

Instituto Tecnológico de Ciudad Victoria

División de Estudios de Posgrado e Investigación

TESIS

**DINÁMICA POBLACIONAL Y OPTIMIZACIÓN EN EL TRAMPEO DE
Scyphophorus acupunctatus Gyllenhal (Coleoptera: Dryophthoridae)
EN *Agave tequilana* Weber var. azul EN TAMAULIPAS, MÉXICO**

presentada por

M. ALEJANDRO AZAEL PEDRAZA MÉNDEZ
G-19380018

como requisito para la obtención del grado de
Doctor en Ciencias en Biología

Director de tesis

DR. AUSENCIO AZUARA DOMÍNGUEZ

Codirectora de tesis

DR. HAIDEL VARGAS MADRIZ

OFICIO DE AUTORIZACIÓN DE IMPRESIÓN



Educación
Secretaría de Educación Pública



INSTITUTO TECNOLÓGICO
NACIONAL DE MÉXICO



Instituto Tecnológico de Ciudad Victoria
Subdirección Académica
División de Estudios de Posgrado e Investigación

Cd. Victoria, Tamaulipas, **02/junio/2025**

OFICIO No: DEPI-118/2025

Asunto: Autorización de impresión de tesis

ALEJANDRO AZAEL PEDRAZA MÉNDEZ
Candidato al Grado de Doctor en Ciencias en Biología
No. Control: G-19380018

Presente

Por recomendación de su **H. Comité Tutorial**, se le **AUTORIZA** imprimir y reproducir digitalmente la Tesis: **"DINÁMICA POBLACIONAL Y OPTIMIZACIÓN EN EL TRAMPEO DE *Scyphophorus acupunctatus* GYLLENHAL (COLEOPTERA: DRYOPHTHORIDAE) EN *Agave tequilana* WEBER VAR. AZUL EN TAMAULIPAS, MÉXICO"**, que tuvo a bien desarrollar en la División de Estudios de Posgrado e Investigación de este instituto.

ATENTAMENTE
Excelencia en Educación Tecnológica®
"Verdad, Honestidad y Servicio"



ADRIANA MEXICANO SANTOYO
JEFA DE LA DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO E INVESTIGACIÓN

C.c. p. Archivo



2025
Año de
La Mujer
Indígena

Blvd. Emilio Portes Gil No. 1301, C.P. 87010 Cd.
Victoria, Tamaulipas Tel. (834) 153-2000, Ext. 325
e-mail: dposgrado@cdvictoria.tecnm.mx
tecnm.mx | cdvictoria.tecnm.mx



Posgrado
M00-PM-AUT_IMT_TESIS-F07

HOJA DE FIRMAS



Educación
Secretaría de Educación Pública



TECNOLÓGICO
NACIONAL DE MÉXICO



Instituto Tecnológico de Ciudad Victoria
Subdirección Académica
División de Estudios de Posgrado e Investigación

Cd. Victoria, Tamaulipas, **28/mayo/2025**

Asunto: Carta de autorización de impresión de tesis

C. Dra. Adriana Mexicano Santoyo
Jefe de la División de Estudios de Posgrado e Investigación
Presente

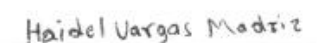
Como miembros del Comité Tutorial del estudiante **ALEJANDRO AZAEL PEDRAZA MÉNDEZ** del programa de **DOCTORADO EN C. EN BIOLOGÍA** con Número de Control **G-19380018**, certificamos que después de haber sometido a revisión académica la tesis titulada: **"DINÁMICA POBLACIONAL Y OPTIMIZACIÓN EN EL TRAMPEO DE *Scyphophorus acupunctatus* Gyllenhal (Coleoptera: Dryophthoridae) EN *Agave tequilana* Weber var. azul EN TAMAULIPAS, MÉXICO"** que fue dirigida por el C. DR. AUSENCIO AZAUARA DOMÍNGUEZ y codirigida por el C. DR. HAIDEL VARGAS MADRIZ, acordamos la **ACEPTACIÓN** del documento para obtener el grado de **DOCTOR EN C. EN BIOLOGÍA**, dado que cumple con los criterios expresados en los lineamientos para la Operación de Estudios de Posgrado del Tecnológico Nacional de México.

ATENTAMENTE

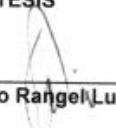
Comité Tutorial
Excelencia en Educación Tecnológica®
"Verdad, Honestidad y Servicio"



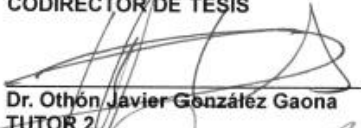
Dr. Ausencio Azuara Domínguez
DIRECTOR DE TESIS



Dr. Haidel Vargas Madriz
CODIRECTOR DE TESIS



Dr. José Antonio Rangel Lucio
TUTOR 1



Dr. Othón Javier González Gaona
TUTOR 2



Dr. Juan Flores García
TUTOR 3



Dr. Jorge Homero Rodríguez Castro
TUTOR 4

c.c.p. Coordinación de Doctorado en C. en Biología



2025
Año de
La Mujer
Indígena

Bvtd. Emilio Portes Gil No. 1301, C.P. 87010 Cd.
Victoria, Tamaulipas Tel. (834) 153-2000, Ext. 180
e-mail: dir_cd victoria@tecnm.mx
tecnm.mx | cdvictoria.tecnm.mx
www.tecnm.mx



Posgrado
M00-PM-AUT_IMT_TESIS-F04

SESIÓN DE DERECHOS



Educación
Secretaría de Educación Pública



TECNOLÓGICO
NACIONAL DE MÉXICO



Instituto Tecnológico de Ciudad Victoria
Subdirección Académica
División de Estudios de Posgrado e Investigación

Cd. Victoria, Tamaulipas, **28/mayo/2025**
Asunto: Carta de Cesión de Derechos

En Cd. Victoria, Tamaulipas, a **28 de mayo de 2025**, el que suscribe, **ALEJANDRO AZAEL PEDRAZA MÉNDEZ**, estudiante del programa de **DOCTORADO EN CIENCIAS EN BIOLOGÍA** del Instituto Tecnológico de Cd. Victoria, con número de control **G-19380018**, manifiesto que soy autor intelectual de la presente tesis, la cual fue dirigida por el **DR. AUSENCIO AZUARA DOMÍNGUEZ** y Codirigida por el **DR. HAIDEL VARGAS MADRIZ** cedo integralmente los derechos del trabajo de tesis titulado **"DINÁMICA POBLACIONAL Y OPTIMIZACIÓN EN EL TRAMPEO DE *Scyphophorus acupunctatus* Gyllenhal (Coleoptera: Dryophthoridae) EN *Agave tequilana* Weber var. azul EN TAMAULIPAS, MÉXICO"** al Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico de Cd. Victoria para su uso con fines académicos y de investigación.

Los usuarios pueden consultar y reproducir el contenido para todos los usos que tengan finalidad académica siempre y cuando sea citada la fuente de información.

ALEJANDRO AZAEL PEDRAZA MÉNDEZ



2025
Año de
La Mujer
Indígena

Bvd. Emilio Portes Gil No. 1301, C.P. 87010 Cd.
Victoria, Tamaulipas Tel. (834) 153-2000, Ext. 180
e-mail: dir_cd victoria@tecnm.mx
tecnm.mx | cdvictoria.tecnm.mx
www.tecnm.mx



Posgrado
M00-PM-AUT_IMT_TESIS-F08

CARTA DE ORIGINALIDAD



Educación
Secretaría de Educación Pública



INSTITUTO TECNOLÓGICO
NACIONAL DE MÉXICO



Instituto Tecnológico de Ciudad Victoria
Subdirección Académica
División de Estudios de Posgrado e Investigación

Cd. Victoria, Tamaulipas, 28/mayo/2025
Asunto: Carta de originalidad

C. LUDIVINA BARRIENTOS LOZANO
Coordinadora del Doctorado en Ciencias en Biología
PRESENTE

Por medio del presente se le informa, que después de haber realizado un contraste entre los trabajos publicados en internet y la tesis **"DINÁMICA POBLACIONAL Y OPTIMIZACIÓN EN EL TRAMPEO DE *Scyphophorus acupunctatus* Gyllenhal (Coleoptera: Dryophthoridae) EN *Agave tequilana* Weber var. azul EN TAMAULIPAS, MÉXICO"**, desarrollada por el estudiante **ALEJANDRO AZAEL PEDRAZA MÉNDEZ** con número de control **G-19380018**, se encontró que el trabajo presenta un **11 %** de contenido similar a otros textos, producto del análisis desarrollado utilizando el software Turnitin.

Dado que el límite máximo acordado por el claustro doctoral del **Doctorado en Ciencias en Biología** es del 25% se extiende la presente **CARTA DE ORIGINALIDAD** en Ciudad Victoria Tamaulipas, a los 28 días del mes de mayo de 2025.

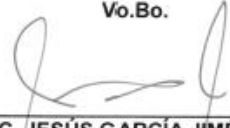
Anexo se encuentra el reporte de similitud realizado al documento de tesis previamente mencionado con el objetivo de que emita la constancia de originalidad correspondiente.

ATENTAMENTE

Excelencia en Educación Tecnológica®
"Verdad, Honestidad y Servicio"


C. AUSENCIO AZUARA DOMINGUEZ
Directora de Tesis

Vo.Bo.


C. JESÚS GARCÍA JIMÉNEZ
Presidente Claustro Doctorado en C. en
Biología

ccp.- Expediente



2025
Año de
La Mujer
Indígena

Bldv. Emilio Portes Gil No. 1301, C.P. 87010 Cd.
Victoria, Tamaulipas Tel. (834) 153-2000, Ext. 180
e-mail: dir_cd victoria@tecnm.mx
tecnm.mx | cdvictoria.tecnm.mx
www.tecnm.mx



Posgrado
M00-PM-AUT_IMT_TESIS-F05

AGRADECIMIENTOS

Agradezco al Tecnológico de Ciudad Victoria, en particular a la División de Estudios de Posgrado e Investigación, por aceptarme y abrirme las puertas de su comunidad científica para cursar el Doctorado en Ciencias en Biología.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología por el apoyo brindado como becario No 753903 para la realización de los estudios correspondientes de 2019 a 2023. Mi más sincero agradecimiento.

Al Dr. Ausencio Azuara Domínguez, le expreso mi gratitud por motivarme a seguir adelante en esta etapa de mi vida, y especialmente por su constante seguimiento y asesoría, que fueron cruciales para culminar este proceso.

Al Dr. Juan Flores Gracia, gracias por brindarme la oportunidad de ser parte de su grupo de estudiantes y por orientarme cada día para mejorar en todo lo que hago.

Al Dr. Othón J. González Gaona, agradezco su amistad y apoyo académico a lo largo de mi estancia en el Doctorado.

Al Dr. José Antonio Rangel Lucio, le agradezco profundamente por sus atenciones, colaboración y apoyo, así como por formar parte integral de mi formación académica.

También, extendo mi agradecimiento a los compañeros del Comité Estatal de Sanidad Vegetal del Estado de Tamaulipas por su fundamental contribución en la coordinación logística, en el diseño y establecimiento de experimentos y por su gran desempeño en la recolección y registro de datos en campo, los cuales fueron esenciales para el desarrollo y éxito de este trabajo de tesis, ¡Mil gracias!

DEDICATORIA

A mi familia

Por estar, ser y formar un ambiente agradable en mi entorno, que dio aliento y ánimos para concluir estos estudios.

A mis amigos

Gracias por sus buenos deseos, bendiciones y sus palabras, cuando más las necesitaba, para seguir adelante

RESUMEN

El picudo del agave, *Scyphophorus acupunctatus* Gyllenhal (Coleoptera: Dryphthoridae), es la plaga principal que afecta a las plantaciones de *Agave tequilana* Weber variedad azul en México, lo que pone en riesgo la producción de tequila y la denominación de origen en zonas productoras de agave, como la ubicada en Tamaulipas, México.

El presente trabajo de tesis doctoral tuvo como objetivo general el estudio de la dinámica poblacional de *S. acupunctatus* y la evaluación de la eficiencia de diversas combinaciones de semioquímicos en su captura, con la finalidad de optimizar tiempo, recursos humanos y económicos en el control de esta plaga del agave.

El primer objetivo de la tesis consistió en determinar la abundancia temporal del picudo durante un año en el municipio de Xicoténcatl, al sur de Tamaulipas, y se estudió la participación de factores abióticos como la temperatura y precipitación pluvial en su ocurrencia. El trameo del insecto plaga fue efectuado cada quince días durante un año, con las mayores capturas de adultos en febrero, mayo y noviembre. Por otro lado, los resultados indicaron una correlación positiva entre la precipitación pluvial y la abundancia del insecto ($r = 0.68$, $P = 0.02$), mientras que la abundancia fue indiferente a la temperatura ($r = 0.40$, $P = 0.21$). Este conocimiento será clave para prever los momentos críticos de infestación, optimizar las estrategias de control y fortalecer la protección de la denominación de origen del tequila en Tamaulipas.

El segundo objetivo evaluó la eficiencia de diversas combinaciones de semioquímicos sintéticos en la captura de *S. acupunctatus* de *A. tequilana* y *Agave fourcroydes* en los municipios de González y Llera de Canales, Tamaulipas. Los resultados mostraron que las combinaciones de semioquímicos T8 (ácido acético + acetato de etilo + etanol + feromona) y T9 (acetato de etilo + etanol + 2-butanol + feromona) tuvieron mayor efectividad en ambas especies de agave. Estos hallazgos sugieren que, el uso de semioquímicos, pueden mejorar significativamente las estrategias de manejo de esta plaga en el agave.

Este estudio no solo contribuye al avance del conocimiento científico sobre el manejo de *S. acupunctatus*, sino que también proporciona información clave para el desarrollo de programas de control sostenibles, fundamentales para la protección y crecimiento de la industria tequilera en México, especialmente en Tamaulipas, donde el cultivo de agave es una importante fuente de ingresos económicos y de empleos.

PALABRAS CLAVE: Semioquímicos, feromona, trameo, abundancia poblacional, picudo.

ABSTRACT

The agave weevil, *Scyphophorus acupunctatus* Gyllenhal (Coleóptera: Dryphthoridae), is the main pest affecting *Agave tequilana* Weber var. azul plantations in Mexico, putting at risk the production of tequila and the designation of origin in regions such as Tamaulipas.

In this doctoral thesis, in general, the population dynamics of *S. acupunctatus* were studied and the efficiency of various combinations of semiochemicals in its capture was evaluated, with the purpose of optimizing integrated pest management strategies in agave crops in Tamaulipas.

In the first objective of the thesis, the temporal abundance of the weevil was determined throughout the year in the municipality of Xicoténcatl, Tamaulipas, and the participation of abiotic factors such as temperature and precipitation in its occurrence was studied. Biweekly samplings were carried out for one year, observing greater captures of adults in the months of February, May, and November. The results indicated a positive correlation between precipitation and insect abundance ($r = 0.68$, $P = 0.02$), while no correlation was found with temperature ($r = 0.40$, $P = 0.21$). This knowledge will be key to predict critical moments of infestation, optimize control strategies and strengthen the protection of the designation of origin of tequila in Tamaulipas.

In the second objective, the efficiency of various combinations of synthetic semiochemicals in the capture of *S. acupunctatus* in *Agave tequilana* and *Agave fourcroydes* crops in the municipalities of González and Llera de Canales, Tamaulipas was evaluated. The results showed that the combinations of semiochemicals T8 (acetic acid + ethyl acetate + ethanol + pheromone) and T9 (ethyl acetate + ethanol + 2-butanol + pheromone) were the most effective for both agave species. These findings suggest that the use of semiochemicals can significantly improve pest management strategies in agave.

This study not only contributes to the advancement of scientific knowledge on the management of *S. acupunctatus*, but also provides key information for the development of sustainable control programs, essential for the protection and growth of the tequila industry in Mexico, especially in Tamaulipas, where agave cultivation is a vital source of economic income and employment.

KEY WORDS: Semiochemicals, pheromone, trapping, abundance, weevil.

TABLA DE CONTENIDO

LISTADO DE TABLAS	viii
LISTADO DE FIGURAS.....	ix
Capítulo 1	1
INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 Descripción del problema	2
1.1.1 Importancia económica del cultivo de agave en México.	3
1.1.2 Plagas que afectan al cultivo de agave.....	7
1.1.3 Trampas empleadas para monitorear picudo del agave.	10
1.1.4 Atracción y distancia entre trampas.	11
1.1.5 Cantidad y embolsado de cebo alimenticio.	12
1.1.6 Altura y distribución de trampas.	12
1.1.7 Atrayentes alimenticios para aumentar el rendimiento de las trampas.	13
1.1.8 Feromonas de agregación de picudo del agave.	15
1.2 Objetivos	16
1.2.1 Objetivo general	16
1.2.2 Objetivos Específicos.....	16
1.3 Justificación.....	17
Capítulo 2	18
2.1 Marco teórico	18
Capítulo 3	20
3.1 Marco teórico	20
Capítulo 3	22
3.1 Metodología capítulo II	22
3.2 Metodología capítulo III	24
Capítulo 4	27
4.1 Resultados capítulo II	27
4.2 Resultados capítulo III	31
Capítulo 5	36
DISCUSIÓN.....	36
Capítulo 6	39
CONCLUSIONES.....	39

LISTADO DE TABLAS

Tabla 1.1 Anuario estadístico 2023 de la producción de agave en México (SIAP, 2023).	4
Tabla 1.2 Anuario estadístico de la producción de agave azul (Agave tequilana Weber variedad azul) en México (SIAP, 2023).	6
Tabla 3.1 Tratamientos conformados de semioquímicos sintéticos, feromona de agregación y atrayente alimenticio.	25

LISTADO DE FIGURAS

Figura 4.1 Ubicación geográfica del área de estudio donde se muestreó a <i>Scyphophorus acupunctatus</i> Gyllenhal (Coleoptera: Dryophthoridae) en <i>Agave tequilana</i> Weber. A) Ubicación geográfica del estado de Tamaulipas en México; B) Localización geográfica del municipio de Xicoténcatl en Tamaulipas, y; C). Ubicación geográfica de las localidades de muestreo.	22
Figura 4.2 Fluctuación promedio mensual de adultos del picudo <i>Scyphophorus acupunctatus</i> Gyllenhal en plantaciones de agave (<i>Agave tequilana</i> Weber), variedad azul en Tamaulipas. ..	27
Figura 5.1 Abundancia temporal de <i>S. acupunctatus</i> en invierno, primavera, verano y otoño durante el año 2018.	28
Figura 5.2 Efecto de la temperatura y la precipitación sobre la abundancia temporal de <i>S. acupunctatus</i> en el área de estudio.	29
Figura 5.3. Área de estudio muestreada de <i>Scyphophorus acupunctatus</i> Gyllenhal (Coleóptera: Dryophthoridae) en <i>Agave tequilana</i> Weber y <i>Agave fourcroydes</i> Lem.: A) Ubicación geográfica de Tamaulipas, México, B) Localización de González y Llera de Canales, Tamaulipas, C) Distribución de trampas instaladas en Llera de Canales, Tamaulipas y, D) Distribución de trampas instaladas en González, Tamaulipas.	24
Figura 5.4. Prueba de medias con Tukey ($\alpha = 0.05$) de adultos de <i>S. acupunctatus</i> capturados mediante semioquímicos sintéticos, feromona de agregación y atrayente fermentado en henequén, de González, Tamaulipas. Literales distintas sobre las barras indican la existencia de diferencias estadísticas significativas entre adultos de picudo atraídos por semioquímicos.	32
Figura 5.5. Prueba de medias con Tukey ($\alpha = 0.05$) de adultos de <i>S. acupunctatus</i> capturados mediante semioquímicos sintéticos, feromona de agregación y atrayente fermentado en agave tequilero var. Azul, en Llera de Canales, Tamaulipas. Literales distintas sobre las barras indican la existencia de diferencias estadísticas significativas entre adultos de picudo atraídos por semioquímicos.	33

Capítulo 1

INTRODUCCIÓN

El picudo del agave, *Scyphophorus acupunctatus* Gyllenhal (Coleóptera: Dryphthoridae), es una de las plagas más devastadoras para las especies de agave en México y en otras partes del mundo, con impactos económicos significativos en la producción de *Agave tequilana* Weber variedad azul, así como en otras especies utilizadas para la producción de mezcal (Terán-Vargas *et al.*, 2012; Figueroa-Castro *et al.*, 2013). Este insecto se alimenta y coloca sus huevos en las estructuras internas de la planta y causa daños directos que facilitan la entrada de patógenos como *Pectobacterium carotovora*, responsable de la enfermedad pudrición del cogollo; lo que resulta en la pérdida de la planta y la disminución en los rendimientos (Aquino-Bolaños *et al.*, 2011; García-Ramírez *et al.*, 2014).

El control de *S. acupunctatus* ha sido abordado mediante el uso de trampas cebadas con feromonas de agregación, como 2-metil-4-heptanona y 2-metil-4-octanona, en combinación con atrayentes alimenticios, tales como tejidos fermentados de agave o frutas como la piña (*Ananas comosus*) y el plátano (*Musa paradisiaca* L.), que han mostrado potencializar el efecto de las feromonas y aumentar las capturas (Ruiz-Montiel *et al.*, 2003; Figueroa-Castro *et al.*, 2017). Un estudio reciente evaluó la efectividad del uso de “piñas” fermentadas de *A. tequilana* Weber var. azul, en combinación con la feromona sintética 2-metil-4-octanona, lo que resultó en un aumento significativo en la captura de picudos en trampas cebadas, en comparación con el uso de agave fresco o sin fermentar (Azuara-Domínguez *et al.*, 2012). Los resultados subrayan el papel clave de los volátiles de agave fermentado en la atracción de *S. acupunctatus* y su importancia para mejorar las estrategias de trampeo.

Los volátiles liberados por el agave, junto con semioquímicos como etanol, han mostrado tener un efecto sinérgico cuando se combinan con feromonas de agregación (Ruíz-Montiel *et al.*, 2017). El uso de volátiles de plantas hospedadoras en sinergia con

la feromona, resultó en una mejora significativa en la atracción del picudo, sobre todo cuando los tejidos de agave fueron fermentados con melaza de caña (Cruz-Esteban *et al.*, 2021). Esto destaca la importancia de optimizar el uso de atrayentes para mejorar la eficiencia en la captura.

Además, se ha investigado la distancia óptima entre trampas cebadas con feromonas y atrayentes para maximizar la captura. En estudios recientes, se determinó que la distancia entre trampas tiene un impacto en la eficiencia del monitoreo y control de las poblaciones de *S. acupunctatus*. Una distancia de separación de 200 m entre trampas es óptima para aumentar la captura, mientras que el rango de atracción de estas trampas puede extenderse hasta 120 m (Figueroa-Castro *et al.*, 2016).

1.1 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

Se ha documentado que la actividad de *S. acupunctatus* está estrechamente vinculada a variables abióticas como temperatura y precipitación pluvial; lo que sugiere la necesidad de adaptar las estrategias de control a las condiciones climáticas de cada región (Bravo *et al.*, 2005; Aquino-Bolaños *et al.*, 2007). En Oaxaca y Jalisco, las capturas de adultos en trampas cebadas con feromonas y atrayentes alimenticios aumentan durante los meses más cálidos y húmedos, pero tienden a disminuir ante la mayor humedad relativa (Figueroa-Castro *et al.*, 2013; Bailón-Ortiz *et al.*, 2018).

Un aspecto adicional clave, es el efecto de la liberación de feromonas por los machos de *S. acupunctatus*. De este modo, se ha demostrado que la liberación de feromonas depende de factores como alimentación, edad y fotoperiodo. Los machos jóvenes alimentados con material vegetal de agave, producen mayor proporción de feromonas en comparación con aquellos privados de alimento (agave) o que son alimentados con plantas no hospederas, como el manzano (Ruiz-Montiel *et al.*, 2009).

En Tamaulipas, el cultivo de *A. tequilana* Weber variedad azul ocupa una superficie de 12,586 ha distribuidas en varios municipios: González, Llera de Canales y Xicoténcatl, donde el picudo representa una amenaza significativa para la viabilidad económica de la producción de tequila (SAGARPA, 2011). Sin embargo, en esta región aún no se cuenta con estudios detallados que evalúen la fluctuación poblacional de *S. acupunctatus* ni la

eficiencia de diversas combinaciones de semioquímicos en el trampeo del insecto, bajo condiciones climáticas locales.

Dado lo anterior, el presente trabajo tuvo como objetivo principal estudiar la dinámica poblacional de *S. acupunctatus* y evaluar la efectividad de diferentes combinaciones de semioquímicos sintéticos para su captura de plantaciones de agave en Tamaulipas, México. Se busca, además, identificar la influencia de factores abióticos como temperatura y precipitación pluvial en la ocurrencia del picudo, con el fin de optimizar las estrategias de manejo integrado de plagas para proteger a este cultivo, de importancia económica y cultural.

1.1.1 Importancia económica del cultivo de agave en México.

La superficie plantada con agave en las 32 entidades federativas de México en 2023 alcanzó 20,023,594.61 ha, mientras que la superficie cosechada fue ligeramente menor, con 18,383,456.31 ha (Tabla 1). Los estados de Michoacán (1,200,028.84 ha) y Jalisco (1,676,130.59 ha) destacan como las entidades con mayor superficie plantada con agave tequilero, consolidándose como importantes centros agrícolas en el país (SIAP,2023).

El valor total de la producción agrícola en esas 32 entidades ascendió a 921,877,021.79 millones de pesos. Los estados con el mayor valor de producción son Michoacán (115,748,816.31 miles de pesos), Jalisco (112,334,573.87 miles de pesos) y Sinaloa (80,187,227.86 miles de pesos), lo que refleja su relevancia en la agricultura nacional. Estos estados no sólo cuentan con grandes extensiones de tierras agrícolas, sino que también se especializan en cultivos de alto valor comercial.

Al comparar la superficie cosechada con el valor de la producción, se observa que algunos estados logran una rentabilidad alta por unidad de superficie agrícola. Por ejemplo, Baja California, a pesar de tener una de las superficies cosechadas más pequeñas (160,436.57 ha), generó un valor de producción de 26,952,121.24 miles de pesos, lo que indica una elevada rentabilidad. En contraste, Oaxaca y Chiapas, con grandes superficies sembradas de agave presentan menor valor de producción relativo; lo que sugiere la necesidad de optimizar la eficiencia productiva en estas regiones.

Los estados que concentran la mayor parte de la superficie plantada y cosechada de agave se ubican, principalmente, en el occidente y noroeste de México, donde

destacan Jalisco, Michoacán, Sinaloa y Sonora como zonas agrícolas clave. En cambio, entidades como Aguascalientes y Ciudad de México, tienen superficies agrícolas reducidas, lo que refleja tanto limitaciones geográficas como su diversificación hacia otras actividades económicas.

Tabla 1.1. Anuario estadístico 2023 de la producción de agave en México (SIAP, 2023).

	Entidad	Superficie (ha)		Valor Producción (Pesos Mx)
		Sembrada	Cosechada	
1	Aguascalientes	87,316.12	64,312.77	4,727,089.09
2	Baja California	161,449.30	160,436.57	26,952,121.24
3	Baja California Sur	41,894.85	38,925.57	7,596,906.74
4	Campeche	343,294.09	338,981.39	9,536,674.73
5	Coahuila	223,065.03	208,434.22	9,766,798.64
6	Colima	173,955.72	170,283.70	13,133,313.03
7	Chiapas	1,357,044.79	1,342,685.04	23,048,612.76
8	Chihuahua	989,227.35	756,600.74	59,475,879.75
9	Ciudad de México	14,876.00	14,724.90	1,768,325.97
10	Durango	539,424.44	328,582.86	13,243,708.10
11	Guanajuato	902,058.20	770,006.25	52,152,921.28
12	Guerrero	923,572.60	902,336.77	21,254,637.61
13	Hidalgo	469,753.04	429,208.75	10,150,740.33
14	Jalisco	1,676,130.59	1,514,212.39	112,334,573.87
15	México	750,200.39	747,520.82	34,986,565.12
16	Michoacán	1,200,028.84	1,083,156.45	115,748,816.31
17	Morelos	143,784.30	123,205.80	10,436,445.73
18	Nayarit	380,405.81	349,228.11	16,859,588.17
19	Nuevo León	297,564.70	279,802.20	6,389,701.63
20	Oaxaca	1,369,474.19	1,282,029.09	29,701,729.51
21	Puebla	918,001.15	897,885.55	27,527,954.47
22	Querétaro	115,384.47	90,383.22	6,073,358.94
23	Quintana Roo	135,932.74	129,726.94	4,948,297.68
24	San Luis Potosí	568,215.47	465,334.71	26,475,216.72
25	Sinaloa	1,016,995.13	990,177.42	80,187,227.86
26	Sonora	562,795.14	544,206.18	68,167,934.91
27	Tabasco	260,211.03	257,558.13	8,670,761.15
28	Tamaulipas	1,233,267.19	1,174,878.90	27,064,556.55
29	Tlaxcala	234,141.68	232,919.68	4,813,954.33
30	Veracruz	1,551,139.39	1,508,123.28	56,861,112.19
31	Yucatán	712,005.26	705,405.55	7,449,557.43
32	Zacatecas	670,985.61	482,182.36	24,371,939.93
Total		20,023,594.61	18,383,456.31	921,877,021.79

En el caso de agave azul, la superficie plantada total fue de 214,620.88 ha en 2023 (Tabla 2); mientras que la superficie cosechada es significativamente menor, al alcanzar 26,353.35 ha. Esto refleja que una parte considerable del agave plantado no se cosechó en ese ciclo productivo. Jalisco es la entidad con la mayor superficie sembrada (132,993.52 ha) y cosechada (13,812 ha), lo que representa gran proporción de la producción nacional de agave azul. Otros estados como Guanajuato y Michoacán, también muestran áreas importantes de producción.

La producción total fue de 2,124,973.39 t, con Jalisco como el principal productor al producir 1,254,763.41 t, lo que subraya su importancia en la industria del agave.

El rendimiento promedio producción a nivel nacional fue de 80.63 t ha⁻¹, aunque varía significativamente entre entidades. Michoacán presenta el mayor rendimiento, con 103.23 t ha⁻¹, seguido de Veracruz con 97.76 t ha⁻¹; lo que indica una alta eficiencia en la producción en estas zonas. Por otro lado, Sinaloa tiene uno de los rendimientos más bajos, con 27.48 t ha⁻¹.

El Precio Medio Rural (PMR) promedio fue de 21,270.11 pesos por unidad de medida. Jalisco y Zacatecas son los estados con el PMR más alto, con 24,181.65 y 23,414.83 pesos por tonelada, respectivamente; lo que indica que el agave producido en estas regiones tiene un alto valor comercial.

El valor total de la producción de las entidades analizadas asciende a 45,198,417.37 miles de pesos. Jalisco es la entidad con el valor de producción más alto, con 30,342,244.16 miles de pesos, que confirma su liderazgo en la industria del agave. Le siguen Guanajuato con 7,056,439.20 miles de pesos y Michoacán con 4,799,361.01 miles de pesos.

Aunque estados como Nayarit y Sinaloa tienen áreas plantadas con agave relativamente grandes, sus valores de producción son mucho menores en comparación con las principales entidades productoras; lo que sugiere que podrían estar enfrentando problemas de rendimiento o precio más bajo.

En el caso de Tamaulipas, el estado presenta un panorama de baja productividad de agave, en contraste con otras entidades. Con solo 200.25 ha cosechadas de las 1,328.76 ha plantadas, la producción de 5,665.78 t es significativamente menor que en otros estados, y su rendimiento por ha (28.29 udm/ha) es uno de los más bajos de la

tabla. Además, el valor de producción es de 93,847.16 miles de pesos, una cifra baja en relación con estados como Jalisco o Guanajuato. Estos datos sugieren que Tamaulipas enfrenta retos importantes en la producción de agave, posiblemente relacionados con problemas fitosanitarios, agronómicos o de infraestructura.

Tabla 1.2. Anuario estadístico de la producción de agave azul (*Agave tequilana* Weber variedad azul) en México (SIAP, 2023).

Entidad	Superficie		Producción (Ton)	Rendimiento	PMR	Valor Producción
	(ha)			(udm/ha)	(\$/udm)	(Pesos Mx)
	Sembrada	Cosechada				
Aguascalientes	8	0	0	0	0	0
Guanajuato	51,087.00	5,094.00	395,133.50	77.57	17,858.37	7,056,439.20
Guerrero	73	68	3,139.02	46.16	7,003.39	21,983.79
Jalisco	132,993.52	13,812.00	1,254,763.41	90.85	24,181.65	30,342,244.16
México	319.5	316	24,507.29	77.55	3,983.86	97,633.49
Michoacán	6,863.00	2,499.00	257,975.66	103.23	18,603.93	4,799,361.01
Morelos	376.7	232.7	21,397.75	91.95	9,578.47	204,957.61
Nayarit	13,521.00	2,335.00	80,209.18	34.35	16,558.08	1,328,110.24
Sinaloa	6,527.40	1,294.40	35,569.28	27.48	16,501.69	586,953.12
Tamaulipas	1,328.76	200.25	5,665.78	28.29	16,563.86	93,847.16
Veracruz	294	272	26,589.55	97.76	7,448.54	198,053.22
Zacatecas	1,229.00	230	20,022.97	87.06	23,414.83	468,834.36
Total	214,620.88	26,353.35	2,124,973.39	80.63	21,270.11	45,198,417.37

1.1.2 Plagas que afectan al cultivo de agave

El cultivo de agave es de gran importancia económica y cultural, especialmente en México, donde se utiliza para la producción de bebidas como tequila y mezcal. Sin embargo, este cultivo enfrenta diversas amenazas de plagas (insectos) y bacterias, que pueden causar daños significativos y pérdidas económicas importantes.

Entre los principales insectos/plaga documentados, se encuentran el picudo del agave (*Scyphophorus acupunctatus*), la escama del agave (*Acutaspis agavis*), *Peltophorus adustus* y el barrenador de brotes del cocotero (*Oryctes rhinoceros* L.), que también afecta a especies de agave (SENASICA, 2016).

El picudo del agave (*S. acupunctatus*) es considerado una de las plagas más dañinas para las especies de agave, incluso *A. tequilana* Weber variedad azul, materia prima para la producción de tequila (SENASICA, 2016). Los daños causados por este insecto, como galerías y afectación en los tejidos de las plantas, han motivado diversos estudios para controlar su impacto. (Cuervo-Parra *et al.*, 2019) señalan que el control químico de esta plaga ha sido ineficaz, ya que tanto las larvas como los adultos se alimentan y desarrollan dentro de los tejidos de la planta, lo que dificulta la aplicación de insecticidas sintéticos. Por su parte, (Rodríguez *et al.*, 2020) encontraron que el uso de agroquímicos puede reducir la abundancia de *S. acupunctatus* en plantaciones de agave, y destacan el potencial de los semioquímicos para optimizar las estrategias de manejo de plagas. Las investigaciones de (Aquino-Bolaños *et al.*, 2023) han explorado el uso de hongos entomopatógenos como *Beauveria bassiana* y *Metarhizium anisopliae* en emulsiones de aceites vegetales para controlar *S. acupunctatus*. Estos estudios destacan una alta eficacia en la mortalidad del picudo bajo condiciones de laboratorio, y sugiere que los entomopatógenos podrían ser una alternativa viable al uso de pesticidas convencionales.

El insecto que provoca la escama del agave (*A. agavis*) afecta principalmente la hoja de la planta; por lo que reduce su vitalidad. (Myartseva, 2007) identificó una nueva especie de *Encarsia Förster*, parasitoide de la escama del agave, que puede mejorar el manejo integrado de plagas para este cultivo. El manejo efectivo de esta plaga debe concentrarse en los períodos de mayor abundancia de las ninfas, que ocurren en mayo

y septiembre; lo que sugiere la posibilidad de estrategias de control focalizadas en esos meses (Salas-Araiza *et al.*, 2008).

Otros coleópteros que atacan al agave, de acuerdo con (Figueroa-Castro *et al.*, 2016), se remite a la presencia de *P. adustus* en agaves en México, una plaga nueva que daña el fruto y afecta la viabilidad de las semillas. Aunque esta plaga no es tan destructiva como el picudo, su presencia enfatiza la necesidad de monitoreo constante y medidas de control en plantaciones comerciales de agave.

Entre los coleópteros que atacan al agave, se debe incluir también a *O. rhinoceros* L., un escarabajo barrenador de brotes que afecta tanto al cocotero como a diferentes especies de agave. Este barrenador de brotes ha demostrado ser una plaga significativa en varias especies de agave, particularmente *Agave angustifolia* y *Agave cantala*, al causar reducción notable de la producción y alteración de la calidad de la fibra del agave (Parnidi *et al.*, 2022). Las investigaciones realizadas por estos autores revelaron que la infestación de *O. rhinoceros* L. puede ocasionar daños severos, con tasas de afectación que oscilan entre el 66.7% y el 100% en algunas especies de agave. Este insecto genera perforaciones en la hoja; lo que no sólo disminuye la capacidad fotosintética, sino que también afecta la calidad de los productos derivados del agave, como la fibra. Aunque *O. rhinoceros* L. no es una plaga común como *S. acupunctatus* en agave tequilero, su impacto en otras especies de agave utilizadas principalmente para la producción de fibra y otros productos comerciales, subraya la importancia de seguir monitoreando su presencia tendiente a desarrollar estrategias de control adecuadas.

Por otro lado, el cultivo de agave es susceptible a bacterias que deterioran la planta, reducen el rendimiento y afectan la calidad de productos como tequila y mezcal. Las bacterias encontradas en el cultivo de agave, son las siguiente:

Pectobacterium carotovorum subsp. *atroseptica* es responsable de la pudrición blanda de la piña del agave. Es un organismo de la familia *Pectobacteriaceae*, cuyo modo de acción implica la producción de enzimas degradadoras de la pared celular vegetal: pectinasas, celulasas y proteasas, que descomponen los tejidos de las plantas y provocan la licuefacción de células y la pudrición característica de tejidos infectados (Aquino-Bolaños *et al.*, 2020). *P. carotovorum* subsp. *carotovorum* ataca principalmente las estructuras internas de la planta, como la piña del agave, descompone tejidos y

provoca pérdidas significativas en la producción. La infección suele ocurrir en condiciones de alta humedad y temperaturas cálidas, lo que favorece el crecimiento y la diseminación del patógeno. La bacteria se introduce a través de heridas o daño en la planta, con frecuencia causados por plagas como picudo del agave, *S. acupunctatus* (Aquino-Bolaños *et al.*, 2020). En el estudio de (Aquino-Bolaños *et al.*, 2020), se examina el papel de *S. acupunctatus*, el picudo del agave, como vector de *P. carotovorum* subsp. *carotovorum*. Los investigadores destacan que este insecto no solo causa daños físicos a la planta mediante la perforación de tejidos, sino que también introduce bacterias fitopatógenas que agravan el deterioro de la planta infectada (Aquino-Bolaños *et al.*, 2020). El control de esta bacteria ha sido un reto constante para los productores de agave, ya que una vez que los síntomas de la pudrición blanda son evidentes, el daño a la planta es generalmente irreversible. No obstante, el estudio resalta la posibilidad de manejar esta interacción patógeno-vector mediante el uso de hongos entomopatógenos como *B. bassiana* y *M. anisopliae*. Estos hongos no sólo son efectivos contra el picudo del agave, sino que también reducen la diseminación de *P. carotovorum*, al limitar la movilidad del insecto vector (Aquino-Bolaños *et al.*, 2020).

Erwinia carotovora subsp. *Carotovora*. Es una bacteria fitopatógena conocida por causar pudrición blanda en las plantas. Este patógeno es capaz de descomponer el tejido vegetal, lo que conduce a la destrucción de la piña del agave y afecta la productividad y calidad de la planta utilizada para la producción de tequila y mezcal. El estudio de (Bolantilde *et al.*, 2011) exploró la interacción entre el picudo del agave (*S. acupunctatus*), *E. carotovora* y los agentes entomopatógenos utilizados en estrategias de manejo integrado de plagas. Logró demostrar que el picudo del agave actúa como un vector eficaz de la bacteria, al facilitar su introducción en los tejidos internos de la planta al alimentarse y ovipositar. Esto facilita la propagación de la pudrición blanda en las plantaciones de agave y agrava los daños causados tanto por el insecto como por la bacteria. Esta sinergia entre patógeno bacteriano e insecto plaga, aumenta significativamente el riesgo de pérdida de los cultivos.

El manejo de *E. carotovora* es un desafío, ya que los métodos convencionales de control, como el uso de agroquímicos, pueden no ser completamente efectivos debido a la naturaleza interna del daño causado, tanto por el insecto como por la bacteria. En el

estudio, (Bolantilde *et al.*, 2011) evaluaron el uso de fungicidas y bactericidas como sulfato de estreptomicina y azufre, que demostraron una eficacia superior a 90% en la inhibición de las colonias bacterianas. Además, los autores investigaron la compatibilidad de estos agentes químicos con hongos entomopatógenos como *B. bassiana* y *M. anisopliae*, que también se utilizan para controlar la población de *S. acupunctatus*. Sin embargo, encontraron que algunos fungicidas como mefenoxam, redujeron significativamente la germinación de esporas de ambos hongos; acción sanitaria que podría limitar la eficacia de una estrategia integrada de control.

1.1.3 Trampas empleadas para monitorear picudo del agave.

La efectividad de las trampas TOCCI y TOCCIA fue evaluada en plantaciones de agave en Guerrero, México (Figueroa-Castro *et al.*, 2016). Estas trampas fueron diseñadas para atraer adultos migrantes de *S. acupunctatus* mediante el uso de feromonas sintéticas y cebos alimenticios. La captura abundante de hembras en estas trampas fue particularmente importante, ya que son las responsables de la ovoposición. Esta proporcionalidad mayor de hembras capturadas, reduce significativamente la posibilidad de nuevas generaciones de picudos y reduce el daño futuro a las plantaciones. Además, las trampas TOCCI y TOCCIA demostraron ser más eficaces en comparación con otros tipos de trampas debido a su diseño, que maximiza la exposición al cebo y a la feromona y la eficacia de la captura.

Por otro lado, el estudio de (Azulara-Domínguez *et al.*, 2014) en Tamaulipas, proporcionó información valiosa sobre el diseño de trampas para la captura de *S. acupunctatus*. En este trabajo se evaluaron tres tipos de trampas: bandeja, garrafa y estaca, en combinación con atrayentes alimenticios como melaza y agave tequilero fermentado, junto con feromonas de agregación. Los resultados indicaron que la trampa tipo garrafa fue más efectiva para la captura de adultos, en particular hembras. Este diseño maximiza la liberación de volátiles del cebo alimenticio y aumenta la exposición a las feromonas, lo que incrementa la tasa de captura. La combinación de melaza, agave fermentado y feromonas en estas trampas, demostró su mayor eficiencia para el monitoreo y control del picudo en Tamaulipas, pero podría ser escalada para programas de manejo integrado de plagas en otras regiones productoras de agave.

El color de la trampa puede alterar la eficacia de captura de *S. acupunctatus* (Ruíz-Montiel *et al.*, 2017). Estos autores evaluaron trampas de color azul, verde y amarillo, en combinación con feromonas de agregación y atrayentes alimenticios en plantaciones de *Agave salmiana*. Los resultados indican que las trampas de color azul, verde y amarillo en combinación con feromonas, capturaron significativamente más insectos que las trampas testigo. Esto sugiere que, si bien la feromona es el principal factor de atracción, el color de la trampa puede actuar como un complemento visual que mejora la eficacia de captura. Además, observaron que los volátiles liberados durante la fermentación del cebo alimenticio (como el *Polianthes tuberosa*, también conocido como nardo) juegan un papel crucial al potenciar la atracción de los picudos.

1.1.4 Atracción y distancia entre trampas.

Para optimizar las estrategias de trapeo del picudo *S. acupunctatus* en plantaciones de agave, es importante considerar la distancia entre trampas y el rango de atracción de las feromonas de agregación. Al respecto, (Figueroa-Castro *et al.*, 2016) determinó que el rango máximo de atracción de las trampas cebadas con feromonas es de ca. 120 m. Este hallazgo es significativo, ya que permite reducir la cantidad de trampas necesarias por unidad de superficie agrícola, lo que resulta en un enfoque eficiente y económico para productores de agave. El estudio también sugiere que la densidad de una trampa/6 ha es adecuada para un monitoreo eficaz de las poblaciones de picudo en agave tequilero. Asimismo, la investigación reveló que las distancias más largas entre trampas tienden a capturar mayor número de insectos. Esto puede deberse a la naturaleza dispersa del picudo en las plantaciones, donde los insectos tienden a ser atraídos por trampas que no compiten entre sí por la captura de feromonas. De hecho, en los experimentos realizados, las trampas ubicadas a distancias de 100, 200 y hasta 250 m, fueron más eficientes para la captura del insecto en comparación con aquellas colocadas a distancias más cortas. Esta información resulta clave para diseñar sistemas de trapeo que maximicen la cobertura de grandes superficies de terreno con agave, con una cantidad limitada de trampas. Adicionalmente, la orientación cardinal de las trampas influye en la captura de insectos, especialmente aquellas orientadas al este, norte y oeste. Estas direcciones parecen coincidir con la dirección predominante del viento, lo que sugiere que la

dispersión de feromonas y la atracción de insectos se ven afectadas por factores ambientales como el viento y la topografía (Sánchez., *et al* 2011)

1.1.5 Cantidad y embolsado de cebo alimenticio.

La cantidad y manejo de cebo alimenticio son determinantes para la optimización de las trampas de captura de *S. acupunctatus*. El estudio de (Figueroa-Castro *et al.*, 2018) evidenció que trampas cebadas con 400 g de tejido fresco de agave, envueltas en bolsas de plástico, perforadas o colocadas en contenedores con agujeros, lograron capturar significativamente más insectos que aquellas trampas sin este tratamiento. Este hallazgo resalta no solo la importancia de la cantidad de cebo utilizado, sino también el impacto de su presentación, en la eficiencia del sistema de trampeo. El uso de bolsas perforadas o contenedores ayuda a controlar y aumentar la liberación gradual de volátiles emitidos por el tejido de agave fresco. Estos volátiles, como el etanol y el acetato de etilo, son responsables de atraer a *S. acupunctatus*, especialmente cuando se combinan con feromonas de agregación (Azuara-Domínguez *et al.*, 2012). El contenedor perforado permite que los volátiles se difundan de manera controlada y prolongada en el entorno, lo que incrementa el tiempo de efectividad del cebo. Además, al embolsar el cebo se evita la descomposición rápida o la dispersión del tejido de agave por factores ambientales, como lluvia o viento; lo que podría reducir su eficacia en trampas no protegidas. Este enfoque de manejo del cebo no sólo mejora la atracción de insectos hacia las trampas, sino que también ayuda a reducir la cantidad de cebo necesario en general, lo que podría hacer que el método sea más económico a largo plazo. La investigación de (Figueroa-Castro *et al.*, 2018) también destacó que la captura de insectos aumentó significativamente cuando el cebo estaba embolsado o en contenedores, en comparación con trampas donde el cebo estaba expuesto directamente al ambiente. Es decir, la correcta manipulación del cebo puede marcar la diferencia entre la trampa eficiente y otra menos efectiva.

1.1.6 Altura y distribución de trampas.

El estudio de (Figueroa-Castro *et al.*, 2016) demostró que no hubo impacto significativo en las capturas de *S. acupunctatus*, cuando las trampas se colocaron a alturas variables.

Sin embargo, la distancia entre trampas resultó crucial en la eficiencia del sistema. Las trampas ubicadas a nivel del suelo capturaron mayor cantidad de insectos, que lo coloca como el nivel óptimo para maximizar la atracción y captura del picudo de agave en plantaciones comerciales.

Además, dicho estudio determinó que la disposición de las trampas en un patrón cuadrado, separadas 200 m entre ellas, fue la configuración más efectiva. Esta distancia permite una cobertura adecuada del área sin superposición excesiva en el rango de atracción de las trampas. Al mantener esta distribución regular, se asegura un monitoreo eficiente de las poblaciones de *S. acupunctatus* en plantaciones de agave extensas, una densidad fundamental para la toma de decisiones en el manejo integrado de plagas. Este enfoque también ayuda a optimizar los recursos, pues evita la instalación excesiva de trampas, un factor que demeritaría la captura de manera significativa y aumentaría los costos.

Además de las observaciones de (Figueroa-Castro *et al.*, 2016), otros estudios han señalado la importancia de mantener las trampas a nivel del suelo para alinearlas con la actividad natural del picudo, que se desplaza en las capas inferiores de la planta para encontrar sitios de ovoposición y alimentación. Por ejemplo, (Ruiz-Montiel *et al.*, 2008) encontraron que los insectos responden mejor a compuestos volátiles de las feromonas y al cebo alimenticio, cuando las trampas están colocadas cerca de la base de la planta, una zona donde generalmente se desarrollan larvas y adultos.

Por otro lado, la disposición de las trampas en un patrón cuadrado a distancias regulares, permite la mejor evaluación de la dispersión espacial de poblaciones de picudo. Según (Figueroa-Castro *et al.*, 2016), con este diseño se localizan las áreas con altas densidades de plagas y mejora el enfoque de las medidas intensivas de control. Este enfoque de monitoreo no solo reduce los costos al optimizar el uso de trampas, sino que también proporciona información valiosa sobre los patrones de movimiento de las poblaciones de *S. acupunctatus*; lo que facilita su manejo a largo plazo.

1.1.7 Atrayentes alimenticios para aumentar el rendimiento de las trampas.

El uso de alimentos comunes, como maguey papalote (*Agave salmiana*), plátano y piña maduros, han demostrado ser una opción viable para mejorar la captura de *S.*

acupunctatus (Figueroa-Castro *et al.*, 2017). Estos alimentos generan volátiles que actúan como sinérgicos cuando se combinan con feromonas sintéticas, que aumentan considerablemente la atracción de los insectos hacia las trampas. El beneficio adicional de utilizar estos alimentos es su disponibilidad y bajo costo, lo que los convierte en una solución práctica para productores, especialmente en plantaciones de gran escala. Además, estos atrayentes se pueden conseguir con relativa facilidad en el mercado local o incluso desarrollar su cultivo en la misma área de la plantación, y reducir costos operativos. En comparación con el uso de tejido fresco de agave, los atrayentes alimenticios como piña y plátano maduros no sólo son económicos, sino que también son más eficientes en algunos casos, ya que no requieren de la disponibilidad constante de planta fresca de agave. En plantaciones extensas o en aquellas en las que el agave se cosecha en diferentes ciclos, el acceso a tejido fresco puede ser limitado o costoso. Por lo tanto, el uso de estos atrayentes alternativos ofrece una ventaja económica y operativa, sin comprometer la efectividad de la captura de *S. acupunctatus*.

El estudio de (Azuara-Domínguez *et al.*, 2012) hizo un descubrimiento importante al evaluar el uso del tallo “piña” del agave fermentados como cebo. Los resultados indicaron que este cebo, en combinación con feromonas sintéticas, capturaron significativamente mayor número de picudos en comparación con aquellas que contenían tallos frescos. El proceso de fermentación libera una serie de compuestos volátiles, entre los que destacan etanol y acetato de etilo. Estos compuestos actúan como potentes atractivos para *S. acupunctatus*, posiblemente porque imitan los olores emitidos por alguna planta dañada o en descomposición, que son naturalmente atractivos para este insecto.

El hecho de que los compuestos volátiles liberados durante la fermentación del agave sean más efectivos para atraer a los picudos, sugiere que la fermentación controlada del cebo alimenticio podría ser una estrategia clave para mejorar el trapeo de *S. acupunctatus*. Además, la fermentación se puede realizar con facilidad en el campo y permite al productor mantener un suministro continuo de cebo altamente efectivo. Este enfoque no solo incrementa la captura de los insectos, sino que también reduce la necesidad de depender exclusivamente de feromonas sintéticas, lo que puede generar ahorros adicionales a largo plazo. La capacidad de estas estrategias para capturar

principalmente hembras, es particularmente importante. Como se mencionó anteriormente, las hembras de *S. acupunctatus* son las responsables de la ovoposición y, por lo tanto, de la proliferación de nuevas generaciones de insectos. Al concentrarse en atrapar hembras mediante el uso de cebos fermentados y feromonas, los programas de manejo integrado de plagas pueden reducir significativamente las poblaciones futuras del picudo, minimizando los daños a las plantaciones de agave.

1.1.8 Feromonas de agregación de picudo del agave.

Diversos compuestos clave han sido identificados en la feromona de agregación del picudo del agave (*S. acupunctatus*), pero 2-metil-4-octanona es más atractiva tanto para machos como para hembras (Ruiz-Montiel *et al.*, 2008). Este compuesto es fundamental para la comunicación química de la especie, ya que permite a los individuos congregarse en áreas específicas, lo que facilita el control de plagas mediante trampas cebadas con feromonas. Más tarde, (Azuara-Domínguez *et al.*, 2013) confirmaron que 2-metil-4-octanona es el compuesto principal atrayente de *S. acupunctatus*.

En estudios anteriores, (Ruiz-Montiel *et al.*, 2003) habría demostrado la existencia de una feromona de agregación producida por el macho de *S. acupunctatus*, confirmado mediante análisis de electroantenogramas y experimentos de campo. La investigación reveló que los machos liberan compuestos volátiles y percibidos tanto por machos como por hembras; lo que provoca una atracción masiva hacia las fuentes de emisión. En el campo, esto se traduce en un aumento significativo de capturas cuando se utiliza una mezcla de feromonas, en comparación con el uso de compuestos individuales.

La liberación de feromonas por *S. acupunctatus* depende de varios factores, como alimentación, edad y fotoperiodo (Ruiz-Montiel *et al.*, 2009). Por ejemplo, los machos jóvenes alimentados con tejido de agave, emitieron mayor proporción de feromonas que aquellos que no recibieron alimento o que fueron alimentados con plantas no hospedadoras. Estos hallazgos tienen implicaciones directas para el manejo de plagas, ya que permiten ajustar las estrategias de trampeo, según condiciones ambientales y estado fisiológico de la población de insectos.

Resultados de (Azuara-Domínguez *et al.*, 2013) sugieren que la concentración óptima de la feromona 2-metil-4-octanona, en combinación con volátiles liberados por el

agave fermentado, maximizan la eficacia del trapeo. La investigación también demostró que las condiciones climáticas como temperatura y humedad, alteran la respuesta de los insectos a la feromona; lo que sugiere que los programas de trapeo masivo deberían ajustarse según las condiciones locales para optimizar los resultados.

El uso de una mezcla de feromonas, como los describen (Ruiz-Montiel *et al.*, 2008) y (Azuara-Domínguez *et al.*, 2013), representan una estrategia efectiva en el trapeo masivo de *S. acupunctatus*, ya que la combinación de compuestos sinérgicos permite atraer la mayor cantidad de insectos. Estos estudios también sugieren que las trampas cebadas con la mezcla de feromonas, podrían implementarse a gran escala en programas de manejo integrado de plagas y contribuir significativamente a la reducción de poblaciones de picudo en plantaciones de agave.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo general

Evaluar la dinámica poblacional de *Scyphophorus acupunctatus* Gyllenhal (Coleóptera: Dryphthoridae) en plantaciones de *Agave tequilana* Weber variedad azul, en Tamaulipas, México; así como optimizar el uso de semioquímicos sintéticos para mejorar la captura del insecto mediante trampas, sin omitir la influencia de factores abióticos como temperatura y precipitación pluvial.

1.2.2 Objetivos Específicos.

Capítulo 1. Abundancia temporal y participación de la temperatura y precipitación pluvial en la ocurrencia del picudo *Scyphophorus acupunctatus* Gyllenhal en agave tequilero.

Registrar la abundancia temporal de *Scyphophorus acupunctatus* Gyllenhal durante las estaciones del año y estudiar la participación de la temperatura y

precipitación pluvial en la ocurrencia de este insecto-plaga en plantaciones de agave tequilero en Xicoténcatl, Tamaulipas.

Capítulo 2. Evaluación de semioquímicos sintéticos en el trapeo de *Scyphophorus acupunctatus* Gyllenhal (Coleóptera: Dryphthoridae) en plantaciones de agave tequilero y henequén.

Valorar la eficiencia de diversas combinaciones de semioquímicos sintéticos en la captura del picudo del agave, *S. acupunctatus*, en cultivos de *A. tequilana* y *Agave fourcroydes*.

1.3 Justificación

El picudo del agave *Scyphophorus acupunctatus* es la principal plaga que amenaza la producción de agave en Tamaulipas, estado incluido en la denominación de origen del tequila. La falta de información sobre su dinámica poblacional en la región limita el diseño de estrategias de manejo efectivas y sostenibles. Esta investigación busca generar conocimiento aplicado mediante el estudio de la biología del insecto y la evaluación de semioquímicos como herramientas de monitoreo y control etológico. Estos resultados fortalecerán el manejo integrado del cultivo, reducirán el uso de agroquímicos y contribuirán a la conservación del agave y del valor económico y cultural que representa para la región.

Capítulo 2

ABUNDANCIA TEMPORAL Y PARTICIPACIÓN DE LA TEMPERATURA Y PRECIPITACIÓN PLUVIAL EN LA OCURRENCIA DEL PICUDO DEL AGAVE *Scyphophorus acupunctatus* Gyllenhal EN AGAVE TEQUILERO

2.1 Marco teórico

El picudo, *Scyphophorus acupunctatus* Gyllenhal (Coleóptera: Dryphthoridae), causa pérdidas económicas importantes en plantaciones de agave de México (Terán-Vargas y Azuara-Domínguez, 2013). En agave cultivado, *S. acupunctatus* se encuentra durante todo el año (Figueroa-Castro *et al.*, 2013), pero el clima, nacimiento, muerte, dispersión, enemigos naturales (entomopatógenos, parasitoides y depredadores), disponibilidad de alimento y manejo del cultivo pueden aumentar o disminuir la abundancia (Romero, 2004). Por ejemplo, en Oaxaca, en *Agave angustifolia* Haw, (Aquino *et al.*, 2007) reportaron 40 y 24 insectos por fecha de muestreo de junio a octubre y de diciembre a abril. (Bravo, 2003) reportó 150 adultos cuando la lluvia fue mayor a 100 mm, y 50 especímenes durante la estación seca. (Bravo *et al.*, 2005) determinaron que la actividad de los insectos depende de la precipitación y la temperatura. En las condiciones climáticas de Sola de Vega, Oaxaca, (Bailon-Ortiz *et al.*, 2018) encontraron 60 insectos por trampa en julio.

En los municipios de Ahualulco y Amatitlán en el estado de Jalisco, se reportaron 553 insectos por trampa en mayo y 577 a 690 en septiembre en agave tequilero (*Agave tequilana* Weber variedad azul). En ambos municipios, el número de insectos disminuyó a medida que aumentó la humedad relativa. En Amatitlán, se atrapó a un mayor número a medida que las temperaturas aumentaron (Figueroa-Castro, 2009; Figueroa-Castro *et al.*, 2013). En el municipio de Ameca, Jalisco, la mayoría de los adultos fueron atrapados

en abril y mayo en agave tequilero cultivado (Barraza, 2007), y (Solís-Aguilar *et al.*, 2001) reportaron en abril ($n = 19.9$), julio ($n = 16.25$) y diciembre ($n = 9.25$); la mayoría de los adultos pertenecían a municipios de Tequila, Tepatitlán y Zapotlanejo, Jalisco. En *A. inaequidens*, los insectos fueron abundantes en julio (Rodríguez y Navarrete, 2017).

En Tamaulipas existen 12,586.16 ha de agave tequila variedad azul en los municipios de Abasolo, Aldama, Altamira, Antiguo Morelos, Camargo, Casas, Gómez Farías, González, Güémez, Jiménez, Llera, Mante, Mier, Nuevo Morelos, Ocampo, Padilla, Tula y Xicoténcatl (SAGARPA, 2011). De acuerdo con la Norma Oficial Mexicana NOM-006-SCFI-1994, el cultivo de agave está protegido por la Denominación de Origen Tequila (DOT) (CRT 2009, SAGARPA 2010) en los municipios de Abasolo, Aldama, Altamira, Antiguo Morelos, Gómez Farías, González, Llera, Mante, Nuevo Morelos, Ocampo, Tula y Xicoténcatl. *S. acupunctatus* es una amenaza potencial para el cultivo de agave variedad azul. En el municipio de González, de agosto de 2009 a diciembre de 2011, (Azuara-Domínguez *et al.*, 2012) informaron 4.5 adultos de *S. acupunctatus* por día. En 2010, (Azuara *et al.*, 2014) descubrieron 60 adultos cada 8 días.

No obstante, en Tamaulipas se desconoce la fluctuación, abundancia y efectos de los factores bióticos y abióticos en la biología del insecto en aquellos municipios donde se cultiva agave. Conocer esta información es fundamental para prevenir el incremento descontrolado de las poblaciones del insecto, reducir daños económicos y conservar la denominación de origen del Tequila en Tamaulipas, México.

Los objetivos de la investigación fueron determinar la abundancia temporal de *S. acupunctatus* a través del tiempo en plantaciones de agave azul e identificar la influencia que tuvieron los factores abióticos (temperatura y precipitación) en el picudo del agave, en el municipio de Xicoténcatl, Tamaulipas, México.

Capítulo 3

EVALUACIÓN DE SEMIOQUÍMICOS SINTÉTICOS EN EL TRAMPEO DE *Scyphophorus acupunctatus* Gyllenhal (COLEÓPTERA: DRYPHTHORIDAE) EN EL CULTIVO AGAVE TEQUILERO Y HENEQUÉN

3.1 Marco teórico

Las especies del género *Agave*, particularmente *Agave tequilana* Weber variedad azul y *Agave fourcroydes* (Lem.), son esenciales para la economía y cultura de México, pues participan en la producción de tequila y la elaboración de fibras naturales y productos medicinales (García-Mendoza, 2007; Gerritsen *et al.*, 2011). Sin embargo, estos cultivos enfrentan una amenaza grave debido al daño que sufren por el picudo del agave (*Scyphophorus acupunctatus* Gyllenhal), una la plaga devastadora (Aquino-Bolaños *et al.*, 2010). Este insecto perfora hojas y piña (estructura con nombre en botánica) y facilita la entrada de patógenos como *Pectobacterium carotovorum*, que provoca la pudrición del cogollo y, en muchos casos, muerte de la planta (Aquino-Bolaños *et al.*, 2020).

El control de *S. acupunctatus* ha sido tradicionalmente abordado mediante trampas cebadas con atrayentes alimenticios y feromonas de agregación, como 2-metil-4-heptanona y 2-metil-4-octanona, compuestos que han demostrado ser eficaces para atraer tanto machos como hembras (Ruíz-Montiel *et al.*, 2003; Azuara-Domínguez *et al.*, 2012). Sin embargo, la utilización de material vegetal fresco para cebar las trampas, como trozos de agave fermentado, presenta costos significativos para los productores; situación que reduce la viabilidad económica de esta estrategia a largo plazo (Solís-Aguilar *et al.*, 2001; Figueroa-Castro *et al.*, 2016).

Los semioquímicos, que incluyen tanto feromonas como volátiles emitidos por las plantas, han emergido como herramienta eficaz en el manejo integrado de plagas, al modificar el comportamiento de los insectos y atraerlos hacia trampas específicas (El-

Shalfie y Faleiro, 2017). En el caso de *S. acupunctatus*, diversos estudios han demostrado que la combinación de la feromona de agregación con los volátiles de agave fermentado, como el acetato de etilo, etanol y ácido acético, ha incrementado significativamente las capturas (Azuara-Domínguez *et al.*, 2012; Figueroa-Castro *et al.*, 2016). Adicionalmente, el uso de frutos fermentados como piña y plátano ha mostrado tener un efecto sinérgico con la feromona, combinación que incrementa la captura de *S. acupunctatus* en plantaciones de agave (Figueroa-Castro *et al.*, 2017).

A pesar de estos avances, la necesidad de identificar y optimizar las combinaciones más efectivas de semioquímicos para las condiciones locales, sigue siendo crítica. En este contexto, el presente estudio tiene como objetivo evaluar la eficiencia biológica de diferentes combinaciones de semioquímicos sintéticos en la captura de *S. acupunctatus*, una contribución al manejo fitosanitario sostenible en los cultivos de *Agave tequilana* Weber var. azul y *Agave fourcroydes* (Lem.).

Capítulo 4

METODOLOGÍA

3.1 Metodología capítulo II Área experimental

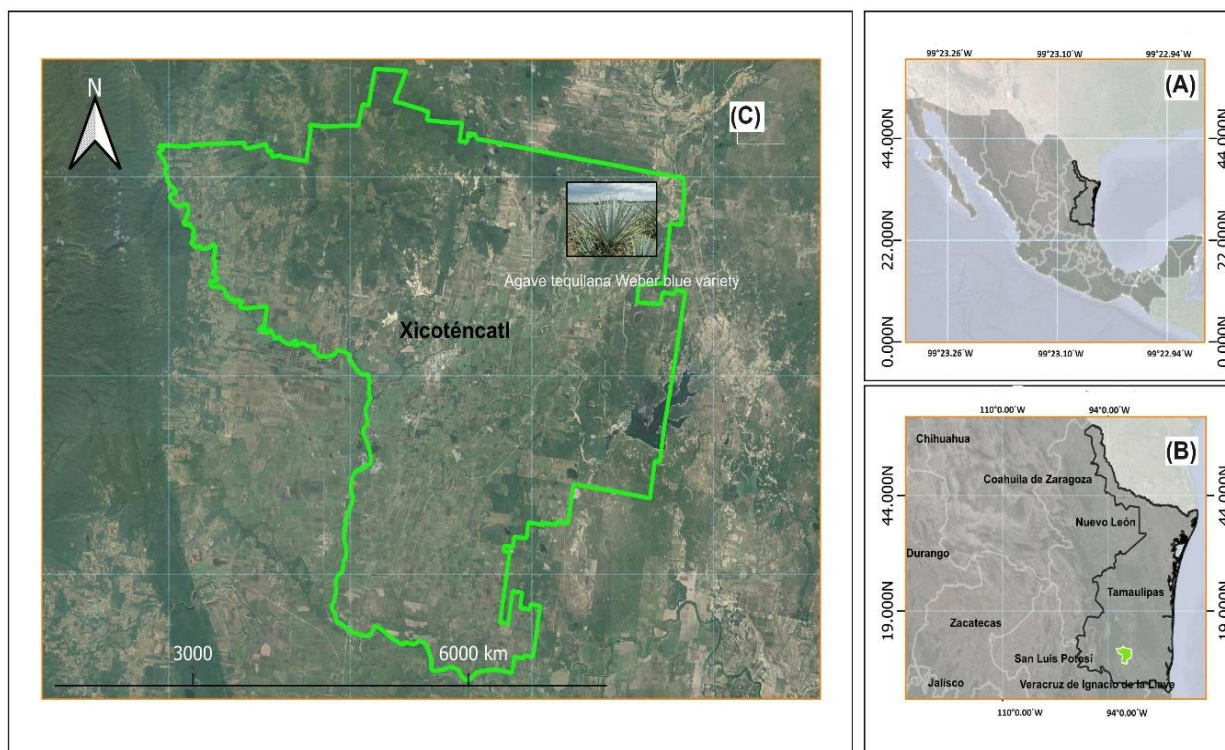


Figura 4.1 Ubicación geográfica del área de estudio donde se muestreó a *Scyphophorus acupunctatus* Gyllenhal (Coleoptera: Dryphthoridae) en *Agave tequilana* Weber. A) Ubicación geográfica del estado de Tamaulipas en México; B) Localización geográfica del municipio de Xicoténcatl en Tamaulipas, y; C). Ubicación geográfica de las localidades de muestreo.

El experimento se realizó en el Municipio de Xicoténcatl (23° 0'57.93"N, 98°50' 47.62"W), Tamaulipas, México (Figura 1). Tamaulipas se localiza hacia el NE de México y colinda hacia el norte con los EEUU de Norteamérica. El municipio de Xicoténcatl se ubica en la parte sur de Tamaulipas, dentro de la zona conocida en México como la Huasteca Tamaulipeca.

El clima es cálido subhúmedo con lluvias en verano, humedad alta (82%), semicálido subhúmedo con lluvias en verano, humedad media (7%), muy cálido y cálido semiseco (6%), y cálido subseco con lluvias en verano, humedad media (5%), con una temperatura media anual entre 22 y 26°C y precipitación anual entre 700 y 1,300 mm (INEGI, 2009). La vegetación está compuesta a base de selva baja caducifolia, selva baja caducifolia y pastizal.

El experimento se realizó en un cultivo de *A. tequilana* variedad azul de entre 4 y 5 años, con una separación de 1.5 m entre plantas en el año 2018. Previamente se realizó un paso de la rastra entre hileras de agave. Las trampas tipo tortillera medían 21 cm de diámetro y 18.5 cm de alto, con cuatro perforaciones laterales de 5 cm de diámetro (con 8 cm de separación entre ellas) a 4 cm de la base y 5 cm de la tapa. Portaban un gancho en el centro de la tapa para colocar feromona (Figueroa-Castro *et al.*, 2013).

También se utilizaron liberadores que contenían 300 mg de feromona de agregación sintética comercial Agavenol (Agavenol Squid Biological and Pheromones S.A. de C.V., Edo. de México, México). La tasa de liberación fue de 3.5 mg/día de 2-metil-4-octanona y 2-metil-4-octanol. Los compuestos son capaces de atraer a hembras y a machos durante 12 semanas, en un radio de 50 m.

El cebo alimenticio se preparó con 20 kg de trozos de piña de agave. La preparación consistió en colocar los trozos de piña en un recipiente con 100 litros de agua y un litro de melaza; el recipiente se cerró herméticamente durante 7 días. El atrayente fermentado se asperjó con 1 g de metil paratión al 3%, antes de colocarlo en la trampa.

El área experimental consistió en 100 huertos de 1.5 ha de agave. El diseño fue integrado por tres trampas con distribución triangular, separadas por 100 m de distancia (Figueroa-Castro *et al.* 2016). En cada trampa se colocó 1 kg de trozos de piña de agave fermentada y un liberador de feromonas. El atrayente alimenticio se cambió cada semana y la feromona mensualmente. Los adultos capturados en las trampas se registraron cada 15 d durante 1 año. La temperatura y la precipitación pluvial del área experimental fueron registradas en la estación meteorológica "San Gabriel", perteneciente a la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), ubicada en las coordenadas 23°05'03" N y 098°47'15" W. Esta estación se encuentra a aproximadamente 10 km de los huertos de agave

estudiados, los cuales presentan una elevación media de 101 metros sobre el nivel del mar. La dirección predominante de los vientos en la zona es de sureste a noroeste.

El número de insectos capturados por trampa por mes se utilizó para determinar la abundancia espacio-temporal de insectos y se analizó con la prueba Kruskal-Wallis. El número de insectos colectados por trampa por temporada del año se sometió a una prueba de Kruskal-Wallis, seguida de una comparación de medias. El número de insectos capturados por trampa por mes se correlacionó con la temperatura promedio y la precipitación pluvial mensual acumulada.

3.2 Metodología capítulo III

Área experimental

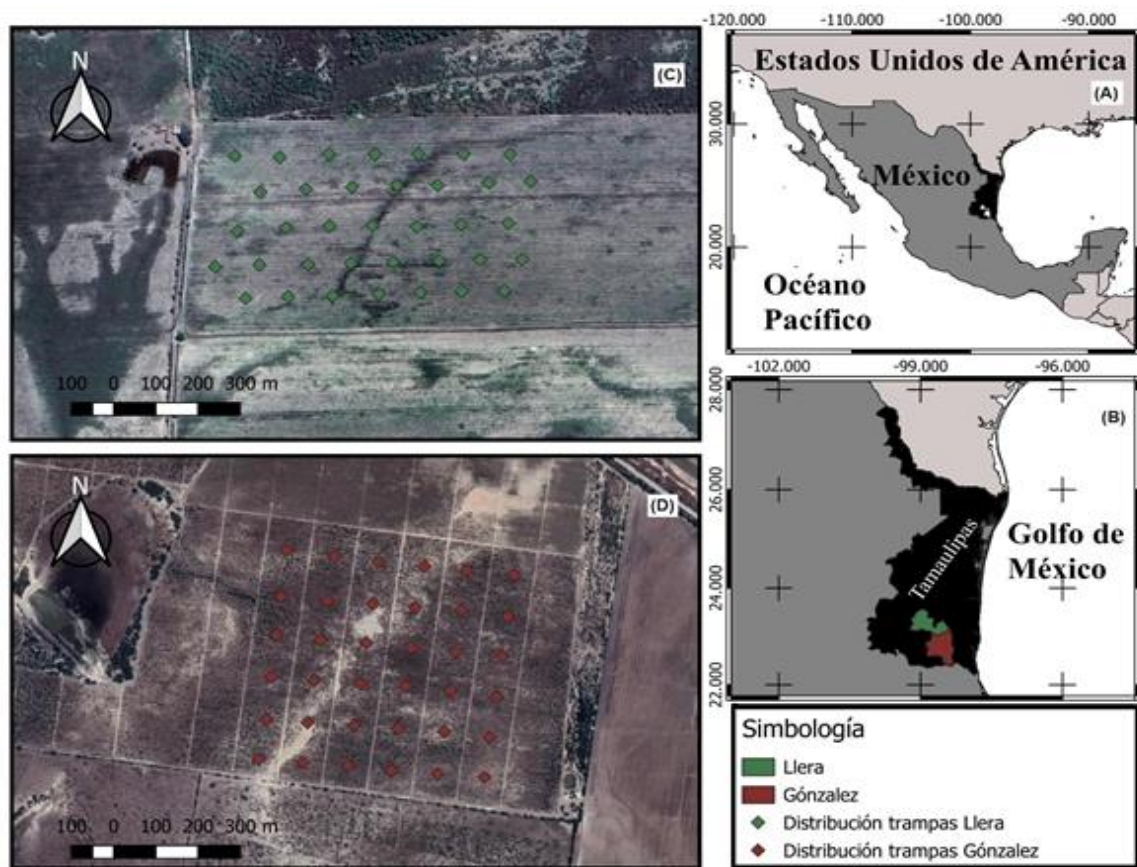


Figura 4.2 Área de estudio muestreada de *Scyphophorus acupunctatus* Gyllenhal (Coleóptera: Dryophthoridae) en *Agave tequilana* Weber y *Agave fourcroydes* Lem.: A) Ubicación geográfica de Tamaulipas, México, B) Localización de González y Llera de Canales, Tamaulipas, C) Distribución de trampas instaladas en Llera de Canales, Tamaulipas y, D) Distribución de trampas instaladas en González, Tamaulipas.

El experimento se llevó a cabo en los municipios de González (22° 49' 42" N, 98° 25' 46" W) y Llera (23° 19' 30" N, 99° 1' 29" W) en Tamaulipas, México (Figura 5). El clima predominante en la región es cálido subhúmedo con lluvias en verano, semiseco cálido con lluvias estivales y, en menor medida, semicálido subhúmedo también con lluvias durante el verano. La temperatura promedio anual oscila entre 22 y 26 °C, y la precipitación pluvial anual varía entre 800 y 1200 mm (INEGI, 2021). La vegetación de la zona está compuesta por matorral, pastizales y áreas destinadas al uso agrícola.

Establecimiento de los experimentos.

Las trampas se instalaron en una plantación de *Agave fourcroydes* de 10 años de edad en el municipio de González, durante noviembre 2020 a abril 2021. De igual manera, se colocaron trampas en una plantación de *Agave tequilana* de 5 años de edad en el municipio de Llera de Canales, de noviembre 2021 a abril 2022. En ambos cultivos, la distancia entre plantas era de 1.5 m, con espaciamiento de 3 m entre surcos.

Las trampas tipo tortillera empleadas, tenían 21 cm de diámetro y 18.5 cm de altura. Estas trampas contaban con cuatro perforaciones laterales de 5 cm de diámetro, espaciadas cada 8 cm a 4 cm de la base y 5 cm de la tapa. Además, suspendían un gancho en el centro de la tapa, destinado a sostener el dispensador de feromona (Figueroa-Castro *et al.*, 2013). En ambas plantaciones se colocaron trampas cebadas, con los siguientes tratamientos:

Tabla 2.1. Tratamientos conformados de semioquímicos sintéticos, feromona de agregación y atrayente alimenticio.

Tratamiento	Combinaciones
T1	2-butanol+ácido acético+feromona
T2	2-butanol+acetato de etilo+feromona
T3	2-butanol+etanol+feromona
T4	Ácido acético+acetato de etilo+feromona
T5	Ácido acético+etanol+feromona
T6	Acetato de etilo+etanol+feromona
T7	2-butanol+ácido acético+ acetato de etilo+feromona
T8	Ácido acético+acetato de etilo+etanol+feromona
T9	Acetato de etilo+etanol+2-butanol+feromona
T10	Etanol+2butanol+ácido acético+feromona

T11	2-butanol+ácido acético+acetato de etilo+etanol+feromona
T12	Trozo de piña de agave fermentado+feromona

También se utilizó un liberador con 300 mg de la feromona de agregación sintética “Agavenol” (Agavenol, Squid Biological y Pheromones, S.A. de C.V., Estado de México, México), compuesta por 2-metil-4-octanona y 2-metil-4-octanol. La tasa de liberación de estos compuestos fue de 3.5 mg/día. La feromona es efectiva para atraer tanto a hembras como a machos, con un efecto de duración de 30 días y un radio de acción de 50 m.

El cebo alimenticio se preparó con trozos de tallo “piña” de agave. La preparación consistió en colocar los trozos, 2 kg aproximadamente, en un recipiente con 100 L de agua y 1 L de melaza. El contenedor se mantuvo herméticamente cerrado durante 7 d, para permitir la fermentación. Antes de colocarlo en las trampas, el atrayente fermentado fue impregnado superficialmente con el insecticida sintético Malatión-1000, diluido previamente en una proporción de 10:1000 mL de agua.

Las trampas fueron distribuidas en un diseño triangular, separadas 100 m entre ellas (Figueroa-Castro *et al.*, 2016). Cada trampa fue cebada con un tubo plástico de ensayo de 15 mL de semioquímicos sintéticos. Se perforó un orificio en los tubos de ensayo para permitir la liberación de estos y después fueron fijados a la trampa con alambre inoxidable, delgado.

El recuento de *S. acupunctatus* de picudos capturados se realizó cada ocho días, junto con el reemplazamiento de semioquímicos sintéticos y atrayente alimenticio. Los adultos capturados fueron transportados al laboratorio, donde se procedió a su separación y clasificación taxonómica.

Análisis de datos

El número de adultos capturados por trampa, fecha muestreo y tratamiento, fueron sometidos a un análisis no paramétrico de Kruskal-Wallis seguido de una prueba de Tukey, con $\alpha = 0.05$, para la comparación de medias.

Capítulo 5

RESULTADOS

4.1 Resultados capítulo II

La mayor cantidad de insectos capturados se produjo en febrero, mayo y noviembre, con 5.7, 5.6 y 4.1 adultos por trampa (Figura 2). La menor cantidad de insectos se registró de junio a octubre y en diciembre.

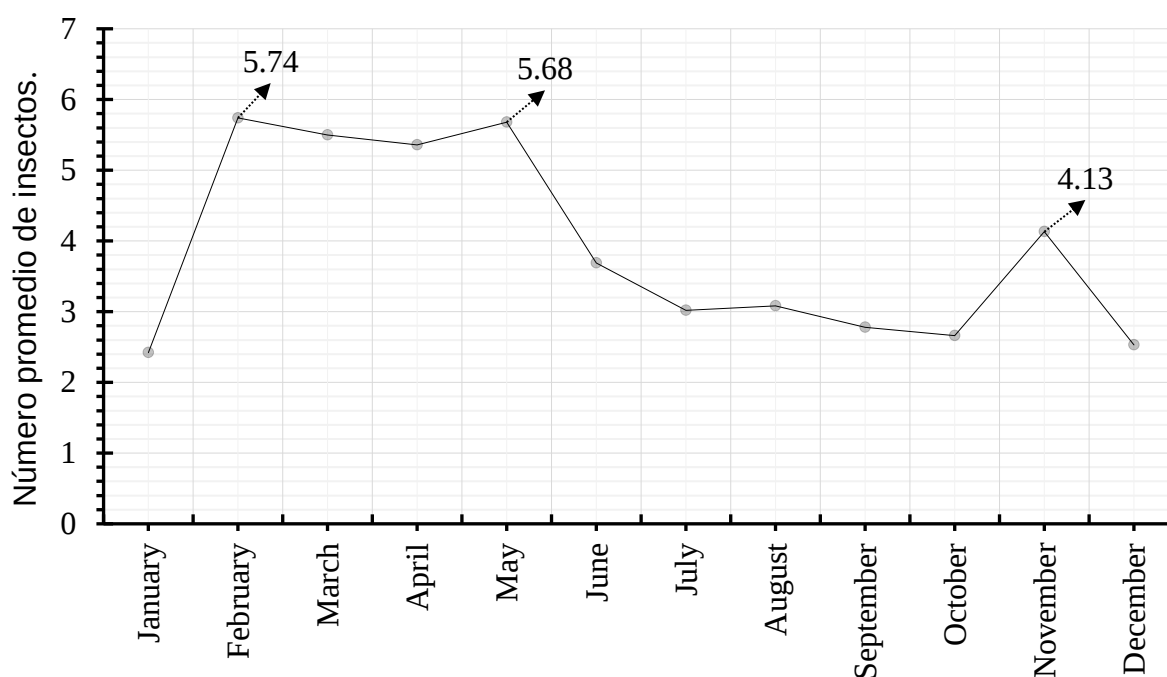


Figura 5.1. Fluctuación promedio mensual de adultos del picudo *Scyphophorus acupunctatus* Gyllenhal en plantaciones de agave (*Agave tequilana* Weber), variedad azul en Tamaulipas.

Las estaciones del año difirieron significativamente en el número de insectos capturados ($P = 0.001$, Figura 3). Así, fue registrado un mayor número de individuos adultos en primavera, a diferencia de verano, otoño o invierno que tuvieron un número similar de insectos capturados.

El número de adultos capturados en las trampas no presentaron correlación con la lluvia ($r = 0.68$, $P = 0.02$) (Figura 4). El número de adultos fue menor en junio, julio y agosto, cuando se registraron 62, 124 y 64 individuos capturados. El número de adultos capturados en las trampas no se correlacionó con la temperatura ($r = 0.40$, $P = 0.21$).

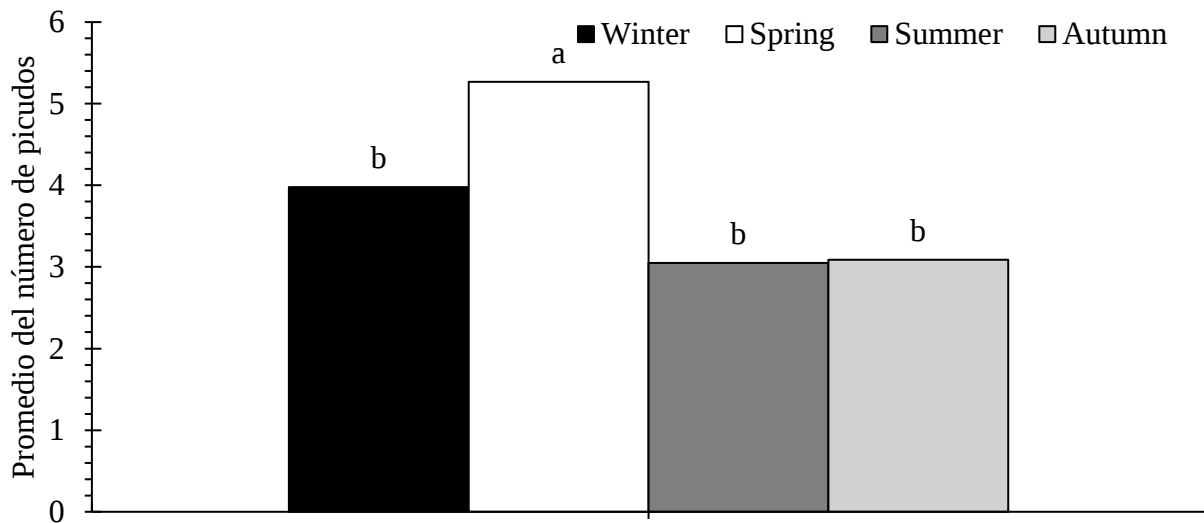


Figura 5.2 Abundancia temporal de *S. acupunctatus* en invierno, primavera, verano y otoño durante el año 2018.

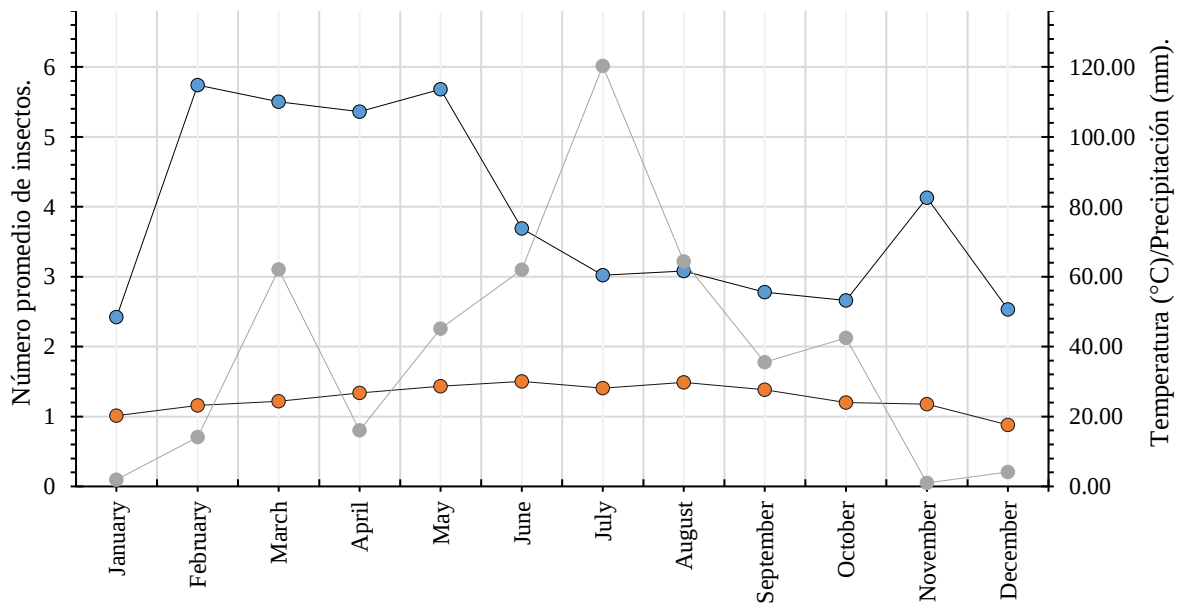


Figura 5.3. Efecto de la temperatura y la precipitación sobre la abundancia temporal de *S. acupunctatus* en el área de estudio.

La presencia de adultos de *Scyphophorus acupunctatus* se registró durante todos los meses del año en plantaciones de agave tequilero (*Agave tequilana* Weber var. azul) en el municipio de Xicoténcatl, Tamaulipas. De manera similar, (González *et al.*, 2007) reportaron la ocurrencia de adultos de *S. acupunctatus* de forma continua a lo largo del año. Diversos autores han documentado la presencia perenne del insecto en los cultivos de agave, atribuyéndola a su ciclo de vida —de desarrollo completo (holometábolo), corto tiempo de generación y alta capacidad de reproducción— y a la disponibilidad constante de su hospedante (Solís-Aguilar *et al.*, 2001; Setliff y Anderson, 2011; Figueroa-Castro *et al.*, 2013). Más recientemente, (Arista-Carmona *et al.*, 2023) destacaron que la combinación entre el ciclo biológico del picudo y la presencia estable del agave en el campo favorece su persistencia. Por su parte, (Aquino *et al.*, 2010) y (Setliff y Anderson 2011) señalaron que la baja capacidad de dispersión de los adultos, sumada a la abundancia de alimento, permite que las poblaciones permanezcan en el cultivo durante todo el año. En Xicoténcatl, Tamaulipas, es probable que la permanencia continua de *S. acupunctatus* en las plantaciones de agave se deba a la disponibilidad de alimento en las 100 huertas, así como a la ausencia de control químico, dado que no existen insecticidas registrados para este cultivo ante la Comisión Federal para la Protección contra Riesgos Sanitarios (COFEPRIS).

En el municipio de Xicoténcatl, Tamaulipas se observaron picos poblacionales en los meses de febrero, mayo y noviembre (Figura 4).

El primer pico, registrado en febrero, coincidió con temperaturas moderadas y niveles bajos de precipitación. Estos resultados son congruentes con los de (Solís-Aguilar *et al.*, 2001), quienes observaron un patrón similar en municipios productores de agave del estado de Jalisco. El aumento poblacional en este mes puede explicarse por la mayor actividad de los adultos en condiciones frescas y secas, así como por la presencia de tejidos jóvenes resultantes del estrés invernal.

En mayo, el segundo pico de abundancia se asoció a temperaturas más cálidas y un incremento ligero en las precipitaciones. Este fenómeno favorece el crecimiento

vegetativo del agave, proporcionando abundante alimento para el insecto. De forma similar, (Barraza, 2007) y (Figueroa-Castro, 2009) reportaron máximos poblacionales de *S. acupunctatus* en mayo en diferentes regiones de Jalisco.

El tercer pico de abundancia, observado en noviembre, se presentó después de la temporada de lluvias, bajo condiciones de temperatura moderada y baja precipitación. La humedad residual en el ambiente y el debilitamiento de los tejidos de agave tras la época de lluvias podrían facilitar tanto la alimentación como la ovoposición del insecto, como ha sido discutido recientemente por (Arista-Carmona *et al.*, 2023).

En el presente estudio, los picudos adultos fueron más abundantes en primavera. En Xicoténcatl, Tamaulipas, y en general, la primavera es una etapa transicional entre el frío del invierno y el calor del verano y este cambio pudo haber favorecido la presencia de adultos de *S. acupunctatus* punta la actividad mínima de adultos de *S. acupunctatus* en invierno y descubrieron que estos se mantienen protegidos en los tejidos internos del agave. (Boero *et al.*, 2023). En tal sentido, (Terán-Vargas *et al.*, 2012) confirma esa idea y agrega que el taño “piña” representa el sitio preferido por el picudo, una estructura que para dificulta la visualización y control químico del insecto (Martín-Taboada, 2019). En nuestro caso, el pico de mayor abundancia en la primavera en Xicoténcatl también podría estar relacionado con la combinación de la feromona comercial y el atrayente alimenticio, al crear un compuesto doblemente útil y efectivo (Figueroa-Castro *et al.*, 2018; Cruz-Faustino *et al.*, 2019). La abundancia máxima de adultos registrada en noviembre, en cambio, se podría deber a la aparición de nuevos individuos (Arista-Carmona *et al.*, 2023).

En el presente trabajo, se registró una menor abundancia de adultos de *Scyphophorus acupunctatus* durante los días con mayor precipitación pluvial, particularmente en julio, cuando se alcanzó un promedio de 120.3 mm. Este comportamiento puede atribuirse a una disminución en la actividad del insecto, ya que las lluvias intensas pueden limitar su movilidad, alimentación y reproducción. Además, la precipitación elevada podría interferir con la emisión y percepción de semioquímicos que regulan su conducta, como las feromonas de agregación (Borrero-Echeverry, 2018). También es probable que, ante condiciones climáticas adversas, los adultos se refugien dentro de las plantas o en zonas protegidas, dificultando su detección durante el muestreo.

Este resultado contrasta con lo reportado por Figueroa-Castro *et al.*, (2013) y Rodríguez y Navarrete (2017), quienes no encontraron correlación significativa entre temperatura, precipitación pluvial y número de adultos capturados en el estado de Jalisco. Asimismo, difiere de los hallazgos de Aquino *et al.* (2007), Bravo (2003), Bravo *et al.* (2007) y Espinosa *et al.* (2005), quienes documentaron una mayor abundancia del insecto durante los meses más cálidos y húmedos (junio a septiembre), con temperaturas promedio cercanas a los 30 °C y precipitaciones acumuladas anuales de entre 800 y 1000 mm, particularmente en regiones productoras de agave en Oaxaca.

La discrepancia entre los resultados de este estudio y los de dichos autores probablemente se deba a diferencias en las condiciones micro climáticas de cada región, así como a la fuente de los datos meteorológicos utilizados. Mientras que en los estudios previos los registros climáticos fueron obtenidos de estaciones cercanas, pero no dentro del sitio experimental, en el presente trabajo los datos fueron tomados de una estación localizada a aproximadamente 10 km del área de estudio. Como lo señala Figueroa-Castro *et al.*, (2013), es más adecuado recolectar datos climáticos directamente en el sitio de muestreo, ya que las condiciones micro climáticas particulares pueden influir significativamente en la presencia y comportamiento del insecto, así como en la eficacia de las trampas de feromonas.

4.2 Resultados capítulo III

Existieron diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos ($P = 0.0019$), lo que indica que las diversas combinaciones de semioquímicos sintéticos tienen niveles variables de eficacia en el trapeo de *S. acupunctatus* en el henequén de González, Tamaulipas. Los tratamientos T12 (Cebo fermentado+feromona) y T9 (Acetato de etilo+etanol+2-butanol+feromona) en agave henequén destacaron por su mayor eficiencia, al registrar las mayores capturas de insectos (Figura 6). En particular, el tratamiento T12, que incluye un cebo alimenticio fermentado, lo coloca como el atrayente con mayor eficiencia, incluso si se compara con las mezclas de semioquímicos sintéticos. En contraste, los tratamientos T2, T10, T1 y T3 presentaron las capturas más bajas, lo

que indica que las combinaciones de volátiles utilizadas en estos tratamientos fueron menos atractivos para el picudo del henequén (Figura 6).

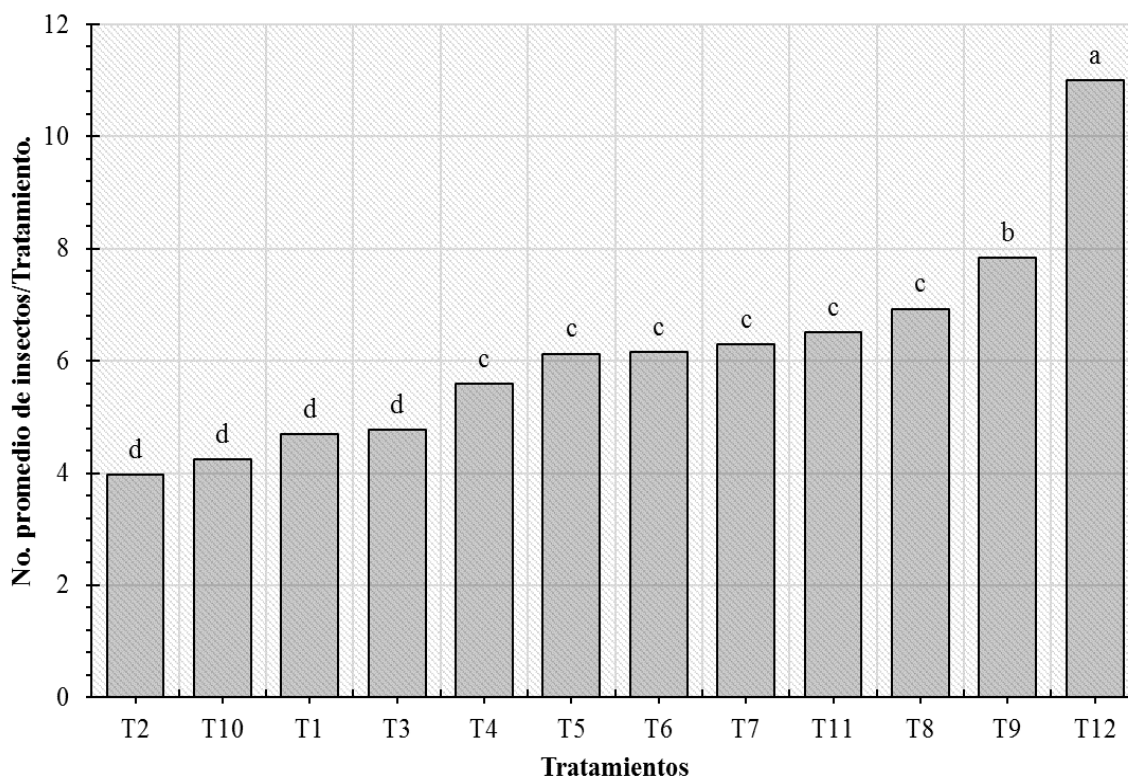


Figura 5.4. Prueba de medias con Tukey ($\alpha = 0.05$) de adultos de *S. acupunctatus* capturados mediante semioquímicos sintéticos, feromona de agregación y atrayente fermentado en henequén, de González, Tamaulipas. Literales distintas sobre las barras indican la existencia de diferencias estadísticas significativas entre adultos de picudo atraídos por semioquímicos.

En el experimento desarrollado en *A. tequilana*, las diferencias entre tratamientos fueron estadísticamente significativas ($P = 0.001$) con la prueba de Kruskal-Wallis, indicativo que las diversas combinaciones de semioquímicos sintéticos tienen eficacia variable en el trapeo de *S. acupunctatus*. Los tratamientos T5, T8, T11 y T7 resultaron ser los más efectivos, al registrar el mayor número de capturas de insectos (Figura 7). En cambio, los tratamientos T9 y T2 fueron menos efectivos, con un número de capturas de *S. acupunctatus* significativamente menor.

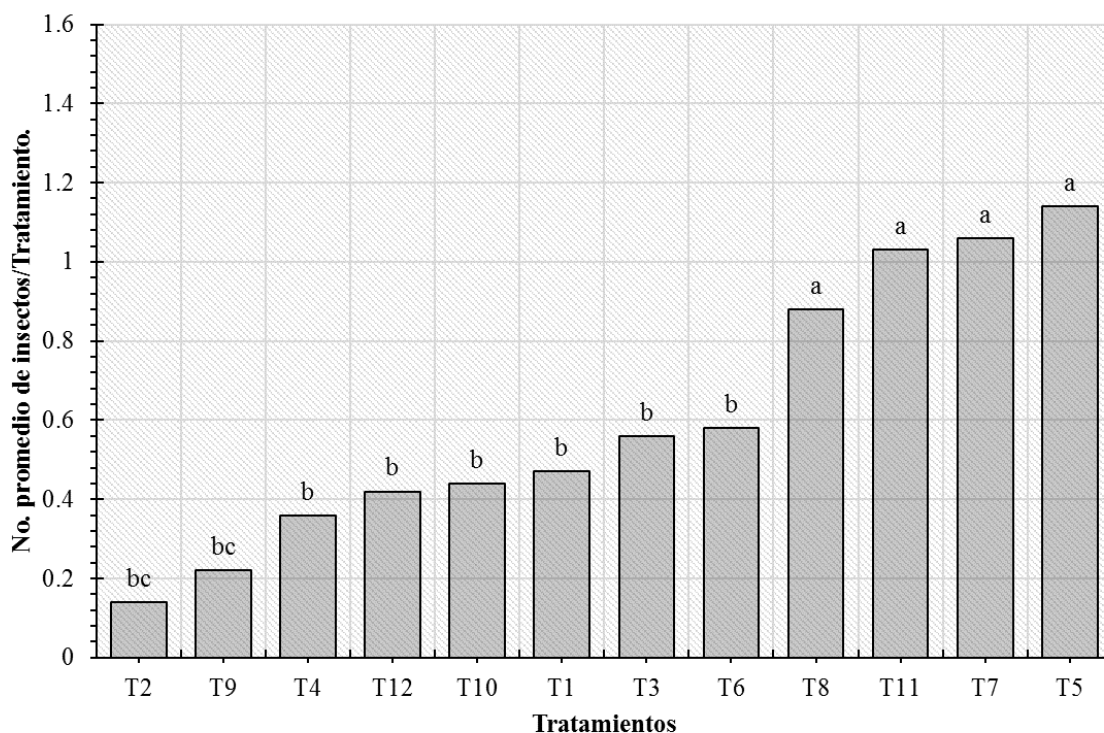


Figura 5.5. Prueba de medias con Tukey ($\alpha = 0.05$) de adultos de *S. acupunctatus* capturados mediante semioquímicos sintéticos, feromona de agregación y atrayente fermentado en *agave tequilero* var. Azul, en Llera de Canales, Tamaulipas. Literales distintas sobre las barras indican la existencia de diferencias estadísticas significativas entre adultos de picudo atraídos por semioquímicos.

Los resultados obtenidos en este estudio indican que las combinaciones de semioquímicos y feromonas sintéticas, tienen un impacto significativo en la captura de *S. acupunctatus*, tanto en *agave tequilero* como henequén. Los resultados también subrayan la importancia de la selección adecuada de los compuestos volátiles y su combinación, con el fin de optimizar el trapeo del insecto-plaga. De acuerdo con la prueba de Kruskal-Wallis, las diferencias entre tratamientos fueron estadísticamente significativas, lo que respalda la hipótesis de que los semioquímicos sintéticos ofrecen distintos grados de eficacia en función de su composición y el entorno en el que se utilizan (Reddy *et al.*, 2020). Esto coincide con lo señalado por (Valdés-Rodríguez *et al.*, 2004), cuando descubren que la sinergia entre volátiles de las plantas y feromonas, tiende a mejorar la atracción de los insectos a las trampas.

Es probable que la combinación de diferentes volátiles con la feromona de agregación amplifique la respuesta del picudo y crea una señal más atractiva y, por lo

tanto, la captura de adultos se incrementa. Este fenómeno también ha sido documentado en estudios desarrollados en el género *Curculionidae*, como el picudo del plátano (*Cosmopolites sordidus*), donde la adición de volátiles de plantas mejoró la atracción hacia las trampas con feromonas (Tinzaara *et al.*, 2007).

Por otro lado, el tratamiento T12 que incluye cebo alimenticio fermentado, mostró ser altamente eficaz en la captura de *S. acupunctatus*, especialmente en henequén. Este resultado concuerda con lo postulado por (Azuara-Domínguez *et al.* 2012), al demostrar que el uso de tejidos vegetales fermentados, como la piña de agave, es un atrayente eficaz para capturar a este insecto. La fermentación genera una mezcla compleja de compuestos volátiles que imitan los procesos de descomposición natural de las plantas hospedantes, lo que atrae a los insectos que buscan lugares adecuados para alimentarse y reproducirse (Gómez y Lastra, 1995). Sin embargo, el uso de atrayentes alimenticios puede presentar desafíos logísticos y de sostenibilidad a largo plazo, dado que requieren preparación previa y mantenimiento constante en el campo, lo cual podría aumentar los costos operativos en comparación con el uso de semioquímicos sintéticos.

Por su parte, la efectividad variable de los tratamientos T2 (2-butanol + acetato de etilo + feromona) y T10 (etanol + 2-butanol + ácido acético + feromona) en ambos cultivos, sugiere que no todas las combinaciones de semioquímicos son igualmente atractivas para *S. acupunctatus*. Este resultado coincide con estudios previos de (Cruz-Esteban *et al.*, 2021), al afirmar que algunas combinaciones de volátiles no generan una señal lo suficientemente fuerte como para atraer a cantidades importantes de insectos. De esta manera, los resultados de (Ruiz-Montiel *et al.*, 2003) demostraron que la atracción hacia las feromonas puede depender del contexto local y del tipo de cultivo; un hecho que podría explicar las diferencias en eficacia entre tratamientos usados en agave tequilero y henequén.

Otra explicación de la respuesta de *S. acupunctatus* a feromonas y volátiles de las plantas, se explica por la variación de las condiciones ambientales y fisiología del cultivo. En este estudio, el tratamiento T12 (cebo alimenticio fermentado) fue más efectivo en henequén que en agave tequilero; lo que sugiere que las características específicas del cultivo, como contenido de agua y tipo de volátiles emitidos, podrían influir en la atracción del insecto. La planta de henequén, con un tejido más fibroso y mayor ciclo de vida que

el agave tequilero, podría emitir volátiles adicionales durante su descomposición y, con ello, potenciar la atracción del cebo fermentado.

Finalmente, es importante resaltar que las diferencias en la eficacia de los semioquímicos sintéticos observadas en este estudio, subrayan la necesidad de continuar con este tipo de investigaciones para evaluar combinaciones nuevas de volátiles y feromonas tendientes a optimizar el manejo de *S. acupunctatus*. (Ruiz-Montiel *et al.*, 2017) han señalado que, a pesar de los avances en la identificación de compuestos volátiles efectivos, aún queda mucho por aprender sobre la manera en que ocurren estas interacciones en ambientes y cultivos diferentes. En particular, la combinación de semioquímicos con estrategias biológicas, como el uso de enemigos naturales (Espinosa-Velázquez *et al.*, 2008), podría ofrecer soluciones sostenibles a largo plazo, para el manejo de esta plaga.

Capítulo 5

DISCUSIÓN

Los resultados de este estudio facilitan la comprensión de la dinámica poblacional de *S. acupunctatus* y de la manera de optimizar las estrategias de trampeo mediante el uso de semioquímicos y feromonas en *A. tequilana* variedad azul, en Tamaulipas, México.

El trabajo también confirma que la plaga está presente durante todo el año en agave tequilero, un hecho que coincide con lo sucede en otras regiones del país, como Jalisco y Oaxaca, donde se ha documentado su actividad continua en diferentes especies de agave (Aquino Bolaños *et al.*, 2007; Figueroa-Castro *et al.*, 2013).

La presencia constante de *S. acupunctatus* durante el año, podría guardar relación con las condiciones climáticas locales y la disponibilidad de alimento en las plantas de agave, como se ha demostrado en estudios previos. (Figueroa-Castro *et al.* 2013) observaron que, en Jalisco, los picos de abundancia de adultos se presentan principalmente en primavera y otoño, una situación que coincide con lo que ocurre en Tamaulipas, donde la mayor actividad de adultos se registró en primavera. Además, la menor abundancia de *S. acupunctatus* durante los meses cálidos y húmedos, julio y agosto, al parecer responde al efecto inhibitorio que ejerce la precipitación pluvial alta en la actividad de adultos, fenómeno observado en este estudio y ya descrito en las poblaciones de picudo en Jalisco (Figueroa-Castro *et al.*, 2013).

La relación entre condiciones climáticas y actividad de *S. acupunctatus* ha sido objeto de numerosos estudios. (Solís-Aguilar *et al.*, 2001) y (Setliff y Anderson 2011) sugieren que el ciclo de vida de la plaga y la disponibilidad continua de alimento en agave, son factores críticos que explican su presencia durante todo el año. Además, en investigaciones recientes se ha destacado el papel rector de la temperatura y precipitación pluvial como variables clave en la variación de las poblaciones de *S. acupunctatus*, lo que fortalece la importancia de incorporar datos climáticos precisos para la toma de decisiones en el manejo de la plaga (Boero *et al.*, 2023).

En cuanto a la optimización del trapeo, los resultados de este estudio confirman la eficacia de los compuestos volátiles del agave en combinación con feromonas sintéticas para atraer a *S. acupunctatus*. En particular, los tratamientos que incluyeron ácido acético, etanol y acetato de etilo resultaron ser los más efectivos, lo que coincide con estudios previos que documentan la sinergia entre los volátiles de las plantas hospedantes y las feromonas de agregación en el control de plagas del género *Curculionidae* (Valdés-Rodríguez *et al.*, 2004; Tinzaara *et al.*, 2007). Es decir, que la combinación adecuada de semioquímicos potencializa la atracción de los insectos a las trampas y mejora significativa las estrategias de control de la plaga.

Sin embargo, es importante destacar que la efectividad de las diferentes combinaciones de semioquímicos y feromonas varía en función del entorno y el cultivo. Por ejemplo, en nuestro estudio se observó que algunos tratamientos fueron más efectivos en agave tequilero que en henequén, variante que sugiere la existencia de características específicas de cada cultivo, como la condición hídrica del tejido y los volátiles emitidos y su influencia en la respuesta de los insectos (Ruiz-Montiel *et al.*, 2017). Además, la eficacia de las trampas con cebo alimenticio fermentado, como el tratamiento que incluyó piña fermentada, fue particularmente notable en henequén; respuesta que concuerda con resultados de (Azuara-Domínguez *et al.*, 2012), al demostrar que los tejidos vegetales fermentados son atrayentes eficaces de *S. acupunctatus*.

Otro hallazgo relevante del estudio, se presenta en las trampas con cebo de semioquímicos sintéticos en combinación con feromonas de agregación, cuya captura significativa fue selectiva hacia la mayor atracción de hembras. Este es un resultado particularmente importante para el control de ésta plaga, dado que la preferencia de las hembras por dicha combinación, tiende a reducir, potencialmente, la reproducción y propagación futuras generaciones del picudo del agave (Rodríguez-Rebollar *et al.*, 2012). Un sesgo que también habría sido observado por (Figueroa-Castro *et al.*, 2018), quienes explican la diferencia de capturas entre sexos por la biología reproductiva del insecto, dado que feromonas y atrayentes alimenticios actúan de manera diferencial en el picudo del agave.

Además de la eficacia de los semioquímicos y las feromonas, es crucial considerar el diseño y la colocación de las trampas. En estudios previos, se demostró que la altura sobre el suelo, el color y la distribución de las trampas influyeron significativamente en la captura de *S. acupunctatus* (Figueroa-Castro *et al.*, 2016; Ruiz-Montiel *et al.*, 2017). En el presente trabajo, se observó que las trampas colocadas al nivel del suelo y distribuidas en patrones regulares, fueron más eficaces para capturar adultos de *S. acupunctatus*; lo cual sugiere que, si se sigue una colocación estratégica de las trampas, podría ser un procedimiento clave en los programas de manejo integrado de plagas de agave.

Los resultados de este estudio confirman que el uso de semioquímicos sintéticos y feromonas de agregación, se presentan como una estrategia eficaz para el control de *S. acupunctatus* en plantaciones de agave tequilero y henequén. La combinación adecuada de compuestos volátiles, ácido acético y acetato de etilo, junto con trampas diseñadas bajo un modelo específico, ofrece una alternativa sostenible y eficiente para el manejo del picudo del agave. Además de las trampas estratégicamente distribuidas y colocadas con respecto al suelo y a las plantas, es obligado considerar a ciertos factores climáticos, a fin de optimizar el control de *S. acupunctatus* en las regiones productoras de agave de Tamaulipas y México.

Este estudio tuvo algunas limitaciones relacionadas con la programación de los muestreos en campo. Debido a la pandemia por COVID-19, muchas actividades se vieron detenidas, incluyendo las del personal de Sanidad Vegetal, con quienes se coordinaban los traslados a las localidades de González y Llera. Esto se hizo para reducir gastos, especialmente en combustible, ya que se utilizaban vehículos institucionales. Como resultado, no siempre fue posible seguir el calendario de muestreo originalmente planeado, y tuvimos que adaptarnos a las fechas en que ellos podían salir a campo. Para enfrentar esta situación, se aprovechó cada oportunidad de salida para realizar los muestreos en momentos clave de la actividad del picudo.

A pesar de este obstáculo, se lograron obtener resultados útiles sobre la presencia del insecto y la efectividad de los tratamientos evaluados. Para estudios futuros, se recomienda planear los muestreos de manera más independiente para tener mayor control sobre la frecuencia y el momento de cada visita.

Capítulo 6

CONCLUSIONES

Los resultados del estudio concerniente a la dinámica poblacional y a la optimización en el trapeo de *Scyphophorus acupunctatus* Gyllenhal (Coleóptera: Dryphthoridae) en *Agave tequilana* Weber variedad azul en Tamaulipas, México, proporcionan información valiosa para el manejo integrado de esta plaga en el cultivo de agave tequilero.

A partir de los objetivos planteados, se describen las siguientes conclusiones generales:

1. El picudo del agave (*S. acupunctatus*) está presente en las plantaciones de agave tequilero a lo largo del año, con picos de abundancia en las estaciones de primavera y otoño, particularmente en febrero, mayo y noviembre. Las fluctuaciones en la población del insecto dependen de factores ambientales, principalmente la temperatura, con un mayor número de capturas en las trampas durante los meses más cálidos. La precipitación pluvial también influye en la abundancia del picudo, aunque las capturas tienden a disminuir durante los períodos de mayor precipitación pluvial; lo cual indica que las condiciones de humedad alteran la actividad dinámica del insecto en campo.
2. El empleo de semioquímicos y atrayentes volátiles, utilizados en las combinaciones a base ácido acético, etanol y feromonas de agregación, demostraron ser altamente efectivos en la captura de *S. acupunctatus*, incluso superior a otros atrayentes alimenticios y volátiles de agave. En particular, las trampas que utilizaron una mezcla de feromonas y tejido de agave fermentado, mostraron una sinergia que incrementó significativamente las capturas de adultos; se confirma así, el potencial de los compuestos volátiles para controlar el picudo del agave.
3. A partir de los resultados del estudio, se deriva que es necesario implementar un manejo fitosanitario integral basado en el uso de trampas con feromonas y atrayentes volátiles. Si bien con ésta estrategia de manejo se monitorea con mayor

efectividad las poblaciones de *S. acupunctatus* y contribuye a una detección temprana del picudo del agave, también resulta necesario diseñar y desarrollar una serie de trabajos experimentales para lograr un control sanitario más eficiente del insecto y de esta manera, evitar los daños que provoca en las plantaciones de agave y aumentar la calidad del productos, así como reducir los gastos de inversión económica en las plantaciones de agave tequilero.

4. Los resultados también sugieren que el uso de feromonas y atrayentes volátiles, puede complementarse con otras estrategias de manejo, como control biológico mediante el uso de hongos entomopatógenos y depredadores naturales. Este enfoque integrado, en combinación con las prácticas de trampeo, podría ofrecer una solución de sostenibilidad a largo plazo para el manejo de *S. acupunctatus* en las plantaciones de agave.

5.

Finalmente, los hallazgos de esta investigación proporcionan una base científica sólida para el desarrollo de estrategias de manejo fitosanitario más eficientes y sostenibles en el cultivo de *Agave tequilana* Weber, variedad azul. La implementación de sistemas de trampeo mejorados y el uso de semioquímicos específicos son herramientas clave para la protección de esta especie de agave.

REFERENCIAS

Marco teórico

- Aquino-Bolaños, T., Ortiz-Hernández, Y. D., Bautista-Cruz, A. & Acevedo-Ortiz, M. A. (2023). Viability of entomopathogenic fungi in oil suspensions and their effectiveness against the agave pest *Scyphophorus acupunctatus* under laboratory conditions. *Agronomy*, 13(6), 1468. <https://doi.org/10.3390/agronomy13061468>
- Aquino-Bolaños, T., Sánchez-García, J. A., Ortiz-Hernández, Y. D., Hernández-Cruz, J., & Cortés-Martínez, C. I. (2020). Carrier and vector of *Pectobacterium carotovorum* subsp. *carotovorum* and its handling through a base of entomopathogenic fungi in *Agave* sp. *Florida Entomologist*, 103(2), 243-246. <https://doi.org/10.1653/024.103.0214>
- Azuara-Domínguez, A., Cibrián-Tovar, J., Terán-Vargas, A., Segura-León, O., & Cibrián-Jaramillo, A. (2013). Factors in the response of agave weevil, *Scyphophorus acupunctatus* (Coleoptera: Curculionidae), to the major compound in its aggregation pheromone. *Southwestern Entomologist*, 38(2), 209-220. <https://doi.org/10.3958/059.038.0206>
- Azuara-Domínguez, A., Cibrián-Tovar, J., Terán-Vargas, A., Vega-Aquino, P., & Blanco, C. (2012). Trapping *Scyphophorus acupunctatus* (Coleoptera: Curculionidae) with fermented tequila agave, and identification of the attractant volatiles. *Southwestern Entomologist*, 37(3), 310-317. <https://doi.org/10.3958/059.037.0310>
- Bailón-Ortiz, E., López, R., & Castellanos, R. (2018). Influence of climatic factors on the population dynamics of *Scyphophorus acupunctatus* Gyllenhal in Oaxaca, Mexico. *Journal of Insect Science*, 10(1), 29-38.
- Bolantilde, A., Os, T., RuizVega, J., GironPablo, S., PerezPacheco, R., Sh, M., & M.E, S. (2011). Interrelationships of the agave weevil *Scyphophorus acupunctatus* (Gyllenhal), *Erwinia carotovora* (Dye), entomopathogenic agents and agrochemicals. *African Journal of Biotechnology*, 10, 15402-15406. <https://doi.org/10.5897/ajb11.666>

- Bravo, M., Llanderal, C., & Gómez, E. (2005). Población de *Scyphophorus acupunctatus* en diferentes condiciones climáticas. *Entomological Research Journal*, 12(4), 135-142.
- Cruz-Esteban, S., Villa-García, M., Hernández-Ledesma, P., & Alavez-Rosas, D. (2021). Efecto sinérgico de la feromona, volátiles del hospedero, y etanol en la atracción de *Scyphophorus acupunctatus* Gyllenhal. *Southwestern Entomologist*, 45(2), 418–426. <https://doi.org/10.3958/059.045.0418>
- Cuervo-Parra, J. A., Pérez-España, V., Pérez, P. A. L., Morales-Ovando, M. A., Arce-Cervantes, O., Aparicio-Burgos, J. E., & Romero-Cortes, T. (2019). *Scyphophorus acupunctatus* (Coleoptera: Dryophthoridae): A weevil threatening the production of agave in Mexico. *Florida Entomologist*, 102(1), 24–31. <https://doi.org/10.1653/024.102.0101>
- Figueroa-Castro, P., González-Hernández, H., Carrillo-Sánchez, J. L., Solís-Aguilar, J. F., & Real-Laborde, J. I. D. (2016). Effect of the height and distribution pattern of pheromone-baited traps on the capture of *Scyphophorus acupunctatus* (Coleoptera: Dryophthoridae) on blue agave. *Florida Entomologist*, 99, 222-230. <https://doi.org/10.1653/024.099.0222>
- Figueroa-Castro, P., González-Hernández, H., Carrillo-Sánchez, J. L., Solís-Aguilar, J. F., & Real-Laborde, J. I. D. (2018). Amount and bagging of the bait food affect the captures of *Scyphophorus acupunctatus* (Coleoptera: Curculionidae) by pheromone-baited traps. *Florida Entomologist*, 101, 103-111. <https://doi.org/10.1653/024.101.0103>
- Figueroa-Castro, P., González-Hernández, H., Solís-Aguilar, J. F., & Rojas, J. C. (2016). Attraction range and inter-trap distance of pheromone-baited traps for monitoring *Scyphophorus acupunctatus* (Coleoptera: Dryophthoridae) on blue agave. *Florida Entomologist*, 99(2), 437–445. <https://doi.org/10.1653/024.099.0117>
- Figueroa-Castro, P., López-Martínez, V., González-Hernández, H., Jones, R. W., & Zamora Gallegos, I. A. (2016). First report of *Peltophorus adustus* (Fall) (Coleoptera: Curculionidae: Baridinae) in Mexico, with two new host associations. *The Coleopterists Bulletin*, 70(3), 667–671. <https://doi.org/10.1649/0010-065X-70.3.667>

- Figuerola-Castro, P., López-Martínez, V., Hernández-Ruíz, A., Silva-García, F., & Campos-Figuerola, M. (2016). Determining the best pheromone-baited traps for capturing *Scyphophorus acupunctatus* (Coleoptera: Dryophthoridae) in mezcal agave. *Florida Entomologist*, 99, 437-444. <https://doi.org/10.1653/024.099.0437>
- Figuerola-Castro, P., López-Martínez, V., Silva-García, F., & González-Hernández, H. (2017). Food attractants to increase pheromone-baited trap performance for *Scyphophorus acupunctatus* (Coleoptera: Dryophthoridae) in mezcal maguey. *Florida Entomologist*, 100, 135-142. <https://doi.org/10.1653/024.100.0135>
- García-Ramírez, M. de J., López-Martínez, V., & Andrade-Rodríguez, M. (2014). Biological effectivity of plant volatiles on the control of *Scyphophorus acupunctatus* in agave fields. *Journal of Applied Entomology*, 101(2), 123-130.
- Myartseva, S. N. (2007). A new species of *Encarsia* Förster (Hymenoptera: Aphelinidae), parasitoid of *Acutaspis agavis* (Townsend & Cockerell) (Homoptera: Diaspididae) from Mexico. *Zoosystematica Rossica*, 16(2), 271–276. <https://doi.org/10.31610/ZSR/2007.16.2.271>
- Parnidi, P., Sunarto, D., & Marjani, M. (2022). Shoot borers beetle pest of coconut (*Oryctes rhinoceros* L.) investment at *Agave* spp. *BIOEDUSCIENCE*, 7(2), 79–84. <https://doi.org/10.22236/j.bes/616282>
- Rodríguez, W. D., Navarrete-Heredia, J., Macías, R. R., Vásquez-Bolaños, M., Briceño-Félix, G., & Jones, R. W. (2020). Abundance of *Scyphophorus acupunctatus* Gyllenhal (Coleoptera: Dryophthoridae) in *Agave tequilana* Weber (Asparagaceae) fields of different age and agronomic management. *Proceedings of the Entomological Society of Washington*, 122(2), 450–463. <https://doi.org/10.4289/0013-8797.122.2.450>
- Ruiz-Montiel, C., García-Coapio, G., Rojas, J., Malo, E., Cruz-López, L., Real, I., & González-Hernández, H. (2008). Aggregation pheromone of the agave weevil, *Scyphophorus acupunctatus*. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 127, 36-43. <https://doi.org/10.1111/j.1570-7458.2008.00703.x>
- Ruiz-Montiel, C., González-Hernández, H., Leyva, J., & Cruz-López, L. (2009). Factors affecting pheromone release by *Scyphophorus acupunctatus* (Coleoptera:

- Curculionidae). *Environmental Entomology*, 38(5), 1430–1436. <https://doi.org/10.1603/022.038.0510>
- Ruiz-Montiel, C., González-Hernández, H., Leyva, J., Llanderal-Cázares, C., Cruz-López, L., & Rojas, J. (2003). Evidence for a male-produced aggregation pheromone in *Scyphophorus acupunctatus* Gyllenhal (Coleoptera: Curculionidae). *Journal of Economic Entomology*, 96(4), 1126-1131. <https://doi.org/10.1093/JEE/96.4.1126>
- Ruiz-Montiel, C., Ramírez-Reyes, M., Domínguez-Reyes, L., Ramón-Domínguez, C., & Ainsa-Zárate, R. (2017). Efecto de la trampa y atrayente sobre *Scyphophorus acupunctatus* en agave. *Southwestern Entomologist*, 42, 511-519. <https://doi.org/10.3958/059.042.0121>
- Ruiz-Montiel, C., Rojas, J., Cruz-López, L., & González-Hernández, H. (2009). Factors affecting pheromone release by *Scyphophorus acupunctatus* (Coleoptera: Curculionidae). *Journal of Economic Entomology*, 38, 1423-1428. <https://doi.org/10.1603/022.038.0510>
- Ruiz-Montiel, C., Ramón-Domínguez, C. I., Domínguez-Reyes, L., Ainsa-Zarate, R., & Mendoza-López, M. R. (2017). Efecto de la Trampa y Atrayente sobre *Scyphophorus acupunctatus*1 en Agave. *Southwestern Entomologist*, 42(1), 237-247.
- SAGARPA. (2011). Superficie cultivada de agave tequilero en México. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA), México.
- Sánchez, M. D. C., Figueroa, R., Campos, A., & Romero, R. (2011). Evaluación del color y de la orientación de trampas adhesivas en la atracción de trips en siembras comerciales de vainita. *Agronomía Tropical*, 61(2), 141-148.
- Salas-Araiza, M. D., Jones, R. W., Montesinos-Silva, G., Salazar-Solís, E., Parra-Negrete, L. A., Martínez-Jaime, O., Ramírez-Malagón, R., & Flores-Mejía, S. (2008). Population dynamics of the agave scale, *Acutaspis agavis* (Hemiptera: Diaspididae), on *Agave tequilana* var. azul (Agavaceae) in Central Mexico. *The Southwestern Entomologist*, 33(4), 289–300. <https://doi.org/10.3958/0147-1724-33.4.289>

Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). (2023). *Anuario estadístico de la producción agrícola*. Gobierno de México. <https://nube.siap.gob.mx/cierreagricola/>

SENASICA-DGSV. 2016. Picudo del agave (*Scyphophorus acupunctatus* Gyllenhal 1838) (Coleoptera. Dryophthoridae). Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria Dirección General de Sanidad Vegetal-Centro Nacional de Referencia Fitosanitaria-Grupo Especialista Fitosanitario. Ficha Técnica. Tecámac, México 13 p.

Terán-Vargas, A. P., Azuara-Domínguez, A., & Vega-Aquino, P. (2012). Biological effectivity of insecticides to control the agave weevil, *Scyphophorus acupunctatus* Gyllenhal (Coleoptera: Curculionidae), in Mexico. *Southwestern Entomologist*, 37(3), 106–112. <https://doi.org/10.3958/059.037.0106>

Capítulo II

Aquino, B. T., C. M. A. Iparraguirre, and V. J. Ruiz. 2007. *Scyphophorus acupunctatus* (=interstitialis) Gyllenhal (Coleoptera: Curculionidae). pest of agave mezcalero: losses and damage in Oaxaca, México. *Revista Científica UDO Agrícola* 7: 175-180.

Aquino, B. T., J. Ruiz Vega, y D. Martínez-Sánchez. 2010. Ecología y biología de *Scyphophorus acupunctatus* Gyllenhal (Coleóptera: Curculionidae), plaga del agave mezcalero en los Valles Centrales de Oaxaca. *Naturaleza y Desarrollo* 8: 59-68.

Arista-Carmona, E., H. González-Hernández, J. L. Rodríguez-De la O, y J. Cibrián-Tovar. 2023. Incidencia, fluctuación poblacional y porcentaje de severidad de *Scyphophorus acupunctatus* en maguey pulquero en el noreste del estado de México. *Rev. Fitotec. Mex.* 46:157-162

Azuara-Domínguez, A., J. Cibrián-Tovar, A. P. Terán-Vargas, F. Tafoya-Rangel, P. Vega-Aquino, and C. A. Blanco. 2012. Trapping *Scyphophorus acupunctatus* (Coleoptera:Curculionidae) with fermented tequila agave, and identification of the attractant volatiles. *Southwest. Entomol.* 37: 341-349.

- Azuara-Domínguez, A., A. P. Terán-Vargas, A. Soto-Sandoval, N. Y. AguilarPaniagua, y L. Martínez-Bolaños. 2014. Evaluación del tipo de trampa, atrayente alimenticio y feromona de agregación en el trampeo del picudo de agave *Scyphophorus acupunctatus* Gyllenhal en Tamaulipas, México. *Entomotropica* 29: 1-8.
- Bailon-Ortiz, A. Z., S. Segura-Ledezma, y P. Figueroa-Castro. 2018. Dinámica poblacional de *Scyphophorus acupunctatus* Gyllenhal, 1838 (Coleoptera: Dryophthoridae) en *Agave angustifolia* Haw en el sur de Oaxaca. *Entomología Mexicana* 7: 246-251.
- Barraza, C. M. 2007. Evaluación del daño por el picudo del agave (*Scyphophorus acupunctatus* Gyllenhal) en agave tequilero (*Agave tequilana* Weber var. Azul) en el valle de Tequila, Jalisco, México. Tesis Profesional, Departamento de Parasitología Agrícola, Universidad Autónoma, Chapingo, México.
- Borrero-Echeverry. F., 2018. Investigación, desarrollo y escalamiento de feromonas de insectos. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (agrosavia)
- Boero, F., E. Zappa, F. Monroy, and M. Mariotti. 2023. Sustainable management of *Scyphophorus acupunctatus* at the Hanbury Botanic Gardens. *BEPLS* 5: 12-29.
- Bravo, M. E. 2003. Sugerencias para el manejo integrado del picudo del maguey mezcalero *Scyphophorus interstitialis* Gyllenhal. INIFAP. Folleto Técnico 4. Santo Domingo Barrio Bajo, Etla, Oaxaca, México.
- Bravo, M. E., V. C. Arredondo, y H. Espinosa. 2005. Efectos de la lluvia, temperatura y dinámica poblacional del picudo del maguey mezcalero *Scyphophorus interstitialis*. *Naturaleza y Desarrollo* 3: 17-24.
- Bravo, M. E., J. Rojas L., H. Espinosa P., y P. López L. 2007. Evaluación de atrayentes para captura de *Scyphophorus interstitialis* Gylh., pp. 10-14. *En Revista Agroproduce*. Fundación Produce, Oaxaca, A.C.
- CRT (Consejo Regulador del Tequila [Tequila Regulatory Council]). 2009. Innovación y desarrollo tecnológico para el crecimiento sustentable de la cadena productiva agave-tequila. Seminario Internacional sobre Indicaciones Geográficas, 5-6 November 2009, Zapopan, Jalisco, Mexico. <http://www.crt.org.mx> Accessed 1 May 2018.
- Cruz-Faustino, J. J., Figueroa-Castro, P., Alcántara-Jiménez, J. A.,

- López-Martínez, V., & Silva-García, F. (2019). Vegetal synergists for trapping the adult of *Scyphophorus acupunctatus* Gyllenhal, in pheromone baited traps, in *Agave angustifolia* Haw., in Morelos, México. *Acta Zoológica Mexicana* (nue
- Espinosa, P. H., M. E. Bravo, L. P. López, y V. C. Arredondo. 2005. El agave mezcalero de Oaxaca: avances de investigación. INIFAP. Libro Técnico 3. México.
- Figueroa-Castro, P. 2009. Fluctuación poblacional y trampeo de *Scyphophorus acupunctatus* Gyllenhal (Coleoptera: Curculionidae) con feromona de agregación en plantaciones de agave tequilero en Jalisco. Tesis de Maestría en Ciencias, Postgrado en Protección Vegetal, Universidad Autónoma Chapingo, Chapingo, México.
- Figueroa-Castro, P., J. F. Solís-Aguilar, H. González-Hernández, R. Rubio-Cortés, E. G. Herrera-Navarro, L. E. Castillo-Márquez, and J. C. Rojas. 2013. Population dynamics of *Scyphophorus acupunctatus* (Coleoptera: Curculionidae) on blue agave. *Fla. Entomol.* 96: 1454-1462.
- Figueroa-Castro, P., V. López-Martínez, A. Hernández-Ruiz, F. Silva-García, and M. Campos-Figueroa. 2016. Determining the best pheromone-baited traps for capturing *Scyphophorus acupunctatus* (Coleoptera: Dryophthoridae) in mezcal agave. *Fla. Entomol.* 99: 790-792.
- Figueroa-Castro, P., González-Hernández, H., Carrillo-Sánchez, J. L., Solís-Aguilar, J. F., del Real-Laborde, J. I., Rubio-Cortés, R., & Rojas, J. C. (2018). Amount and bagging of the bait food affect the captures of *Scyphophorus acupunctatus* (Coleoptera: Curculionidae) by pheromone-baited traps. *Florida Entomologist*, 101(1), 6-11. <https://doi.org/10.1653/024.101.0103>.
- González, H. H., A. J. F. Solís, S. C. Pacheco, M. F. J. Flores, C. R. Rubio, y J. Rojas de León. 2007. Insectos barrenadores del agave tequilero, pp. 39-67. *En* H. González H., J. I. Del Real L., y J. F. Solís A. [eds.], *Manejo de Plagas del Agave Tequilero* Colegio de Postgraduados y Tequila Sauza S.A. de C.V., Zapopan, Jalisco, México.
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística y Geografía. 2009. Prontuario de información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos Xicoténcatl,

- Tamaulipas.http://www3.inegi.org.mx/contenidos/app/mexicocifras/datos_geograficos/28/28043.pdf.
- Martín-Taboada, A., A. Román-Muñoz, and A. R. Díaz-Ruiz. 2019. Updating the distribution of the exotic agave weevil *Scyphophorus acupunctatus* Gyllenhal, 1838 (Coleoptera: Curculionidae) in peninsular Spain. *Anales de Biología* 41: 49-53.
- Rodríguez, W. D., and J. L. Navarrete-Heredia. 2017. Temporal abundance of agave weevil, *Scyphophorus acupunctatus*, and two species of Hololepta in *Agave inaequidens*. *Southwest. Entomol.* 42: 1095-1098.
- Romero, R. F. 2004. Manejo integrado de plagas, las bases, los conceptos y su mercantilización. Universidad Autónoma Chapingo.
- SAGARPA (Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación). 2010. <http://www.sagarpa.org.mx> Accessed 1 May 2018.
- SAGARPA (Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación). 2011. Reporte técnico. Comité estatal de sanidad vegetal de Guanajuato.http://www.cesaveg.org.mx/html/folletos/folletos_08/folleto_agave_08.pdf Accessed 15 November 2011.
- Setliff, G. P, and J. A. Anderson. 2011. First record of the agave snout weevil, *Scyphophorus acupunctatus* Gyllenhal (Coleoptera: Curculionidae: Dryophthorinae), in Puerto Rico. *Insecta Mundi* 152: 1-3.
- Solís-Aguilar, J. F., H. G. Hernández, J. L. Vázquez, A. E. Martínez, F. J. Mendoza, and A. M. Garza. 2001. *Scyphophorus acupunctatus* Gyllenhal, plaga del agave tequilero en Jalisco, México. *Agrociencia* 35: 663-670.
- Terán-Vargas, A., y A. Azuara Domínguez. 2013. El picudo *Scyphophorus acupunctatus* Gyllenhal y su manejo en el agave tequilero (*Agave tequilana* FAC Weber) variedad azul.
- Terán-Vargas, A. P., A. Azuara-Domínguez, P. Vega-Aquino, J. Zambrano-Gutiérrez, and C. Blanco-Montero. 2012. Biological effectivity of insecticides to control the agave weevil, *Scyphophorus acupunctatus* Gyllenhal (Coleoptera: Curculionidae), in Mexico. *Southwest. Entomol.* 37: 47-53.

Capítulo III

- Aquino-Bolaños, T., Sánchez-García, J. A., Ortiz-Hernández, Y. D., Hernández-Cruz, J., & Cortés-Martínez, C. I. (2020). Carrier and vector of *Pectobacterium carotovorum* subsp. *Carotovorum* and its handling through a base of entomopathogenic fungi in *Agave* sp. *Florida Entomologist*, 103:243-246. <https://doi.org/10.1653/024.103.0214>
- Aquino-Bolaños, T., T. A., González-Hernández, H., & Pozo Velázquez, E. (2010). Host plants of the agave weevil *Scyphophorus acupunctatus* (Gyllenhal) (Coleoptera: Curculionidae) in Oaxaca, Mexico. *Southwestern Entomologist*, 35:495-502. <https://doi.org/10.3958/059.039.0115>.
- Azuara-Domínguez, A., Terán-Vargas, A. P., Soto Sandoval, A., Aguilar Paniagua, N. Y., & Martínez Bolaños, L. (2012). Trapping *Scyphophorus acupunctatus* (Coleoptera: Curculionidae) with fermented tequila agave, and identification of the attractant volatiles. *Southwestern Entomologist*, 37: 423-432. <https://doi.org/10.3958/059.037.0310>
- Cruz-Esteban, S., Villa-García, M., Hernández-Ledesma, P., & Alavez-Rosas, D. (2021). Efecto sinérgico de la feromona, volátiles del hospedero y etanol en la atracción de *Scyphophorus acupunctatus* Gyllenhal. *Southwestern Entomologist*, 45:59-68. <https://doi.org/10.3958/059.045.0418>
- El-Shafie, H. A. F., & Faleiro, J. R. (2017). Semiochemicals and their potential use in pest management. *Outlooks on Pest Management*, 28: 15-19. <http://dx.doi.org/10.5772/66463>
- Espinosa-Velázquez, J., Pérez Velázquez, J. L., Joly, L. J., & Romero, Y. (2008). Enemigos naturales del "Picudo del Agave" *Scyphophorus acupunctatus* Gyllenhal (Coleoptera: Curculionidae) en el estado Falcón, Venezuela. *Revista de Entomología de Venezuela*, 23:89-98.
- Figuroa-Castro, P., González-Hernández, H., Carrillo-Sánchez, J. L., Solís-Aguilar, J. F., & Rojas, J. C. (2016). Effect of the height and distribution pattern of pheromone-baited traps on the capture of *Scyphophorus acupunctatus* (Coleoptera: Dryophthoridae) on blue agave. *Florida Entomologist*, 99: 222-227. <https://doi.org/10.1653/024.099.0222>

- Figuerola-Castro, P., González-Hernández, H., Carrillo-Sánchez, J. L., Solís-Aguilar, J. F., & Rojas, J. C. (2017). Food attractants to increase pheromone-baited trap performance for *Scyphophorus acupunctatus* (Coleoptera: Dryophthoridae) in mezcal maguey. *Florida Entomologist*, 100: 135-142. <https://doi.org/10.1653/024.100.0135>
- García-Mendoza, A. J. (2007). Los agaves de México. *Boletín de la Sociedad Botánica de México*, 79: 91-105.
- Gerritsen, Peter R.W., Rosales Adame, Jesús Juan, Moreno Hernández, Arturo, & Martínez Rivera, Luis Manuel. (2011). Agave azul y el desarrollo sustentable en la cuenca baja del río Ayuquila, Costa Sur de Jalisco (1994-2004). *Región y sociedad*, 23: 161-192.
- Gómez, L. A., & Lastra, L. A. (1995). Insectos asociados con la caña de azúcar en Colombia. *Cenicaña. Cali*, 237-258.
- Reddy, G. V., Sharma, A., & Guerrero, A. (2020). Advances in the use of semiochemicals in integrated pest management: pheromones. In *Biopesticides for sustainable agriculture* (pp. 251-282). Burleigh Dodds Science Publishing.
- Ruiz-Montiel, C., García-Coapio, G., Rojas, J. C., Malo, E. A., & González-Hernández, H. (2017). Effect of trap color and attractant on the capture of *Scyphophorus acupunctatus* (Coleoptera: Dryophthoridae) in blue agave plantations. *Southwestern Entomologist*, 42: 101-108. <https://doi.org/10.3958/059.042.0121>
- Ruiz-Montiel, C., González-Hernández, H., Leyva, J., Llanderal-Cázares, C., Cruz-López, L., & Rojas, J. C. (2003). Evidence for a male-produced aggregation pheromone in *Scyphophorus acupunctatus* Gyllenhal (Coleoptera: Curculionidae). *Journal of Economic Entomology*, 96: 1126-1131. <https://doi.org/10.1603/0022-0493-96.4.1126>
- Solís-Aguilar, J. F., González-Hernández, H., Leyva, J., & Rojas, J. C. (2001). *Scyphophorus acupunctatus* Gyllenhal: una plaga importante del agave. *Agrociencia*, 35: 123-130.
- Tinzaara, W., Gold, C. S., Dicke, M., van Huis, A., & Ragama, P. E. (2007). Host plant odours enhance the responses of adult banana weevil to the synthetic aggregation

pheromone Cosmolure. *International Journal of Pest Management*, 53: 127-137.
<https://doi.org/10.1080/09670870701191963>

Valdés-Rodríguez, S., Ramírez-Choza, J. L., Reyes-López, J., & Blanco-Labra, A. (2004). Respuestas del insecto max (*Scyphophorus acupunctatus* Gyllenhal) hacia algunos compuestos atrayentes del henequén. *Acta Zoológica Mexicana*, 20: 159-166

Alejandro Azael
Pedraza Méndez

DINÁMICA POBLACIONAL Y OPTIMIZACIÓN EN EL TRAMPEO DE Scyphophorus
acupunctatus Gyllenhal (Coleoptera: Dryophthoridae) EN Agave tequilana Weber
var. azul EN TAMAULIPAS, MÉXICO

2025