimiento. La región estudiada presenta un porcentaje de infestación del 60% donde los cultivos no tecnificados alrededor de los cultivos pueden estar explicando cerca del 61% de la infestación, factores abióticos como temperatura, humedad y precipitación o factores biológicos como otras plagas pueden estar determinando el restante porcentaje de infestación. Las fincas estudiadas presentaron perdidas de aproximadamente de 3 toneladas de fruta por la infestación de picudo.

Finalmente se concluye que las hembras de picudo solo ovipositan en los frutos y con preferencia en las primeras edades del desarrollo, dentro de los factores que se estudiaron y que explican la infestación son los cultivos de guayaba no tecnificados alrededor de los cultivos tecnificados.

Palabras Clave: *Psidium guajava*, *Conotrachelus psidii*, infestación por picudo, Puente Nacional, factores bióticos y abióticos.

Abstract

The insect "pests" cause damage to natural systems and culture has long been demonstrated that pests develop resistance to pesticides and has generated an environmental problem. Guava crops in the country are attacked by the weevil causing economic losses. At present farm programs are aimed at controlling pests with biological, cultural and chemical knowledge, as these practices are inexpensive and do not degrade the environment. The objective of this research was to analyze some of the biotic and abiotic factors affecting infestation of crops guava weevil, en Puente Nacional (Santander), in addition to this growth was studied in polar and equatorial diameter of healthy fruit infested through the development time. Additional records of this damage flowers and flower buds, the growth of 480 fruits in four months and the most vulnerable to infestation age were analyzed. To establish the relationships between biotic and abiotic factors with infestation took into account the following variables: altitude of the farm, plant height, coverage, planting distance, application of insecticides and fertilizer application.

The buttons had damage caused by consumption and exponential growth in 30 days. The growth of healthy and infected fruits slow on average 120 days and the polar and equatorial diameter presented a growth adjusted Gompertz curve, divided into three stages which are characterized by the growth rate. The study region has a percentage of 60% infestation where wild guava trees around crops can be explaining about 61% of the infestation, abiotic factors such as temperature, humidity and precipitation o biotic factors as others pests can be given the remainder of infestation. Farms studied had lost about 3 tons of fruit for weevil infestation.

The conclude that female weevils oviposit only in fruit and preferably in the early ages, one of the factors which may explain the infestation is wild guava trees around crops.

Keywords: *Psidium guajava*, *Conotrachelus psidii*, guava weevil, Puente Nacional, biotic and abiotic factors.

CONTENIDO

Resumen	IX
Abstract.....	XI
Lista de figuras.....	XV
Lista de tablas	XVI
1. INTRODUCCIÓN	19
2. OBJETIVOS.....	23
2.1 Objetivo general.....	23
2.2 Objetivos específicos	23
3. MARCO TEÓRICO.....	25
3.1 Desarrollo de frutos.....	25
3.2 Depredación de frutos y semillas	26
3.3 Factores abióticos y establecimiento de plagas	29
4. ESTADO DEL ARTE.....	31
5. MATERIALES Y MÉTODOS.....	35
5.1 Área de estudio.....	35
5.2 Cultivo de guayaba en Puente Nacional	37
5.3 Especies estudiadas	39
5.3.1 <i>Psidium guajava</i> L.	39
5.3.2 <i>Conotrachelus psidii</i> Marshall.	39
5.4 Mediciones en campo	41
5.4.1 Crecimiento de los frutos e infección por el picudo	41
5.4.2 Evaluación de los factores bióticos y abióticos que afectan la infestación	41
5.5 Análisis estadístico	43
6. RESULTADOS.....	45
6.1 Desarrollo de las flores hacia frutos e infección	45
6.1.1 Botones florales.....	45
6.1.2 Flores	46
6.1.3 Frutos.....	47
6.2 Influencia de factores bióticos, abióticos y cultivos no tecnificados de guayaba alrededor del cultivo tecnificado	50 53
6.3 Efectos de la infestación de picudo sobre la producción de guayaba en las fincas estudiadas	53
7. DISCUSIÓN	55
8. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	61
8.1 Conclusiones	61
8.2 Recomendaciones	61

9. BIBLIOGRAFÍA63

Lista de figuras

	Pág.
Figura 1. Ubicación de Puente Nacional (Santander), ubicación de las fincas estudiadas. (Mapa elaborado por Laura Machuca).....	36
Figura 2: Variación del diámetro ecuatorial de los botones florales en el tiempo.	45
Figura 3: Variación del diámetro polar de los botones florales en el tiempo.....	46
Figura 4: A. Variación del diámetro ecuatorial de los frutos sanos de guayaba en el tiempo. B. Variación del diámetro polar de los frutos sanos en el tiempo.	48
Figura 5: Relación entre el crecimiento en largo y ancho de los frutos sanos de guayaba.	48
Figura 6: Porcentaje de frutos infectados en los periodos de tiempo de desarrollo de los frutos.	49
Figura 7: A. Variación del diámetro ecuatorial de los frutos infectados de guayaba en el tiempo. B. Variación del diámetro ecuatorial de los frutos infectados de guayaba en el tiempo.	49
Figura 8: Variación del diámetro ecuatorial y polar de los frutos infectados de guayaba en el tiempo.....	50
Figura 9: Porcentaje de cambio de la infestación para las 11 fincas estudiadas en los meses muestreados.	51
Figura 10: Correlación múltiple (r de Pearson) entre el porcentaje de infestación de picudo y las plantas no tecnificadas (silvestres de guayaba; tamaño del círculo corresponde al valor de la correlación y el color corresponde a la dirección de la correlación).	52
Figura 11: Regresión Beta entre el porcentaje de infestación de picudo y el porcentaje de guayaba no tecnificada.....	53
Figura 12: Porcentaje de pérdida de fruta por infestación de picudo en las once fincas estudiadas.....	54

Lista de tablas

	Pág.
Tabla 1: Fincas estudiadas AM: finca Alicia Morales (sin manejo químico), CP: finca Cerafin Peña (sin manejo químico), CR: finca Carlos Ruiz, EA: finca Edgar Ariza, HR: finca Hamer Ruiz, JB: finca José Bolívar, JR: finca Jonhny Ruiz, LR: finca Luis Ruiz, RR: finca Reinel Ruiz, SA: finca Sven Alarik y WR: finca Wilson Rojas. Variables bióticas y abióticas medidas en cada finca e infestación por finca al final del muestreo)	42

Relación entre factores bióticos y abióticos en los cultivos de guayaba con infestación de picudo
(*Conotrachelus psidii* Coleóptera: Curculionidae) en Puente Nacional (Santander, Colombia)

1. INTRODUCCIÓN

Los insectos constituyen uno de los grupos de animales más diversos de la naturaleza, principalmente en las áreas terrestres (Larsen *et al.*, 2012); algunos tienen la capacidad de habitar ambientes alterados o con cambios antropogénicos. Los insectos que habitan en áreas con cultivos muchas veces están expuestos a exceso de recursos y pocos controles naturales, lo que genera muchas veces un aumento inusual en las poblaciones que desencadena daños significativos en las plantas cultivadas; cuando esto ocurre se suelen denominar insectos plaga (Porter, 1938).

Los insectos que son “plagas” también causan daño a los sistemas naturales, pero los sistemas naturales tienen factores que regulan estas plagas de manera que los daños pueden llegar a ser leves; mientras que los sistemas manejados por el hombre (cultivos), carecen de dichos factores, por consiguiente los daños a los cultivos son altos y controles muchas veces costosos (Mooney y Drake, 1989).

El establecimiento de especies plaga depende de factores bióticos como la disponibilidad de recursos y abióticos, incluyendo el clima y las condiciones de medio ambiente específicas para su desarrollo y establecimiento (Mooney y Drake, 1989). Muchas áreas geográficas comparten condiciones bióticas y abióticas similares que permiten que la especie plaga invada la zona y especialmente los factores abióticos como el clima afectan la distribución y abundancia de las especies, por lo cual es necesario analizar dichos factores para entender el comportamiento de la plaga (Worner y Gevrey, 2006).

Coakley y colaboradores (1999) expresan que los factores abióticos son importantes para analizar el impacto económico que pueda generar un aumento de plagas especialmente aquellas que son insectos (Baker *et al.*, 2000). Muy pocas veces se ha cruzado información climática y biológica para evaluar el riesgo y posibles soluciones a las plagas (Baker, 1996; Yonow & Sutherst, 1998, Jarvis & Baker, 2001).

Conocer la distribución actual y potencial de las plagas es clave para para la determinación de los efectos de cambio global sobre la agricultura, ecosistemas hortícolas y forestales. Es necesario cuantificar la pérdida que generan las plagas a los cultivos y así crear programas para la gestión y control (Sutherst *et al.*, 1999).

El microclima puede afectar las poblaciones de las plagas en los cultivos pero hasta ahora se ha conocido que el agua es uno de los factores principales, pues regula la humedad y la temperatura. En algunos cultivos la invasión de plagas ha tenido importancia económica por el uso de fertilizantes y variedades, la estación de producción, los vientos, el riego, la luz (Perfect, 1986; Baker *et al.*, 2000).

Los insectos plaga han sido controlados desde hace mucho tiempo con pesticidas químicos (Giese *et al.*, 1975). Desde muchas décadas atrás se ha demostrado que las plagas generan resistencia a los pesticidas y se han creado graves problemas ambientales por el mal uso de dichos productos. (Baker *et al.*, 2000). Aunque en los últimos años se han tratado de controlar plagas de insectos con técnicas “push-pull” donde se integran conocimientos químicos y ecológicos de las especies (Hassanali *et al.*, 2008).

Las técnicas de control “push-pull” son un ejemplo que en la actualidad los programas agrícolas están dirigidos a controlar las plagas reuniendo conocimientos biológicos, culturales y químicos, pues estas prácticas son de bajo costo y amigables con el medio ambiente (Baker *et al.*, 2000). Las nuevas técnicas para manejo de plagas se han producido en respuesta a que: 1. muchas de las plagas han mostrado resistencia a los pesticidas, 2. existe una necesidad de cuidar y preservar el medio ambiente y 3. se ha demostrado que los métodos químicos pueden ser reemplazados por alternativas basadas en la ecología y en la coexistencia de las especies (Giese *et al.*, 1975).

Actualmente el manejo de plagas se enfatiza en un conocimiento biológico y ecológico de las plagas, además de componentes culturales, químicos y genéticos (Perfect, 1986); el manejo de plagas en los cultivos es esencial y debe darse teniendo en cuenta la mayor cantidad de variables, desde una perspectiva interdisciplinaria para proponer soluciones sinérgicas (Giese *et al.*, 1975). En este contexto, el objetivo de este trabajo es estudiar

las relaciones entre algunos factores bióticos y abióticos con la infestación del picudo (*Conotrachelus psidii*) en los cultivos de guayaba.

Relación entre factores bióticos y abióticos en los cultivos de guayaba con infestación de picudo
(*Conotrachelus psidii* Coleóptera: Curculionidae) en Puente Nacional (Santander, Colombia)

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo general

Analizar la relación entre algunos factores bióticos y abióticos con la infestación del picudo (*Conotrachelus psidii*) a los cultivos de guayaba, en Puente Nacional (Santander, Colombia).

2.2 Objetivos específicos

- Caracterizar el crecimiento de frutos de guayaba infectados por picudo (*Conotrachelus psidii*) en los cultivos de guayaba de Puente Nacional (Santander, Colombia).
- Establecer la relación que existe entre los factores bióticos y abióticos con la infección en los cultivos de guayaba en Puente Nacional (Santander, Colombia).
- Establecer la relación que existe entre la matriz de vegetación aledaña con la infección en los cultivos de guayaba en Puente Nacional (Santander, Colombia)

Relación entre factores bióticos y abióticos en los cultivos de guayaba con infestación de picudo
(*Conotrachelus psidii* Coleóptera: Curculionidae) en Puente Nacional (Santander, Colombia)

3. MARCO TEÓRICO

3.1 Desarrollo de frutos

La fecundación o el estímulo de las paredes del ovario (cuando no hay fecundación) genera el inicio del desarrollo del fruto hasta convertirse en fruta madura. Dicho proceso está dado en fases sucesivas y con características particulares; pero variables ambientales, genéticas y de variedad (cultivos) brindan particularidades al desarrollo de dichos frutos (Azcón-Bieto & Talón, 2008).

El crecimiento acumulado de la mayoría de los frutos obedece a una curva sigmoide, o en algunos casos, a una doble sigmoide. En la que se distinguen tres fases. Fase I, o periodo inicial de división celular; fase II, tiempo de alargamiento celular y fase III, o periodo de maduración. En algunos frutos, especialmente aquellos que poseen endocarpo duro (hueso), se genera un estado intermedio donde se presenta la lignificación del endocarpo y cesa el crecimiento del fruto, dicho proceso genera un crecimiento de doble sigmoide (Agustí, 2004).

El proceso de transición de ovario de la flor a fruto se denomina cuajado. Este paso se caracteriza por una división rápida de los tejidos del ovario; si dicho crecimiento no se inicia o se ve interrumpido, el ovario se desprende. Para que el proceso de cuajado se lleve a cabo es necesario tres requisitos: yemas florales maduras y bien formadas, una temperatura determinada durante la antesis que garantice la polinización, la fecundación o la compatibilidad y finalmente es necesario una distribución adecuada de fotoasimilados que provea de energía necesaria para la división celular (Agustí, 2004; Azcón-Bieto & Talón, 2008).

La primera etapa de crecimiento de los frutos es un periodo activo de división celular, donde es necesario gran cantidad de energía. La planta debe tener una superficie foliar mínima para sintetizar, proveer y explotar metabolitos al fruto en desarrollo. Si la planta no es capaz de satisfacer el requerimiento para el desarrollo del fruto, este pierde velocidad de crecimiento y se desprende de ella (abscisión). La caída o desprendimiento del fruto se puede presentar con diferente intensidad en todas las especies cultivadas y no es uniforme en el tiempo. La abscisión suele presentarse en la fase I del crecimiento

del fruto y puede darse antes de la antesis, durante el cuajado o en la epata de constante división celular (Agustí, 2004; Azcón-Bieto & Talón, 2008).

La segunda etapa de crecimiento tiene una apariencia lineal, con una pendiente global ascendente, el crecimiento no es uniforme y el aumento de tamaño se da en las noches. Durante esta etapa de desarrollo se puede presentar una competencia por carbohidratos entre los frutos, cuando el número de frutos es muy elevado puede reducirse el tamaño final de estos, por consiguiente es aconsejable reducir el número de frutos (aclareo) en plantas cultivadas para aumentar el tamaño de la fruta, dicho proceso se puede realizar de manera manual o química (Azcón-Bieto & Talón, 2008).

La maduración es el conjunto de cambios externos, de sabor y de textura que un fruto sufre al completar su crecimiento. Dicho proceso varía según los frutos; algunos acumulan almidón durante su crecimiento y, en la maduración, lo hidrolizan en monosacáridos, glucosa o fructosa; como dicho proceso requiere gran cantidad de energía hay un aumento en la respiración y se denominan frutos climatéricos. Los frutos no climatéricos son aquellos que no acumulan directamente monosacáridos y por consiguiente no hay un aumento de la respiración durante su maduración (Agustí, 2004; Azcón-Bieto & Talón, 2008).

3.2 Depredación de frutos y semillas

Los frutos y las semillas son comúnmente las partes más pequeñas, menos abundantes, y más nutritivas para los animales que muchos otros órganos de la planta. Los frutos son de importancia ecológica pues están relacionados con vertebrados e invertebrados para la dispersión de las semillas, la cual terminará generando beneficios a nivel para la especie vegetal e influye en el mantenimiento de la diversidad de una comunidad (Sallabanks & Courtney, 1992).

Los insectos herbívoros han evolucionado con la radiación de las angiospermas y por lo tanto las asociaciones entre estos predadores son más antiguas que las relaciones con los dispersores de semillas (Sallabanks & Courtney, 1992). La depredación de frutos y semillas por animales puede llegar a tener efectos notables sobre la distribución y abundancia de las plantas, así como afectación sobre la dinámica de las poblaciones de plantas depredadas (Janzen, 1971).

Un riesgo que pueden correr muchas semillas es la depredación. Hay dos tipos principales de la depredación de semillas: (1) depredación predispersiva, que se produce mientras que las semillas están en la planta madre, y (2) la depredación post-dispersiva, que se produce una vez las semillas se han dispersado lejos de la planta madre (Hulme, 1997). La depredación pre-dispersiva de semillas se lleva a cabo principalmente por invertebrados como coleópteros, dípteros, lepidópteros e himenópteros (Hulme, 1997), muchos de los cuales se desarrollan dentro de las semillas. Ramírez y Traveset (2010) mencionan que los coleópteros son el orden más diverso de insectos que realizan la depredación predispersiva de semillas; los Bruchidae y los Curculionidae son los que tienen más géneros y especies depredadoras de semillas seguido por los lepidópteros

La tasa de depredación predispersiva y postdispersiva muchas veces es subestimada. A pesar de estos problemas, los estudios demuestran que los insectos pueden tener un fuerte impacto en el desarrollo y viabilidad de los frutos y las semillas (Sallabanks y Courtney, 1992).

Los insectos además de consumir y causar daños en las semillas promueven el aborto del fruto y la pérdida de las semillas, particularmente en especies frutales (Sallabanks y Courtney, 1992). Muchas veces los insectos realizan perforaciones en los frutos que causan la infección por hongos y bacterias y producen frutos de mal gusto y con sabores desagradables (Janzen, 1977; Mirocha y Christensen, 1974).

La infección afecta negativamente el atractivo de la fruta a los dispersores y favorece la caída de la fruta o las semillas en las plantas (Jordano, 1995). Cabe destacar que el mayor efecto tal vez sea indirecto, pues se ha encontrado que la dispersión de semillas por vertebrados disminuye cuando las frutas están predadas por insectos (Christensen y Whitman, 1991).

La depredación de frutos se genera porque los insectos utilizan los frutos para vivir, alimentarse, aparearse, poner huevos, crecer, descansar y esconderse; aunque la mayoría de veces utilizan los frutos para el desarrollo de los estadios inmaduros. Se han generado investigaciones dirigidas al estudio de insectos que desarrollen sus estadios larvarios en frutas, debido a que son los que comúnmente atacan los cultivos (Bateman, 1972; Christenson y Foote, 1960).

La depredación predispersiva de semillas es una de las interacciones más variadas en forma de explotación en recurso y adaptaciones a dicha explotación, porque depende de: 1)

el estado del ciclo de vida del insecto (larva o adulto) que consume la semilla, 2) si una o más larvas se desarrollan dentro del fruto, y 3) si la larva consume una o más semillas del fruto (Ramírez & Traveset, 2010).

Para el establecimiento de las interacciones entre planta e insecto se desarrollan adaptaciones de los animales y las plantas, se generan cambios morfológicos, síntesis de compuestos químicos y cambios comportamentales; aunque estudios revelan que la depredación puede estar influenciada por otros factores de mayor escala como son:

1. Rasgos de la vegetación: Fenología de la planta, tamaño poblacional de la planta, distribución espacial de la población de plantas, perturbación de la vegetación y hábito de la planta (Janzen, 1971; Ostergard y Ehrlen, 2005; Arvanitis *et al.*, 2007).
2. Rasgos morfológicos y morfométricos de los frutos y las semillas: tamaño de las semillas y contenido nutricional (Sallabanks y Courtney, 1992; Jordano 1995; Ramírez y Traveset, 2010).
3. Propiedades químicas de la semilla: atractivos como volátiles y concentración de toxinas (Janzen 1971) que favorecen o perjudican el desarrollo de las larvas.
4. Composición nutricional de las semillas: el buen desarrollo de las larvas depende del contenido de carbohidratos, proteínas y aminoácidos de las semillas (Sallabanks y Courtney, 1992).

Además de los factores anteriormente mencionados se ha encontrado que la fragmentación del bosque afecta a muchas especies de flora y fauna no sólo mediante la eliminación de su hábitat, sino también mediante la interrupción interacciones bióticas (Herrerías *et al.*, 2008). El efecto de la fragmentación de los bosques en las interacciones bióticas ha sido estudiado especialmente en los sistemas de polinización. Aspectos que han sido poco estudiados, son: el efecto de la fragmentación de los bosques en otros sistemas tales como planta - herbívoros, planta-patógeno, la descomposición mutualista, micorrizas, dispersión de semillas y la depredación de frutos y semillas (Janzen, 1977; Cascante *et al.*, 2002).

3.3 Factores abióticos y establecimiento de plagas

Factores abióticos como los climáticos a escala reducida afectan el desarrollo y potenciales de infestación de insectos a cultivos tradicionales, debido a que el ciclo de vida de dichos animales depende muchas veces de humedad, temperatura, radiación solar y vientos. Factores como humedad y horarios de riego en los cultivos han resultado influyentes en promover el desarrollo de estados inmaduros de plagas. Las variaciones microclimáticas que el productor brinda al cultivo (riegos en ciertas temporadas), maximiza el potencial de reproducción y establecimiento del insecto plaga.

La solución histórica al control de plagas ha sido el uso de pesticidas químicos, se ha demostrado que cada vez los rendimientos de dichas sustancias son decrecientes porque los animales generan resistencia o el incorrecto uso y aplicación de insecticidas promueve ascensos en los tamaños poblacionales de plagas del cultivo tratado o de cultivos adyacentes.

Relación entre factores bióticos y abióticos en los cultivos de guayaba con infestación de picudo
(*Conotrachelus psidii* Coleóptera: Curculionidae) en Puente Nacional (Santander, Colombia)

4. ESTADO DEL ARTE

En los últimos seis a ocho años la distribución de picudo (*Conotrachelus psidii*), se ha dado de manera rápida y se ha reportado en todos los municipios de la hoya del Río Suarez, incluyendo Puente Nacional. En la mayoría de los municipios se han reportado infestaciones cercanas al 90% en pérdida de fruta cosechada (Insuasty *et al.*, 2007).

La propagación del insecto se ha realiza principalmente de dos maneras: 1) colonización natural, donde el insecto ha infestado cultivos por desplazamiento entre ellos, aunque el vuelo sea corto, 2) colonización por acción de hombre, donde por medio de movilización de frutas, vehículos de transporte de frutas y materiales para el transporte se pueden llevar insectos de un lugar infestado a lugares que no tienen el insecto (Insuasty *et al.*, 2007).

El estudio de la depredación de frutos de guayaba por parte del picudo implica hablar de los dos organismos, las plantas de guayaba utilizadas para cultivo, los insectos plaga y las consecuencias que genera dicha interacción.

La guayaba (*Psidium guajava*) es una especie nativa de la América Tropical y su origen puede estar entre México y Perú (Pedraza 2005; Insuasty *et al.*, 2006; Insuasty *et al.*, 2007; Alves y Barboza, 2011). La producción mundial anual de frutos está alrededor 1.2 millones de toneladas al año: India y Pakistán producen el 50% y los mayores productores de América son México, Colombia y Brasil (Yam *et al.*, 2010).

En Colombia su producción se concentra en los departamentos de Meta, Santander, Boyacá, Tolima, Cundinamarca, Huila, Antioquia, Valle del Cauca, Nariño y Atlántico, con producciones aproximadas de 500.000 toneladas por año. En los municipios que hacen parte de la Hoya de río Suarez, unas 9000 familias que se dedican al cultivo de guayaba, cosechan alrededor de 50000 toneladas de fruta/año en aproximadamente 22000 hectáreas, lo que genera una producción que asciende a US\$14-20 millones de dólares/año (Insuasty *et al.*, 2006; Casierra-Posada *et al.*, 2007; Sinuco *et al.*, 2009; Agronet, 2013).

La mayoría de las plantaciones de guayaba son artesanales o de subsistencia, es decir, que no son tecnificadas y se enmarcan en una economía campesina, donde buena parte

de la mano de obra es familiar y solo cerca de 9000 Ha son tecnificadas, pero con áreas menores de 2 Ha por familia. Las utilidades que genera el cultivo son bajas debido a múltiples factores como calidad de la fruta y altos costos de producción; además los picos de cosecha concentrados en una sola temporada ocasionan sobre oferta, la cual precipita los precios (Insuasty *et al.*, 2007; Sinuco *et al.*, 2009)

El cultivo de guayaba afronta problemas fitosanitarios asociados al ataque de plagas y enfermedades, las cuales afectan la producción y la calidad de la fruta en varias regiones del país. Entre las limitantes fitosanitarias se destacan: el ataque de moscas de la fruta del género *Anastrepha* (Diptera: Tephritidae), el picudo de la guayaba (*Conotrachelus psidii* Marshall, Coleóptera: Curculionidae) y la enfermedad de la costra o clavo de la guayaba (*Pestalotia versicolor* Speg.). Los ataques de mosca de la fruta están asociados con porcentajes de daño en la fruta hasta del 83% y con índices de infestación de hasta 210 larvas/Kg de fruta en la región de la Hoya del río Suárez (Insuasty *et al.*, 2006; Insuasty *et al.*, 2007).

Una de las plagas que causa graves daños a la fruta es el picudo de la guayaba o también conocido gorgojo de la guayaba (*Conotrachelus psidii*), el cual ha sido reportado para Brasil (Orlando *et al.*, 1974; Uchôa *et al.*, 2002; Dolinski, 2006), Venezuela (Boscán y Casares, 1980), Perú (Vásquez *et al.*, 2002) y Colombia (Monroy e Insuasty, 2006), mientras que para México se reporta la especie *Conotrachelus dimidiatus* (Muñiz-Vélez y González, 1982; Tafoya *et al.*, 2010), la cual causa los mismos daños.

Las hembras de estas especies hacen pequeños orificios en frutos de guayaba y ponen un huevo en cada orificio. El área de oviposición se torna negra y se endurece. Las larvas recién eclosionadas penetran al interior del fruto donde se desarrollan, consumiendo la pulpa y las semillas destruidas y ennegrecidas. Los frutos atacados presentan un aspecto deforme, maduran precozmente y caen al suelo. Se registran daños hasta de 100% de frutos atacados por *C. psidii* (Boscán y Casares 1980; Sanchez-Soto, 2011) en Venezuela. Silva_Filho y colaboradores (2007), presentan a *C. psidii* como una de las principales plagas de la guayaba y además destacan que no solo dañan los frutos, sino que también causan deterioro de otros órganos de la planta como son peciolos, botones, flores y pedúnculos florales.

En la región de la hoya del río Suárez en Santander, Colombia, se han reconocido dos especies de picudo o gorgojos asociados con daños en la fruta de guayaba como son *C. psidii* y *Conotrachelus* sp. La primera especie, se ha encontrado más predominante en áreas destinadas a la producción de guayaba que se encuentran ubicadas sobre los 1.000 m; y la segunda especie, predomina por debajo de este límite (Insuaty *et al.*, 2007), dichas especies han terminado con casi toda la producción de guayaba en la región.

El nivel de daño en los cultivos de guayaba es de aproximadamente 30 toneladas por hectárea (1 millón de pesos m/cte.), dichas pérdidas han obligado a los cultivadores a abandonar la guayaba como renglón económico para dedicarse a otras actividades. Bajo esta perspectiva el objetivo de esta investigación es analizar la relación entre algunos factores bióticos y abióticos con la infestación del picudo (*Conotrachelus psidii*) a los cultivos de guayaba, en la región de Puente Nacional (Santander, Colombia).

En la zona denominada la Hoya del río Suárez, la cual comprende municipios como Vélez, Guavatá, Barbosa, Puente Nacional (Santander) y Moniquirá (Boyacá) los cultivos de guayaba no sobrepasan las 10.000 Ha entre cultivos no tecnificados y tecnificados, con un rendimiento aproximado de 60 a 80 toneladas por hectárea para cultivos tecnificados. Las producciones de fruta de los cultivos de guayaba son en su mayoría para suplir la demanda de materia prima para la elaboración de bocadillo, actividad característica de este territorio.

En la zona se encuentran alrededor de 130 fábricas de bocadillo cuya producción anual se valora en más de U\$24 millones (Insuasty *et al.*, 2007; Casierra-Posada *et al.*, 2007; Sunuco *et al.*, 2009; Agronet, 2013). La fruta comúnmente es utilizada para su mercadeo en fresco, así como para la industria en la producción de bocadillo, jaleas, néctares y pulpas (Alves y Barboza, 2011), que es un renglón importante en la economía regional. (Insuaty *et al.*, 2007; Sinuco *et al.*, 2009).

Relación entre factores bióticos y abióticos en los cultivos de guayaba con infestación de picudo (*Conotrachelus psidii* Coleóptera: Curculionidae) en Puente Nacional (Santander, Colombia)

5. MATERIALES Y MÉTODOS

5.1 Área de estudio

Esta investigación se realizó en el municipio de Puente Nacional, Santander (5°52'38"N 73°40'43") entre marzo y septiembre de 2013 (**Fig. 1**) a 1620 m; la precipitación media anual es de 2355mm y una temperatura media de 19,7°C; los picos de precipitación se presentan en los meses de abril – mayo (304,5mm) y octubre (306mm). Los registros de precipitación media y temperatura media multianual los proporcionó el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios ambientales de Colombia-IDEAM.

Relación entre factores bióticos y abióticos en los cultivos de guayaba con infestación de picudo (*Conotrachelus psidii* Coleóptera: Curculionidae) en Puente Nacional (Santander, Colombia)

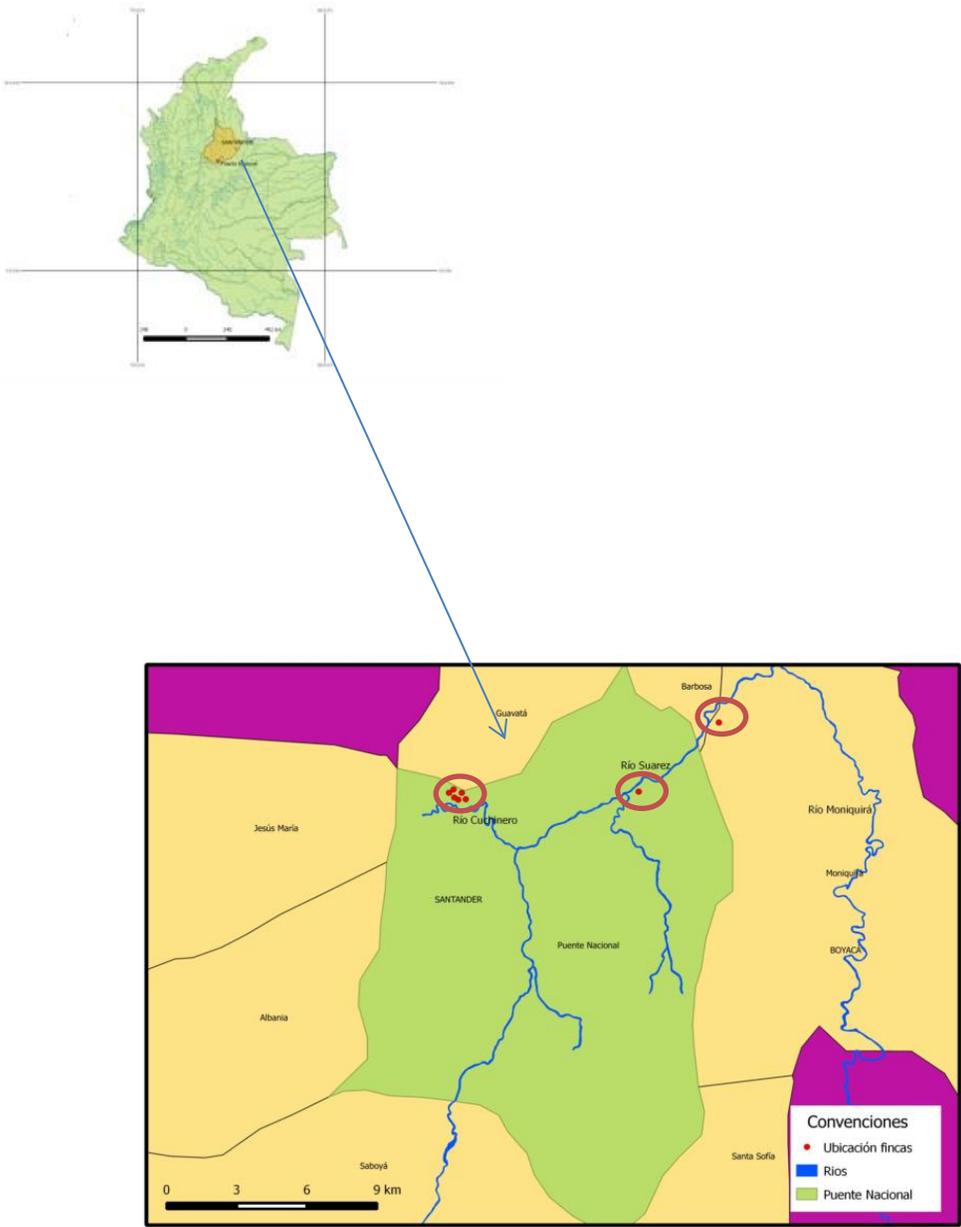


Figura 1. Ubicación de Puente Nacional (Santander), ubicación de las fincas estudiadas. (Mapa elaborado por Laura Machuca).

5.2 Cultivo de guayaba en Puente Nacional

Las fincas con los cultivos estudiados se encuentran en la vereda “Las Delicias” y en la zona urbana del municipio de Puente Nacional. Se estudiaron en total once cultivos tecnificados de guayaba para la zona de estudio.

Los cultivos tecnificados en la zona presentan extensiones que no superan las 2 ha, siendo predominante el uso de media y hasta una hectárea para la siembra de este cultivo. Cabe destacar que este cultivo lo realizan pequeños propietarios de la región. En la zona se presenta una preferencia por sembrar la variedad Regional Roja, debido a que contiene más azúcares (Sinuco, 2009), es muy palatable para consumo en fresco y es la preferida por las fábricas bocabilleras.

Los productores de la zona adquieren los esquejes de las plantas de guayaba de aproximadamente 30 cm de altura a campesinos productores de guayaba que realizan la propagación por esquejes. Después de comprar las plantas los productores hacen hoyos de 40 cm de profundidad en el lote a sembrar y utilizan distancias de siembra de cinco metros. En dichos hoyos siembran los esquejes de guayaba y adicionan tierra abonada y se hace limpieza o “plateo” 50cm alrededor de la planta (Comunicación personal con productores en la zona).

Los productores de la zona prefieren las plantas que provengan de propagación por esquejes y no por semillas, debido a que por ensayo y error se han dado cuenta que las plantas que provienen de semilla no fructifican en corto tiempo (*Comunicación Personal*, Sr. Carlos Ruiz). En la zona de estudio el 95% de las fincas tienen plantas de guayaba que provienen de propagación por esquejes.

La primera poda se realiza cuando la planta tiene 60 cm en el tronco principal; luego de ésta se seleccionan tres o cuatro ramas las cuales se les conoce como ramas madre. Estas ramas deben estar separadas a un ángulo de unos 45°. Cuando la rama alcanza unos 40 cm de largo es el momento de podarla nuevamente con el fin de que ésta pueda sostener las frutas (Comunicación personal con productores en la zona).

Cuando los árboles alcanzan una edad entre 18 a 24 meses, se pueden dejar fructificar las plantas, pues las ramas ya tienen la resistencia para sostener la fruta. Cuando el productor desea tener cosecha realiza una poda de producción o despunte, la cual practican en el 2º a 4º nudo después de la fruta. A los 28 días después de la poda

Relación entre factores bióticos y abióticos en los cultivos de guayaba con infestación de picudo (*Conotrachelus psidii* Coleóptera: Curculionidae) en Puente Nacional (Santander, Colombia)

aparecen los botones florales los cuales tardan entre 28 y 30 días para abrir (Comunicación personal con productores en la zona).

Los árboles de las fincas son de porte bajo – medio, con alturas entre 1 y 3,5 m. El tronco presenta corteza lisa, delgada, y de color rojizo, la cual se desprende en capas. Las hojas son opuestas, de forma ovalada y con margen liso. Las flores son de color blanco y se pueden encontrar de forma individual o en pequeños racimos de dos a tres flores sobre las axilas de las hojas.

La fruta es una baya con numerosas semillas y de olor agradable cuando está madurando; su forma es redonda, ovoide o periforme. El color de la fruta puede variar de amarillo intenso a pálido cuando está madura, mientras que antes de madurar la fruta es verde, muy firme y de sabor astringente (CORPOICA, 2002; Ocampo, 2002).

La pulpa es de consistencia granular, roja pálida u oscura (Sinuco, 2009). y de sabores dulces a agridulces (Casierra-Posada, 2007; Las semillas son muy duras, blancas u amarillentas.

Una vez cumplido el proceso de poda, el cultivador aplica fertilizante para inducir el brote de abundantes botones florales. Después de la fecundación de la ovocélula en el saco embrionario, comienza la formación de fruto/semilla, el cual aumenta de volumen por acumulación de azúcares y sustancias de reserva. El campesino lo denomina “fruto cuajado” y es entonces cuando comienza a aplicar insecticidas (Malatión y Rafaga del laboratorio Bayer), para controlar el picudo.

Las aplicaciones de insecticidas se realizan con intervalos de 15 a 20 días. Algunos de los productores combinan la aplicación de insecticidas con el uso de controles biológicos para el picudo como lo son los nemátodos entomopatógenos.

La infestación de mosca de la fruta (*Anastrepha pss*) no es tan importante para los productores pues la larva de estos insectos no produce aspecto desagradable en la fruta ni hace que esta sea rechazada para la elaboración de bocadillo y jaleas, aunque algunos de los productores controlan dicho insecto con trampas de atracción o cebos (Aluja, 1994).

Cuando la fruta presenta un color amarillo pálido, los productores hacen la recolección manual y la empaican en canastillas de 8 a 16 libras. Dicha producción es vendida a

intermediarios, directamente a las fábricas de bocadillo o a los habitantes de la zona para consumo en fresco.

En muchas ocasiones, cuando la producción de la finca presenta una infestación por picudo superior al 80%, las frutas son recolectadas y enterradas en hoyos de aproximadamente 2 m de profundidad (Comunicación personal con productores en la zona).

5.3 Especies estudiadas

5.3.1 *Psidium guajava* L.

La guayaba es un arbusto o árbol pequeño generalmente de 3 -10 m, pero cuando se tiene cultivo tecnificado las plantas no sobrepasan los 4 m de alto. Las hojas opuestas, simples, estípulas ausentes, y con glándulas en la lámina foliar, las cuales tienen aceites con olores característicos.

La inflorescencia es axilar, de una a tres flores, de color blanco y presencia de abundantes estambres. Los frutos son bayas ovoide o en forma de pera, de 4 – 12 cm de largo, con peso hasta de 500g, piel amarilla en la madurez, pulpa comestible. Las semillas son de color marrón, aplanadas o en forma de riñón.

5.3.2 *Conotrachelus psidii* Marshall.

El picudo de la guayaba es un coleóptero de la familia Curculionidae. La hembra adulta de este insecto generalmente oviposita un huevo por fruto, el cual es de forma ovalada, de color blanquecino y puede medir hasta 1 mm de longitud. La hembra oviposita frutos que están entre los 30 a 90 días de edad preferiblemente (Insuasty *et al.*, 2006).

El estadio larvario del picudo se desarrolla dentro de los frutos de guayaba, donde se alimenta de las semillas y la pulpa. La larva se caracteriza por ser ápoda y de color amarillo; su tamaño varía de 1.2 a 1.5 mm, en la primera semana de edad y entre 1.0 a 1.2 cm, en la sexta semana (Martínez & Cásares, 1980; Sá & Barboza, 2011). Desarrolla cuatro instares larvales, y una vez que la larva ha completado su desarrollo, abandona el

Relación entre factores bióticos y abióticos en los cultivos de guayaba con infestación de picudo (*Conotrachelus psidii* Coleóptera: Curculionidae) en Puente Nacional (Santander, Colombia)

fruto a través de una perforación y cae al suelo, donde se entierra entre 5 y 15 cm de profundidad, allí permanece en estado latente durante dos a tres meses (Burbano *et al.*, 2006). El tiempo de desarrollo de la larva en el interior del fruto dura entre 6 a 8 semanas, dependiendo de las condiciones climáticas y del estado de madurez de la fruta en el momento de la oviposición. Normalmente, la larva abandona el fruto antes de que este haya caído al suelo (Insuasty *et al.*, 2006; Insuasty *et al.*, 2007).

La pupa es del tipo exarata, de color amarillo claro, de 7.5 mm de longitud, dicha etapa tiene una duración de 30 a 60 días. El adulto en condiciones de cautividad puede tener una duración de hasta 435 días. El ciclo de vida, bajo condiciones de la Hoya del río Suárez – Santander, es en promedio de 199 días, distribuido así: huevo, 4 a 7 días; larvas en el fruto, 42 a 56 días; larva en suelo, 90 días y pupa de 30 a 60 días, período después del cual emergen los adultos (Insuasty *et al.*, 2006; Insuasty *et al.*, 2007).

Los adultos, además de su coloración café en el cuerpo, pueden presentar bandas oscuras, puntos y setas claras en los élitros. Su cabeza es curvada, delgada y larga, con antenas acodadas en la mitad del aparato bucal; pueden medir de 6 a 8 mm de largo. El macho se caracteriza por ser más pequeño que la hembra (Monroy e Insuaty, 2006). Eventualmente, se pueden encontrar dos o más larvas en un mismo fruto, y cuando esto sucede, éstas se pueden atacar entre sí; lo cual podría explicar el hecho de que en cada fruto, la hembra deposite únicamente un huevo como medida natural de protección a la especie (Matta & Rodríguez, 1990). Como mecanismo de defensa natural, el insecto adulto se deja caer al suelo, donde permanece completamente inmóvil confundándose con la hojarasca y las estructuras florales del árbol.

Los insectos adultos suelen localizarse en los árboles con frutos aún pequeños y se desplazan caminando por las ramas o mediante vuelos cortos (Bailez *et al.*, 2003). Antes de ovipositar, la hembra hace un pequeño hueco o cámara de 2 mm con su aparato bucal, a cuya entrada deposita únicamente un huevo, el cual, es empujado hacia el interior de dicha cámara. Luego, el orificio con el huevo en su interior es sellado con una sustancia viscosa; la cual se endurece al contacto con el aire, y sirve como medio de protección (Insuasty *et al.*, 2006; CORPOICA, 2006).

El daño del picudo es provocado directamente por las larvas quienes se alimentan de la pulpa y la semilla y producen un ennegrecimiento y endurecimiento de la parte afectada. La larva, en el interior del fruto hospedero, excreta una arenilla de color oscuro, lo que ocasiona petrificación del fruto, maduración prematura y caída del mismo (Insuasty *et al.*, 2006).

5.4 Mediciones en campo

5.4.1 Crecimiento de los frutos e infección por el picudo

La infestación por picudo ocurre justamente al comienzo de la temporada de floración y la subsecuente fructificación, que en la zona de estudio ocurre entre marzo y agosto. Por tal razón, las labores de muestreo para este trabajo se hicieron abarcando esta temporada durante el año 2013.

Para hacer seguimiento al crecimiento de los frutos y la infestación se seleccionaron cuatro de las once fincas estudiadas y en ellas se tomaron árboles con botones florales, flores y frutos; se seleccionaron al aleatoriamente cinco árboles y se marcaron y midieron 12 botones florales y 12 frutos por árbol. El seguimiento se hizo cada 14 días por 24 semanas (seis meses) y se midió el diámetro ecuatorial y polar (ancho y largo) de los botones florales y de los frutos y la presencia/ausencia de la infección por picudo.

5.4.2 Evaluación de los factores bióticos y abióticos que afectan la infestación

Para evaluar los factores bióticos y abióticos que están más relacionados con la infestación se tomaron en cuenta once fincas con cultivo de guayaba tecnificado (manejo de técnicas de siembra, podas y/o aplicación de fertilizantes e insecticidas), en las fincas con cultivos tecnificados se tienen cultivos sin manejo químico y cultivos con manejo químico, principalmente el manejo químico se relaciona con los fertilizantes e insecticidas; **Tabla 1**).

Relación entre factores bióticos y abióticos en los cultivos de guayaba con infestación de picudo (*Conotrachelus psidii* Coleóptera: Curculionidae) en Puente Nacional (Santander, Colombia)

Tabla 1: Fincas estudiadas AM: finca Alicia Morales (sin manejo químico), CP: finca Cerafin Peña (sin manejo químico), CR: finca Carlos Ruiz, EA: finca Edgar Ariza, HR: finca Hamer Ruiz, JB: finca José Bolívar, JR: finca Jonhny Ruiz, LR: finca Luis Ruiz, RR: finca Reinel Ruiz, SA: finca Sven Alarik y WR: finca Wilson Rojas. Variables bióticas y abióticas medidas en cada finca e infestación por finca al final del muestreo)

Finca	Altura de las plantas (m)	Altitud (m)	Tiempo de siembra (años)	Cobertura de las plantas (m2)	Distancia de siembra (m)	Aplicación de Insecticidas	Aplicación de fertilizantes	Porcentaje de guayaba no tecnificados	Porcentaje de otros cultivos y rastrojo	Porcentaje de pastos	Porcentaje de cuerpos de agua y construcciones	Porcentaje de infestación (final del muestreo)
AM	1,62	1608	4	5,17	5	No	No	12	5	10	73	48,0
CP	1,04	1776	1	1,08	4	No	No	60	20	13	7	6,7
CR	2,02	1782	1,5	13,44	5	Si	Si	10	23	15	52	64,0
EA	2,08	1863	2	10,31	5	Si	Si	40	3	35	22	22,0
HR	1,5	1808	1,5	5,02	5	Si	Si	20	12	40	28	8,0
JB	1,88	1795	1,5	5,71	5	Si	Si	70	20	9	1	20,2
JR	2,25	1730	2	16,82	5	Si	Si	55	3	40	2	45,0
LR	1,8	1771	6	4,60	6	Si	Si	47	8	25	20	48,7
RR	2,28	1798	5	16,04	6,5	Si	Si	45	10	9	36	46,7
SA	2,87	1628	7	20,06	6	Si	Si	5	60	12	22	7,8
WR	2,02	1821	2	11,63	5	Si	Si	40	5	20	35	21,3

En cada una de ellas se elaboraron tres cuadrantes de 10m X 10m en el centro del cultivo y separados entre ellos un mínimo de 10 m. En cada uno de los cuadrantes se contaron las flores o frutos totales y los que se encontraron infectados para hallar el índice de infestación por finca.

$$\text{Índice de infestación por finca} = \frac{\text{Número de frutos infectados}}{\text{Número de colectados}} \times 100$$

Las variables a medir en cada cultivo y cada cuadrante fueron: altura de las plantas, estado sanitario de las plantas (solo tomando en cuenta la infección de picudo), estado fenológico, cobertura de las plantas (m²), distancia entre plantas, altura del cultivo sobre el nivel del mar, aplicación (frecuencia) de insecticidas, temperatura y precipitación.

Finalmente, para analizar la relación entre la heterogeneidad de la vegetación aledaña a los cultivos y el índice de infestación por picudo, se caracterizó el tipo de vegetación 100m alrededor de cada cultivo (finca), identificando las áreas aledañas en cultivos de guayaba no tecnificados (sin distancias de siembra determinadas, sin podas periódicas, sin aplicación de insecticidas y/o fertilizantes químicos u orgánicos), cultivos distintos a guayaba, pastos, cercas vivas, entre otros.

5.5 Análisis estadístico

Para analizar las diferencias en el tamaño (ancho y largo) de los botones florales a lo largo del tiempo, se realizó el ajuste a un modelo lineal simple, comprobando normalidad de residuos por las pruebas de Shapiro-Wilk y Kolmogorov-Smirnov, autocorrelación con la prueba de Durbin-Watson y homocedasticidad con la prueba de Breusch-Pagan (Guisande *et al.*, 2011).

Para analizar las variaciones en el tamaño (ancho y largo) de los frutos sanos (327 frutos) e infectados (153 frutos) en el tiempo, se realizó un ajuste a un modelo no lineal de Gompertz, donde al inicio de la curva el crecimiento es exponencial, seguido de un crecimiento lento y finalizando en una asíntota (Guisande *et al.*, 2011).

Para analizar la relación entre variables bióticas y abióticas con la infestación por picudo a los frutos en las fincas se realizaron correlaciones múltiples entre las siguientes variables: altura de las plantas, edad de las plantas, estado sanitario de las plantas,

Relación entre factores bióticos y abióticos en los cultivos de guayaba con infestación de picudo (*Conotrachelus psidii* Coleóptera: Curculionidae) en Puente Nacional (Santander, Colombia)

fenología, cobertura de las plantas, distancia entre plantas, altitud de la finca, aplicación de insecticidas, aplicación de fertilizantes y área de guayaba no tecnificada 100 m alrededor de la finca (**Tabla 1**)

Para identificar cuáles fueron las variables cuantitativas que más están relacionadas con el índice de infestación, se realizaron análisis de correlación múltiple entre las variables bióticas, abióticas y el área de vegetación aledaña. Se eliminaron las variables que estén relacionadas entre ellas (colinearidad) y normalidad de los residuos comprobando normalidad de residuos por las pruebas de Shapiro-Wilk y Kolmogorov-Smirnov.

Para identificar la relación de asociación entre el índice de infestación con las variables cualitativas se realizaron las pruebas de independencia *Chi*-cuadrado, prueba G y prueba G con corrección de Williams. Para aplicar las pruebas estadísticas se establecieron categorías numéricas de porcentajes de infestación, categoría 1: porcentaje de infestación entre 0 y 30%, categoría 2: porcentaje de infestación entre 31 y 60% y categoría 3: porcentaje de infestación entre 61 a 100%.

Para los análisis estadísticos y elaboración de graficas se utilizó el programa estadístico R (R Core Team), *scripts* tomados de Guisande y colaboradores (2011) con ajustes para cada una de las pruebas. Los paquetes estadísticos utilizados fueron: MASS (Venables y Ripley, 2002), lmtest (Achim y Torsten, 2002), stepwise (Graham *et al.*, 2005), relaimpo (Grömping, 2006), boot (Davison y Hinkley, 1997; Canty y Ripley, 2013), randomForest (Liaw y Wiener, 2002), kernlab (Karatzoglou *et al.*, 2004), car (Fox y Weisberg, 2011).

Finalmente, para estimar el efecto de la infestación en la producción de fruta se desarrolló una aproximación de producción por cada finca, teniendo en cuenta el promedio de fruto por planta, número de plantas de cada finca. Adicionalmente, teniendo en cuenta el porcentaje de infestación se calculó el porcentaje de pérdida en producción de fruta para cada una de las fincas. Se comparó el porcentaje de pérdida entre las fincas sin manejo químico y las fincas con manejo químico, mediante una prueba de Mann-Whitney.

6. RESULTADOS

6.1 Desarrollo de las flores hacia frutos e infección

6.1.1 Botones florales

El crecimiento diario de los botones fue de aproximadamente 0,03cm por día, los botones florales demoran de 30 a 40 días para alcanzar a antesis. El cambio de diámetro ecuatorial presentó un ajuste al modelo exponencial, es decir la variación observada en el crecimiento del ancho del botón se puede explicar en un 89,6% ($p = 2,2 * 10^{-16}$) en función del tiempo de desarrollo (**Fig. 2**).

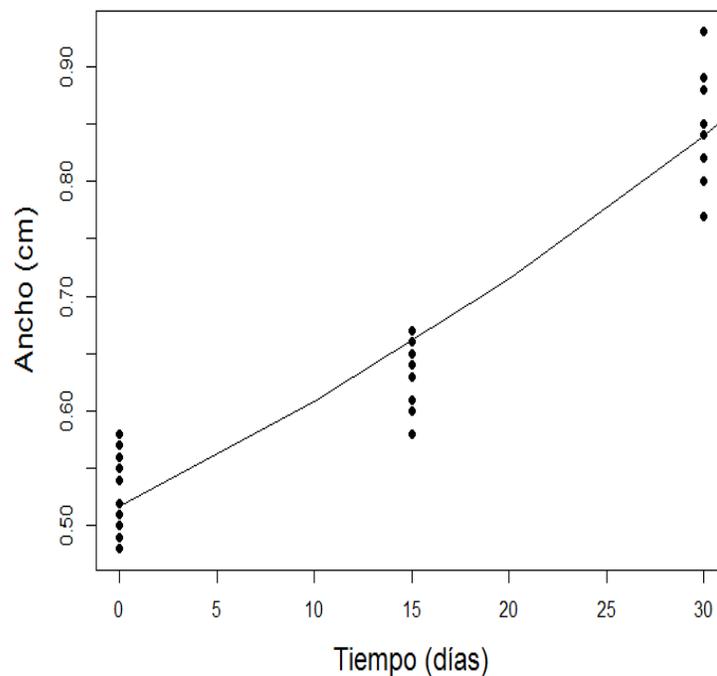


Figura 2: Variación del diámetro ecuatorial de los botones florales en el tiempo.

El crecimiento longitudinal del botón fue explicado en un 74,4% ($p = 1,33 * 10^{-11}$) en función del tiempo (**Fig. 3**), con un ajuste al modelo exponencial.

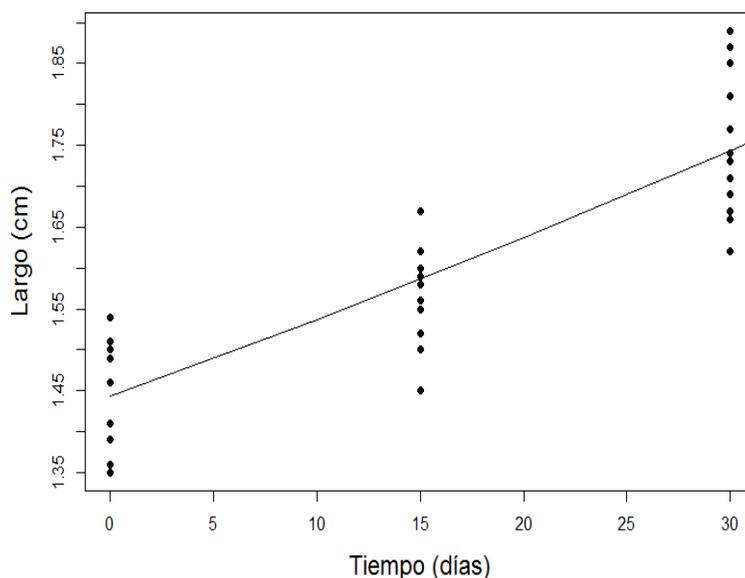


Figura 3: Variación del diámetro polar de los botones florales en el tiempo.

Los botones presentaron daño por individuos adultos de picudo a lo largo de su crecimiento, el cual obedece exclusivamente al consumo de tejidos florales pero no a la oviposición de las hembras. El daño en botones en muchos casos fue tan severo que provocó desprendimiento total (56% de los botones analizados); algunas veces (40%) la flor puede llegar a desarrollarse con algunos daños en los pétalos.

En los cultivos estudiados los botones demoran entre 30 y 40 días en su desarrollo hasta lograr la antesis floral, durante los 40 días de desarrollo de los botones, se presentó un porcentaje de consumo de botones entre el 0% al 13,3% y un promedio de 7,1%.

6.1.2 Flores

El tiempo de antesis en las flores estudiadas osciló entre 8 y 24 horas en una muestra de 28 flores, con mediciones en intervalos de 5 horas. Durante estas observaciones, no

hubo consumo ni oviposición por picudo u otros insectos; pero cabe destacar que las flores de guayaba son visitadas por abejas y avispa.

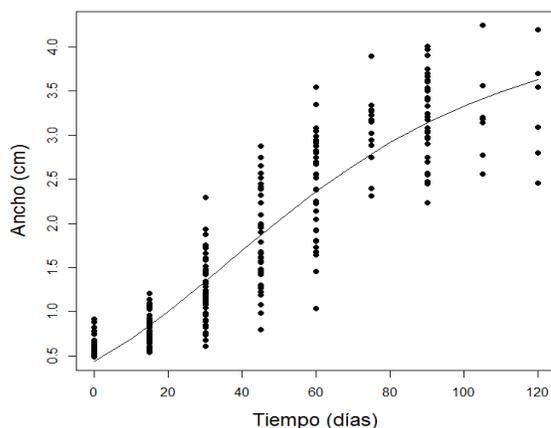
6.1.3 Frutos

Los primeros frutos visibles se observaron aproximadamente entre los 10 a 15 días después de la antesis. Para las muestras evaluadas el crecimiento de los frutos sanos fue de 0,04cm por día; los frutos tardaron en promedio de 120 a 133 días en crecer desde la fecundación hasta la maduración en el árbol (color amarillo en toda la fruta) (**Fig. 6-3 A, B**).

6.1.3.1 Crecimiento de frutos sanos

El crecimiento del diámetro ecuatorial (ancho) y polar (largo) analizados en las plantas bajo observación presentó un ajuste a un modelo de crecimiento de Gompertz. Es decir, la variación observada en el crecimiento del ancho y largo del fruto en los primeros días de desarrollo fue más lento, posteriormente el crecimiento presentó una velocidad mayor y finalmente se estabilizó. El crecimiento en ancho fue explicado en un 89,6% por dicho modelo (**Fig. 4A**) y el crecimiento del diámetro polar fue explicado en un 91,4% (**Fig. 4B**).

A.



B.

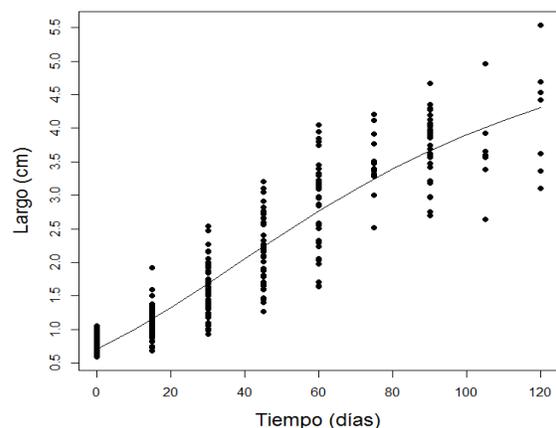


Figura 4: A. Variación del diámetro ecuatorial de los frutos sanos de guayaba en el tiempo. B. Variación del diámetro polar de los frutos sanos en el tiempo.

Al observar la relación entre el largo y ancho de los frutos sanos se observa una relación lineal, con un ajuste del 93,5% (**Fig. 5**).

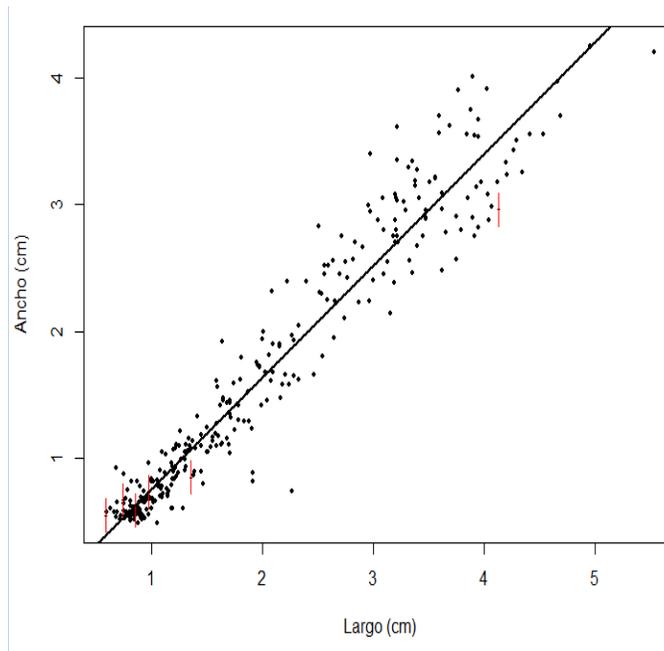


Figura 5: Relación entre el crecimiento en largo y ancho de los frutos sanos de guayaba.

6.1.3.2 Crecimiento de frutos infectados

El daño en los frutos se presentó desde los primeros días de fecundación de la flor y posterior desarrollo del fruto. El porcentaje de frutos infectados fue mayor durante los primeros 60 días de crecimiento (**Fig. 6**); posteriormente, se presentó una disminución en la infestación. Cuando el fruto alcanzó una edad de 90 días de crecimiento la infestación fue baja y no se presentó infestación posterior a los 120 días de crecimiento del fruto.

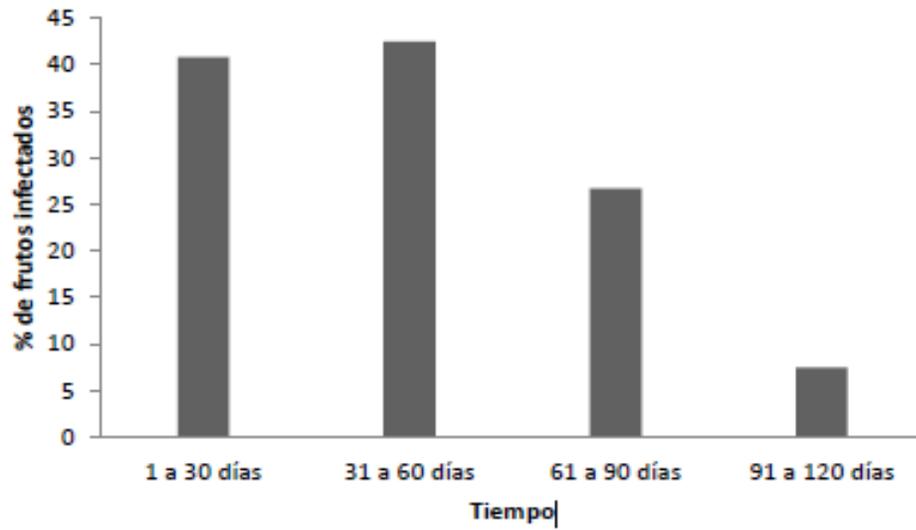
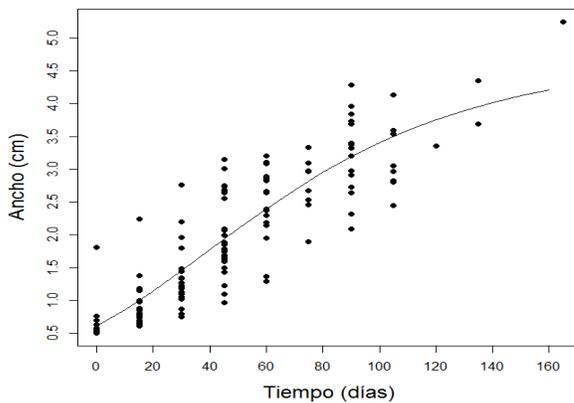


Figura 6: Porcentaje de frutos infectados en los periodos de tiempo de desarrollo de los frutos.

El crecimiento del diámetro ecuatorial (ancho) y polar (largo) de los frutos infectados en las fincas presentó un ajuste a un modelo de crecimiento de Gompertz, el cual explica un 77,8% (**Fig. 7A**) para el ancho y el 82,1% para el largo (**Fig. 7B**).

A.



B.

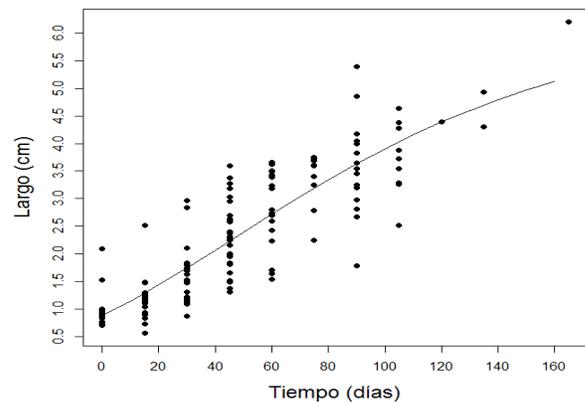


Figura 7: A. Variación del diámetro ecuatorial de los frutos infectados de guayaba en el tiempo. B. Variación del diámetro ecuatorial de los frutos infectados de guayaba en el tiempo.

Al observar la relación entre el largo y ancho de los frutos sanos se observó una relación lineal, con un ajuste del 94% (**Fig. 8**), indicando que la proporción de cambio es igual a lo largo del tiempo.

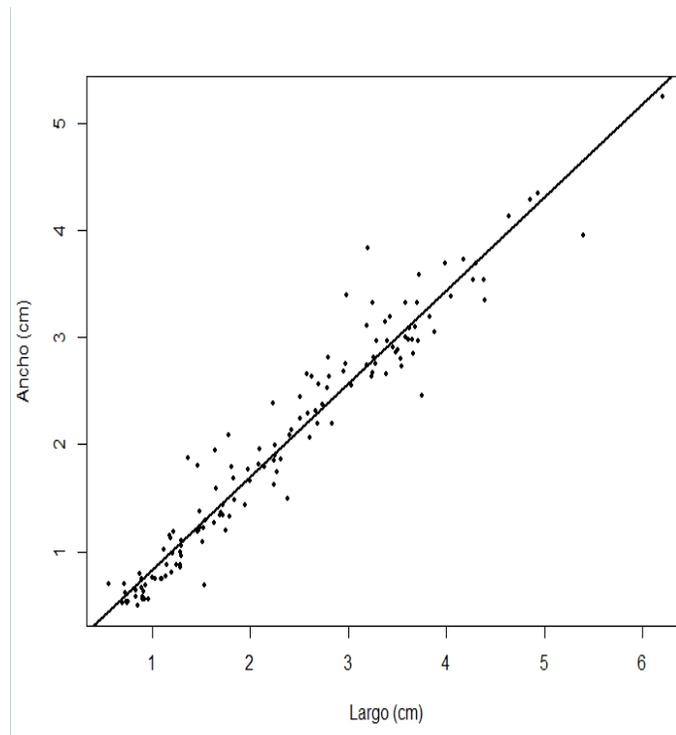


Figura 8: Variación del diámetro ecuatorial y polar de los frutos infectados de guayaba en el tiempo.

6.2 Influencia de factores bióticos, abióticos y cultivos no tecnificados de guayaba alrededor del cultivo tecnificado

Al analizar los frutos infectados y los frutos sanos se encontró que la finca CP tuvo el mayor índice de infestación con un 64% mientras que la finca SA tuvo el menor

porcentaje de infestación con un 4%. Las fincas estudiadas presentaron diferencias en el porcentaje de cambio respecto a la infestación, la finca HR tuvo 0,2% de aumento en los cuatro meses de estudio, mientras que la finca LR tuvo el mayor cambio con un aumento del 25% en el porcentaje de infestación inicial (**Fig. 9**).

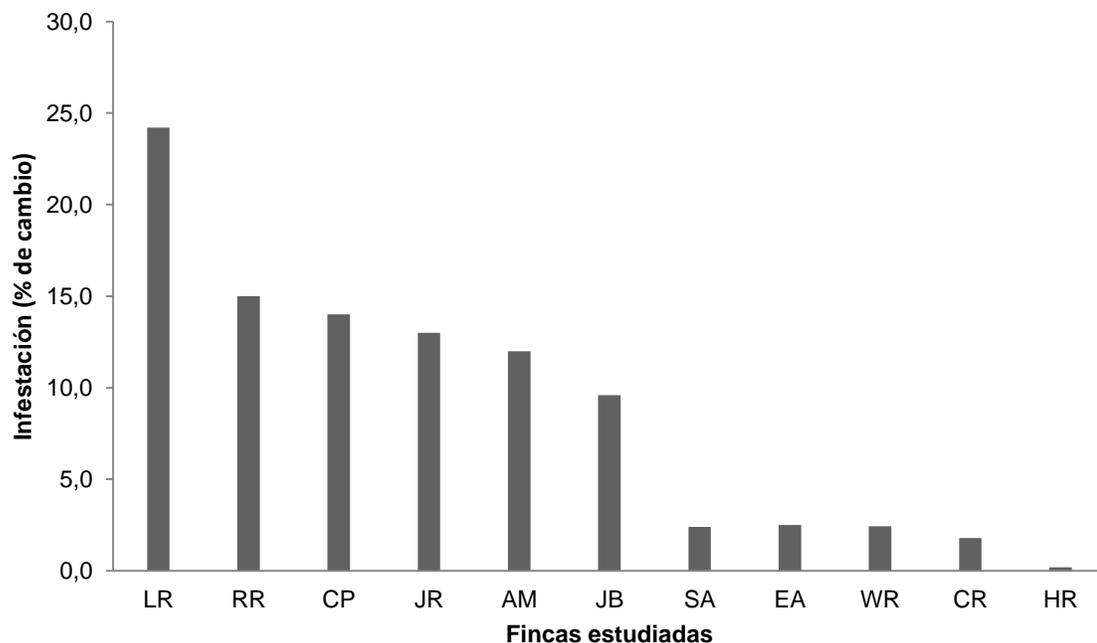


Figura 9: Porcentaje de cambio de la infestación para las 11 fincas estudiadas en los meses muestreados.

La finca con mayor altitud fue WR con 1821m y la finca con menor altitud fue AM con 1608m. Las plantas de los once cultivos estudiados presentaron alturas entre los 1,04m (CP) y 2,87m (SA) y coberturas entre los 1,08 m² (CP) y 20,06 m² (SA). La relación entre la altura y la cobertura de las plantas en los cultivos estuvieron relacionadas con la formas de poda que utilizan los productores (**Tabla 1**).

Las plantas de los cultivos estudiados presentaron edades entre los 1 a 7 años y la distancia de siembra entre las plantas fue en su mayoría de 5 m; mientras que los cultivos más antiguos presentaron distancias de siembra mayores. De las once fincas estudiadas AM y CP fueron las que no presentan aplicación de insecticidas y fertilizantes químicos (**Tabla 1**).

El porcentaje de cultivos de guayaba no tecnificada presente alrededor de las fincas vario entre el 5% para la finca SA y el 70% para la finca JB. Las variables altura de las plantas, edad de las plantas, estado sanitario de las plantas, fenología, cobertura de las plantas, distancia entre plantas, altitud de la finca y área de guayaba no tecnificada 100 m alrededor de la finca, no estuvieron significativamente relacionadas con el porcentaje de infestación en cada finca, la única variable que estuvo positiva y significativamente en un 60% con el porcentaje de infestación, fue el área de guayaba no tecnificada alrededor de la finca ($F= 13,67$ $p = 4,94 * 10^{-3}$; **Fig. 10**).

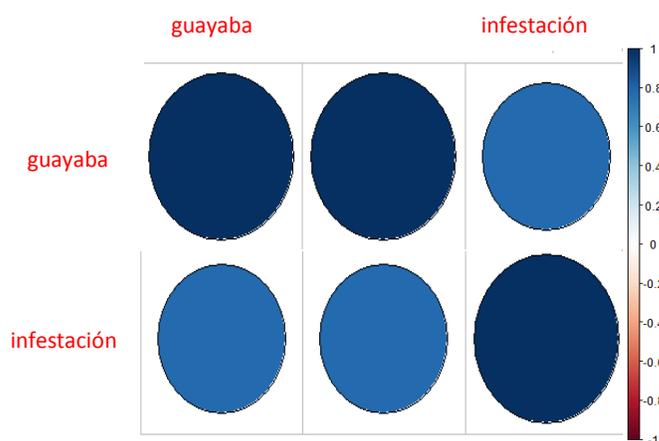


Figura 10: Correlación múltiple (r de Pearson) entre el porcentaje de infestación de picudo y las plantas no tecnificadas (silvestres de guayaba; tamaño del círculo corresponde al valor de la correlación y el color corresponde a la dirección de la correlación).

Las variables categóricas aplicación de insecticidas y fertilizantes no presentaron asociación con las categorías de infestación ($\chi^2=2$; $p=0,37$. $G=2,20$; $p=0,33$. G (corrección de Williams)=1,32; $p =0,52$).

El porcentaje de infestación en cada una de las fincas estudiadas presentó una relación positiva y creciente con el cambio del porcentaje de guayaba no tecnificada presente alrededor (Pseudo- $R^2= 0,87$; $p=9,38e-11$; **Fig. 11**).

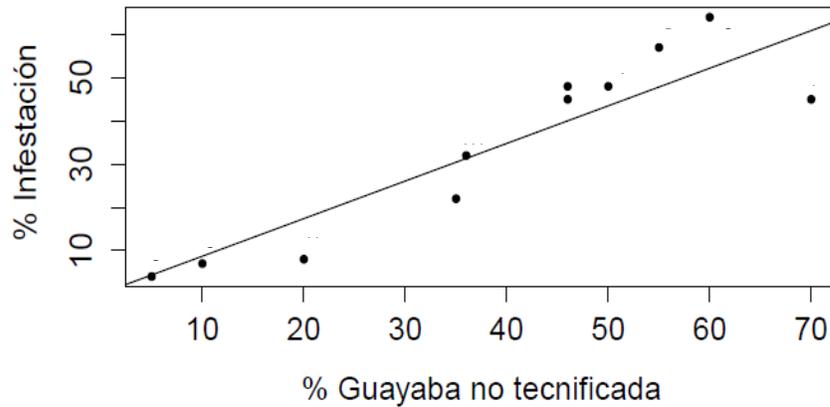


Figura 11: Regresión Beta entre el porcentaje de infestación de picudo y el porcentaje de guayaba no tecnificada.

6.3 Efectos de la infestación de picudo sobre la producción de guayaba en las fincas estudiadas

La producción aproximada de las once fincas fue de 17 toneladas de fruta fresca, donde la pérdida de fruta por causa de picudo puede sobrepasar las 3 toneladas, es decir cerca del 18% de la producción del año 2013 para las fincas estudiadas.

El porcentaje de pérdida de fruta en las fincas sin manejo químico es significativamente diferente a las pérdidas de las fincas con manejo químico ($W=17,5$; $p=0,03$; **Figura 12**)

Relación entre factores bióticos y abióticos en los cultivos de guayaba con infestación de picudo (*Conotrachelus psidii* Coleóptera: Curculionidae) en Puente Nacional (Santander, Colombia)

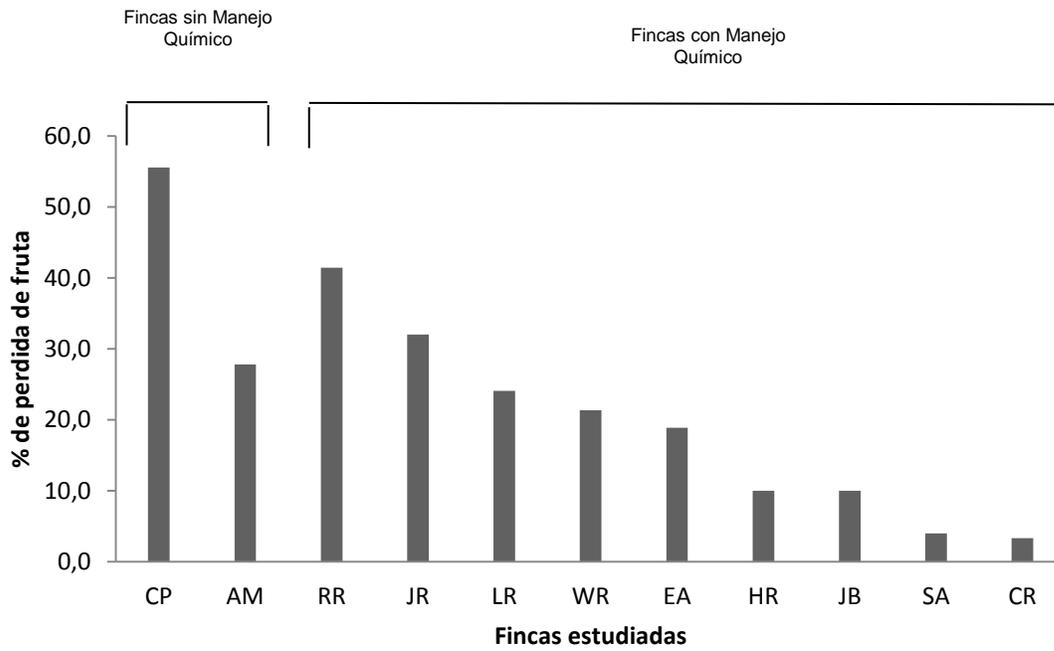


Figura 12: Porcentaje de pérdida de fruta por infestación de picudo en las once fincas estudiadas.

7. DISCUSIÓN

Los botones presentaron un crecimiento ajustado a una curva exponencial lo que puede indicar que en este periodo de tiempo se produce una división celular constante hasta el momento de la pre-antesis (Barceló, 1992). Adicional a esto, el periodo de desarrollo del botón de la variedad regional Roja en la zona de estudio, es de aproximadamente entre 30 y 40 días. Los diámetros ecuatoriales y polares de los botones antes de la apertura de la flor fueron en promedio 0,67 y 1,59 cm. Estos valores son mayores a los reportados para guayaba criolla roja en Venezuela (Laguado *et al.*, 2002).

Por otra parte, se observó daño por picudo en las yemas florales, el cual puede ocasionar aborto del botón, como también lo reportaron Solarte y colaboradores (2010); aunque cuando el daño no afectó al ovario, el botón completó su desarrollo con algunos daños en los sépalos y pétalos. Las muestras estudiadas presentaron un daño por picudo a las yemas florales de máximo el 13%. Este daño puede estar relacionado con el porcentaje de árboles de guayaba no manejados que se encuentra a los alrededores de los cultivos.

Las flores estudiadas no presentaron consumo u oviposición por picudo, lo cual puede deberse al corto lapso de tiempo de duración de la antesis o a factores químicos (Romero *et al.*, 2013).

El crecimiento de los frutos desde la fecundación hasta la madurez tardó en promedio de 120 a 133 días, que coincide con lo reportado por Solarte y colaboradores (2010) para la zona de estudio y que están dentro de los periodos de tiempo reportados para variedad de guayaba venezolana y cubana (Laguado *et al.*, 2002; Cañizares *et al.*, 2003; Labarca *et al.*, 1999); aunque el desarrollo de frutos fue más rápido para los cultivos de los municipios santandereanos respecto a otros países (20 días de diferencia), dicha diferencia se debe a factores climáticos como las precipitaciones, temperatura, humedad y altura de la zona (Solarte *et al.*, 2010).

El crecimiento del diámetro ecuatorial y polar de los frutos sanos en los 120 días de muestreo presentó un ajuste general al modelo no lineal de Gompertz o curva sigmoide. Curva que presenta tres fases de crecimiento. La fase 1, corresponde a un crecimiento

exponencial; la fase 2, corresponde a un crecimiento lineal y un crecimiento lento y tendiendo a una asíntota para la fase 3 (Azcón-Bieto & Talón, 2008, Fischer *et al.* 2012).

El aumento del diámetro ecuatorial y polar en los primeros 70 días presenta un crecimiento exponencial o de mayor velocidad, con el mismo formato encontrado por Laguado y colaboradores (2002) y Cañizares y colaboradores (2003). La fase I es fase de sucesivas multiplicaciones celulares (Solarte *et al.*, 2010) en las regiones meristemáticas que dan lugar a las tres capas (exocarpo, mesocarpo y endocarpo) de los frutos (Garcés de G, 1987) y a un aumento elevado en volumen general del fruto (Cañizares *et al.*, 2003; Mercado-Silva *et al.*, 1998).

Entre los 71 y 90 días se observó un aumento de diámetro ecuatorial y polar pero con menor velocidad que el registrado en los primeros días, lo que puede corresponder a una disminución en la multiplicación y extensión celular para el endurecimiento del endocarpo o escasa división en el desarrollo del mesocarpo porque se está desarrollando embriones en las semillas (Laguado *et al.*, 2002; Cañizares *et al.*, 2003; Solarte *et al.*, 2010).

Entre los 91 a los 120 días se presentó nuevamente un incremento en la velocidad del crecimiento del diámetro ecuatorial y polar, que puede ser ocasionado por el inicio de acumulación de agua y de compuestos que generan una expansión celular (Solarte *et al.*, 2010) y aumento en la pulpa de la fruta (Laguado *et al.*, 2002; Cañizares *et al.*, 2003).

Al observar la relación entre el cambio de diámetro polar y ecuatorial se ajustó a un modelo línea, podía indicar que el cambio es constante tanto para el diámetro polar como par el diámetro ecuatorial, aunque posterior a los 90 días, hay un crecimiento mayor del ancho respecto al largo, que puede estar obedeciendo nuevamente a la expansión celular, acumulación de azúcares y agua en la células (Laguado *et al.*, 2002; Cañizares *et al.*, 2003; Solarte *et al.*, 2010) indicando el inicio de la maduración de los frutos el cual se ve reflejado en cambio en dureza (contenido de pectina), textura, color de los frutos y producción de aromas y etileno (Sinuco, 2009).

Se encontró que el aumento en el tiempo del diámetro ecuatorial y polar de los frutos infectados se ajusta al modelo de Gompertz, al igual que ocurre para los frutos sanos, las curvas de cambio de los dos diámetros no presentan diferencias. Es de resaltar que el

64% de los frutos infectados se perdieron a lo largo del tiempo, tal como reportan Solarte y colaboradores (2010) y solo para unos pocos frutos se registraron medidas por todo el tiempo de estudio. Por observaciones de campo los frutos infectados se abortan o se caen en su mayoría entre los primeros 60 días de crecimiento.

Los cultivos estudiados presentaron un 60% de infestación para el tiempo del presente estudio, valor un poco menor al que expone Solarte y colaboradores (2010). Además, se encontró que los frutos son atacados preferentemente en los 0 y 60 días de crecimiento en las condiciones de campo del presente estudio, a diferencia de lo reportado por Monroy e Insuasty (2007), donde la infestación de frutos fue entre los 30 a 90 días, dichas diferencias pueden obedecer al manejo experimental controlado que llevaron a cabo, donde se confinaban parejas de insectos en frutos de diferentes edades.

Los frutos presentaron una etapa de mayor vulnerabilidad a infestación que corresponde al periodo entre los 30 a 60 días de desarrollo y coincide al periodo de infestación reportado para la zona (Monroy e Insuasty, 2007). Pero en las condiciones naturales manejadas en este estudio no se encuentran diferencias significativas entre el porcentaje de frutos infestados de 0 a 30 días y los frutos infestados de 31 a 60 días.

Entre los 90 y 120 días de desarrollo del fruto se presentan los menores índices de infestación que pueden estar obedeciendo a la madurez avanzada del fruto (Monroy e Insuasty; 2007) y en este periodo de tiempo es poco probable que el insecto pueda desarrollarse ya que requiere mínimo seis semanas para alcanzar el último instar en el estado de larva y seguidamente pasar a pupa en el suelo.

Por otra parte, cuando se tienen en cuenta las once fincas de la región se encontró un promedio de infestación que oscila entre el 40% y 60%, que es igual al reportado por las fincas que fueron tomadas para el primer objetivo de este estudio y difieren en un 20% al valor que mencionan Solarte y colaboradores (2010) para la zona de estudio, aunque dichos estudios fueron hace cinco años y se tuvieron en cuenta más fincas, cultivos no tecnificados y varios municipios. Adicional a esto, se evidencia un aumento en la infestación para las fincas a lo largo del estudio, comportamiento que obedece a que los productores generalmente solo aplican insecticidas cuando encuentran un considerable número de frutos infectados, pero dichas observaciones es muy variable entre los productores.

Cabe destacar que las fincas están ubicadas a altitudes que no varían más de 200m en altitud y las prácticas agrícolas (podas, distancia de siembra, insecticidas, fertilizantes, altura de las plantas, cobertura de las plantas) obedecen a las implementadas por los técnicos para la zona (**Tabla 1**), por esta razón las características de las plantas y cultivos son similares. Se esperaría que el comportamiento de cosecha fuera similar pero existen diferencias entre algunas fincas que tienen cultivos sin manejo químico o cultivos orgánicos y con manejo químico. Las fincas orgánicas en los primeros tiempos de cosecha tendrán baja producción pero con el tiempo su producción aumentara y el pago por esta será mejor remunerada.

El área de guayaba no tecnificada alrededor de los cultivos tecnificados fue la variable que explicó el 60% de la infestación, situación que se puede presentar debido que las plantas de guayaba no tecnificada no tienen ningún tipo de práctica agrícola y son centros de concentración de la plaga. La correlación positiva entre las variables muestra que entre más cercano este el cultivo tecnificado a los cultivos no tecnificados, mayor es el índice de infestación.

Los frutos de cultivos no tecnificados están infestados en un 98% (Datos no publicados); posterior a la infestación de dichos cultivos los insectos pueden desplazarse a cultivos cercanos para buscar alimento y ovipositar. En algunos cultivos que presentan escasas áreas de guayaba no tecnificada en sus alrededores y sufrieron infestaciones superiores al 10%, posiblemente se debe a insectos que emergen del suelo y provienen de infestaciones anteriores. Variables como altura de las plantas, tiempo de siembra, distancia de siembra y cobertura de las plantas, no presentaron relación con la infestación de picudo en los cultivos.

En los resultados se observó que fincas con aplicación de insecticidas presentaron porcentajes de infestación similares a aquellas fincas sin ningún tipo de tratamiento químico, y los análisis estadísticos mostraron que no hubo relación entre la aplicación de insecticidas y el porcentaje de infestación. Esto puede obedecer a que los productores fumigaron los árboles y perjudicaron los insectos adultos, pero los individuos en periodo de pupa se encuentran en el suelo (entre 10 y 15 cm de profundidad; Monroy e Insuasty, 2007; Delgado-Ochica y Sáenz, 2012) y pudieron no verse afectados.

Factores abióticos como temperatura, humedad, precipitación y factores de manejo de paisaje pueden estar determinando el 40% de infestación que no explica los árboles de guayaba no tecnificada. La temperatura puede influir en el crecimiento o decrecimiento de los insectos especialmente de las plagas (Alcázar *et al.*, 1991; Marco, 2001) y en los cultivos de guayaba (Rodríguez *et al.*, 1999).

La humedad relativa y las precipitaciones también pueden tener efectos sobre el desarrollo y proliferación de plagas en los cultivos (Toro y Méndez, 2007) y estas variables también pueden estar haciendo parte del porcentaje de infestación que no explicaron los cultivos de guayaba no tecnificados.

El manejo del paisaje puede estar afectando los niveles de infestación de picudo en las fincas porque el paisaje de bosque nativo ya no existe o ha sufrido transformación. La transformación del paisaje y la tendencia a simplificarlo conllevan a la pérdida de diversidad vegetal y animal (Poveda *et al.*, 2012; Tschardtke *et al.*, 2005), en dicha diversidad se encuentran los enemigos naturales encargados de brindar el control biológico de plagas (Shackelford *et al.*, 2013).

En los alrededores de las fincas estudiadas no se encuentra bosque nativo y algunos predios presentan menos del 10% en rastrojo de bosque, por consiguiente se han perdido los servicios ecosistémicos entre los que se encuentra el control natural de plagas que llevan a cabo los enemigos naturales como avispas parásitas, moscas parásitas entre algunos otros artrópodos (Shackelford *et al.*, 2013).

Finalmente, el paisaje de rastrojo de bosque o de policultivos alrededor de los cultivos de guayaba puede generar una complejidad de paisaje a escala local que puede estar influyendo en algún control biológico reducido en el borde del cultivo, pero que depende de tamaño de los cultivos aledaños y del manejo químico que se les brinde (Letourneau *et al.*, 2011;

Relación entre factores bióticos y abióticos en los cultivos de guayaba con infestación de picudo
(*Conotrachelus psidii* Coleóptera: Curculionidae) en Puente Nacional (Santander, Colombia)

8. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

8.1 Conclusiones

Las hembras de picudo no ovipositan botones florales ni flores de guayaba.

La infestación por picudo no afecta significativamente variables de crecimiento de los frutos (diámetro polar y ecuatorial)

La infestación no está relacionada con variables biológicas como altura de las plantas, cobertura de las plantas y distancia de siembra.

Altas infestaciones de picudo están relacionadas con la presencia de cultivos de guayaba no tecnificados a los alrededores de las fincas tecnificadas.

8.2 Recomendaciones

Estudiar como la temperatura, humedad y precipitación pueden afectar la biología del picudo (*Conotrachelus psidii*).

Estudiar otras variedades de guayaba y su resistencia a la infestación de picudo.

Estudios de fisiología de frutos para proponer un traslado del periodo de fructificación a épocas secas.

Estudio de posibles plantas hospedantes y repelentes de la plaga.

Estudio de volátiles en las etapas de maduración de los frutos que puedan estar relacionados con la baja captación de feromonas por parte del insecto o con enmascaramiento de otros olores propios del insecto.

Relación entre factores bióticos y abióticos en los cultivos de guayaba con infestación de picudo
(*Conotrachelus psidii* Coleóptera: Curculionidae) en Puente Nacional (Santander, Colombia)

9. BIBLIOGRAFÍA

www. Agronet.gov.co. Consultada Noviembre de 2013.

Achim Z, Torsten H. 2002. Diagnostic Checking in Regression Relationships. R News 2(3), 7-10. URL <http://CRAN.R-project.org/doc/Rnews/>

Agustí, M. 2004. Fruticultura. Ediciones Mundi-Prensa. España. p 135 -139.

Alcazar J, Raymundo S, Salas R. 1991. Influencia del tiempo de exposición, grosor de plástico, plástico usado o nuevo y profundidad del suelo en la eficiencia de la solarización en el control de *Meloidogyne incognita* (Kofoid and White) Chitwood. Fitopatología 26 (2): 92-99.

Alves de Sá V; Barboza L. 2011. Infestacao de *Conotrachelus psidii* Marshall (Coleoptera: Curculionidae) em frutos de goiaba, *Psidium guajava* L., (Myrtaceae), em Mato Grosso do sul, Brasil. Revista de Biologia e Farmácia. 6 (1).

Andersen M, Adams H, Hope B, Powell M. 2004. Risk assessment for invasive species. Risk Analysis 24 (4): 787–793.

Andersen M. 2005. Potential applications of population viability analysis to risk assessment for invasive species. Human and Ecological Risk Assessment 11: 1083–1095.

Arvanitis L, Wilklund C, Ehrlén J. 2007. Butterfly seed predation: effects of landscape characteristics, plant ploidy level and population structure. Oecologia 152,275–285.

Azcón-Bieto J, Talón M. 2008. Fundamentos de fisiología vegetal. Editorial McGraw-Hill. 2008. p 523 – 533.

Bailez O, Bailez A, De Lima J, Moreira D. 2003. Life-history of the guava Weevil, *Conotrachelus psidii* Marshall (Coleoptera: Curculionidae), under laboratory conditions. Neotropical Entomology 32(2):203-207.

Baker R, Cannon R, Walters K. 1996. An assessment of the risks posed by selected non-indigenous pests to UK crops under climate change. *Aspects Appl. Biol.* 45, 323–330.

Baker R, Sansford C, Jarvis C, Cannona R, MacLeoda A, Walters K. 2000. The role of climatic mapping in predicting the potential geographical distribution of non-indigenous pests under current and future climates. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 82: 57–71.

Barceló J, Rodrigo N, Sabater B y Sánchez R. 1992. Fisiología vegetal ciencia y técnica. Edic. Piramide. Madrid. p. 412-584.

Bateman, M. A. 1972. The ecology of fruit flies. *Annu. Rev. Entomol.* 17:493-518

Boscan de Martínez N, Casares R. 1980. El gorgojo de la guayaba *Conotrachelus psidii* Marshall (Coleoptera: Curculionidae). Evaluación de daños. *Agronomía Tropical*, 30: 77-83.

Burbano O, Fonseca A, Monroy R, Diaz J. 2006. Manejo integrado del Picudo de la guayaba (*Conotrachelus psidii* (Marshall)). pp. 21-28. In: Manejo Fitosanitario del cultivo de la Guayaba (*Psidium guajava* L.) en Santander. Instituto Colombiano Agropecuario: Colombia, 40p.

Canty A, Ripley B. 2013. boot: Bootstrap R (S-Plus) Functions. R package version 1.3-9.

Cascante A, Quesada M, Lobo J, Fuchs E. 2002. Effects of dry tropical forest fragmentation on the reproductive success. *Trends Ecol. Evol.* 18, 140–146.

Casierra-Posada, Rivera J; Ocampo L. 2007. Descripción del sistema agropastoril guayaba-pastos-ganadería en Tolima/Colombia. *Ciencia y agricultura* 5 (2).

Coakley S, Scherm H, Chakraborty S. 1999. Climate change and plant disease management. *Annu. Rev. Phytopathol.* 37, 399–426.

CORPOICA. 2002. Caracterización desde lo social y cultural del sistema de producción guayaba-pastos-ganadería en los municipios de Ortega y Guamo, departamento del Tolima. Programa regional de sistemas de producción. Corpoica regional seis.

Christensen K, Whitman T. 1991. Indirect herbivore mediation of avian seed dispersal in Pinyon Pine. *Ecology*, 72:534-42

Christenson L, Foote R. 1960. Biology of fruit flies. *Annu. Rev. Entomol.* 5: 1 71-92

Davison A, Hinkley D. 1997. *Bootstrap Methods and Their Applications*. Cambridge University Press, Cambridge. ISBN 0-521-57391-2

Delgado-Ochica Y, Sáenz A. Virulencia, producción y desplazamiento de nematodos entomopatógenos sobre larvas del picudo de la guayaba *Conotrachelus psidii* Marshall (Coleoptera: Curculionidae) en laboratorio. *Univ. Sci.* 2012, 17 (3): 283-290

Dentener P, Whiting D, Connolly P. 2002. Thrips palmikarny (Thysanoptera: Thripidae): could it survive in New Zealand? *New Zealand Plant Protection* 55: 18–24.

Dolinski C, Del Valle E, Stuart R. 2006. Virulence of entomopathogenic nematodes to larvae of the guava weevil, *Conotrachelus psidii* (Coleoptera: Curculionidae), in laboratory and greenhouse experiments. *Biological Control*, 38: 422–427.

Fischer G, Melgarejo L. M, Miranda D. Guayaba (*Psidium guajava* L). En Almanza-Merchán P, Álvarez J, Aranda Y, Benavides M, Bonnet J, Campos T, Cardenas J, *et al.* 2012. Manual para el cultivo de frutales en el trópico. Produmedios. Bogotá. p 526 – 549.

Fox J, Weisberg S. 2011. *An {R} Companion to Applied Regression*, Second Edition. Thousand Oaks CA: Sage. URL:<http://socserv.socsci.mcmaster.ca/jfox/Books/Companion>

Garcés de G, E. 1987. Estudio anatómico y de los procesos de crecimiento del fruto del guayabo (*Psidium guajava* L). Agron. Colomb. 4: 23-30.

Giese R, Peart R, Huber R. 1975 Pest Management. Science, New Series, 187 (4181): 1045-1052.

Graham J, McNeney B, Seillier-Moiseiwitsch F. 2005. Stepwise detection of recombination breakpoints in sequence alignments. Bioinformatics, 21:589-595.

Grömping U. 2006. Relative Importance for Linear Regression in R: The Package relaimpo. Journal of Statistical Software, 17(1), 1--27.

Guisande C, Vaamonde A, Barreto A. 2011. Tratamiento de datos con R, Statistica y SPSS. Edición Díaz Santos.

Hassanali A, Herren H, Khan Z, Pickett J, Woodcock C. 2008. Integrated Pest Management: The Push-Pull Approach for Controlling Insect Pests and Weeds of Cereals, and Its Potential for Other Agricultural Systems including Animal Husbandry. Philosophical Transactions: Biological Sciences, 363 (1491): 611-621.

Herrerías-Diego Y, Quesada M, Stoner K, Lobo J, Hernández-Flores Y, Sánchez G. 2008. Effect of forest fragmentation on fruit and seed predation of the tropical dry forest tree *Ceiba aesculifolia*. Biological Conservation 141: 241-248.

Hulme P. 1997. Post-dispersal seed predation and the establishment of vertebrate dispersed plants in mediterranean scrublands. Oecologia 111:91-98.

Insuasty O, Cuadros J, Monroy R, Bautista J. 2006. Manejo integrado de moscas de la fruta de la Guayaba (*Anastrepha* spp.). Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria, Corpoica, Barbosa, Santander.

Insuasty O, Monroy R, Díaz A, Bautista J. 2007. Manejo integrado del picudo de la guayaba (*Conotrachelus psidii* Marshall) en Santander. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria, Corpoica, Barbosa, Santander.

Janzen D. 1971. Escape of *Cassia grandis* L. beans from predators in time and space. *Ecology* 52:964-79

Janzen D . 1977. Why fruits rot, seeds mold and meat spoils. *Am. Nat.* 111:691-713

Jarvis C, Baker R. 2001. Assessment for Nonindigenous Pests: 2. Accounting for Interyear Climate Variability. *Diversity and Distributions*, 7 (5): 237-248.

Jordano P. 1995. Frugivore-mediated selection on fruit and seed size: birds and St. Lucie's cherry, *Prunus mahaleb*. *Ecology* 76, 2627–2639.

Karatzoglou A, Smola A, Hornik K, Zeileis A. 2004. kernlab - An S4 Package for Kernel Methods in R. *Journal of Statistical Software* 11(9), 1-20. URL <http://www.jstatsoft.org/v11/i09/>

Laguado N, Marín M, Arenas de Moreno L, Araujo F, Castro de Rincón C, Rincón A. 2002. Crecimiento del fruto de guayaba (*Psidium guajava* L.) del tipo Criolla Roja. *Rev. Fav. Agron*, 19: 273-283.

Larsen T, Escobar F, Armbrrecht I. Insectos de los Andes Tropicales: Patrones de Diversidad, Procesos y Cambio Global. En Herzog S, Martínez R, Jorgensen P, Tiessen H. 2012. Cambio climático y Biodiversidad en los Andes Tropicales. Instituto Interamericano para la Investigación del Cambio Climático (IAI), Sao José Dos Campos, y Comité Científico sobre problemas de Medio Ambiente (SCOPE). Paris. 426p.

Liaw A, Wiener M. 2002. Classification and Regression by randomForest. R News 2(3), 18--22.

Marco, V. 2001. Modelación de la tasa de desarrollo de insectos en función de la temperatura. Aplicación al Manejo integrado de Plagas mediante el método de grados-días. Bol. S.E.A. 7(28): 147-150.

Martinez N, Cásares M. 1982. Distribución en el tiempo de las fases del gorgojo de la guayaba *Conotrachelus psidii* Marshall (Coleoptera: Curculionidae) en el campo. Agronomía Tropical, 31(1-6): 123-130.

Mercado-Silva E, Benito-Bautista P, García-Velasco M. 1998. Fruit development harvest index and ripening changes of guavas produced in central México. Postharv. Biol. Tecn. 3: 143-150.

Mirocha C, Christensen C .1974. Fungus metabolites toxic to animals. Annu. Rev. Phytopathol. 12:303-30

Monroy R, Rafael A, Insuasty B, Orlando I. 2006. Aspectos biológicos y duración de los estadios del picudo de la guayaba *Conotrachelus psidii* (Marshall). Revista Corpoica: Ciencia y Tecnología Agropecuaria. Vol 7.No.2

Muñiz-Vélez R, González R. 1982. *Conotrachelus dimidiatus* Champ, "el picudo de la guayaba" en Morelos, México. Anales de la Escuela Nacional de Ciencias Biológicas, 26: 9-35.

Ocampo O. 2002. Priorización y selección de productores para la instalación de parcelas materiales mejorados de guayaba. Programa regional de sistemas de producción. Corpoica regional seis. Espinal-Tolima/Colombia. Informe de avance. 35p.

Orlando A, Sampaio S, Carvalho A, Scaranari H, Aarruda H. 1974. Nota sobre o “gorgulho das goiabas”, *Conotrachelus psidii* Marshall, 1922 (Coleoptera: Curculionidae) e experimentos de combate. *O Biológico*, 40: 281-289.

Ostergard H, Ehrlén J. 2005. Among population variation in specialist and generalist seed predation—the importance of host plant distribution, alternative host and environmental variation. *Oikos* 111(39),46.

Park Y, Céréghino R, Compin A, Lek S. 2003. Applications of artificial neural networks for patterning and predicting aquatic insect species richness in running waters. *Ecological Modelling* 160: 265–280.

Peacock L, Worner S, Sedcole R. 2006. Climate variables and their role in site discrimination of invasive insect species distributions. *Environmental Entomology* 35 (4): 958–963.

Pedraza C, Carlos E. 2005. Reconocimiento, daño, infestación y distribución temporal de las fases del *Conotrachelus sp.* picudo del guayabo (*Psidium guajava*. L.) en la Hoya del río Suárez, Santander. Tesis de pregrado, Facultad de Ciencias, Escuela de Biología, Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia. Tunja, Boyacá. 83 p.

Perfect T. 1986. Irrigation as a factor influencing the management of agricultural pests. *Phil. Trans. R. Soc. Lond. A* 316: 347-354.

Porter E. 1938. Why do insects become Pests? *The Scientific Monthly*. 46 (5) 437-440.

Poveda K, Martínez E, Bonilla M. A, Tschardtke T. 2012. Landscape simplification and altitudinal variation affect biodiversity, herbivory and Andean potato yield (*equal authorship). *Journal of Applied Ecology*. 49:513-522.

R Core Team. 2013. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <http://www.R-project.org/>.

Ramírez N, Traveset A. 2010. Predispersal seed-predation by insects in the Venezuelan Central Plain: Overall patterns and traits that influence its biology and taxonomic groups. *Evolution and Systematics* 12:193-2009

Rodriguez G, del Valle M, Silva R. 1999. Fluctuación poblacional y aplicación del análisis de sendero a la época del incremento de *Anastrepha striata* Schiner (Diptera: Tephritidae) afectando a *Psidium guajava* L. en el Estado Monagas, Venezuela. *Bol. Entomol. Venezuela*. 14(1):63-76.

Romero A, Osorio C, Bento J. 2013. Sinais químicos presentes em plantas de goiabeira, *Psidium guajava* L (Myrtaceae) e no gorgulho da goiaba, *Conotrachelus psidii* Marshall (Coleoptera:Curculionidae). *Memorias Encontro Brasileiro de Ecologia Química*. 1 a 4 de outubro de 2013. Natal-RN. Brasil.

Salas H, Goane L, Casmuz A, Zapatiel S. 2006. Control del minador de la hoja de los cítricos *Phyllocnistis citrella* Stainton en plantas de limonero en vivero con insecticidas sistémicos. *Rev. ind. agríc. Tucumán* .83.1-2.

Sallabanks R, Courtney S. 1992. Frugivory, seed predation and insect-vertebrate interactions. *Annu. Rev. Entomol.* 37:377-400

Sánchez-Soto S. 2011. *Conotrachelus dimidiatus* Champion (Coleoptera: Curculionidae: el picudo de la guayaba (*Psidium guajava* L.) en Tabasco, Mexico. *Boletín del Museo de Entomología de la Universidad del Valle* 12(2):17-18.

Shackelford G, Steward P, Benton T, Kunin W, Potts S, Biesmeijer J, Sait S. 2013. Comparison of pollinators and natural enemies: a meta-analysis of landscape and local effects on abundance and richness in crops. *Biol. Rev.*, 88:1002–1021.

Silva-Filho G, Bailez O, Viana-Bailez A. 2007. Dimorfismo Sexual do Gorgulho-da-Goiaba *Conotrachelus psidii* Marshall (Coleoptera: Curculionidae). *Neotropical Entomology* 36(4):520-524.

Sinuco D. 2009. Estudio Químico del aroma de la guayaba (*Psidium guajava* L. genotipos regional roja y regional blanca) proveniente de la hoya del río Suarez. Tesis Doctoral en Ciencias Química. Universidad Nacional de Colombia.

Sutherst R. 1999. Climate change and invasive species — a conceptual framework. In: Mooney, H.A., Hobbs, R.J. (Eds.), *Invasive Species in a Changing World*. Island Press.

Sutherst R. 2003. Prediction of species geographical range. *Journal of Biogeography* 30: 805–816.

Szentesi A, Jermy T. 2003. Pre-dispersal seed predation and seed limitation in an annual legume. *Basic. Appl. Ecol.* 4:207-218

Tafoya F, Perales-Segovia C, González-Gaona E, Calyecac-Cortero E. 2010. Fruit damage patterns caused by ovipositing females of *Conotrachelus dimidiatus* (Coleoptera: Curculionidae) in guava trees. *Psyche*, 2010: 1-4.

Toro M, Méndez A. 2007. Influencia de la temperatura media, humedad relativa y precipitaciones en el comportamiento de tres especies de insectos plagas asociados al cultivo del tabaco al sol en el municipio de Puerto Pare. *Fitosanidad* 11 (1)

Tscharntke T, Klein M.A, Kruess A, Steffan-Dewenter I, Thies C. 2005. Landscape perspectives on agricultural intensification and biodiversity – ecosystem service management. *Ecology Letters*, 8: 857–874.

Uchôa-Fernandes M, Oliveira I, Molina R, Zucchi R. 2002. Species diversity of frugivorous flies (Diptera: Tephritoidea) from hosts in the cerrado of the state of Mato Grosso do Sul, Brazil. *Neotropical Entomology*, 31: 515-524.

Vásquez J, Delgado C, Couturier G, Ferrero D. 2002. Les insectes nuisibles au goyavier (*Psidium guajava* L.: Myrtaceae) en Amazonie Péruvienne. *Fruits*, 57: 323-333.

Venables W, Ripley B. 2002. Modern Applied Statistics with S. Fourth Edition. Springer, New York. ISBN 0-387-95457-0

Watts M, Worner S. 2006. Using artificial neural networks to determine the relative contribution of abiotic factors influencing the establishment of insect pest species. *Ecological Informatics* 64-74.

Watts M, Worner S. 2007. Using artificial neural networks to determine the relative contribution of abiotic factors influencing the establishment of insect pest species. School of Biological Sciences, University of Sydney, NSW 2006, Australia.

Worner S. 1988. Ecoclimatic assessment of potential establishment of exotic pests. *Journal of Economic Entomology* 81, 973–983.

Worner S, Gevrey M. 2006. Modelling Global Insect Pest Species Assemblages to Determine Risk of Invasion. *Journal of Applied Ecology*, 43 (5): 858-867.

Yam J, Villaseñor C; Kriuchkova E, Soto M, Peña M. 2010. A review about guava (*Psidium guajava* L.) fruit importance and their main ones characteristic in the postharvest. Una revisión sobre la importancia del fruto de Guayaba (*Psidium guajava* L.) y sus principales características en la postcosecha. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, Vol. 19, No. 4.

Yonow T, Sutherst R. 1998. The geographical distribution of the Queensland fruit fly, *Bactrocera* (*Dacus*) *tryoni*, in relation to climate. *Aust. J. Agric. Res.* 49, 935–953

