

Uso de modificadores del comportamientos para el control biológico de *Scyphophorus acupunctatus* Gyllenhal en Agave

Matilde Villa, Yuridia Mercado, Miguel Anducho, Jorge Álvarez, Alejandro Téllez

M. Villa, Y. Mecado.M.Anducho, J.Alvarez y A.Tellez
Universidad Politécnica de Pachuca (UPP)
maty_vg@upp.edu.mx

F. Trejo, (eds.). Ciencias Multidisciplinarias. Proceedings-©ECORFAN-México, Pachuca, 2017.

Abstract

The genus *Agave* is undoubtedly a representative of Mexico's identity in the world. Its distribution ranges from the arid and semi-arid zones of North America and Mexico to Colombia and Venezuela. Recently this genus has been classified within the family Asparagaceae, subfamily Agavoidea. Of the eight genera, it has the highest number of species, of which 125 of the 166 are found in Mexico. This crop had not presented significant phytosanitary problems, but currently presents a risk of contracting diseases because it is a monoculture. Pests and diseases have the opportunity to settle on the site and colonize the crop, within the pests that drastically affect the magueyeras areas are suckers and borers.

Among the latter, the agave weevil (*Scyphophorus acupunctatus* Gyllenhal) is one of the main pests of the agave, the damage generated is pine cone boring and the presence of the larvae, besides being a natural vector of bacteria, for example *Erwinia cartovora*. In the last years agave cultivation has presented important phytosanitary problems, in which the control programs apply cultural and agrochemical methods. However, the indiscriminate use of pesticides has led to the emergence of more resistant insect populations, in addition to causing a negative environmental impact. Currently, new alternatives are being sought for pest insect management, among which are the use of semiochemical substances that act in chemical communication between organisms. Among these substances are the aggregation pheromones, which properly intervene in the interaction within the same species, so that the control of pests using semiochemicals has been booming in recent years, with *Agave* being a crop in which this strategy of pest fighting is promising.

Agave, Pheromones, etológico control, *Scyphophorus acupunctatus* Gyllenhal

1 Introducción

El género *Agave* es sin duda un representante de la identidad de México en el mundo, su distribución contempla desde las zonas áridas y semiáridas de Norteamérica y México hasta Colombia y Venezuela. Este cultivo no había presentado problemas fitosanitarios considerables, pero actualmente presenta riesgo de contraer enfermedades por ser un monocultivo. Las plagas y enfermedades tienen la oportunidad de establecerse en el sitio y colonizar al cultivo, dentro de las plagas que afectan drásticamente a las zonas magueyeras se encuentran los chupadores y barrenadores. Entre estos últimos, el picudo del agave (*Scyphophorus acupunctatus* Gyllenhal) es una de las principales plagas, los daños que genera es el barrenamiento y la presencia de las larvas en las piñas, además de ser un vector natural de bacterias por ejemplo de *Erwinia cartovora*.

Ante lo anterior, los últimos años el cultivo de agave ha presentado importantes problemas fitosanitarios, en los cuales los programas de control aplican métodos culturales y agroquímicos. Sin embargo, el uso indiscriminado de plaguicidas ha dado origen a la aparición de poblaciones de insectos más resistentes, además de causar un impacto ambiental negativo. Actualmente se están buscando nuevas alternativas de manejo de insectos plagas entre las que se encuentran el uso de sustancias semioquímicas las cuales actúan en la comunicación química entre organismos. Entre estas sustancias se encuentran las feromonas de agregación, las cuales propiamente intervienen en la interacción dentro de una misma especie, por lo cual el control de plagas usando semioquímicos ha tenido auge los últimos años, siendo el *Agave* un cultivo en el cual esta estrategia de combate de plaga es promisorio.

2. Generalidades del *Agave* en México

El género *Agave* es sin duda un representante de la identidad de México en el mundo, su distribución contempla desde las zonas áridas y semiáridas de Norteamérica y México hasta Colombia y Venezuela (CIATEJ, 2015). Específicamente en México se encuentran el 75 % de las especies que crecen en el continente americano y un 55 % son endémicas (Castro-Díaz & Guerrero-Beltrán, 2013). Recientemente a este género se le ha clasificado dentro de la familia Asparagaceae, sub familia Agavoidea. De los ocho géneros, es el que posee mayor número de especies de las cuales 125 de las 166 se encuentran en México (CIATEJ, 2015).

Entre los estados representativos de la Republica Mexicana en los que se cultiva esta especie se encuentran: Jalisco, Zacatecas, Guanajuato, Oaxaca, Michoacán, Nayarit, Puebla México, Guerrero y Morelos, los cuales en conjunto hasta el 2016 reportaron un volumen de producción nacional de 1.88 millones de toneladas (SIAP, 2016). Cabe destacar que el principal productor de agave es el estado de Jalisco (concentra el 80 % de agaves tequileros) el cual genero en el 2015 un millón 340 mil 811 toneladas con un valor de alrededor de 6 millones de pesos, lo cual demuestra que este cultivo genera una gran derrama económica derivada de su cadena productiva (SEDAGRO, 2016).

En México este genero ha sido aprovechado por diversos pueblos indígenas y mestizos desde hace siglos, desde entonces representa uno de los recursos naturales más importantes desde el punto de vista económico, cultural y social (García-Mendoza, 2013). Estudios etnobotánicos recientes hacen mención de los usos antropocéntricos y de las estructuras morfológicas de la planta para la obtención de diversos productos, entre los que se encuentran: fibras textiles, forrajes, gusanos de maguey, jarabes de agave, bebidas fermentadas (savia de la inflorescencia, jugo de hojas crudas o de piñas cocidas) como el pulque y bebidas destiladas (tequila, mezcal y bacanora) (Colunga-GarcíaMarín & Zizumbo-Villarreal, 2007; Castro-Díaz & Guerrero-Beltrán, 2013; García-Mendoza, 2007; Muñiz-Márquez, Rodríguez-Jasso, Rodríguez-Herrera, Contreras-Esquivel & Aguilar-González, 2013) (tabla 7.1).

Tabla 7.1 Principales usos socioeconómicos del Agave

| Productos | Especie de agave | Referencia bibliografica |
|---------------------------------|---|---|
| Tequila | <i>A. tequilana</i> Weber var. Azul | Bautista <i>et al.</i> , 2001; Narváez y Sánchez, 2009; Castro-Díaz y Guerrero-Beltrán, 2013. |
| Mezcal y Bacanora | <i>A. angustifolia</i> Haw., <i>A. karwinski</i> Zucc., <i>A. marmorata</i> Roezl, <i>A. potatorum</i> Zucc., <i>A. americana</i> L. var. <i>oaxacensis</i> Gentry, <i>A. cupreata</i> Trel. & Berger, <i>A. rhodacantha</i> Trel., <i>A. salmiana</i> Otto ssp. <i>crassispina</i> (Trel.) Gentry, <i>A. wocomahi</i> Gentry, <i>A. durangensis</i> Gentry y <i>A. maximiliana</i> Baker | De León <i>et al.</i> , 2006; Castro-Díaz y Guerrero-Beltrán, 2013; Colunga-GarcíaMarín y Zizumbo-Villarreal, 2007. |
| Gusanos rojo y blanco, forrajes | <i>A. salmiana</i> , <i>A. shawii</i> Engelm., <i>A. atrovirens</i> Karw., <i>A. avellanidens</i> Trel. y <i>A. kerchovei</i> Lem, <i>A. bovicornuta</i> Gentry, <i>A. angustifolia</i> Haw. y <i>A. fourcroydes</i> | Castro-Díaz y Guerrero-Beltrán, 2013; Colunga-García Marín y Zizumbo-Villarreal, 2006. |
| Pulque | <i>A. salmiana</i> Otto ex Salm., <i>A. mapisaga</i> Trel., <i>A. atrovirens</i> Karw. ex Salm. <i>A. ferox</i> Koch, <i>A. hookeri</i> Jacobi, y <i>A. americana</i> L. | Colunga-García Marín y Zizumbo-Villarreal, 2007. |
| Jarave de agave, y miel | <i>A. salmiana</i> , <i>A. Mapisaga</i> , <i>A. Atrovirens</i> , <i>A. Ferox</i> y <i>A. scabra</i> | Narváez y Sánchez, 2009; Alanís y González, 2011; Castro-Díaz y Guerrero-Beltrán, 2013. |

Con respecto a las bebidas destiladas, el tequila es uno de los productos más tradicionales de México y cuenta con la denominación de origen (DOT) controlada, lo que significa que el tequila producido en México, y no en otros lados, tiene derecho a llamarse así. Hasta el 2014 registro una producción total de 242.4 millones de litros de tequila, de los cuales el 71% se destinó a la exportación siendo Estados Unidos el principal consumidor, seguido de Francia, España y Brasil.

La aceptación del tequila ha sido importante que los países asiáticos han abierto sus importaciones en el aumento de la producción y exportación de esta bebida. En el mercado a nivel internacional está presente en más de 120 países posicionándolo como una de las bebidas más reconocidas en el mundo, gracias al esfuerzo y trabajo conjunto realizado entre la cadena productiva Agave-Tequila y el gobierno Mexicano (CIATEJ, 2015). Este producto representa uno de los símbolos de México y ha contribuido a abrir las puertas a otro producto derivado del agave: el Mezcal, el cual se ha hecho lugar en el mercado internacional y ganando popularidad en el mundo. Por otra parte, el pulque, resultado de la fermentación alcohólica del aguamiel tienen una relevancia regional ya que es consumida por poblaciones indígenas y mestizas de muchas regiones del país, esta bebida alcohólica posee características probióticas, la cual fue documentada desde épocas prehispánicas y actualmente se conoce el efecto benéfico de consorcios microbianos sobre el sistema digestivo (Cervantes-Contreras & Pedroza-Rodríguez, 2007).

El pulque como bebida representante del México prehispánico ha disfrutado y sorteado diversas vicisitudes, desde su prohibición en los años veinte, auge económico en el siglo XIX, baja producción en 1953 por falta de mercado, el consumo de otras bebidas alcohólicas (cerveza, vino, tequila o brandy), precios bajos y la escasez de plantaciones han desplazado al pulque perjudicando su presencia, por lo anteriormente descrito se puede decir que este producto no es rentable y es escasamente producido. Por ello es importante fomentar la cultura y el uso racional del agave para su producción en continuo de aguamiel y/ pulque con la finalidad de incrementar su valor comercial y posible escalamiento a nivel industrial (Gonzales, Vega & Hurtado, 2015; Muñiz-Márquez *et al.*, 2013).

La importancia del agave no solo se centra como una planta generadora de bebidas, si no también como una fuente que sintetiza y almacena productos con alto valor agregado como lo son la miel, néctar y fructanos o inulina (García-Cúbelo, López, Bocourt, Collado, Albelo & Núñez, 2015; Godínez-Hernández; Aguirre-Rivera; Juárez-Flores; Ortiz-Pérez & Becerra-Jiménez, 2016). En México estos productos son generados por empresas las cuales han demostrado tener potencial para la producción de fructanos, así como el desarrollo de procesos de producción y comercialización para satisfacer la demanda nacional de azúcares prebióticos, incluso algunas realizar exportaciones a países como Europa, Asia y EUA contribuyendo a la producción y al desarrollo de productos alimenticios funcionales derivados de agaves (Ávila, 2013).

Por otra parte, las larvas del agave, gusano rojo (chinicuil) y blanco es un alimento en la gastronomía tradicional, nutricionalmente posee siete aminoácidos esenciales y un valor energético de 607.9 kcal/100 g (Castro-Díaz & Guerrero-Beltrán, 2013), son muy apreciados y buscados por la población local y por personas ajenas a las zonas. En específico, el precio de los gusanos blancos crudos o vivos dentro de la temporada es de \$600 a \$700 pesos por litro, dependiendo de la disponibilidad, fuera de temporada el precio se eleva hasta los \$1000 ó \$ 1200 pesos. Con respecto al gusano rojo, es considerado como un platillo exótico, su precio en estado fresco es de \$ 500 pesos por kilo en temporada y de \$700 pesos en los meses en los que su producción escasea (Miranda, Quintero & Ramos, 2011). Ambas larvas constituyen una fuente de ingreso económico temporal para las habitantes de las comunidades ubicadas en regiones áridas y semiáridas del centro de México (Mendoza-Mendoza, Gómez-Hernández, Ávila-Ramírez, Hernández-Domínguez & Rodríguez-Marín, 2016).

3. Plaga del agave, *Scyphophorus acupunctatus* Gyllenhal

Sin duda los productos obtenidos del *agave* tienen una importancia cultural y económica y social, sin embargo existe un problemática que afecta de manera directa al cultivo, la presencia de plagas insectiles, malezas y enfermedades, las cuales disminuyen su rentabilidad al afectar la cantidad y calidad de cosecha, además de incrementar los costos de producción derivados de las medidas preventivas y correctivas para controlar dichos problemas (CRT, 2004). Con respecto a las plagas insectiles, la de mayor importancia económica de acuerdo a lo reportado al acuerdo nacional emitido en el diario oficial de la federación es el picudo del agave, *Scyphophorus acupunctatus* Gyllenhal (Figura 7.1), el cual afecta al cultivo (80 %) en todo su proceso de producción.

Los daños principales son el barrenamiento (piña y pencas) ocasionado por las larvas, por otra parte los adultos, además de alimentarse de los tejidos del agave pueden ser un vector natural de hongos y bacterias fitopatógenas, por ejemplo de *Erwinia cartovora*. La relación entre la infestación del insecto con la pudrición por presencia de las bacterias es que en las plantas que presentan síntomas de pudrición del cogollo hay adultos y ocasionalmente larvas de picudos (Solís, 2001; Bravo *et al.*, 2004; Espinosa *et al.*, 2005). Esta plaga es considerada una especialista en sus hábitos alimentario, ya que solo utiliza plantas pertenecientes a la familia de las Asparagaceae y Dracaenaceae las cuales tienen importancia ecológica y ornamental, entre principales cultivos que afecta se encuentran: el henequén, sisal, agaves pulqueros, mezcaleros y tequileros (Rodríguez-Rebollar *et al*, 2012).

Figura 7.1 Picudo del agave (*Scyphophorus acupunctatus* Gyllenhal); larva (a), adulto (b) y daños (c y d)



Fuente: SENACICA

El control de *S. acupunctatus* Gyllenhal con medios químicos no ha sido exitoso debido a que las larvas y adultos se alojan dentro de los tejidos de la planta, y por lo tanto los insecticidas tiene poco o nulo contacto con el producto, los daños y pérdidas que origina esta plaga sobre el cultivo del agave se consideran de importancia (Rodríguez-Rebollar *et al*, 2012).

Se ha reportado que esta plaga hasta el 2013 ha afectado a más de 40 millones de plantas de agave los últimos 15 años y 90 millones de plantas son susceptibles a ser afectadas. Debido a lo anterior, es necesario buscar mejores alternativas de control que puedan ser incluidas dentro de un manejo integrado para este insecto, por ello la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA) ha emitido un acuerdo para establecer la campaña y medidas fitosanitarias que deberán aplicarse para el control y su caso erradicación del picudo del agave, así como disminuir el daño de enfermedades asociadas a dicha plaga, estas acciones requieren de mayor investigación y desarrollo que contribuyan a controlar el problema, o en el mejor de los casos a eliminar estos factores que afectan al cultivo del agave.

De no tomarse acciones necesarias e inmediatas, el cultivo del agave está expuesto a ser afectado considerablemente en zonas regionales y productoras, ocasionando daños o pérdidas como tal del cultivo, así como subsecuentes consecuencias en sus productos, tales como el incremento en los precios de tequila y mezcal, disminución de las exportaciones y la generación de productos de alto valor agregado; de manera regional, la desaparición de bebidas ancestrales y manjares culinarios, Además del impacto ecológico que representaría su disminución o ausencia.

4. Uso de modificadores del comportamiento, feromonas para el control biológico

La aplicación de fungicidas de forma indiscriminada ha dado origen a la aparición de poblaciones de insectos cada vez más resistentes a estos productos, impacto ambiental negativo, afectando a los enemigos naturales, contaminación de los mantos freáticos y el aire (Dietz *et al.*, 1991; Namesny, 2007). Ante lo anterior, es trascendental el uso de una técnica alternativa para disminuir los daños y garantizar la sustentabilidad, seguridad ambiental y calidad de los productos.

El control etológico recientemente está tomando auge, como referente se encuentra su uso en cultivos de Mosca mediterránea de la fruta (*Ceratitis capitata*), Cogollero del maíz (*Spodoptera frugiperda*), Mosca del melón (*Dacus cucurbitae*) Picudo del banana, palma y papaya (*Rhynchophorus palmarum*). Su principio radica en la represión de plagas que aprovechan, de alguna manera, las reacciones de comportamiento de los insectos (Blanco 2004; Cox 2004; Jutsum & Gordon, 1988; Namesny, 2007). El comportamiento se debe a estímulos que se producen como mecanismos de comunicación entre las misma especie. Los mensajes que se envían y reciben pueden ser de orientación, de alarma o atracción sexual. Desde el punto de vista práctico el control etológico incluyen la utilización de atrayentes en trampas y cebos, repelentes, inhibidores de alimentación, feromonas, entre otras sustancias con efectos similares (Cox, 2004; Jutsum & Gordon, 1988; Phillips, 1997).

La feromonas son moléculas orgánicas (acetatos, aldehídos, alcoholes, cetonas, terpenoides, entre otros.) secretadas por un individuo con el fin de provocar un comportamiento determinado en otro individuo de la misma u otra especie, en el cual se produce una reacción respuesta (cambio en el comportamiento) (Blanco, 2004; Namesny, 2007; Pérez, 1997). Son biológicamente activas en cantidades mínimas (por ejemplo 10^{-14} mg), pueden estar formadas por un solo compuesto, pero por lo regular son una mezcla de compuestos con un peso molecular bajo (80 a 300 g mol^{-1}) (Blanco, 2004; Phillips, 1997).

Estos modificadores del comportamiento pueden ser sexuales; es decir que atraen insectos del sexo opuesto, de agregación; las cuales concentran insectos de la misma especie y de señalamiento; indicar caminos o rutas que deben seguir otros individuos; también existen de alarma, que dispersan poblaciones de insectos; atrayentes letales, antiagregación, reconocimiento, espaciamiento, reguladores de desarrollo, etc. (Blanco, 2004; Chiri, 1989, Jutsum & Gordon, 1988; Phillips, 1997).

Tabla 7.2 Comparación entre feromonas e insecticidas

| Factores | Feromona | Insecticida |
|---------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------|
| Toxicidad | No es tóxico para mamíferos y peces | Toxico |
| Efecto sobre enemigos naturales | Ninguna | Sí, plagas secundarias |
| Contaminación | Ninguna | Sí |
| Resistencia o tolerancia | Ninguna | Sí |
| Aplicaciones | 1-2 veces/año | Muchas veces |
| Densidad de población | Menos efectiva en densidades altas | Efectivas en altas densidades |
| Tamaño del área tratada | Mayor efectividad en campos grandes | Efectividad en campos chicos |
| Época de aplicación | Periodo de vuelo | Todo el tiempo |
| Clima | Afectada | Afectada |
| Selectividad | Insectos específicos | Ninguna |

Fuente: Blanco, 2014

Las feromonas son las más estudiadas y utilizadas en un programa de control de plagas, proporcionan ciertas ventajas con respecto al uso de insecticidas (tabla 7.2) entre las que se encuentran su bajo costo, facilidad de manejo y transporte, alta sensibilidad y protección al ambiente (Blanco, 2004; Pérez, 1997). Se usan para el monitoreo de poblaciones endémicas (la distribución, abundancia de las plagas, actividad estacionalidad) y determinar el momento oportuno para aplicar otros métodos de muestreo o de control (Blanco, 2004; Phillips, 1997 & Namesny, 2007).

En la práctica, el uso de este método emplea una estructura para retener insectos (trampa) y un liberador de feromonas (dispositivo) (tabla 7.3), y su éxito está en función del conocimiento del comportamiento del insecto, así como la adecuada elección de dispositivos y las trampas, las cuales deben ser eficaces para la captura, por ello las características físicas (tipo de trampa, color, tamaño), altura a la que son colocadas, número y posición son determinantes. Por otra parte, los dispositivos deben ser diseñados considerando la liberación controlada de sustancia activa en cantidades necesarias considerando los principios farmacéuticos, donde se regula la cantidad y velocidad de liberación de un compuesto.

Tabla 7.3 Estructuras y liberadores de feromonas

| | |
|--------------------|---|
| Trampa | Comerciales: Alada, Delta, Lindgren, Cabo de tubo, Aplicaciones, Nadel, MacPhail y balde. |
| | Caseras: Botellas, galones de plástico y cubetas. |
| Dispositivo | Estructuras laminadas: películas de polímeros adheridas. Tapones: elaborados de corcho o plástico, filtros de algodón Tabletas o cápsulas. Hojuelas. |

Fuente: Blanco, 2014

El uso de feromonas ha tenido exitosas aplicaciones, entre las que se encuentran:

Manejo: Defoliador (*Orgyia pseudotsugata*) del pino Oregon en Norteamérica para su oportuna detección y monitoreo anual del insecto (Manson & Wickman, 1991). **Disminuir daños:** Polillas (*Pthorimaea operculella* y *Tecia solanivora*).

Disminuir costo y uso de químicos: Cultivos de papa en Costa Rica (Rodríguez *et al*, 1991).

Combate: *Pectinophora gossypiella* en cultivos de algodón en Estados Unidos, Pakistan, Egipto y Peru (Carde & Minks, 1995).

Interrupción del apareamiento: *Grapholita molesta*, Busck en arboles de melocoton en la Península del Niágara (Trimble *et al.* 2001), *Planococcus ficus* en Viñedos de California (Walton, Daane, Bentley, Millar, Larsen & Malakar-Kuenen, 2005) y en arboles de pera en Australia (Il'chev, Stelinski, Williams & Gut, 2006).

Captura de masiva: Feromonas de agregación, principalmente en insectos como medio para encontrar su pareja o explorar un hospedero.

Trampeo, Uso en *Dendroctonus* spp., *Ips* spp., *Scolytus* spp., *Metamasius* en caña (uso restringido en Costa Rica), *Cosmopolites sordidus* en banano y *Rhynchophorus palmarum* en palma aceitera (Chinchilla y Oehlschlager 1993).

En México desde hace 15 años se usan feromonas a nivel comercial, se utilizan para el control de plagas hortícolas como el gusano alfiler (*Keiferia lycopersicella*), palomilla espalda de diamante (*Plutella xylostella*) y gusano soldado (*Spodoptera exigua*), en frutales, para el combate de palomilla de la manzana (*Cydia caryana*) y gusano rosado (*Pectinophora gossypiella*) (Namesny, 2007) y en asparagaceae se ha utilizado para el combate y mitigación de *Scyphophorus acupunctatus* Gyllenhal. Los estudios y aplicaciones de feromonas en agave para el combate del picudo han sido fundamentados por investigaciones enfocadas a identificar los principios activos de las plantas, así como el comportamiento y los activos generados por los insectos. Los resultados indican que las asparagaceae generan compuestos atractivos para los picudos los cuales se han identificado como γ -terpineno (atractivo para hembras), α - pineno (para machos), linalol y 3 careno (ambos sexos) en cultivos de henequén (Valdez-Rodríguez *et al.*, 2004).

Por otra parte, investigaciones de Ruiz-Montiel *et al.*, 2008, revelan y han identificado que los machos del picudo del agave genera una feromona de agregación compuesta por al menos dos alcoholes y dos cetonas (2-metil-4-heptanona y la 2-metil-4-octanona) las cuales son atractivas para ambos sexos. En campo se ha demostrado que los compuestos generados por la planta son atractivos a los picudos del agave, las mayores capturas de insectos se obtuvieron cuando se combinaron las dos cetonas. Esto sugiere que los compuestos volátiles de la planta hospedera atraen al insecto o sinergizan la respuesta con la presencia de la feromona (Rodríguez-Rebollar *et al.*, 2012), tal y como describe Jaffé *et al.* (1993) al probar una feromona de agregación para el picudo del cocotero, reportando que es más efectiva con la presencia de volátiles de la planta hospedera, ya que la liberación de feromona de agregación por los curcuionidos ocurre justo cuando se alimentan del sustrato. Ante lo anteriormente descrito, el control de plagas en agave es esencial el uso de feromonas de agregación y una fuente de alimento (piñas troceadas) para hacer mas eficientes las capturas (figura.)

Investigaciones en el 2012, realizadas por Azuara-Domínguez y colaboradores consideraron para el trampeo de *Scyphophorus acupunctatus* Gyllenhal utilizar el tejido de *Agave tequilana* F.A.C. Weber var. azul (piña o cabeza) en estado fermentado y el compuesto sintético 2-metil-4- octanona (feromona) en diferentes combinaciones usando un diseño experimental en bloques completamente al azar y analizar los compuestos volátiles que se generaban durante el proceso usando la técnica de Micro extracción en Fase Solida. Como resultados reportaron que las trampas cebadas con la feromona y cabeza en estado fermentado, capturaron más picudos que los otros tratamientos, además en ellas identificaron los siguientes volátiles: acetato de etilo, etanol, 2-butanol, y ácido acético, estos compuestos liberados por la fermentación son atractivos y producen sinergia en la respuesta del picudo del agave hacia su feromona de agregación. Finalmente el grupo de investigación concluyo que el material fermentado es una alternativa viable para optimizar el trampeo de *S. acupunctatus* en campo.

En el mismo año (2012), las investigaciones se habían centrado en la identificación de compuestos, sin embargo era necesario conocer las proporciones adecuadas en la cual se podía tener un efecto mayoritario en la captura de *S. acupunctatus* Gyllenhal. Ante esta incógnita Rodríguez-Rebollar *et al.* 2012 realizaron experimentos en campo para evaluar el efecto de las proporciones (1:1, 1:2, 1:4, 2:1 y 4:1) y la dosis (50, 100, 150, 200, 350, y 500 mg) de 2-metil-4-heptanona y la 2-metil-4-octanona en la captura de los picudos. Los resultados mostraron que las diferentes proporciones de los dos componentes feromonales no afectaron las capturas de los insectos, pero que las trampas con 2-metil-4-octanona tuvieron mayores capturas que trampas cebadas con la combinación de los dos compuestos. Ante esto, los mismos autores indican que desde el punto de vista práctico, el hecho de que un solo compuesto sea suficiente en la atracción de picudos resulta conveniente, ya que reduce los costos de producción de un cebo comercial. Además también encontraron que la dosis no afectó las capturas de trampas cebadas con la feromona y que las trampas cebadas con los compuestos feromonales sintéticos capturaron más hembras que machos, esto último ya había sido reportado por Ruiz-Montien *et al.* 2008 y García Coapio, 2009, en estudios de *S. acupunctatus*.

Para 2016, Figueroa-Castro y colaboradores centraron su investigación en el estudio del radio de atracción de trampas cebadas con feromona sintética y tejido de agave para la captura de *S. acupunctatus*, mediante la técnica de captura-marcaje-liberación y recaptura, además también evaluaron la distancias entre trampas para el monitoreo de este insecto. Los resultados obtenidos mostraron que las trampas cebadas con feromona sintética y tejido de agave atrajeron a *S. acupunctatus* hasta en un rango de 120 m. Adicionalmente, encontraron que el punto cardinal en donde se liberaron los insectos afectan la recaptura de los picudos y en cuanto a distancia entre trampas, reportaron que las trampas colocadas a las mayores distancias entre sí (100, 200 o 250 m) capturaron más picudos que las trampas colocadas a menores distancias. Finalmente concluyeron que para el monitoreo de *S. acupunctatus* se sugiere usar estas trampas cebadas con feromona sintética y tejido de agave a una densidad de una trampa por cada 6 hectáreas de agave tequilero.

Actualmente, el uso de feromonas aun es muy restringido, incluso en la agricultura mas desarrollada, entre los problemas que enfrentan se encuentran: La calidad y su idoneidad sobre la posible variabilidad de las especies, la adecuación de tipos de trampas, presencia simultánea de varias plagas y la necesidad de realizar planteamiento en grandes superficies. Por lo cual es importante generar información de los requerimientos ecológicos y biológicos de cada especie a combatir, conocer cuál es el efecto de la tasa de liberación del componente sobre la captura, influencia de tipo y color de la trampa, altura a la que se debe colocar y su densidad optima (Rodríguez-Rebollar *et al.* 2012; Huxman *et al.* 1997).

Ante lo anterior el uso de feromonas para el combate de *Scyphophorus acupunctatus* Gyllenhal es prometedor, además tiene oportunidades de investigación sobre el cultivo, el insecto y el medio que lo rodea para un mejor entendimiento con la oportunidad de evitar la disminución o desaparición por plagas de una planta representante de México

Anexos

Tabla 7.4 Principales usos socioeconómicos del Agave

| Productos | Especie de agave | Referencia bibliografica |
|---------------------------------------|---|---|
| Tequila | <i>A. tequilana</i> Weber var. Azul | Bautista <i>et al.</i> , 2001; Narváez y Sánchez, 2009; Castro-Díaz y Guerrero-Beltran, 2013. |
| Mezcal y Bacanora | <i>A. angustifolia</i> Haw., <i>A. karwinski</i> Zucc., <i>A. marmorata</i> Roezl, <i>A. potatorum</i> Zucc., <i>A. americana</i> L. var. <i>oaxacensis</i> Gentry, <i>A. cupreata</i> Trel. & Berger, <i>A. rhodacantha</i> Trel., <i>A. salmiana</i> Otto ssp. <i>crassispina</i> (Trel.) Gentry, <i>A. wocomahi</i> Gentry, <i>A. durangensis</i> Gentry y <i>A. maximiliana</i> Baker | De León <i>et al.</i> , 2006; Castro-Díaz y Guerrero-Beltran, 2013; Colunga-GarcíaMarín y Zizumbo-Villarreal, 2007. |
| Gusanos rojo y blanco, forrajés | <i>A. salmiana</i> , <i>A. shawii</i> Engelm., <i>A. atrovirens</i> Karw., <i>A. avellanidens</i> Trel. y <i>A. kerchovei</i> Lem, <i>A. bovicornuta</i> Gentry, <i>A. angustifolia</i> Haw. y <i>A. fourcroydes</i> | Castro-Díaz y Guerrero-Beltran, 2013; Colunga-GarcíaMarín y Zizumbo-Villarreal, 2007. |
| Pulque | <i>A. salmiana</i> Otto ex Salm., <i>A. mapisaga</i> Trel., <i>A. atrovirens</i> Karw. ex Salm. <i>A. ferox</i> Koch, <i>A. hookeri</i> Jacobi, y <i>A. americana</i> L. | Colunga-GarcíaMarín y Zizumbo-Villarreal, 2007. |
| Jarave de agave, y miel | <i>A. salmiana</i> , <i>A. Mapisaga</i> , <i>A. Atrovirens</i> , <i>A. Ferox</i> y <i>A. scabra</i> | Narváez y Sánchez, 2009; Alanís y González, 2011; Castro-Díaz y Guerrero-Beltran, 2013. |
| Fibras textiles y fuente de saponinas | <i>A. lechuguilla</i> , <i>A. funkiana</i> Koch & Bouché), <i>A. fourcroydes</i> Lem.) y <i>A. sisalana</i> Perrine. | Alanís y González, 2011; Castro-Díaz y Guerrero-Beltran, 2013; Colunga-GarcíaMarín y Zizumbo-Villarreal, 2007. |

Tabla 7.5 Comparación entre feromonas e insecticidas

| Factores | Feromona | Insecticida |
|---------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------|
| Toxicidad | No es tóxico para mamíferos y peces | Toxico |
| Efecto sobre enemigos naturales | Ninguna | Sí, plagas secundarias |
| Contaminación | Ninguna | Sí |
| Resistencia o tolerancia | Ninguna | Sí |
| Aplicaciones | 1-2 veces/año | Muchas veces |
| Densidad de población | Menos efectiva en densidades altas | Efectivas en altas densidades |
| Tamaño del área tratada | Mayor efectividad en campos grandes | Efectividad en campos chicos |
| Época de aplicación | Periodo de vuelo | Todo el tiempo |
| Clima | Afectada | Afectada |
| Selectividad | Insectos específicos | Ninguna |

Fuente: Blanco, 2014

Tabla 3 Estructuras y liberadores de feromonas

| | |
|-------------|---|
| Trampa | Comerciales: Alada, Delta, Lindgren, Cabo de tubo, Aplicaciones, Nadel, MacPhail y balde. |
| | Caseras: Botellas, galones de plástico y cubetas. |
| Dispositivo | Estructuras laminadas: películas de polímeros adheridas. Tapones: elaborados de corcho o plástico, filtros de algodón Tabletas o cápsulas. Hojuelas. |

Fuente: Blanco, 2014

5. Agradecimiento

A la Universidad Politécnica de Pachuca (UPP) y al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT).

6. Conclusiones

El tema combate de plagas con feromonas para el cultivo del agave es una estrategia nueva y prometedora la cual permite el monitoreo de insectos sin causar deterioro en el ambiente ni afectar otras especies, por lo cual su inclusión en programas de manejo integral de plagas es prometedora, además posee diversas oportunidades de investigación entre las que se encuentran; obtener mas información acerca de la biología del picudo, la influencia de las condiciones ambientales sobre su comportamiento y dispersión, lo cual ayudaría al rescate y prevención de plagas en familias Asparagaceae y Dracaenaceae.

7. Referencias

Alanís, G. J. & M. González. (2011). Formas de uso de los magueyes (*Agave* spp.) en Nuevo León, México. *RESPYN*. 5:287-299.

Ávila, F. A. (2013). Prebióticos: Alternativas mexicanas. *Horizonte Sanitario*, 12(1): 4-6.

Azuara-Dominguez, A., Cibrián-Tovar, J., Terán-Vargas, A. P., Tafoya-Rangel, F., Vega-Aquino, P. & Blanco, C. A. (2012). Trapping *Scyphophorus acupunctatus* (Coleoptera: Curculionidae) with Fermented Tequila Agave, and Identificación of the Attractant Volatiles. *Southwestern Entomologist*, 37(3): 340-349.

Bautista, M., L. García, R. Salcedo & Parra, L. A. (2001). Azúcares en agaves (*agave tequilana* weber) cultivados en el estado de Guanajuato. *Acta Universitaria*, 11:33-38.

Blanco, H. (2004). Las feromonas y sus usos en el manejo integrado de plagas. M

Carde, R. T., Minks, A. K. (1995). Control of moth pests by mating disruption: Successes and constraints. *Annual Review of Entomology*, 40: 559-85.

Castro-Díaz, A. S & Guerrero-Beltrán J. A. (2013). El agave y sus productos. *Temas Selectos de Ingeniería de Alimentos*, 7-2: 53-61.

Cervantes-Contreras, M., Pedroza-Rodríguez, A. M. (2007). El pulque: características microbiológicas y contenido alcohólico mediante espectroscopia Raman. *Publicación Científica en Ciencias Biomédicas*, 5(8):101-212

Chiri, A. (1989). Utilización del control etológico. In Andrews, K; Quesada, JR. Eds. Manejo integrado de plagas en la agricultura: estado actual y futuro. Honduras, Escuela Agrícola Panamericana El Zamorano. p. 267-282.

CIATEJ. (2015) Ciencia y Tecnología del Tequila: Avances y perspectivas. 2ª Edición. Cap 2, pag 17.

Colunga-García, Marín, P. & Zizumbo-Villarreal, D. (2007). Tequila and other Agave spirits from West-Central Mexico: current germplasm diversity, conservation and origin. *Biodiversity and Conservation*, 66: 1653-1667.

- Cox, P. D. (2004). Potential for using semiochemical to protect stored products from insect infestation. *Journal of Stored Products Research*, 40:1-25.
- CRT. (2004). Actualización de la base de datos y diagnóstico fitosanitario de *Agave tequilana* Weber var. azul en la denominación de origen tequila. Consultado 01-08-2017 en http://www.crt.org.mx/images/documentos/inventarioa_gave2010b.pdf.
- De León, A. L., González, A. P., Barba, P., Escalante & López, M. G. (2006). Characterization of volatile compounds of mezcal, an ethnic alcoholic beverage obtained from *Agave salmiana*. *Journal of Agricultural, Food Chemistry*, 54:1337-1341.
- Figueroa-Castro, P., Rodríguez-Rebolla, H., Gonzales-Hernandez, H., Solís-Aguilar, J. F. & Del Real-Laborde, J.I. (2016). Attraction range and inter-trap distance of pheromone-baited traps for monitoring *Scyphophorus acupunctatus* (Coleoptera: Dryophthoridae) on blue agave. *Florida Entomologist*, 99(1): 94-100.
- García-Curbelo, Y., G. López, M., Bocourt, R., Collado, Nereyda Albelo, N. & Nuñez, O. (2015). Caracterización estructural de los fructanos de *Agave fourcroydes* (Lem.) con potencialidades como prebiótico. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola*, 49(1): 75-80
- García, M. & Abisaí, J. (2007). Los agaves de México. *Ciencias*, 87: 14-23.
- Godínez-Hernández, C. I., Aguirre-Rivera, J. R., Juárez-Flores, B. I., María D. Ortiz-Pérez, M. D. & Becerra-Jiménez, J. (2016). Extraction and characterization of *Agave salmiana* Otto ex Salm-Dyck fructans, *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*. 22 (1): 60-72.
- González, E. C., Vega, L. N. & Hurtado, P. J. (2015). La ruta del pulque. *Boletín Científico de las ciencias económico administrativas del ICEA*, 3(6).
- Il'ichev, A. L., Stelinski, L. L., Williams, D. G. & Gut, L. J. (2006). Sprayable microencapsulated sex pheromone formulation for mating disruption of oriental fruit moth (Lepidoptera: Tortricidae) in Australian peach and pear orchards. *Journal of Economic Entomology*. 99(6): 2048-54.
- Judson, A. R. & Gordon, R. F. (1989). Insect pheromones in plant protection. New York, US, John Wiley & Sons. P. 369.
- Livier, R. (2016). El agave es un producto prioritario en el agro de Jalisco. Secretaría de Desarrollo Rural. Información obtenida el 10 Agosto de 2017, <https://seder.jalisco.gob.mx/prensa/noticia/1333>.
- Mason, R. R. & Wickman, B. E. (1991). Integrated pest management of the Douglas-fir tussock moth. *Forest Ecology and Management*, 39: 119-130.
- Mendoza-Mendoza, B., Gómez-Hernández, E., Ávila-Ramírez, M. C., Hernández-Domínguez, E. M. & Rodríguez-Marín, M. L. (2016). Biotecnología y Alimentos en Hidalgo: Transitando a la Biotecnología. In Amalgama Arte Editorial S. A. De C. V (Ed.). Aprovechamiento Integral de Maguey (*Agave* spp.) en el Altiplano Hidalguense (pp. 57-71). México.
- México News. 2014. Más Alla del Tequila y El Mezcal, Los derivados del agave están en auge. Información obtenida del: <http://www.mexiconewsnetwork.com/es/gastronomia/agave-mexico/>.

- Miranda, R. G., Quintero S. B. & Ramos R., B. (2011). La recolección de insectos con fines alimenticios en la zona turística de Otumba y Teotihuacán, Estado de México, *Revista de Turismo y Patrimonio Cultural*, 9(1): 81-100.
- Muñiz-Márquez, D. B., Rodríguez-Jasso, Raúl Rodríguez-Herrera R. M., Contreras-Esquivel, J. C. & Aguilar-González, C. N. (2013). Artisanal Production of Aguamiel: Traditional Mexican Beverage, 5(10): 12-19.
- Namesny, A. (2007). Feromonas, modernas herramientas para el control de plagas. *Revista de Horticultura*. 199: 36-41.
- Narváez, J. A. & Sánchez, L. F. (2009). Agaves as a Raw Material: Recent Technologies and Applications. *Recent Patents on Biotechnology*, 3:185-191.
- Perez, M. I. (1997). Principales métodos biotecnológicos empleados en el control de plagas. *Los artropodos y el hombre*, 20: 27-140.
- Phillips, T. (1997). Semiochemical of stored-product Insects: Research and Applications. *Journal of Stored Products*, 33 (1):17-30.
- Rodríguez, C. L., Lépiz, C. S. & Pérez, D. (1991). Efecto de la distancia entre trampas, sobre la captura de las palomillas de la papa (Lep: Gelechiidae). *Manejo Integrado de Plagas*, 20-21: 47-48.
- Ruiz-Montiel, C., G. García-Coapio, J. C. Rojas, E. A. Malo, L. Cruz-López, I. del Real, & H. González-Hernández. 2008. Aggregation pheromone of *Scyphophorus acupunctatus* (Coleoptera: Curculionidae). *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 127: 207-217.
- SEDAGRO, Secretaria de Desarrollo Agropecuario, gobierno del estado de jalisco, autor, livier. rosales, 28/10/16, <https://seder.jalisco.gob.mx/prensa/noticia/1333>).
- SIAP. 2016. Anuario estadístico de la producción agrícola. Información obtenida de: http://infosiap.siap.gob.mx/agricola_siap_gb/ientidad/index.jsp.
- Trimble, R. M., Pree, D. J. & Carter, N. J. 2001. Integrated control of oriental fruit moth (Lepidoptera: Tortricidae) in peach orchards using insecticide and mating disruption. *Journal of Economic Entomology*, 94: 276-285.
- Valdés-Rodríguez, S., Ramírez-Choza, J. L., Reyes-López, J. & Blanco-Labra, A. (2004). Respuesta del insecto max (*Scyphophorus acupunctatus* Gyllenhal (Coleoptera: Curculionidae)) hacia algunos compuestos atrayentes del henequén. *Acta Zoológica Mexicana* (n.s.), 20: 157-166.
- Vaughn M. W., Kent M. D., Walter J. B., Millar, J. G., Larsen, T. E. & Malakar-Kuenen, R. (2006). Pheromone-Based Mating Disruption of *Planococcus ficus* (Hemiptera: Pseudococcidae) in California Vineyards. *Journal of Economic Entomology*, 99 (4): 1280- 1290.