



COLEGIO DE POSTGRADUADOS

INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS AGRÍCOLAS

CAMPUS MONTECILLO

POSTGRADO DE FITOSANIDAD

ENTOMOLOGÍA Y ACAROLOGÍA

**INCIDENCIA DEL PICUDO DEL
AGAVE *Scyphophorus acupunctatus*
Gyllenhal EN CULTIVARES DE
MAGUEY PULQUERO EN EL
NORESTE DEL ESTADO DE
MÉXICO**

ESLY ARISTA CARMONA

T E S I S
PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL
PARA OBTENER EL GRADO DE:

MAESTRA EN CIENCIAS

MONTECILLO, TEXCOCO, ESTADO DE MÉXICO, MÉXICO

2022



COLEGIO DE POSTGRADUADOS

INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS AGRÍCOLAS

La presente tesis titulada: **INCIDENCIA DEL PICUDO DEL AGAVE *Scyphophorus acupunctatus* Gyllenhal EN CULTIVARES DE MAGUEY PULQUERO EN EL NORESTE DEL ESTADO DE MÉXICO**, realizada por la estudiante: **ESLY ARISTA CARMONA**, bajo la dirección del Consejo Particular indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

MAESTRA EN CIENCIAS
FITOSANIDAD
ENTOMOLOGÍA Y ACAROLOGÍA

CONSEJO PARTICULAR

CONSEJERO


DR. HÉCTOR GONZÁLEZ HERNÁNDEZ

ASESOR


DR. JOSÉ LUIS RODRÍGUEZ DE LA O

ASESOR


DR. JUAN CIBRIÁN TOVAR

Montecillo, Texcoco, Estado de México, México, junio de 2022

INCIDENCIA DEL PICUDO DEL AGAVE *Scyphophorus acupunctatus* Gyllenhal EN CULTIVARES DE MAGUEY PULQUERO EN EL NORESTE DEL ESTADO DE MÉXICO

Esly Arista Carmona, M. C.
Colegio de Postgraduados, 2022

RESUMEN

El objetivo de este trabajo fue evaluar la incidencia (IN), fluctuación poblacional (FP) y porcentaje de severidad (SV) de *S. acupunctatus* en tres plantaciones comerciales con diferentes cultivares de maguey pulquero *Agave salmiana* Otto ex Salm-Dyck, en el Noreste del Estado de México. El IN se calculó mediante un muestreo aleatorio simple por cuadrantes; FP se obtuvo a partir de un conteo y sexado quincenal de *S. acupunctatus* y regresión lineal para obtener influencia de Humedad Relativa (HR) y Temperatura (T) sobre FP. Se midió SV con una escala diagramática de severidad y se evaluó con prueba Kruskal Wallis y corrección de Bonferroni. Se realizó una evaluación del sistema agrícola (IP) por plantación y caracterización morfológica y fitoquímica por cultivar (CR), para una correlación de Kendall de posible relación IP y CR sobre SV. La IN de *S. acupunctatus* varió del 2- 49 % en plantas; las tres plantaciones muestran una proporción hembra macho con tendencia a 1.0:1:0 y aunque hay incremento de *S. acupunctatus* en los meses de mayo-junio y octubre-noviembre, no hay significancia sobre la influencia de la HR y T sobre la FP. El grado de SV estuvo relacionado con el cultivar ($p=2.6E-12$). El cultivar Verde tuvo mayor SV en comparación a Manso ($p= 1.5E-7$) y “Carrizo” ($p=8.4E-11$). CR %proteína y % grasa muestran correlación significativa ($p<0.01$) sobre SV. En las plantaciones de maguey pulquero evaluadas es posible encontrar a los adultos durante todo el año con una incidencia de plantas infestadas hasta del 50%. Los cultivares de maguey pulquero se comportan diferente, siendo Verde el cultivar con mayor SV.

Palabras clave: agaves pulqueros, picudo del agave, incidencia, dinámica poblacional, cultivar, severidad.

INCIDENCE OF THE AGAVE WEEVIL *Scyphophorus acupunctatus* Gyllenhal IN MAGUEY PULQUERO CULTIVARS IN NORTHEASTERN MEXICO STATE

Esly Arista Carmona, M. C.
Colegio de Postgraduados, 2022

ABSTRACT

The objective of this work was to evaluate the incidence (IN), population fluctuation (FP) and percentage of severity (SV) of *S. acupunctatus* in commercial plantations with different cultivars of maguey pulquero *Agave salmiana* Otto ex Salm-Dyck, in the Northeast of the State of Mexico. To obtain the IN, a simple random sampling by quadrants was carried out. In each plantation, the FP was obtained from January-November 2021, carrying out a biweekly monitoring of *S. acupunctatus*, by establishing traps with synthetic aggregation pheromone plus food bait and measuring the environmental parameters Relative Humidity (HR) and Temperature (T). The SV was calculated using a diagrammatic scale of severity and the agricultural system was evaluated by calculating an Agroecological Plot Index (IP) and the phytochemical characterization by cultivar (CR). From the data of the biweekly monitoring of the agave weevil, HR and T, a distribution graph was constructed for monitoring of IN and linear regression to determine the influence of environmental factors on the FP of the agave weevil. The influence of IP and CR on SV were analyzed using a Kendall correlation. The Kruskal Wallis test was used to confirm that SV behaves differently by cultivar and multiple comparison of Kruskal Wallis means to evaluate significant differences in SV in different maguey pulquero cultivars. Although in the three plantations there was a trend of increase of *S. acupunctatus* in the months of May-June and October-November, there is no significance on the influence of HR and T on the FP of the agave weevil. The degree of SV was related to the type of CR ($p < 0.05$). The cultivar known as "Green" had a higher SV grade compared to "Manso" and "Carrizo" ($p < 0.01$).

Key words: pulquero agaves, agave weevil, incidence, population dynamics, cultivar, severity.

AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) por la beca otorgada para llevar a cabo el actual proyecto de investigación.

Al Colegio de Posgraduados Campus Montecillo, por el financiamiento, equipo y las instalaciones otorgadas para desarrollo de la investigación.

Al Posgrado de Fitosanidad- Entomología y Acarología por el equipo, instalaciones y transferencia de conocimientos otorgados para el desarrollo de la investigación

A los integrantes de mi consejo particular:

Al Dr. Héctor González Hernández por su apoyo total durante toda la investigación, por su paciencia y su dirección.

Al Dr. José Luis Rodríguez De La O y al Dr. Juan Cibrián Tovar por aceptar ser parte de mi comité, por sus valiosas observaciones y por su paciencia a lo largo de esta investigación.

Al Comité Estatal de Sanidad Vegetal del Estado de México y a sus integrantes Ing. Arturo, Ing. Ludhudi, Ing. Idali, Ing. Enrique e Ing. José, por su apoyo en selección, acompañamiento y préstamo de materiales de parcelas.

A los productores de maguey pulquero Antonio Julián Sacido, Julián Beltrán y Antonio Gutiérrez por permitir el uso de sus parcelas con fines experimentales.

A tod@s l@s Doctores que durante sus cursos apoyaron en mi formación.

Al Dr. Lauro Soto por sus acertadas sugerencias en mi investigación

Al Colectivo Abrojos, por su acompañamiento y sugerencias.

DEDICATORIA

A mis padres Eloin Arista Villafaña y Marina Carmona Castillo por mostrarme que la fuerza y dulzura, nunca están de más y los límites no se encuentran en el género, sino en la mente.

A mi hermana Sarai Arista Carmona por mostrarme el inicio del camino.

A mi sobrina Ethel, por mostrarme la infinidad de preguntas aún sin resolver.

A Edgar I. Méndez Fuentes por acompañarme y hacerme dudar

A mis amigos perennes Laura, David, Diana, Edgar, Alejandro, Ricardo, Gaby e Inocencio.

A mis amigos del COLPOS, por aquellos escenarios de café, lluvia, pláticas... Gerardo, Cristian (sin h), Valeria, Lidia, Pablo, Rubén y Carlos.

A mis compañeros de laboratorio, por ser siempre agradables y accesibles

A mis compañeros del departamento de Fitosanidad, por permitirme aprender desde su conocimiento.

A las infinitas posibilidades y a el nikan ka

CONTENIDO

RESUMEN	iii
ABSTRACT	iv
AGRADECIMIENTOS	v
DEDICATORIA	vi
LISTAS DE CUADROS	ix
LISTA DE CUADROS	¡Error! Marcador no definido.
LISTA DE FIGURAS	x
SIGLAS, ABREVIATURAS O GLOSARIO (si lo tienen)	xii
INTRODUCCIÓN GENERAL	1
REVISIÓN DE LITERATURA	3
CAPÍTULO 1 . EVALUACIÓN AGROECOLÓGICA DE PLANTACIONES DE MAGUEY PULQUERO EN EL NORESTE DEL ESTADO DE MÉXICO	6
1.1 RESUMEN	6
1.2 ABSTRACT	7
1.3 INTRODUCCIÓN	8
1.4 MATERIALES Y MÉTODOS	10
1.5 RESULTADOS Y DISCUSIÓN	15
1.6 CONCLUSIONES	21
CAPÍTULO 2 . CARACTERIZACIÓN MORFOLOGICA Y FITOQUIMICAS DE TRES CULTIVARES DE MAGUEY PULQUERO EN EL NORESTE DEL ESTADO DE MÉXICO	22
2.1 RESUMEN	22
2.2 ABSTRACT	23
2.3 INTRODUCCIÓN	24
2.4 MATERIALES Y MÉTODOS	26
2.5 RESULTADOS Y DISCUSIÓN	29
2.6 CONCLUSIONES	33
CAPÍTULO 3 . INCIDENCIA Y SEVERIDAD DE <i>Scyphophorus acupunctatus</i> EN CULTIVARES DE MAGUEY PULQUERO DEL ESTADO DE MÉXICO	34
3.1 RESUMEN	34
3.2 ABSTRACT	35
3.3 INTRODUCCIÓN	36

3.4 MATERIALES Y MÉTODOS.....	37
3.5 RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	41
3.6 CONCLUSIONES.....	48
CONCLUSIONES GENERALES.....	49
LITERATURA CITADA.....	50

LISTA DE CUADROS

CAPÍTULO 1

Cuadro 1.1 Componentes, indicadores y variables de la entrevista estructurada para la caracterización de tres agroecosistemas de maguey pulquero del Estado de México, contruidos a partir de la metodología propuesta por Sarandón y Flores (2009) y, Palestina et al. (2021).....	16
--	----

CAPITULO 2

Cuadro 2.1 Caracteres morfológicos medidos en tres cultivares de maguey pulquero en el norte del Estado de México. Construidos con la guía de descripción varietal (SNICS, 2014).....	27
Cuadro 2.2. Caracteres morfológicos cualitativos en tres cultivares de maguey pulquero Agave salmiana del noreste del Estado de México.	31
Cuadro 2.3 Caracterización fitoquímica en tres cultivares de maguey pulquero Agave salmiana del noreste del Estado de México	31

CAPÍTULO 3

Cuadro 3.1 Porcentaje de severidad y caracteres fitoquímicos en tres cultivares de maguey pulquero en del noreste del Estado de México.	44
---	----

LISTA DE FIGURAS

CAPÍTULO 1

- Figura 1.1.** Ubicación de parcela “Hacienda Nerea”, Axapusco, Edo. De México (Elaboración propia a partir de INEGI, Compendio de Información Geográfica Municipal, Axapusco, 2010). 10
- Figura 1.2** Ubicación de parcela “Rancho Ahuatepec”, Otumba, Edo. De México (Elaboración propia a partir de INEGI, Compendio de Información Geográfica Municipal, Otumba, 2010). 11
- Figura 1.3** Ubicación de parcela “Ejido Tepetitlán”, Teotihuacán (elaboración propia a partir de INEGI, Compendio de Información Geográfica Municipal, Teotihuacán, 2010). 12
- Figura 1.4** Plantación de maguey pulquero en marco real, Hacienda Nerea, Axapusco, Estado de México. 13
- Figura 1.5** Plantación de maguey pulquero en terrazas, parcela Ahuatepec, Otumba, Estado de México. 13
- Figura 1.6** Plantación de agave pulquero en hileras, Ejido Tepetitlán, Teotihuacán, Estado de México. 13

CAPÍTULO 2

- Figura 2.1** Dendrograma de 67 ejemplares de maguey pulquero, basado en caracteres morfológicos, coeficiente aglomerativo 0.80. 29
- Figura 2.2** Análisis de conglomerados de ejemplares de maguey pulquero en el noreste del Estado de México, los agrupamientos de los cultivares se clasificaron por color Rojo -"Verde", Verde - "Manso"; Azul-"Carrizo", B) Análisis de componente principal. 30

CAPÍTULO 3

- Figura 3.1.** Escala diagramática del porcentaje de severidad en *A. salmiana* construida a partir del propuesto por el CRT (Consejo Regulador de Tequila) (1999), con modificaciones. LI es límite inferior, LM es límite medio y LS corresponde a límite superior. 38
- Figura 3.2** Componentes, indicadores y variables evaluadas para obtención de IPA. 39

Figura 3.3 Incidencia del picudo del agave (A) y número acumulado de picudos del agave capturado en trampas (B), en tres cultivares de maguey pulquero en plantaciones el noreste del Estado de México. Enero-noviembre de 2021.....	41
Figura 3.4 A) Promedio del número de picudos de agave capturados con trampas y B) Promedio de machos y hembras de picudos de agave capturados con trampas. Ejido Tepetitlán, Teotihuacán, 2021.....	42
Figura 3.5 A) Promedio del número de picudos de agave capturados con trampas y B) Promedio de machos y hembras de picudos de agave capturados con trampas. Ejido Rancho Ahuatepec, Otumba, 2021.....	43
Figura 3.6 A) Promedio del número de picudos de agave capturados con trampas y B) Promedio de machos y hembras de picudos del agave capturados con trampas. Hacienda Nerea, Axapusco, 2021.....	43
Figura 3.7 Correlación de Kendall sobre el porcentaje de severidad en cultivares de maguey pulquero causada por el picudo del agave.	45

ABREVIATURAS

Alt altura de planta

Anh Ancho de hoja

CESAVEM Comité Estatal de Sanidad Vegetal del Estado de México

CMFA Campaña Manejo Fitosanitario del Agave

CR caracterización fitoquímica

Dme diámetro menor

Dma Diámetro mayor

FP fluctuación poblacional

HR humedad relativa

HRM humedad relativa media

IN incidencia

IP índice agroecológico

Let Longitud espina

Lgh Longitud de hoja

Noh Número de hijuelos

Rla Relación largo-ancho de hoja

SV porcentaje de severidad

T temperatura

TM temperatura media

INTRODUCCIÓN GENERAL

El género *Agave* que se compone de ocho géneros, tienen amplia distribución en América (Eguiarte *et al.*, 2000), principalmente en zonas áridas y semiáridas (García-Mendoza y Galván, 1995). México cuenta con un alto endemismo de agaves, donde de las 166 especies reconocidas, hay presencia en el país de más del 90% (Colunga-García *et al.* 2007a, García-Mendoza y Galván, 1995). La mayoría de las especies de *Agave* se desarrolla entre 1,000-2,460 msnm, por lo que son altamente tolerantes a condiciones ambientales adversas (Mandujano-Bueno *et al.*, 2018) y están descritas como plantas perennes con amplia diversidad morfológica, colorimétrica y con compuestos que pueden variar (García-Herrera *et al.*, 2010).

El género *Agave* ésta estrechamente relacionado con México, se ha desarrollado con distintos grupos étnicos y cuenta con diversos nombres y usos locales (Mandujano-Bueno *et al.*, 2018), como alimentación humana y animal y la obtención de bebidas destiladas y fermentadas (Santos-Zea *et al.*, 2012). Su cultivo y selección ha respondido a tres criterios generales: bebidas fermentadas y destiladas, fines tanto alimenticio y para el aprovechamiento de fibras (García-Herrera *et al.*, 2010). Recientemente, se ha revalorado el cultivo de agave por sus múltiples usos en distintos sectores. En el área agrícola se ha usado para disminuir erosión y conservación de agua, como biofertilizante, sustrato y alimento para ganado; en el sector alimenticio se ha usado como endulzante, fibra soluble, uso de hojas para comida, escapo comestible y obtención de insectos comestibles; en los cosméticos, se han desarrollado cremas exfoliantes, jabón y shampoo; en el sector industrial se ha usado para la obtención de fibras y biocombustibles (Pérez-Zavala *et al.*, 2020).

Las especies de agaves comúnmente llamadas como “magueyes pulqueros” son conocidas de esta manera, porque son usados para la producción de aguamiel y pulque. Las principales especies usadas son *A. salmiana* Otto ex Salm-Dyck, *A. mapisaga* Trel., *A. atrovirens* Karw. ex Salm-Dyck y *A. americana* L. A nivel nacional, la superficie sembrada de agaves pulqueros en 2018 fue de 8,230 ha. Los estados que han aumentado su superficie sembrada los últimos tres años son: Puebla, de 879 ha a 936 ha; Querétaro, de 89 ha a 259 ha y Veracruz, de 80 ha a 113 ha. Actualmente, los principales estados productores de agaves pulqueros son Hidalgo, Tlaxcala y Estado de México. En el Estado de México, la superficie sembrada de este cultivo es de 1,440 ha (SIAP 2018).

Una de las plagas que atacan al cultivo de agaves son los insectos barrenadores, dentro de los cuales, el picudo del agave *Scyphophorus acupunctatus* Gyllenhal (Coleoptera: Dryophthoridae) es la plaga más severa e importante, al atacar agaves que incluyen al grupo de agaves pulqueros, mezcaleros, agave tequilero y especies ornamentales (Setliff y Anderson, 2011; Romo y Morrone, 2012). Existen zonas donde se puede llegar a encontrar incidencia de *S. acupunctatus* de hasta en el 90% de las plantas. Los reportes de daños varían dependiendo de las especies de agaves; entre 24.5-100% en *A. tequilana*; 46% en *A. angustifolia*, 30% en *A. salmiana* y 50% en *A. fourcroydes* (Cuervo-Parra *et al.*, 2019).

En los agaves pulqueros, el manejo de *S. acupunctatus* aún es deficiente y aunque varios autores citan la presencia del picudo en diferentes especies de agaves (Cuervo-Parra *et al.*, 2019; Kelly y Olsen, 2006; Smith *et al.*, 2012), no se ha generado información con respecto a sus niveles de incidencia y severidad en maguey pulquero; paralelamente, el aprovechamiento de distintas especies y variedades que integran a este grupo, pueden presentar diferentes niveles de severidad debido a variantes morfológicas y de compuestos fitoquímicos.

Nuestro **objetivo principal** fue determinar prevalencia y porcentaje de severidad del picudo del agave en tres cultivares de agave pulquero en la región noreste del Estado de México y nuestros **objetivos particulares** fueron caracterizar parcelas agrícolas de maguey pulquero para identificar puntos críticos en el control del picudo del agave y caracterizar morfológica y fitoquímicamente tres cultivares de maguey pulquero para comparar nivel de severidad del picudo del agave

La **hipótesis** de este trabajo es que el picudo del agave se encuentra presente durante todo el año en cultivares de maguey pulquero del Noreste del Estado de México y puede provocar diferentes niveles de severidad de acuerdo al cultivar de maguey pulquero y al tipo de manejo que se aplica.

Finalmente, **los alcances** de la presente investigación determinará niveles de prevalencia y porcentaje de severidad del picudo del agave en distintos cultivares de agaves pulqueros en la principal área productora del noreste del Estado de México, información que podrá ser de utilidad en las decisiones de manejo de esta plaga por productores de la región y por campañas fitosanitarias estatales.

REVISIÓN DE LITERATURA

Caracterización del agave pulquero

El **uso y aprovechamiento** del maguey pulquero en las culturas mesoamericana data de 10,000 años (Narváez-Suárez *et al.*, 2016). Con la llegada de los españoles a América, hubo una restricción del aprovechamiento de maguey pulquero y posteriormente, después de la Independencia de México, la industria del maguey pulquero floreció y a inicios el siglo XX llegó a su máximo auge en las entidades de Hidalgo, Tlaxcala, Puebla y Estado de México, sin embargo, este crecimiento de la industria del pulque decreció en la década de 1960, por la campaña desacreditadora al consumo de pulque, que buscaba la consolidación de otras bebidas. Actualmente, se ha dado una reivindicación en el consumo del pulque y en el aprovechamiento del maguey pulquero. Por ejemplo, en alimentación de ganado vacuno, producción de inulina y extracción de saponinas (García-Herrera *et al.*, 2010; Narváez-Suárez *et al.*, 2016). Paralelamente, en las entidades de producción de maguey pulquero, como Tlaxcala, Hidalgo y Estado de México, se han empezado a crear leyes para la protección del maguey (Poder Ejecutivo del Estado de México, 2016), que busca un mejor aprovechamiento de éste y un mayor crecimiento económico de la población de productores.

Agroecología. El agave pulquero se distribuye en climas secos BS1 a BS0, a altitudes que varían entre 1,000-2,500 msnm, con un fotoperiodo entre 10.5 y 13.5 h; pueden tolerar temperaturas extremas de -15°C hasta 35°C, por lo que es una opción para regiones semiáridas. Los agaves prefieren suelos de textura medias con buen drenaje y un pH entre 6-8 (Ruiz Corral *et al.*, 2013). Generalmente, el material vegetal de propagación de maguey pulquero son hijuelos con una altura uniforme de 35 cm (Castillo y Cano, 2006).

Caracterización morfológica y bioquímica reportada. Las especies de agaves aprovechadas para obtención del pulque son: *A. salmiana* Otto ex Salm-Dyck, *A. mapisaga* Trel., *A. atrovirens* Karw. Ex Salm-Dyck y *A. americana* L. (Alfaro-Rojas *et al.*, 2007), de las cuales, su característica principal es que son usados para la extracción de la sabia, llamada aguamiel. En los agaves, debido a la poca o nula autopolinización la endogamia es baja por lo que rápidamente hay una diferenciación genética y morfológica entre poblaciones e inician procesos de especiación (Eguiarte *et al.*, 2000) dicho proceso es incentivado por la selección humana; para el caso de los

agaves pulqueros, esta situación genera distintos cultivares, ubicados en regiones específicas; por ejemplo, Figueredo *et al.* (2020) reporta 19 cultivares de maguey pulquero en Hidalgo, Trejo *et al.* (2020) reporta 9 cultivares en Tlaxcala y Alfaro-Rojas *et al.* (2007) contabiliza 6 cultivares de maguey pulquero, los cuales aunque pueden llegar a ser conocidos de la misma manera, no necesariamente son los mismos cultivares.

Plagas y enfermedades. Las plagas en el género *Agave* incluyen a las gallinas ciegas de los géneros *Phyllophaga* y *Cyclocephala*, causantes de daño en raíz; gusano blanco del maguey *Aegiale hesperiaris* que genera daños en la penca y el picudo del agave *Scyphophorus acupunctatus* que barrena la bola y base de pencas de las plantas (Solis-Aguilar *et al.*, 2001, González-Hernández *et al.*, 2007, Nieto Aquino *et al.*, 2016, Jaimes-Rodríguez *et al.*, 2019). Además, en agaves puede haber presencia de fitopatógenos como la bacteria *Erwinia* y complejo de hongos *Fusarium*, que principalmente generan daño en raíces o el cogollo de agaves (Kelly y Olsen, 2006).

Picudo del agave

El picudo del agave *Scyphophorus acupunctatus* Gyllenhal (Coleóptera: Dryophthoridae) es la plaga más severa e importante en especies ornamentales y cultivadas del género *Agave*. Se ha observado que el picudo del agave no requiere hibernar, por lo cual se puede encontrar en cualquier época del año (Setliff & Anderson, 2011). *Scyphophorus acupunctatus* es originario del continente americano, que incluye el suroeste de Estados Unidos, norte de México y Centroamérica (CABI, 2022). Actualmente, está distribuido en todo el mundo, se ha reportado en Asia en Arabia Saudita e Indonesia, en África en Kenia, Sudáfrica y Tanzania; en Europa en España, Francia, Grecia, Italia y Holanda, y en Oceanía en Australia (Molina, 2013). Chamorro *et al.*, (2016), mencionan que la identificación del picudo del agave es relativamente fácil, ya que solo existen dos especies, *S. acupunctatus* y *S. yuccae*, esta última se encuentra geográficamente más restringida.

Ciclo de vida y descripción. El ciclo de huevo a adulto de *S. acupunctatus* es de 133-137 días, lo cual varía por la interacción del medio ambiente y factores nutricionales (Terán-Vargas y Azuara-Domínguez, 2013; Rodríguez-Rebollar, 2011).

El huevo es ovoide, de color blanco, que conforme va acercándose a concluir la incubación se torna ligeramente de color amarillo. El periodo de incubación varía de 3-7 días. La duración del estado larvario también puede variar de acuerdo al hospedero donde se desarrolle. En el maguey pulquero *A. atrovirens*, el ciclo larvario tiene una duración de 58 días; en el henequén *A. fourcroydes* requiere de 108 días. Las larvas al completar su desarrollo miden 18 mm; la pupa tiene una duración entre 12 y 14 días y es posible identificar paquetes alares, patas y rostrum (Rodríguez-Rebollar, 2011; Terán-Vargas y Azuara-Domínguez, 2013).

Daños. En *A. tequilana* los daños por *S. acupunctatus* pueden ser entre 24.5-100%; 46 % en *A. angustifolia*; 30% en *A. salmiana* y 50% en *A. fourcroydes* (Cuervo-Parra et al., 2019). Los daños directos son causados por la larva, que barrena la base de hojas y piñas; mientras que los adultos pueden ser transmisores de bacterias y hongos fitopatógenos, ya que se han aislado de la superficie del cuerpo de adultos de este picudo, bacterias como *Erwinia carotovora*, *Pseudomonas* sp. y los hongos *Aspergillus niger*, *Kluyveromyces marxianus* y *Pichia amethionina* (Terán-Vargas y Azuara-Domínguez, 2013; Molina, 2013). En pudrición de agaves se ha observado que *S. acupunctatus* se beneficia de la actividad microbiana para hacer más digerible los tejidos vegetales (Solís-Aguilar et al., 2001)

Control y monitoreo. La actividad de los insectos se ven afectadas por los factores ambientales y la tasa de liberación de compuestos químicos emitidos por plantas hospederas, en insectos pertenecientes a la familia de los Coleópteros se ha encontrado que la mayoría de feromonas es producida por los machos y usualmente genera atracción a ambos sexos (Giuliano A.B. et al., 2009), este tipo de feromonas son conocidas como feromonas de agregación y debido a su aptitud de ser atractivas a ambos sexos, se pueden usar en el monitoreo y control, mediante el uso de trampas de captura de insectos (Barrera J.F., 2006). Técnicas para monitoreo y control de *S. acupunctatus* que usan feromonas de agregación son “atraer y matar” y “trampeo masivo”; donde *S. acupunctatus* es capturado a partir de la asociación de un atrayente de agregación y uno alimenticio y, un sistema de captura y retención (trampa e insecticida) (Piñero y Montiel, 2019).

CAPÍTULO 1 . EVALUACIÓN AGROECOLÓGICA DE PLANTACIONES DE MAGUEY PULQUERO EN EL NORESTE DEL ESTADO DE MÉXICO

1.1 RESUMEN

El maguey pulquero es un cultivo tradicional, por lo que su manejo agrícola cuenta con diversas variables y componentes. Recientemente, el agave se ha usado para obtención de productos industriales, bioenergéticos y nutraceuticos de alto valor económico, lo que ha conllevado a un incremento en la superficie sembrada en varias regiones de México; tal es el caso del Estado de México, que ha aumentado la producción de maguey pulquero y con ello ha implementado campañas de sanidad vegetal y leyes para la protección del maguey. Pese a ello, se hace complejo el manejo debido a la amplia diversidad de cultivares y actividades agrícolas. Esta investigación se desarrolló de enero-noviembre 2021, el objetivo fue caracterizar tres agroecosistemas de maguey pulquero en los municipios de Teotihuacán, Otumba y Axapusco, Estado de México, mediante una evaluación de componentes y la construcción de un Índice de Parcela Agroecológico. Los componentes evaluados fueron, social, económico, agrícola y ecológico. A cada componente se le asignó un valor porcentual y se agregaron indicadores y variables. Los resultados se analizaron con gráficos de radar y mediante IDI. La principal diferencia entre los agroecosistemas de maguey pulquero fue el nivel de tecnificación y el manejo agronómico aplicado, así como la vinculación entre productores con las instituciones municipales y estatales, que fue muy similares en todas las parcelas

Palabras clave: Maguey pulquero, agro ecosistema, manejo agrícola, componentes agroecológicos

1.2 ABSTRACT

The maguey pulquero is a traditional crop with agricultural management that has several variables and components. Recently this crop has been used to obtain industrial, bioenergetic and pharmaceutical products of high economic value, which has led to an increase in the area sown in several states of Mexico. Such is the case of the Estado de Mexico, which has increased the production of maguey pulquero and thereby implemented plant health campaigns and laws for the protection of maguey. Despite this, management is complicated due to the wide diversity of biotypes and the use of agricultural management. This research aimed to characterize three maguey pulquero agroecosystems through the social, economic, agricultural and ecological components, in the municipalities of Teotihuacan, Otumba and Axapusco, Estado de Mexico, and was developed from January to October 2021. Each component was assigned a percentage value and indicators were added; for each indicator, variables were assigned to be evaluated. The results were weighted at a value of 1-5 and analyzed with a radar type charts. The main difference between agroecosystems is the level of technification and the agronomic management applied, and the link between producers and with municipal and state institutions were similar in all plots.

Keywords: Maguey pulquero, agroecosystem, agricultural management, agroecological components.

1.3 INTRODUCCIÓN

Un agroecosistema se define como la modificación por el ser humano a un ecosistema realizada con la finalidad de obtener distintos beneficios para la población. Los agroecosistemas están integrados por diversos componentes, donde la eficiencia de estos contribuye a tener sistemas más resilientes. El análisis de los componentes sociales, biológicos y geográficos, pueden ayudar a definir y proponer metodologías para tener sistemas agrícolas más sostenibles (León-Sicard *et al.*, 2018; Lescourret *et al.*, 2015). Para realizar una evaluación, es necesario definir indicadores de acuerdo al objeto de investigación (Sarandón y Flores, 2009). Debido a las múltiples dimensiones que pueden abarcar estos tipos de análisis, una opción para la visualización de los datos multidimensionales, es el uso de gráficos de radar, que permite comparar y explorar los componentes de sistemas agrícolas tradicionales y de reciente expansión (Porter y Nikslar, 2018).

El uso y aprovechamiento del maguey pulquero en las culturas mesoamericana data de 10,000 años (Narváez-Suárez *et al.*, 2016). La industria del maguey pulquero a inicios del siglo XX, floreció y llegó a su máximo auge en las entidades de Hidalgo, Tlaxcala, Puebla y Estado de México; y aunque este crecimiento de la industria del pulque decreció en la década de 1960, en distintas regiones se conservó su cultivo (Álvarez-Ríos *et al.*, 2020a).

Actualmente, se ha dado una reivindicación y expansión en el consumo del pulque y en el aprovechamiento del maguey pulquero por ser una especie vegetal con múltiples usos. Ejemplo de éstos, son en alimentación de ganado vacuno, producción de inulina, extracción de saponinas, aprovechamiento en la conservación de suelos, gastronomía tradicional, en la industria textil y en diversos sectores industriales, tales como bioenergéticos, endulzantes y farmacéuticos (Colunga-García *et al.*, 2007b; García-Herrera *et al.*, 2010; Narváez-Suárez *et al.*, 2016; Mandujano-Bueno *et al.*, 2018; Ramírez-Higuera, 2010;). En 2018, la superficie nacional sembrada de agaves pulqueros fue de 8,230 ha. Las principales entidades productoras de agaves pulqueros son: Hidalgo, Tlaxcala y Estado de México y, en los últimos tres años, Puebla, Guanajuato y Querétaro, han aumentado su superficie sembrada (SIACOP, 2018).

Paralelamente, en entidades de producción de maguey pulquero, como Tlaxcala, Hidalgo y Estado de México, se han empezado a crear leyes para la protección del maguey (Poder Ejecutivo del Estado de México, 2016), que buscan un mejor aprovechamiento de éste y un mayor

crecimiento económico de la población de productores. Por otro lado, el manejo de plagas y enfermedades, aunado al robo de plantas, aún son puntos críticos en el cultivo del maguey pulquero.

Por lo anterior, esta investigación tuvo como objetivo evaluar la eficiencia de tres sistemas agrícolas en cultivares de maguey pulquero, mediante el análisis de los componentes social, económico, agrícola y ambiental, con la finalidad de ver puntos críticos en los agroecosistemas de maguey pulquero.

1.4 MATERIALES Y MÉTODOS

El presente trabajo se desarrolló en tres plantaciones de maguey pulquero, de los municipios de Otumba, Teotihuacán y Axapusco, Estado de México.

Parcela 1. “Hacienda Nerea”. La Hacienda Rancho Nerea se encuentra ubicada en el municipio de Axapusco, Estado de México (98°41′15.2”W, 19°43′251.6”N, 2495 msnm). Su clima es templado subhúmedo con lluvias en verano y precipitación anual de 500-700 mm, con rango de temperatura entre 12-16 °C (INEGI, 2010^a). Esta plantación cuenta con 140 ha sembradas de maguey pulquero, los cultivares que se hallan son “ayoteco”, verde”, “manso”, carrizo”, “mexicano” y “xilomen” (Fig. 1.1).

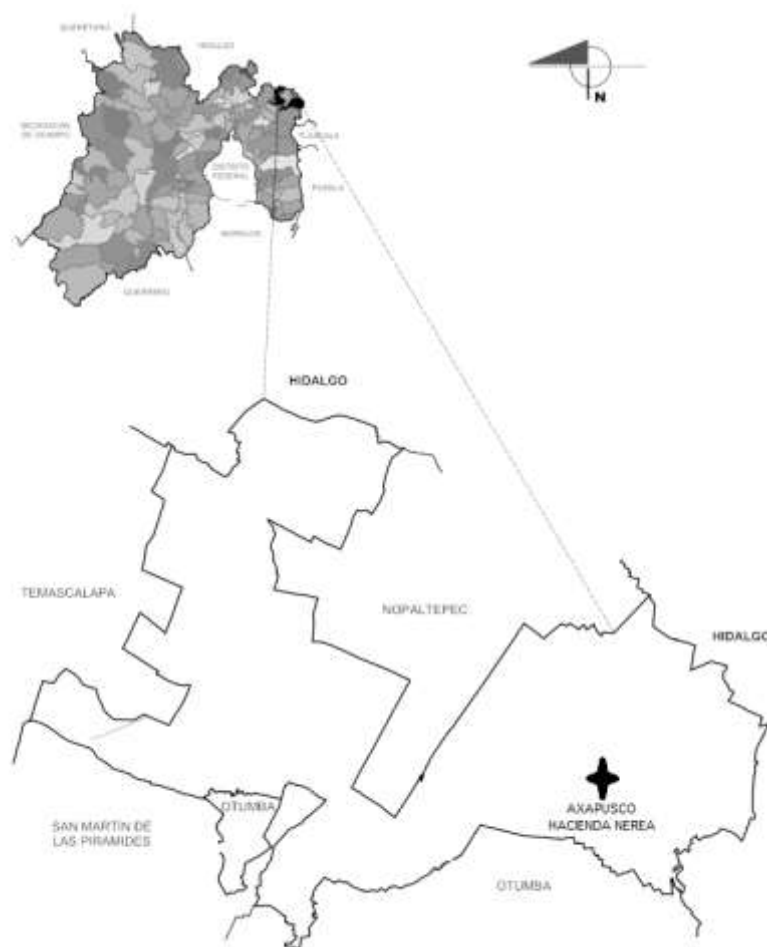


Figura 1.1. Ubicación de parcela “Hacienda Nerea”, Axapusco, Edo. De México (Elaboración propia a partir de INEGI, Compendio de Información Geográfica Municipal, Axapusco, 2010).

Parcela 2. “Rancho Ahuatepec”. La parcela se encuentra ubicada en el municipio de Otumba, Edo. México ($98^{\circ}43'34''W$, $19^{\circ}40'12.3''N$, 2468 msnm); su clima es templado subhúmedo con lluvias en verano, precipitación anual 500-700 mm y rango de temperatura 12-16 °C (INEGI 2010b). Esta plantación cuenta con 7 ha sembradas de maguey pulquero cultivar “manso”, “verde”, “carrizo” y “ayoteco” (Fig.1.2).

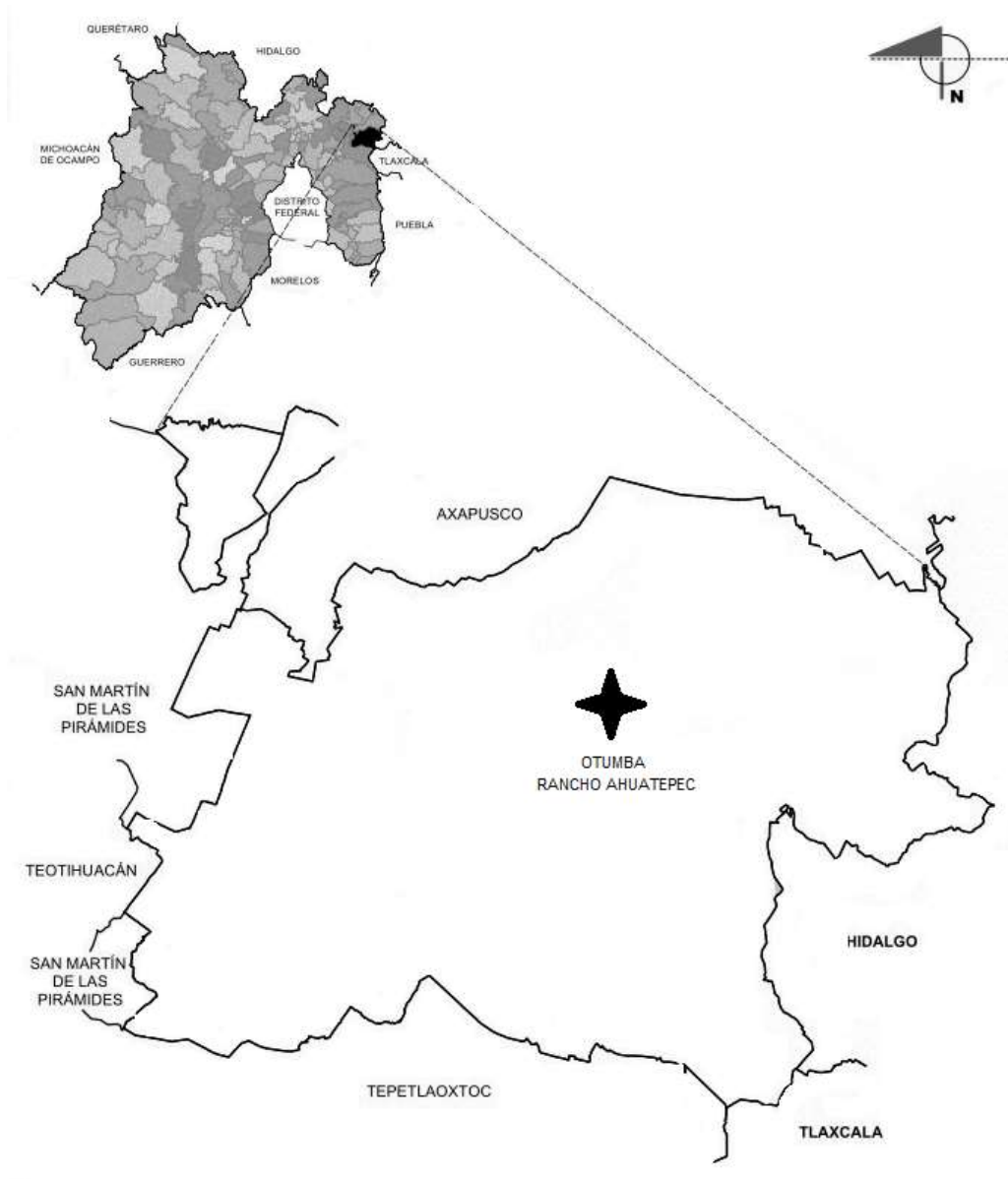


Figura 1.2 Ubicación de parcela “Rancho Ahuatepec”, Otumba, Edo. De México (Elaboración propia a partir de INEGI, Compendio de Información Geográfica Municipal, Otumba, 2010).

Parcela 3. “Ejido Tepetitlán”. La parcela se encuentra ubicada en el municipio de Teotihuacán, Edo. México ($98^{\circ}48'59.8''W$, $19^{\circ}39'21.8''N$, 2324 msnm), con clima templado subhúmedo con lluvias en verano y precipitación anual 500-700 mm y rango de temperatura 12-16 °C (INEGI 2010c) (fig. 1.3) La parcela cuenta con 1 h sembrada de maguey pulquero, los cultivares presentes son “manso”, “carrizo” y “verde”.



Figura 1.3 Ubicación de parcela “Ejido Tepetitlán”, Teotihuacán (elaboración propia a partir de INEGI, Compendio de Información Geográfica Municipal, Teotihuacán, 2010).

La selección de las parcelas se realizó con el apoyo de técnicos de la Campaña Manejo Fitosanitario del Agave del Comité Estatal de Sanidad Vegetal del Estado de México (CESAVEM). Los criterios para seleccionarlos fueron los siguientes: parcela con cultivo principal de maguey pulquero, presencia de distintas variedades de maguey pulquero y manejo agrícola con tecnificación alta, media o baja.



Figura 1.4 Plantación de maguey pulquero en marco real, Hacienda Nerea, Axapusco, Estado de México.



Figura 1.5 Plantación de maguey pulquero en terrazas, parcela Ahuatepec, Otumba, Estado de México.
1.6 Plantación de agave pulquero en hileras, Ejido Tepetitlán, Teotihuacán, Estado de México.

A los productores de cada una de las tres parcelas de agave pulquero estudiadas, se les aplicó una entrevista semiestructurada (Geilfus, 2002) y posteriormente, se elaboró un registro del manejo agrícola por parcela, siguiendo la metodología propuesta por Sarandón y Flores (2009) y Palestina-González *et al.* (2021), para definir los componentes base y se asignó un valor porcentual a cada componente de la manera siguiente: social (15%), económico (35%), agrícola (40%) y ecológico (10%), posteriormente, se agregaron indicadores a cada componente y para cada uno de éstos se asignaron variables (Cuadro 1). Con los valores obtenidos, se construyó a partir de la metodología propuesta por Sarandón y Flores (2009) y Palestina-González *et al.* (2021) con algunas modificaciones, un Índice de Parcela Agrícola (IPA). El cálculo del IPA se realizó mediante la fórmula siguiente:

$$IPA_{Pi} = \frac{0.15(\sum S_{Pi}) + 0.35(\sum E_{Pi}) + 0.40(\sum A_{Pi}) + 0.10(\sum C_{Pi})}{100}$$

Donde P_i , es la parcela evaluada; S , es el componente social; E es el componente económico; A es el componente agrícola y C es el componente ecológico. Los resultados se ponderaron en un valor de 1-5. Valores cercanos a 1, denotan deficiencia en el componente evaluado, parcelas con valores cercanos a 5, muestran tendencia a parcela ideal, con buen manejo. Para visualizar los indicadores, se usaron gráficos tipo radar (Porter y Niksiar, 2018).

1.5 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Parcela 1. “Hacienda Nerea”. El sistema agrícola manejado en esta plantación de agave pulquero es clasificado como **tecnificado**, no obstante que no aplica fertilización, cuenta con un diseño de siembra en marco real de 4x4 m, labores agrícolas, edades uniformes de cultivar por parcela, manejo de plagas y manejo de residuos de agroquímicos. La plantación está dividida por parcelas, en cada una de ellas se tiene un solo cultivar con ejemplares en un rango de edad entre 5-7 años. Aunque la plantación cuenta con varios cultivares de agave pulquero. La separación entre parcelas está dada por calles de 3 m de ancho (Figura 1.4). Periódicamente se realizan labores de deshierbe, poda de mantenimiento y saneamiento en la plantación. El material vegetal colectado es llevado a un área de residuos vegetales. El manejo de plagas está centralizado en picudo del agave, el cual se ha controlado con eliminación en campo de plantas de agave fuertemente infestadas y trapeo masivo (trampas con feromona de agregación sintética y tejido de agave), donde las trampas son revisadas quincenalmente. En el seguimiento del manejo del picudo del agave, para tener plantas con bajos niveles de infestación del picudo, hay colaboración con la Campaña Manejo Fitosanitario del Agave (CMFA) del Comité Estatal de Sanidad Vegetal del Estado de México (CESAVEM), que ofrece apoyo técnico y proporciona la feromonas de agregación sintética usadas para el trapeo. Las parcelas se encuentran limpias de envases de agroquímicos y material orgánico proveniente de podas. Además, cuenta con trabajadores permanentes, encargados de la revisión del trapeo y labores agrícolas como siembra, poda, deshierbe y deshije del maguey. La diversidad de cultivares de maguey pulquero es alta, haciendo mención de parcelas sembradas con los cultivares: “ayoteco”, verde”, “manso”, carrizo”, “mexicano” y “xilomen”, la diversidad de otras especies vegetales perennes es nula.

Hay vinculación con la instancia municipal, productores de la zona, técnicos de campo y académicos. Su IPA de 0.87, fue el mayor de las parcelas evaluadas del presente estudio.

Cuadro 1.1 Componentes, indicadores y variables de la entrevista estructurada para la caracterización de tres agroecosistemas de maguey pulquero del Estado de México, construidos a partir de la metodología propuesta por Sarandón y Flores (2009) y, Palestina et al. (2021).

COMPONENTE	INDICADOR	VARIABLE
SOCIAL	Vinculación entre productores	<ol style="list-style-type: none"> 1. Intercambio de información entre productores 2. Pertenencia a alguna Asociación 3. Participación dentro de alguna Asociación
	Vinculación municipal	<ol style="list-style-type: none"> 1. Intercambio de información entre autoridades municipales 2. Apoyos municipales
	Vinculación estatal	<ol style="list-style-type: none"> 1. Apoyo técnico 2. Seguimiento del trampeo 3. Seguimiento de recomendaciones 4. Certificación de plantación 5. Apoyos estatales
ECONÓMICO	Producción	<ol style="list-style-type: none"> 1. Productos aprovechados 2. Permanencia de productos en el año
	Mantenimiento de parcela	<ol style="list-style-type: none"> 1. Número de Jornaleros 2. Periodicidad de los jornaleros 3. Número de labores agrícolas que se realizan 4. Delimitación de la finca

COMPONENTE	INDICADOR	VARIABLE
AGRÍCOLA	Labores agrícolas	1. Realización de labores agrícolas recomendadas 2. Labores agrícolas adicionales
	Manejo de plantas	1. Planificación de siembra 2. Fertilización 3. Riego de auxilio
	Manejo de plagas y enfermedades	1. Acciones preventivas 2. Acciones de control 3. Capacitación
	ECOLÓGICO	Especies vegetales
Especies de insectos		1. Presencia de insectos benéficos 2. Diversidad de insectos
Otras especies		1. Diversas de especies con algún uso definido
Manejo de residuos		1. Eliminación apropiada de residuos de agroquímicos 2. Eliminación apropiada de residuos vegetales 3. Eliminación de residuos inorgánicos

CONTINUACIÓN CUADRO 1.1

Parcela 2. “Rancho Ahuatepec”. El sistema agrícola que maneja la parcela es clasificado como **semitécnificado**. No se aplica riego de auxilio, como la mayoría de los agaves de importancia económica y su diseño de siembra es por terrazas. La distancia entre plantas es de

2x4 m. Cada terraza se encuentra separada por una calle de 2 m de ancho y en cada una se encuentran 3 hileras de maguey pulquero; hay secciones con cultivares con distintas edades, aunque en su mayoría se encuentran plantaciones entre 4 a 6 años de edad (Figura 1.5). Los labores agrícolas que se realizan durante el año es siembra, deshije y poda de saneamiento, para no bloquear caminos y veredas de paso, los restos del material vegetal de la práctica de saneamiento es dejado entre las hileras de maguey pulquero para su desintegración. El manejo de plagas está enfocado al picudo del agave, aunque hay presencia de otros insectos plaga y enfermedades como *Peltophorus polymitus* Beheman, y *Alternaria alternata* previamente identificada por el CESAVEM. El asesoramiento técnico es proporcionado por la CMFA del CESAVEM, además de la Asociación de Productores de maguey de Otumba, donde obtienen capacitación de técnicos y apoyos en especie, proporcionados por el gobierno y el municipio. En el presente estudio, el seguimiento del manejo del picudo se realizó con el trampeo propuesto por la CMFA y los encargados de la plantación realizaron la eliminación parcial de plantas con alta infestación de picudo, ya que aunque se deshacen los ejemplares altamente infestados, los residuos vegetales se dejan en la parcela, lo que sigue siendo foco de infestación de picudo del agave. Para esta actividad y resiembra de plantas se hace uso de un jornal. Dentro de la parcela es posible encontrar los cultivares de maguey pulquero “verde”, “ayoteco”, “carrizo” y “manso”. El muestreo de plantas infestadas con picudo del agave, permitió detectar insectos benéficos asociados a esta plaga como *Hololepta* spp., también hay presencia de otras especies vegetales perennes como pirúl (*Schinus molle* L.) y nopal (*Opuntia* spp), y especies anuales como maíz (*Zea mays* L.), calabaza (*Cucurbita máxima*) y haba (*Vicia faba* L.). Dentro de la parcela no se observan residuos de envases de agroquímicos. El IPA que se calculó fue 0.78.

Parcela 3. “Ejido Tepetitlán”. El sistema agrícola que maneja esta parcela de agave pulquero es clasificado como **baja tecnificación**. En esta parcela, su diseño de siembra es por hilera, con una distancia entre plantas de 4x4 m. Los cultivares presentes son “manso”, “verde” y “carrizo”. El trasplante de nuevas plantas se basa en ocupar espacios vacíos de plantas muertas, por lo que entre hileras es posible encontrar distintas edades entre los 2-7 años. Los labores agrícolas que se realizan durante el año son el deshije y esporádicamente deshije (Figura 1.6). El manejo de plagas está enfocado a picudo del agave. El asesoramiento técnico es proporcionado por CMFA y hay una vinculación activa con la Asociación de Productores de maguey pulquero de Belén. El seguimiento del manejo del picudo se realiza con trampeo masivo (trampas con feromona

de agregación sintética más tejido de agave) propuesto por la CMFA del CESAVEM. A pesar del acompañamiento de la CMFA en el trapeo, en este predio no hay control cultural o eliminación de plantas infestadas con picudo. En esta parcela se encontraron presentes los cultivares “verde”, “manso” y “carrizo” y no hay presencia de otras especies vegetales. Esta parcela obtuvo un IPA de 0.57, ya que a pesar de haber vinculación con productores de la zona y técnicos de campo, hay poco manejo agrícola en la parcela reflejado en plantas enfermas, plantación no planificada y presencia de residuos vegetales y residuos inorgánicos, atribuidos a su cercanía a ruta de paso.

El análisis de los componentes Social, Económico, Agrícola y Ecológico, entre las parcelas de agave pulquero estudiadas, muestran un manejo agrícola notoriamente diferente, donde el nivel de tecnificación influye directamente en los indicadores analizados. Los gráficos de radar (Figura 1.7) señalan que los indicadores pertenecientes al componente social 1, 2 y 3, son similares, relación que se puede explicar por la comunicación que hay entre los productores y las autoridades locales ejidales, municipales y estatales, lo cual es un comportamiento positivo, ya que permite un manejo agronómico a nivel regional, además de facilitar la obtención de apoyos como adquisición de plantas certificadas y capacitación para el control de plagas y enfermedades. Actualmente en zonas de cultivo de maguey pulquero y mezcalero del Estado de México, se encuentra operando desde hace varios años, la Campaña Manejo Fitosanitario del Agave del CESAVEM; donde las tres parcelas evaluadas en este estudio llevan un acompañamiento por parte de esta campaña.

Los indicadores 6, 7 y 8, pertenecientes al componente Agrícola, muestran que el manejo agrícola es un componente crítico y que son necesario mejores prácticas para mejorarlo en “Rancho Ahuatepec” y “Ejido Tepetitlán”, ya que, aunque reciben asesoramiento técnico oficial, hay un seguimiento parcial de las indicaciones por parte de los productores. En este componente, es donde se encuentran mayores diferencias entre las parcelas estudiadas. El caso más extremo es del “Ejido Tepetitlán”, donde se observó poco manejo agronómico, falta de labores agrícolas indispensables como deshierbe, podas, retiro de restos de material vegetal y no hay un seguimiento constante del trapeo para el monitoreo del picudo del agave.

Evaluación de indicadores

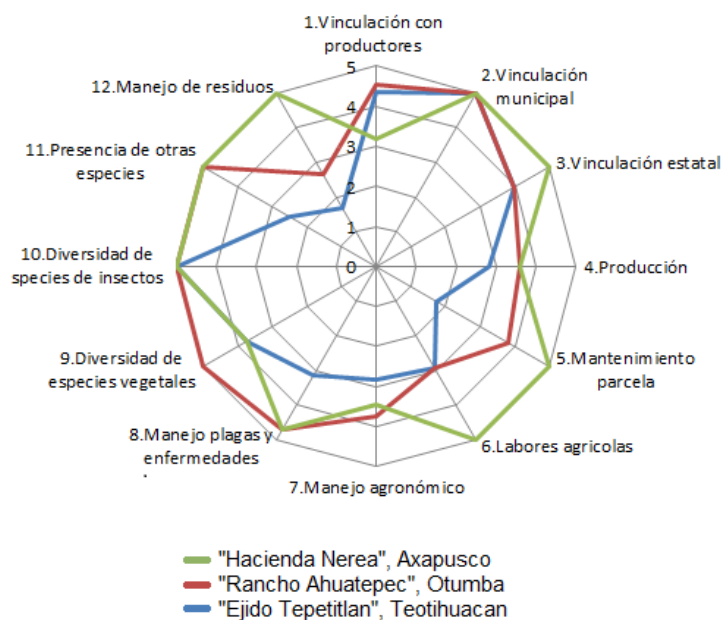


Figura 1.7. Análisis de componentes de la entrevista estructurada para la caracterización de tres agroecosistemas de maguey pulquero del noreste del Estado de México. Indicadores 1-3 pertenecen al componente Social, 4 y 5 al componente Económico, 6-8 son del componente Agrícola y 9-12 pertenecen al componente Ecológico.

Los indicadores 9 y 11, pertenecientes al componente Ecológico, muestra que la parcela “Rancho Ahuatepec” (Figura 1.7), es en la que se observó una mayor diversidad de otras especies vegetales y de insectos. La presencia de diversas especies vegetales arvenses o perenes con presencia de floración son benéficas, ya que pueden funcionar como fuentes de alimentación y reservorios para insectos polinizadores y depredadores de plagas (Arnold *et al.*, 2021; Nicholls y Altieri 2004) La falta de diversidad vegetal en las Parcelas “Ejido Tepetitlán” y “Hacienda Nerea”, está vinculado con la forma de siembra y el objetivo de la parcela, siendo un aspecto difícil de manejar en ambas parcelas, como el caso de el “Ejido Tepetitlán”, por ser de baja tecnificación y en la “Hacienda Nerea”, por la amplia superficie sembrada de agave pulquero que maneja.

1.6 CONCLUSIONES

La caracterización y evaluación de puntos críticos en un agro ecosistema mediante el análisis de componentes, permite abordar diferentes características que influyen en el desarrollo del agroecosistema. En las parcelas caracterizadas, el nivel de tecnificación influye notoriamente en los indicadores, donde el componente agrícola que incluyen labores culturales, manejo agronómico y manejo fitosanitario (plagas y enfermedades), es donde hay mayores diferencias entre parcelas y es un aspecto crítico a considerar, ya que un manejo más eficiente de plagas importantes a nivel regional, podría generar agroecosistemas más resilientes.

CAPÍTULO 2 . CARACTERIZACIÓN MORFOLOGICA Y FITOQUIMICAS DE TRES CULTIVARES DE MAGUEY PULQUERO EN EL NORESTE DEL ESTADO DE MÉXICO

2.1 RESUMEN

Las especies de agaves que se aprovechan para la obtención del pulque son *Agave salmiana*, *A. mapisaga*, *A. atrovirens* y *A. americana*. Dependiendo de la especie y variedad, es posible encontrar diferentes características morfológicas y fitoquímicas en la planta; así como distinta cantidad y calidad de azúcares. En la presente investigación, se realizó la caracterización morfológica y fitoquímica de tres cultivares de maguey pulquero, conocidos regionalmente como “manso”, “verde” y “carrizo”, en tres municipios del noreste del Estado de México. La caracterización morfológica se realizó en 67 ejemplares con 30 caracteres, datos con los cuales se construyó un dendrograma y un análisis de componente principal (PCA) usando R (R Core Team, 2021, v 4.1.0). A la par, nueve caracteres cualitativos morfológicos, se analizaron mediante un diseño experimental completamente al azar, a través de ANOVA y comparación de medias de Tukey ($p > 0.05$). Para la caracterización fitoquímica se obtuvo en cada parcela una muestra de 200 g por cultivar, generando una muestra total, compuesta de 600 g por cada cultivar. El dendrograma muestra que se cuentan con tres cultivares diferentes; mientras que, PCA muestra a “manso” y “verde” con mayor similitud morfológica. Las variables cualitativas altura, diámetro de base, ancho y largo de hoja y número de espina lateral, muestran diferencias significativas entre los tres cultivares ($p > 0.05$) y pueden funcionar como caracteres representativos en la identificación de especies. Adicionalmente, se determinó un mayor porcentaje de azúcares en “Manso” y un menor porcentaje de fibra y proteína en “verde”.

Palabras clave: pulque, variación fenotípica, variación bioquímica, diversidad, análisis multivariado

2.2 ABSTRACT

The species of agaves that are used to obtain pulque are *Agave salmiana*, *A. mapisaga*, *A. atrovirens* and *A. americana*, which depending on the species and variety, it is possible to find different morphological and phytochemical characteristics in the plant; as well as different quantity and quality of sugars. In the present research, three cultivars of maguey pulquero, known regionally as manso, verde and carrizo, were characterized morphologically and phytochemically in three municipalities in the northeast of the State of Mexico. The morphological characterization was carried out in 67 specimens with 30 characters; data with which a dendrogram and a principal component analysis (PCA) were constructed using Rstudio (v1.4.4). At the same time, nine morphological qualitative characters were analyzed by a completely random experimental design through ANOVA and comparison of Tukey's ($p > 0.05$). For phytochemical characterization, a mixed sample of 600 g was collected for each biotype (How much from each plot?). The dendrogram shows that there are three different biotypes; whereas, PCA shows "manso" and "verde" with greater morphological similarity. The qualitative variables height, base diameter, width and length of leaf and number of lateral spines, show significant differences between the three biotypes (Tukey, > 0.05) and can function as representative characters of species identification; in addition to greater quantity of sugars in "manso" and lower % of fiber and protein in "verde".

Keywords: pulque, phenotypic variation, biochemical variation, diversity, multivariate analysis.

2.3 INTRODUCCIÓN

Los agaves tienen amplia distribución en América, principalmente en zonas áridas y semiáridas (Enríquez-Salazar *et al.*, 2017; Pinos-Rodríguez *et al.*, 2008). Dentro de este género, México cuenta con un alto endemismo de agaves, donde de 131 especies reconocidas, hay presencia de más del 90% en el país (Pinos-Rodríguez *et al.*, 2008; García-Mendoza y Galván, 1995). Las mayoría de las especies de agaves se caracterizan por desarrollarse entre 1,000-2,460 msnm, por lo que son altamente tolerantes a condiciones ambientales adversas (Enríquez-Salazar *et al.*, 2017) y están descritas como plantas perennes con amplia diversidad morfológica, colorimétrica y fitoquímica (García-Mendoza, 2007; Sidana J. *et al.* 2016)

El género *Agave* se ha desarrollado con distintos grupos étnicos y cuenta con diversos nombres y usos locales (Olvera-Carranza *et al.*, 2015). Su cultivo y selección se ha basado en los usos que pueden proporcionar. García-Herrera *et al.* (2010) mencionan que hay tres criterios importantes de uso, que incluye a las bebidas fermentadas como el pulque o destiladas como el mezcal y tequila; como alimento y en el aprovechamiento de fibras.

Las especies de agaves aprovechadas para obtención del pulque son: *A. salmiana* Otto ex Salm-Dyck, *A. mapisaga* Trel. , *A. atrovirens* Karw. ex Salm-Dyck y *A. americana* L.(Alfaro-Rojas *et al.*, 2007), de las cuales, su característica principal es que son usados para la extracción de la sabia, llamada aguamiel. La extracción de aguamiel se realiza entre los 8-10 años de edad de la planta. El aguamiel es obtenido de la remoción del meristemo apical, antes de que se desarrolle la inflorescencia y puede contener distintos compuestos bioactivos y concentraciones de estos (Pinos-Rodríguez *et al.*, 2008; Pérez-Zavala *et al.*, 2020), generalmente es rica en diversos fructanos, vitaminas B y C, minerales como K, Ca, Na, Fe, Cu, Mg, Se y Zn, saponinas, aminoácidos, ácidos grasos y fibras solubles (Pérez-Zavala *et al.*, 2020; Almaraz-Abarca *et al.*, 2013). Recientemente, se han empezado a estudiar distintos compuestos provenientes de otras estructuras vegetales de los agaves y se han valorado con un potencial económico (Silos-Espino *et al.*, 2007). Ejemplo de estos compuestos son las saponinas, flavonoides, ácidos fenólicos, taninos, cumarinas volátiles, ácidos grasos y alcoholes (Vicente-Magueyal *et al.*, 2020). Un aspecto importante a tomar en cuenta para el aprovechamiento del aguamiel y de otros compuestos obtenidos es el ambiente, la especie y la variedad del agave, ya que diversos autores mencionan

que dependiendo de estos aspectos, es posible encontrar diferentes características en cantidad y calidad (Mora-López *et al.* 2011; Moreno-Terrazas *et al.*, 2017; Peña-Álvarez *et al.*, 2004).

Regionalmente, los productores tienen caracterizadas las distintas variantes de magueyes pulqueros con nombres locales y de acuerdo a sus características distintivas como tamaño, color, forma de hojas y espinas; sin embargo la identificación de cultivares y especies aún es errada y confusa, por lo que en el presente trabajo se busca diferenciar tres cultivares por características **morfológicas, fitoquímicas** y ver la influencia del ambiente sobre los caracteres morfológicos de estos cultivares en el **noreste** del Estado de México.

2.4 MATERIALES Y MÉTODOS

Los datos para caracterizar morfológica y fitoquímicamente los cultivares de maguey pulquero y la toma de muestras de tejido de maguey, se obtuvieron de tres plantaciones siguientes: “Rancho Ahuatepec”, en el municipio de Otumba (98°43'34"W, 19°40'12.3"N, 2468 msnm); “Hacienda Nerea”, en el municipio de Axapusco (98°41'15.2"W, 19°43'251.6"N, 2495 msnm) y “Ejido Tepetitlán”, en el municipio de Teotihuacán (98°48'59.8"W, 19°39'21.8"N, 2324 msnm), Estado de México. Las tres plantaciones pertenecen a un clima templado subhúmedo con lluvias en verano y precipitación de 500-700 mm [C (w₀)] (INEGI 2010a, b, c)

Las parcelas y las plantas donde se colectaron los datos fueron seleccionadas con ayuda de la Campaña Manejo Fitosanitario del Agave (CMFA), del Comité de Sanidad Vegetal del Estado de México (CESAVEM). Los criterios en la selección de plantas fueron: edad de los agaves y diversidad de cultivares; se seleccionaron los cultivares “manso”, “verde” y “carrizo” por estar presentes en las tres parcelas. En total se revisaron 67 accesiones, de éstas, 25 fueron obtenidas de “Ejido Tepetitlán”, Teotihuacán; 15 de “Rancho Ahuatepec”, Otumba y 27 de “Hacienda Nerea”, Axapusco. En base a la descripción varietal del agave (SNICS, 2014) con modificaciones propias, se midieron 30 caracteres morfológicos cualitativos y cuantitativos (Cuadro 2.1).

Con los cultivares de agave pulquero diferenciados, se colectó una muestra de tejido compuesta para cada cultivar. La colecta de toma de muestras fue durante época de sequía y se realizó en el mes de noviembre 2021. De cada parcela, por cada cultivar se colectaron 200 g de tejido vegetal, formando una muestra compuesta de 600 g por cada cultivar; las muestras fueron obtenidas de la base de las hojas secundarias con el uso de una navaja. Después de cada corte se desinfectó la navaja con la que se realizaron cortes y el área del maguey donde se extrajo la muestra con hipoclorito de sodio 3%.

Cada muestra se etiquetó y colocó en bolsas de poli papel, posteriormente se guardó en una hielera y se enviaron a su procesamiento a al laboratorio particular Quibimex (Alfonso Toro 1207 Col. Sector Popular, Delegación Iztapalapa 09060, Ciudad de México), donde se analizaron las variables % de carbohidratos calculado por diferencias basados en la NMX-F-807-NORMEX-2014, el de kcal/100g de acuerdo a la NOM-051-SCFVSSA1-2010, el % de fibra cruda de acuerdo

a la NMX-F-613-NORMEX-2017 , el de % de proteína de acuerdo a la NMX-F-608-NORMEX-2011 y el de % de grasa de acuerdo a la NMX-F-615-NORMEX-2018.

Cuadro 1.2 Caracteres morfológicos medidos en tres cultivares de maguey pulquero en el norte del Estado de México. Construidos con la guía de descripción varietal (SNICS, 2014).

1. PLANTA	2. TALLO	3. HOJA	4. ESPINA	5. HIJUELOS
a) Hábito de crecimiento	a) Visibilidad	a) Longitud	a) Laterales	a) Prolificidad
b) Altura		b) Anchura	b) Perfil espina lateral	b) Número de hijuelos
c) Diámetro		c) Relación Long/ancho	c) Color de espina lateral	
d) Número de hoja		d) Forma	d) Uniformidad de tamaño de espina	
		e) Forma corte transversal	e) Sin. espina lateral	
		f) Curvatura	f) Distancia espina lateral	
		g) Borde	g) Estrías espina lateral	
		h) Textura	h) Forma espina lateral	
		i) Glaudescencia	i) Longitud espina lateral	
		j) Color		
		k) Intensidad de color		
		l) Color secundario		
		m) Tonalidad del segundo color		
		n) Distribución de 2do color		

De las variables morfológicas recopiladas en los agaves de cada parcela (Cuadro 2.2) se construyó un dendrograma de caracteres morfológicos mediante distancia de similitud euclidiana y se evaluó la representatividad con correlación cofenética (Giordani *et al.* 2020; Kassambara 2017).

Paralelamente, se realizó un análisis de componente principal (PCA), para determinar caracteres diferenciadores entre cultivares y a partir de éste, se seleccionaron nueve caracteres cualitativos, los cuales se analizaron con ANOVA, bajo un diseño de bloques completamente al azar y se compararon con Tukey ($p < 0.05$); las pruebas de normalidad se realizaron mediante Shapiro-Wilk ($p > 0.05$). El programa usado fue R (R Core Team, 2021, v 4.1.0).

2.5 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El dendrograma muestra tres grupos (Figura 2.1). De los ejemplares contabilizados, el 100% de los ejemplares identificados en campo como Carrizo, se agruparon en el mismo nodo, comportamiento que también siguió el cultivar Manso con un 100%, Verde obtuvo un 74% de similitud de los ejemplares identificados en campo, el 24% restante se agrupó en el cultivar Manso.

Los 67 ejemplares de agaves medidos para la obtención de caracteres morfológicos, se ajustaron a tres grupos siguientes: Carrizo, es el grupo que muestra mayor diferencia en caracteres; mientras que, Manso y Verde, aunque se encuentran en distintos grupos, muestran mayor cercanía, resultando en algunos ejemplares nula diferenciación (Figura 2.2A); el análisis de componentes principal muestra que caracteres diferenciadores entre cultivares son, para Carrizo número de espinas laterales, largo, ancho y color de hoja y forma de espina terminal; para Manso, caracteres diferenciadores son largo de hoja, diámetro mayor y menor de maguey, largo de espina lateral, largo y curva de hoja; mientras que Verde se diferencia por forma de hoja, espina lateral y espina terminal (figura 2.2B).

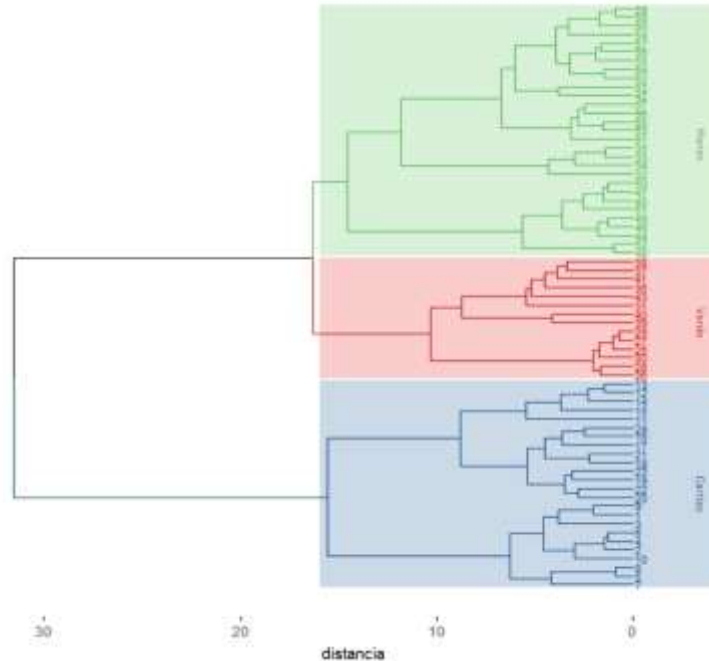


Figura 1.7 Dendrograma de 67 ejemplares de maguey pulquero, basado en caracteres morfológicos, coeficiente aglomerativo 0.80.

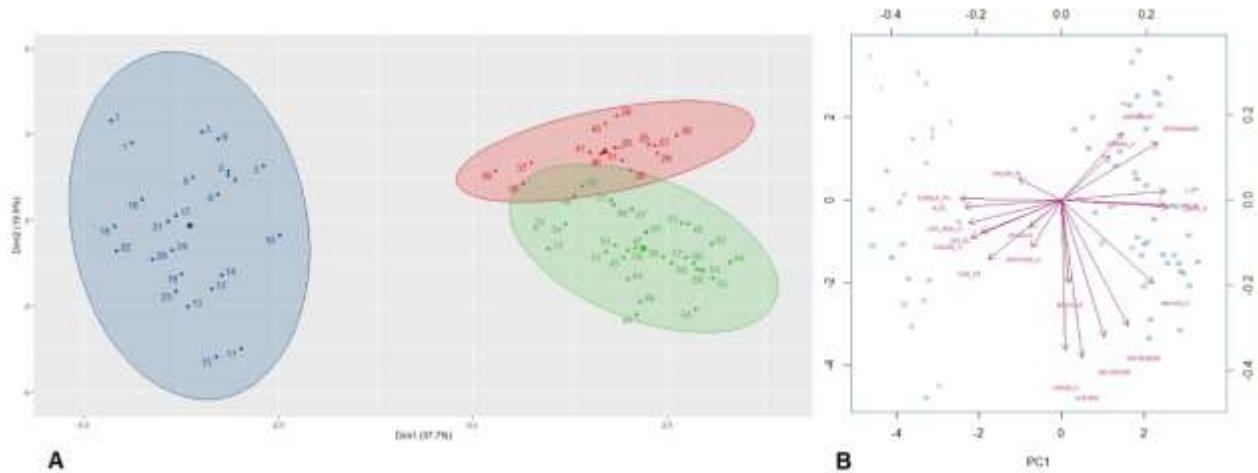


Figura 1.8 Análisis de conglomerados de ejemplares de maguey pulquero en el noreste del Estado de México, los agrupamientos de los cultivares se clasificaron por color Rojo -"Verde", Verde -"Manso"; Azul-"Carrizo", B) Análisis de componente principal.

Dentro de los caracteres cuantitativos como altura de planta (alt), diámetro de base (dme) diámetro mayor (dma), longitud de hoja (lgh), relación largo-ancho de hoja (rla) y longitud de espina terminal (let), muestran diferencias significativas en alguno de los cultivares analizados, mientras que número de espinas laterales en 10 cm (nel) y ancho de hoja (anh), son diferentes entre los tres cultivares. El número de hojas, no muestra diferencias significativas entre los cultivares (Cuadro 2.2). En las variables cualitativas todos los cultivares presentaron tipo de crecimiento determinado, ausencia de coloración de hojas secundaria y mismo perfil de espina.

Los valores del análisis de fitoquímica de los tres cultivares de maguey pulquero, muestran diferencia entre sí, donde el Verde cuenta con menor % proteína (0.025) y fibra (0.86), comparado a Manso con % de proteína 0.076% y fibra 1.31 y Carrizo con % de proteína 0.076% y 1.03 . Manso resulta ser el que cuenta con mayor contenido de todos los caracteres analizados (Cuadro 2.3)

El análisis de los caracteres morfológicos se ha usado en diversos estudios como un método inicial para la diferenciación de géneros y especies (Castañeda-Nava *et al.*, 2019; Figueredo *et al.*, 2021; Porrás-Ramírez *et al.*, 2016). Los descriptores varietales del SNICS (2014), proponen que la medición de caracteres morfológicos debe realizarse en condiciones ambientales similares, por lo que dentro de esta investigación, a pesar de ser parcelas diferentes los ejemplares colectados como manso, verde y carrizo se distribuyeron en tres agrupamientos, donde Manso y Verde se

muestran morfológicamente más cercanos en comparación a Carrizo. Estos resultados también son reportados por Alfaro Rojas *et al.* (2007) para magueyes pulqueros en el Estado de México, en localidades cercanas a la presente investigación. Estos resultados similares pueden justificarse debido al medio ambiente que es parecido dentro de la región noroeste del Estado de México, a la selección de caracteres antropocéntricos deseables, a la propagación local de cultivares entre productores, como se ha comprobado con otras especies de agaves (Colunga-García *et al.*, 2017b; Figueredo *et al.* 2014) y a su biología reproductiva semélpara, que dificulta la reproducción sexual; con lo que se promueve una mayor propagación mediante hijuelos, que genera diferenciación morfológica con mayor rapidez que en un ambiente natural, aunque no hay expresión de diversidad genética (Eguiarte *et al.*, 2000).

Cuadro 1.3. Caracteres morfológicos cualitativos en tres cultivares de maguey pulquero *Agave salmiana* del noreste del Estado de México.

Cultivar	Carácter morfológico								
	Alt	Dme	Dma	Noh	Lgh	Anh	Rla	Nel	Let
Carrizo	157.4±43.2b	34.7±11.7b	188.6±49.9b	7.1±4.5a	150.7±39.1 ^a	18.7±4.7c	8.2±1.7a	5.6±0.7a	3.7±0.7b
Verde	139.1±23.5b	40.1±9.5b	168.7±24.1b	5.1±3.7ab	119.1±20.1b	24.1±3.1b	5.3±1.1b	3.8±1.4b	7.5±1.5 ^a
Manso	184.5±23.5^a	56.7±10.6a	252.3±48.1^a	4.2±3.1b	165.7±21.2 ^a	31.3±3.3a	5.0±0.6b	2.7±0.4c	7.7±1.4a

Caracteres con diferentes letras tienen diferencia estadísticamente significativa ($p < 0.05$), donde **Alt** altura de planta, **Dme** - diámetro menor, **Dma** - diámetro mayor, **Noh** - número de hijuelos, **Lgh** - longitud de hoja, **Anh** - Ancho de hoja, **Rla** - relación largo-ancho de hoja y **Let** - longitud de espina

Cuadro 1.4 Caracterización fitoquímica en tres cultivares de maguey pulquero *Agave salmiana* del noreste del Estado de México

Cultivar	%Carbohidratos	Kcal/100g	%Fibra	%Grasa	%Proteína
Manso	11.97	51.1	1.31	0.35	0.076
Verde	4.58	21.5	0.86	0.35	0.025
Carrizo	4.09	19.36	1.03	0.33	0.076

Los caracteres diferentes estadísticamente fueron en hojas y espina, lo cual sigue la misma tendencia de otras investigaciones realizadas en maguey pulquero. Por ejemplo, Castañeda-Nava *et al.* (2019), en estudios morfológicos realizados en *A. salmiana* spp., *A. crassispina* spp. *salmiana* en Guanajuato, muestran que hay características más representativas para determinar subespecie, como color, tamaño y altura de hojas o pencas; mientras que, el número de hojas no resulta representativo. Paralelamente Figueredo *et al.* (2020), al realizar un análisis de componente principal (PCA), en caracteres vegetales de 19 cultivares de maguey pulquero en Hidalgo, obtienen mismas variables representativas y añade el diámetro basal del maguey; mientras que, Trejo *et al.* (2020) en 9 cultivares de maguey pulquero, en Tlaxcala y Alfaro Rojas *et al.* (2007), con un análisis morfológico en seis poblaciones de maguey en el Estado de México, concluyen que las dos características principales para separar cultivares son el número de espinas laterales y longitud de espina terminal. La similitud de características representativas para separar magueyes pulqueros en distintas zonas agrícolas, hace notar que éstas pueden tener validez para diferenciar inicialmente cultivares de maguey pulquero; sin embargo, es necesario estandarizar la medición de variables, ya que aunque varios trabajos se basan en descriptores varietales del agave del SNICS (2014), la toma de muestras genera que sea difícil la comparación de valores morfológicos cuantitativos (Trejo *et al.* 2020). Otros factores que pueden influenciar en las características morfológicas y fitoquímicas entre cultivares de agave pulquero son los factores abióticos, como luminosidad, precipitación, humedad relativa y suelo (Chávez-Güitrón *et al.* 2019; García-Núñez *et al.* 2020), factores bióticos, como insectos y malezas (Cervera Herrera *et al.*, 2018), y el factor antropocéntrico.

Dentro de las parcelas puede haber distintos cultivares de maguey pulquero en proporciones de acuerdo a la finalidad de la plantación, por lo que es posible la selección de hijuelos por parte del productor y las características afines a sus intereses como gigantismo, disminución de espinas laterales y disminución de compuestos fitoquímicos (Álvarez-Ríos *et al.* 2020b). En las plantaciones de maguey pulquero estudiadas, la mayor proporción de cultivar hallado es el Manso, ya que se considera es el que cuenta con mayor cantidad de azúcares y rendimiento de aguamiel; de acuerdo a los resultados fitoquímicos obtenidos, se muestra que este cultivar contiene mayor cantidad de carbohidratos (11.97%) y kcal/100 g (51.1), por lo que presuntivamente en campo hay una selección por hijuelos y por cultivar.

2.6 CONCLUSIONES

Los tres cultivares analizados por localidad, morfológicamente y fitoquímicamente, inicialmente identificados como distintos, muestran diferencias morfológicas y fitoquímicas. Aunque morfológicamente Manso y Verde se encuentren más cercanos, los caracteres morfológicos distintivos para Carrizo, son coloración de la penca, mayor número de espinas laterales, menor longitud de espina terminal y penca más larga y con menor anchura; mientras que Manso se diferencia por ser el cultivar con mayor altura de planta y penca más ancha, mientras que, Verde cuenta con la menor longitud de hoja.

Los cultivares Manso y Carrizo tienen caracteres definidos dentro de la zona de estudio, mientras que Verde cuenta con variación fenotípica.

CAPÍTULO 3 . INCIDENCIA Y SEVERIDAD DE *Scyphophorus acupunctatus* EN CULTIVARES DE MAGUEY PULQUERO DEL ESTADO DE MÉXICO

3.1 RESUMEN

El picudo del agave *Scyphophorus acupunctatus* Gyllenhal es la plaga más severa e importante en especies comerciales del género *Agave*, debido a la poca información con respecto a grupo de los magueyes pulqueros el objetivo de este trabajo fue evaluar la incidencia (IN), fluctuación poblacional (FP) y porcentaje de severidad (SV) de *S. acupunctatus* en tres plantaciones comerciales con diferentes cultivares de maguey pulquero *Agave salmiana* Otto ex Salm-Dyck, en el Noreste del Estado de México. El IN se calculó mediante un muestreo aleatorio simple por cuadrantes; FP se obtuvo a partir de un conteo y sexado quincenal de *S. acupunctatus* y regresión lineal para obtener influencia de Humedad Relativa (HR) y Temperatura (T) sobre FP. Se midió SV con una escala diagramática de severidad y se evaluó con prueba Kruskal Wallis y corrección de Bonferroni. Se realizó una evaluación del sistema agrícola (IP) por plantación y caracterización fitoquímica por cultivar (CR), para una correlación de Kendall de posible relación IP y CR sobre SV. La IN de *S. acupunctatus* varió del 2- 49 % en plantas; las tres plantaciones muestran una proporción hembra macho con tendencia a 1.0:1:0 y aunque hay incremento de *S. acupunctatus* en los meses de mayo-junio y octubre-noviembre, no hay significancia sobre la influencia de la HR y T sobre la FP. El grado de SV estuvo relacionado con el cultivar ($p=2.6E-12$). El cultivar Verde tuvo mayor SV en comparación a Manso ($p= 1.5E-7$) y “Carrizo” ($p=8.4E-11$). CR %proteína y % grasa muestran correlación significativa ($p<0.01$) sobre SV. En las plantaciones de maguey pulquero evaluadas es posible encontrar a los adultos durante todo el año con una incidencia de plantas infestadas hasta del 50%. Los cultivares de maguey pulquero se comportan diferente, siendo Verde el cultivar con mayor SV.

Palabras clave: agaves pulqueros, picudo del agave, incidencia, dinámica poblacional, cultivar, severidad.

3.2 ABSTRACT

The agave weevil *Scyphophorus acupunctatus* Gyllenhal is the most severe and important pest in commercial species of the genus *Agave*, due to the little information regarding the pulque maguey group, the objective of this work was to evaluate the incidence (IN), population fluctuation (FP) and severity percentage (SV) of *S. acupunctatus* in three commercial plantations with different cultivars of pulque maguey *Agave salmiana* Otto ex Salm-Dyck, in the Northeast of the State of Mexico. The IN was calculated by simple random quadrat sampling; FP was obtained from a biweekly count and sexing of *S. acupunctatus* and linear regression to obtain the influence of Relative Humidity (RH) and Temperature (T) on FP. SV was measured with a diagrammatic scale of severity and evaluated with Kruskal Wallis test and Bonferroni correction. An evaluation of the agricultural system (IP) by plantation and phytochemical characterization by cultivar (CR) was performed for a Kendall correlation of possible relationship between IP and CR on SV. The IN of *S. acupunctatus* varied from 2- 49 % in plants; the three plantations showed a female to male ratio with a tendency to 1.0:1:0 and although there was an increase of *S. acupunctatus* in the months of May-June and October-November, there was no significance on the influence of RH and T on PF. The degree of SV was related to cultivar ($p=2.6E-12$). “Verde” cultivar had higher SV compared to “Manso” ($p= 1.5E-7$) and "Carrizo" ($p=8.4E-11$). CR %protein and %fat showed significant correlation ($p<0.01$) on SV. In the maguey pulquero plantations evaluated, it is possible to find adults throughout the year with an incidence of infested plants up to 50%. Cultivars of maguey pulquero behaved differently, Verde being the cultivar with the highest SV.

Key words: pulque agaves, agave weevil, incidence, population dynamics, cultivar, severity.

3.3 INTRODUCCIÓN

El picudo del agave *Scyphophorus acupunctatus* Gyllenhal (Coleoptera: Dryophthoridae) es una especie cosmopolita (CABI, 2022) y es la plaga más importante en varias especies del género *Agave* que incluyen al grupo de agaves mezcaleros, ornamentales y pulqueros ((Romo y Morrone, 2012; Setliff y Anderson, 2011). Los daños directos son causados por la larva de hábitos crípticos, que barrena internamente la base de hojas y las piñas; mientras que, las perforaciones que los adultos dejan al ovopositar o alimentarse, pueden ser puntos de entrada de bacterias y hongos fitopatógenos, ya que se han aislado bacterias como *Erwinia carotovora*, *Pseudomonas* sp., y los hongos *Aspergillus niger*, *Kluyveromyces marxianus* y *Pichia amethionina*, del exoesqueleto de los adultos de este picudo (Terán-Vargas y Azuara-Domínguez, 2013; Molina, 2013).

Las técnicas para monitoreo y control de *S. acupunctatus* pueden ser “atraer y matar” y “trampeo masivo”, donde *S. acupunctatus* es capturado a partir de la asociación de un atrayente de agregación y uno alimenticio y un sistema de captura y retención (trampa e insecticida) (Piñero y Montiel, 2019).

De acuerdo a Arévalo *et al.*(2006), un cultivar es la planta seleccionada por el hombre mediante diversas técnicas de mejoramiento genético; en los agaves pulqueros, el manejo de *S. acupunctatus* aún es deficiente y se complejiza por contar con diferentes cultivares, propios de cada región (Trejo *et al.*, 2020); El presente trabajo buscó generar información respecto a los niveles de incidencia, con muestreo de presencia de *S. acupunctatus*; fluctuación poblacional, con monitoreo de trampas y severidad en el maguey pulquero, mediante una escala de porcentaje de severidad; a la par se buscó evaluar niveles de severidad de esta plaga en los cultivares de maguey pulquero comúnmente presentes en el Noreste del estado de México “manso”, “verde” y “carrizo” y posibles relación por manejo del agroecosistema y caracteres fitoquímicos propios de cada cultivar.

3.4 MATERIALES Y MÉTODOS

La presente investigación se desarrolló en tres plantaciones de maguey pulquero en el Noreste del Estado de México durante los meses de enero - noviembre 2021. Las plantaciones de agave pulquero fueron seleccionadas con el apoyo de los técnicos de la Campaña de Manejo Fitosanitario del Agave, perteneciente al Comité de Sanidad Vegetal del Estado de México (CESAVEM). El criterio de selección de las plantaciones fue la presencia en cada parcela de los cultivares “Manso”, “Verde” y “Carrizo”. Las plantaciones seleccionadas fueron Rancho Ahuatepec con una parcela útil de 2 h en el municipio de Otumba (19°40'12.3" N; 98°43'34" W, 2468 msnm); Hacienda Nerea, con una parcela útil de 3h en el municipio de Axapusco (19°43'251.6" N; 98°41'15.2" W, 2495 msnm) y Ejido Tepetitlán con una parcela útil de 1 h en el municipio de Teotihuacán (19°39'21.8" N; 98°48'59.8" W, 2324 msnm). Las parcelas de agave pulquero tienen clima C (w₀), que se caracteriza por ser templado subhúmedo, siendo este, el más seco de este grupo (INEGI, 2010).

En cada plantación se midió la incidencia del picudo del agave mediante un muestreo aleatorio simple (MAS) por cuadrantes, con base a la fórmula 1 (Vivanco, 2005) siguiente

$$n = \frac{Z_{\alpha/2}^2 N p q}{e^2 (N-1) + Z_{\alpha/2}^2 p q} \dots (1)$$

Donde n= tamaño de muestra, N= número total de plantas por cultivar, $Z_{\alpha/2}$ = valor de tablas para confiabilidad deseada; e = error máximo permisible; pq =valor de la varianza. En este muestreo se contabilizaron 252 plantas en Hacienda Nerea, 171 en Rancho Ahuatepec y 117 en Ejido Tepetitlán. Cada cuadrante estuvo conformado por 16 plantas de maguey pulquero, de las cuales se registraba la presencia/ausencia de picudo del agave.

La fluctuación poblacional de adultos del picudo del agave se realizó de enero a noviembre 2021, mediante el monitoreo con trampas con feromona de agregación sintética más cebo alimenticio (trozos de tejido de agave) (TAA). En cada parcela, se colocó un sensor climático Hobo Onset® para el registro de Humedad Relativa (HR) y temperatura (T) con intervalos de registro de cada 30 min, para después calcular promedios semanales de estos parámetros. En total se establecieron 7 TAA tipo “TOCCI” (trampas con orificios circulares y cono interno) propuestas por Figueroa *et al.* (2013). A cada trampa se le agregó, como fuentes de atracción, la feromona de

agregación sintética (2-metil-4-octanona) (P440-Lure®), más 300 gr de tejido de penca de maguey pulquero como atrayente alimenticio, cortado en pequeños trozos que se colocaban en una bolsa de polipapel con varias perforaciones (capacidad de 2 kg). Para retener a *S. acupunctatus* se usó el insecticida orgánico Senvicid® (2%) (extracto de ajo, chile y anémona). Las trampas se revisaban quincenalmente, para registrar y recolectar los adultos del picudo capturados y hacer el cambio del Senvicid. La feromona de agregación se reemplazó cada dos meses y el tejido de agave, cada mes. Los adultos del picudo del agave capturados se llevaron a laboratorio para sexado, para lo cual se usó un microscopio de disección American Optical® modelo 570.

En cada plantación se midió, en octubre 2021, el porcentaje de severidad (SV) considerando 27 plantas de cada cultivar (manso, verde y carrizo), con lo que se tuvo un total de 243 evaluaciones de las tres plantaciones. La obtención de porcentaje de severidad se calculó en cada plantación mediante la construcción de una escala diagramática de severidad (Figura 3.1).

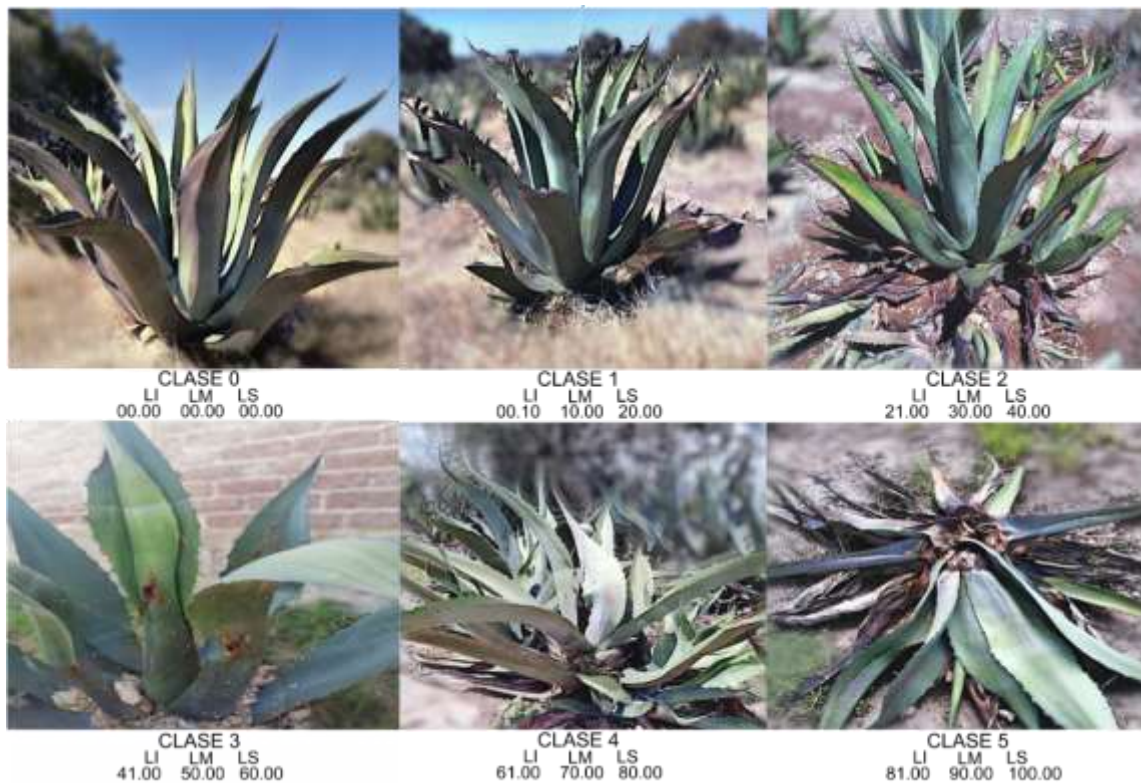


Figura 1.9. Escala diagramática del porcentaje de severidad en *A. salmiana* construida a partir del propuesto por el CRT (Consejo Regulador de Tequila) (1999), con modificaciones. LI es límite inferior, LM es límite medio y LS corresponde a límite superior.

De esta forma, la severidad por cultivar se estimó usando los datos obtenidos del porcentaje de severidad observado, más la adición de evaluación del agroecosistema, el cual se obtuvo del cálculo del Índice de Parcela Agroecológica (IP) y caracterización fitoquímica por cultivar (CR). En la evaluación del sistema agrícola, el IPA se obtuvo a partir de la metodología propuesta por Sarandón y Flores (2009) y de Palestina-González *et al.* (2021), con algunas modificaciones, considerando algunos componentes, indicadores y variables base (Figura 3.2).

COMPONENTE SOCIAL	COMPONENTE ECONÓMICO	COMPONENTE AGRÍCOLA	COMPONENTE ECOLÓGICO
Vinculación productora 1. Intercambio de información entre productores 2. Pertenece a alguna Asociación 3. Participación dentro de la Asociación	Producción 1. Productos aprovechados 2. Permanencia de productos en el año	Labores agrícolas 1. Labores agrícolas realizados 2. Labores agrícolas adicionales	Especies vegetales 1. Diversidad de biotipos de maguey 2. Diversidad de especies vegetales 3. Usos de especies vegetales
Vinculación municipal 1. Intercambio de información entre autoridades municipales 2. Apoyos municipales	Mantenimiento parcela 1. No. Jornaleros 2. Periodicidad de jornaleros 3. Labores agrícolas que se realizan 4. Delimitación de la finca	Manejo plantas 1. Planificación siembra 2. Fertilización 3. Riego de auxilio	Especies insectiles 1. Presencia de insectos benéficos 2. Diversidad de insectos Otras especies 1. Diversas especies con algún uso definido
Vinculación estatal 1. Apoyo técnico 2. Seguimiento del trapeo 3. Seguimiento de recomendaciones 4. Certificación de plantación 5. Apoyos estatales		Manejo plagas y enfermedades 1. Acciones preventivas 2. Acciones de control 3. Capacitación	Manejo de residuos 1. Eliminación apropiada de residuos de agroquímicos 2. Eliminación apropiada de residuos vegetales 3. Eliminación de residuos inorgánicos

Figura 1.10 Componentes, indicadores y variables evaluadas para obtención de IPA.

El cálculo del IPA se calculó mediante la fórmula (2) siguiente:

$$IPA_{Pi} = \frac{0.15(\sum S_{Pi}) + 0.35(\sum E_{Pi}) + 0.40(\sum A_{Pi}) + 0.10(\sum C_{Pi})}{100} \dots (2)$$

Donde Pi es parcela evaluada; el componente social es S ; el económico es E ; el agrícola es A ; el ecológico es C .

Para la caracterización fitoquímica de cada uno de los tres cultivares (Manso, Verde y Carrizo) se tomó una muestra compuestas de 600 gr de tejido de agave, de tal forma que en cada uno de los tres predios de maguey (Rancho Ahuatepec, Hacienda Nerea y Ejido Tepetitlán) se seleccionó una planta de cada variedad de la que se obtuvieron 200 gr de tejido de la base de hojas secundarias, muestras de tejido de maguey que posteriormente se enviaron a su procesamiento al laboratorio particular Quibimex (Alfonso Toro 1207 Col. Sector Popular, Delegación Iztapalapa 09060, Ciudad de México) donde se analizaron las variables % de carbohidratos calculado por diferencias basados en la NMX-F-807-NORMEX-2014; el de kcal/100g de acuerdo a la NOM-

051-SCFVSSA1-2010; el % de fibra cruda de acuerdo a la NMX-F-613-NORMEX-2017; el de % de proteína de acuerdo a la NMX-F-608-NORMEX-2011 y el de % de grasa de acuerdo a la NMX-F-615-NORMEX-2018.

A partir de registro de los picudos adultos capturados en trampas, de la HRM y la TM, se generó una gráfica de distribución para seguimiento de fluctuación poblacional; además, se realizó un análisis de regresión lineal para determinar la influencia de HRM y TM sobre la fluctuación poblacional del picudo del agave, con el programa R (R Core Team, 2021, v 4.1.0).

La significancia de porcentaje de severidad por cultivar se analizó bajo un diseño con bloques completamente al azar con una prueba no paramétrica de Kruskal Wallis y para determinar diferencias entre algún cultivar se usó corrección de Bonferroni (*p-value* <0.01). Para correlacionar el porcentaje de severidad de acuerdo con el IP y el CR, se aplicó la prueba de Kendall. Todos los análisis se realizaron con el paquete estadístico R (R Core Team, 2021, v 4.1.0).

3.5 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En el Ejido Tepetitlán, la mayor incidencia del picudo del agave de enero a noviembre de 2021 fue encontrada en el 48.7% (57) de las plantas de agave, seguido por el Rancho Ahuatepec con el 30.5% (43) de las plantas y la Hacienda Nerea con el 2.4% (6) de las plantas (Figura 3.3A). De igual manera, hubo un mayor número acumulado de adultos de picudos del agave capturado en trampas en el “Ejido Tepetitlán” con 426, comparado con “Hacienda Nerea” con 22.7 (Figura 3.3B).

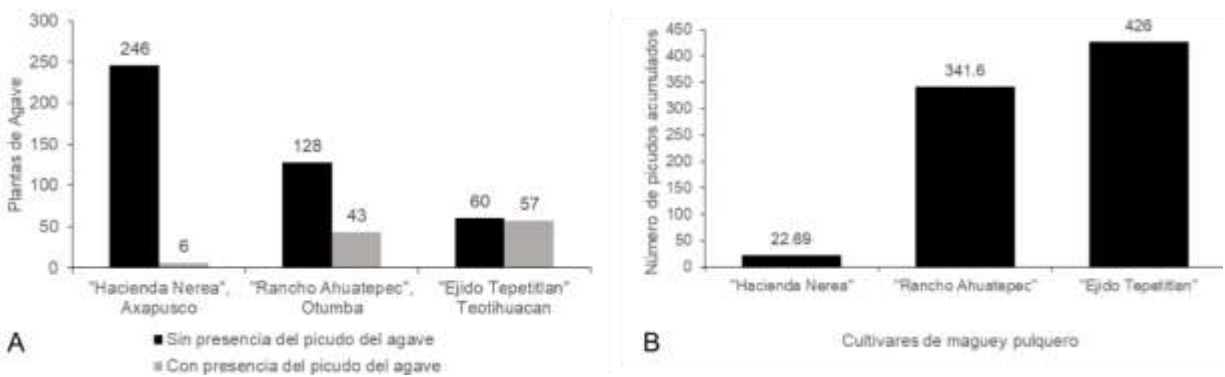


Figura 1.11 Incidencia del picudo del agave (A) y número acumulado de picudos del agave capturado en trampas (B), en tres cultivos de maguey pulquero en plantaciones el noreste del Estado de México. Enero-noviembre de 2021.

En el predio Ejido Tepetitlán, Teotihuacán, se detectaron tres picos de densidad poblacional de adultos de los picudos del agave capturados en trampas, el primero a finales de febrero, un segundo, el mayor de los picos entre finales de mayo a mediados de junio y un tercero de principios de octubre a principios de noviembre. La menor densidad poblacional del picudo se presentó de mediados de julio a finales de septiembre, período donde hubo una mayor HRM (Figura 3.4A). En este predio de agave, la proporción sexual hembra-macho tuvo una media de 1.0:1.4 (Figura 3.4B).

En el Rancho Ahuatepec, Otumba, hubo tres picos de densidad poblacional, el primero a finales de abril, un segundo a mediados de junio y un tercero, el mayor de los tres, a principios de noviembre. En este predio, también el período de menor densidad poblacional se presentó entre mediados de julio y a mediados de septiembre, época de mayor HRM (Figura 3.5A). La proporción sexual en este predio fue 1.0:1.2 (Figura 3.5B).

En la Hacienda Nerea, Axapusco, también se detectaron tres picos de densidad poblacional del picudo del agave, el primero de finales de abril a finales de junio; un segundo de finales de julio a finales de agosto y un tercero a principios de noviembre. Igualmente, con promedios menores de picudos en la época de mayor HRM, entre mediados de julio a principios de octubre (Figura 3.6A). La proporción sexual en este predio de agave fue de 1.0:1.1 (Figura 3.6B).

Los modelos de regresión lineal de TM y HRM, no mostraron tener una influencia significativa en la fluctuación poblacional de adultos del picudo del agave, para el caso del Ejido Tepetitlán ($Y = -0.0132TM + 16.706$, $r^2 = 0.008$; $Y = -0.2783HRM + 68.512$, $R^2 = 0.04$); así como para el Rancho Ahuatepec ($Y = -0.047TM + 17.468$, $R^2 = 0.0822$; $Y = 0.6312HRM + 48.567$, $R^2 = 0.1487$) y Hacienda Nerea ($Y = 0.4428TM + 15.773$, $R^2 = 0.1039$; $Y = 4.7158HRM + 54.338$, $R^2 = 0.1241$).

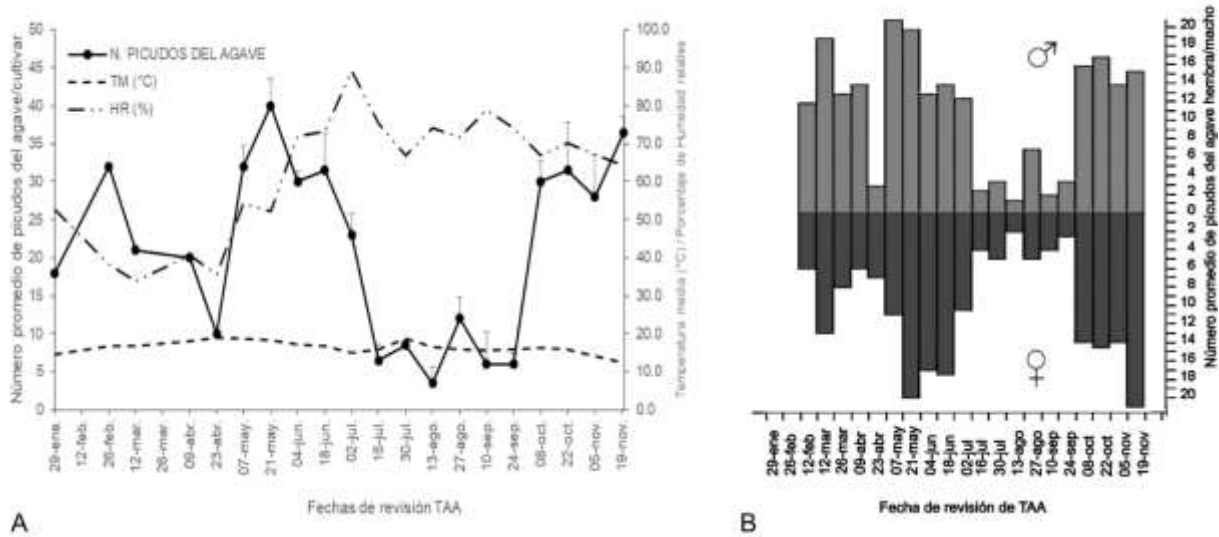


Figura 1.12 A) Promedio del número de picudos de agave capturados con trampas y B) Promedio de machos y hembras de picudos de agave capturados con trampas. Ejido Tepetitlán, Teotihuacán, 2021.

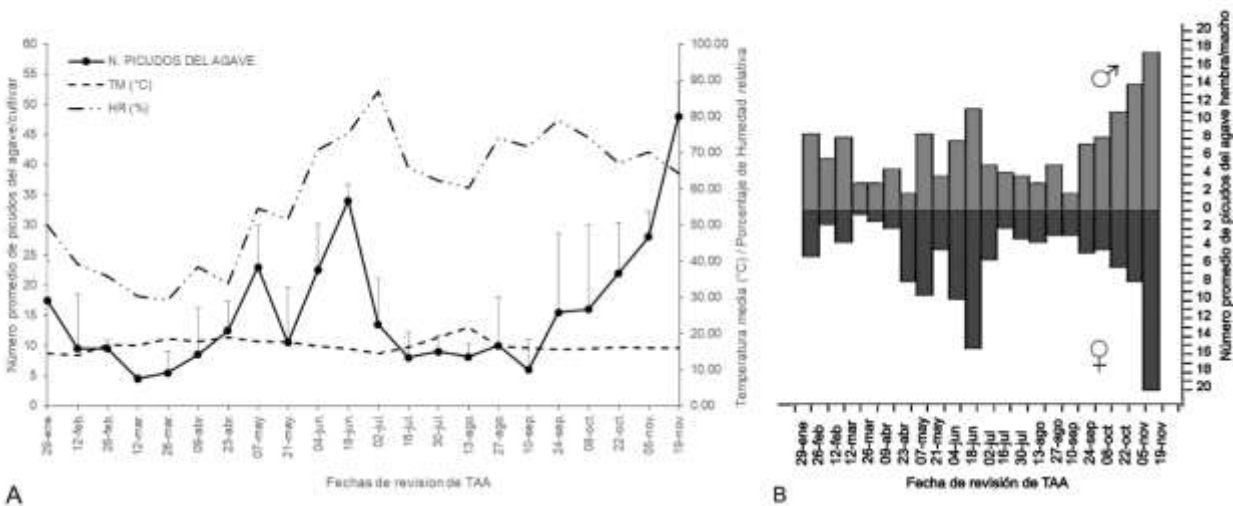


Figura 1.13 A) Promedio del número de picudos de agave capturados con trampas y B) Promedio de machos y hembras de picudos de agave capturados con trampas. Ejido Rancho Ahuatepec, Otumba, 2021.

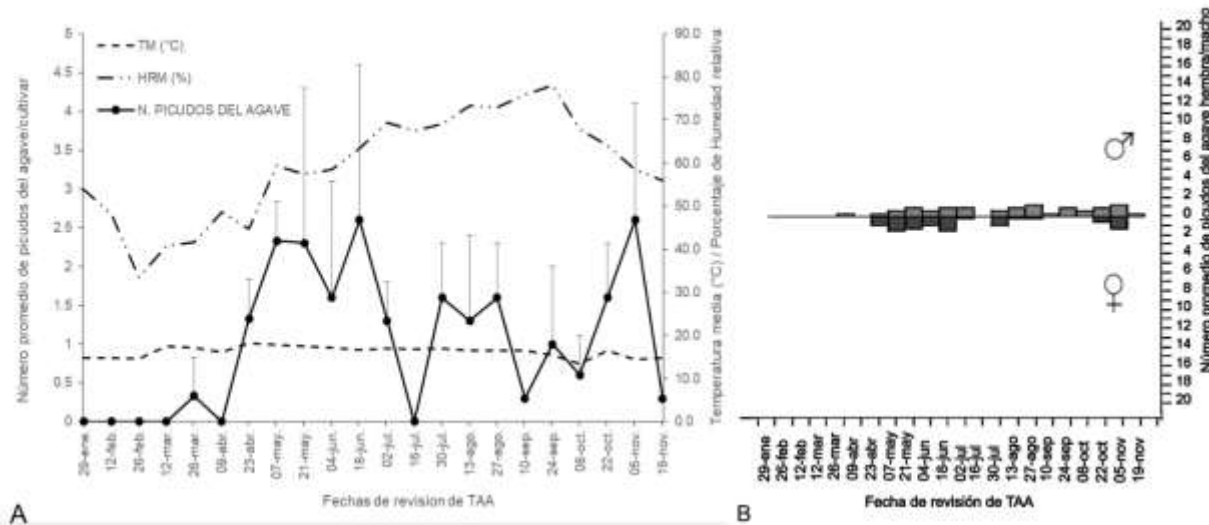


Figura 1.14 A) Promedio del número de picudos de agave capturados con trampas y B) Promedio de machos y hembras de picudos del agave capturados con trampas. Hacienda Nerea, Axapusco, 2021.

En la evaluación de los sistemas agrícolas de maguey pulquero, el IPA obtenido fue de 0.57 para el Ejido Tepetitlán; de 0.79 para el Rancho Ahuatepec y de 0.87 para la Hacienda Nerea. La principal diferencia entre las tres plantaciones fue el nivel de tecnificación y el manejo agronómico realizado, ya que la Hacienda Nerea realiza de manera periódica limpieza de predio, manejo adecuado de residuos vegetales, deshierbe y seguimiento de indicaciones para el trampeo del

picudo del agave; mientras que, la vinculación entre productores, instituciones municipales y estatales, son similares en las tres plantaciones.

En la caracterización de CR, el Manso es el cultivar que cuenta con mayor porcentaje de carbohidratos, Kcal y fibra; mientras que el Verde, cuenta con un porcentaje de grasa idéntico a Manso, sin embargo, es el cultivar con valores más bajos de porcentajes de fibra y proteína. Por otro lado, el cultivar Carrizo presenta el menor porcentaje de carbohidratos, Kcal y porcentaje de grasa. (Cuadro 3.1).

Con la prueba Kruskal-Wallis para la SV se encontró que al menos un cultivar es diferente ($p\text{-value}=2.6E-12$); mientras que la corrección de Bonferroni, arroja que el SV de Verde es diferente al SV de Manso ($p\text{-value}=1.5E-7$) y al SV de Carrizo ($p\text{-value}=8.4E-11$), respecto al porcentaje de severidad de daño en plantas de maguey pulquero infestadas por *S. acupunctatus* (Cuadro 1). La correlación de Kendall muestra que los valores de porcentajes de proteína y de fibra, expresaron los mayores niveles de correlación negativa ($P\text{-value}<0.01$); denotando una tendencia donde a mayor cantidad de estos valores, hay menor SV causada por el picudo del agave. (Figura 3.7).

Cuadro 1.5 Porcentaje de severidad y caracteres fitoquímicos en tres cultivares de maguey pulquero en del noreste del Estado de México.

Cultivar	% Severidad	% Carbohidratos	Kcal/100gr	% Fibra	% Grasa	% Proteína
Manso	13.9 b†	12	51.1	1.3	0.35	0.076
Verde	53.2 a	4.6	21.5	0.9	0.35	0.025
Carrizo	20.6 b	4.1	19.4	1.0	0.33	0.076

†Letras diferentes significan diferencias estadísticamente significativas ($p\text{-value}<0.01$)

Durante el tiempo en que se realizó esta investigación de enero a noviembre de 2021, hubo incidencia del picudo del agave de entre el 2-49% en las plantaciones de maguey pulquero estudiadas en el noreste del Estado de México. Posiblemente, hay dos factores que influyen en estos niveles de incidencia, que son el ciclo de vida del picudo del agave y la presencia estable de

su hospedero; ya que el ciclo de vida también está influenciado por el medio ambiente y factores nutrimentales que encuentra en las plantas de agave.

El ciclo de vida que puede durar entre 113-135 días (Terán-Vargas y Azuara-Domínguez, 2013), el no tener que hibernar y él contar con un ciclo relativamente largo, hace al picudo del agave apto para estar presente y en distintos estadios durante todo el año (Setliff y Anderson, 2011). A la par, el Noreste de Estado de México, tradicionalmente cuenta con especies de agaves pulqueros, tanto en áreas naturales, como en el aprovechamiento en áreas de cultivo (Narvárez-Suárez *et al.*, 2016), lo que, aunado al reciente aumento de plantaciones de este maguey, favorece que *S. acupunctatus* cuente con un nicho ecológico relativamente estable.

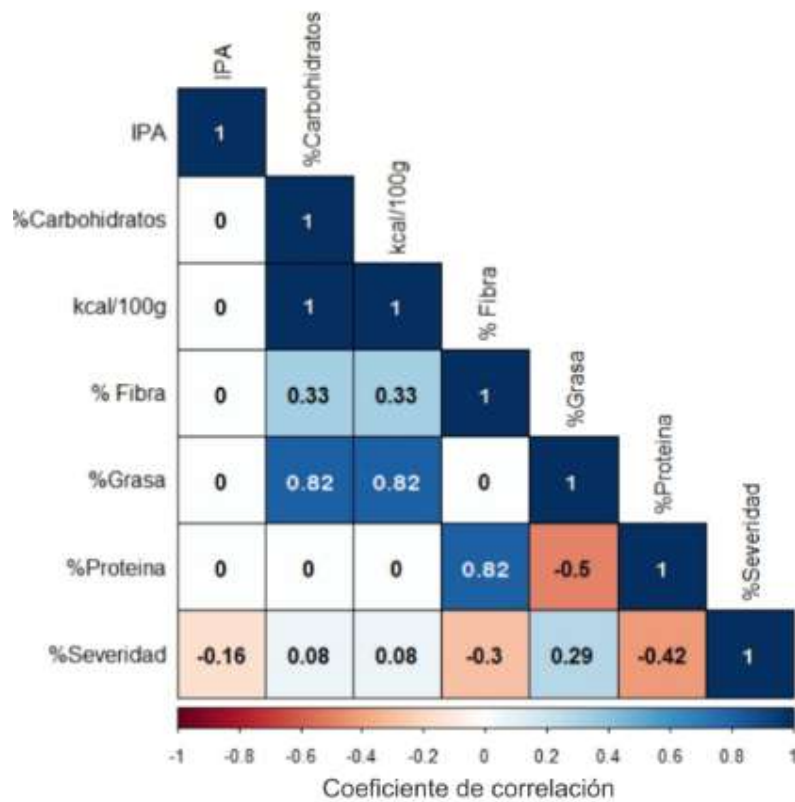


Figura 1.15 Correlación de Kendall sobre el porcentaje de severidad en cultivares de maguey pulquero causada por el picudo del agave.

En diferentes especies de insectos, se ha demostrado que el factor ambiental juega un papel importante en la fluctuación población, así como la cantidad de compuestos químicos que

emiten las plantas hospederas (Piñero y Ruíz-Montiel, 2019). En *S. acupunctatus* se han realizado investigaciones que han evaluado la influencia de algunos factores abióticos sobre el comportamiento estacional de las poblaciones del picudo del agave. En Oaxaca, en magueyes mezcaleros, se observó un mayor aumento de picudo del agave en épocas con mayor humedad (Aquino-Bolaños *et al.*, 2007).

Mientras que, en Jalisco en *Agave tequilana*, Figueroa-Castro *et al.* (2013), determinaron que la temperatura y la precipitación no tuvieron influencia significativa sobre la densidad poblacional del picudo del agave, a diferencia de humedad relativa, que si tuvo un efecto negativo en la densidad poblacional de esta plaga. En el presente estudio, en los cultivares de maguey pulquero, se observó que, aunque la fluctuación poblacional del picudo del agave varía durante el año, con una marcada tendencia de aumento hacia el verano y el otoño, no hubo una relación significativa entre la fluctuación poblacional con la HRM y la TM, lo que puede implicar que además de estas variables, es necesario incluir en futuros estudios otras variables climáticas, como la precipitación, radiación solar o velocidad del viento.

El porcentaje de severidad encontrado en las plantaciones del presente estudio varió del 10-100%. En otros reportes se menciona que *S. acupunctatus* puede ocasionar daños del 24-100% en *A. tequilana*; del 46 % en *A. angustifolia*; del 50% en *A. fourcroydes* y del 30-40% en *A. salmiana* (Cuervo-Parra *et al.*, 2019), lo cual corrobora la necesidad de entender que factores bióticos y abióticos influyen en los niveles de daño que causa *S. acupuntatus* en los magueyes. En la presente investigación se encontró que el manejo agrícola en las plantaciones y el cultivar de maguey pulquero son factores que influyen en el porcentaje de severidad en plantas causadas por la alimentación de *S. acupunctatus*. El manejo agrícola en las plantaciones está implicado con presencia de *S. acupuntatus*, en las plantaciones de maguey pulquero, generalmente los residuos vegetales que son el resultados de las podas y de la eliminación de plantas enfermas, no son adecuadamente desechados (cero control cultural), lo que representa un nichos para el desarrollo del picudo del agave, ya que éste muestra atracción a los volátiles de fermentación de ese tejido vegetal, lo que a su vez provoca un foco de infestación y un aumento en las densidades poblacional de esta plaga (Piñero y Ruíz-Montiel, 2019; Ruiz-Montiel *et al.*, 2017).

Respecto a los porcentajes de severidad que causa el picudo del agave, hay una relación con los compuestos fitoquímicos proteína, grasa y fibra, similarmente Waring y Smith (1986) al

comparar la susceptibilidad de especies de agave cultivados y silvestres al ataque del picudo del agave, concluyen que las distintas concentraciones de compuestos generados en las plantas de agave por factor de estrés biótico, tipo de cultivar y /o variedad y su fenología, influyen en la susceptibilidad al ataque del picudo. Los distintos compuestos de agaves juegan distintos roles en su desarrollo y pueden variar dependiendo de la fenología y época el año (Olvera-Carranza *et al.*, 2015). Si bien pueden ser útiles como mecanismos de defensa a insectos (Shegute y Wasihum 2020), también lo pueden ser en la protección de la planta a efectos abióticos como sequía o heladas (Pérez-López y Simpson, 2020). Por otro lado, en otras especies de insectos, también pueden generar mayor preferencia de alimentación. De esta forma, se concluye que el cultivar Verde muestra mayor severidad de daño por el picudo del agave, este resultado posiblemente responde al ser el cultivar con mayor porcentaje de fibra y menor contenido de proteína, sin embargo, no es posible determinar si este cultivar resulta ser más atrayente al picudo del agave o presenta mecanismos de resistencia menos eficientes para lograr resistir el ataque por este insecto.

3.6 CONCLUSIONES

En el noreste del Estado de México, las plantaciones de maguey pulquero puede tener una incidencia de plantas infestadas entre el 2.4 y 48.7 % por *S. acupunctatus* y aún más importante, es posible encontrar a los adultos durante todo el año.

Las plantas de maguey pulquero con incidencia de picudo del agave, mostraron porcentaje de severidad del 10-100%, aspectos que influyen es el manejo del sistema agrícola, donde cultivares con mayor IP o del uso más eficiente de prácticas agrícolas, muestran menores densidades poblacionales de *S. acupunctatus*.

Los cultivares de maguey pulquero estudiados muestran distinta influencia sobre SV, siendo el cultivar Verde el que muestra mayor SV.

CONCLUSIONES GENERALES

En la presente investigación, se determinó que en las parcelas evaluadas en la Región noreste del Estado de México, es posible encontrar la presencia del picudo del agave durante todo el año, con incidencia en plantaciones entre 2.4-48.7% de plantas infestadas y con porcentajes de severidad que varían del 10-100.

La caracterización de parcelas mediante el análisis de componente principal, muestra variabilidad entre el manejo del agroecosistema, donde en las parcelas con media y baja tecnificación, el punto crítico es el manejo agrícola, que incluye podas, eliminación de residuos vegetales apropiadas y seguimiento correcto de medidas de manejo fitosanitario y control cultural propuestas por los técnicos del CESAVEM.

En la región noreste del Estado de México, la caracterización morfológica muestra que para una identificación primaria de los cultivares de maguey pulquero, es posible usar variables cualitativas y cuantitativas propias de cada cultivar. Mientras que, la caracterización fitoquímica arroja diferentes valores según los cultivares, con variaciones en los porcentajes de contenido de azúcares, fibra y proteína; así como de Kcal.

Finalmente, la severidad que el picudo puede causar en el maguey pulquero, se encuentra correlacionada con el factor manejo agrícola de los predios y los componentes fitoquímicos propios de los cultivares de maguey pulquero estudiados, por ejemplo, los bajos porcentajes de fibra y proteína del cultivar Verde, resultan en mayores porcentaje de severidad causados por el picudo del agave.

LITERATURA CITADA

- Aquino-Bolaños T., Iparraguirre Cruz M. A., y Ruiz-Veja J. (2007) *Scyphophorus acupunctatus* (= *interstitialis*) Gyllenhal (Coleoptera: Curculionidae). Plaga del agave mezcalero: pérdidas y daños en Oaxaca, México. *UDO Agrícola* 7(1): 175-180. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=2550669>
- Almaraz-Abarca N., Delgado-Alvarado E., Torres-Morán M., Herrera-Corral J., Ávila-Reyes J., Naranjo-Jiménez N. y Uribe-Soto J. (2013). Genetic variability in natural populations of *Agave durangensis* (Agavaceae) revealed by morphological and molecular traits. *The Southwestern Naturalist*, 58(3): 314-324, <https://doi.org/10.1894/0038-4909-58.3.314>
- Alfaro-Rojas G., Legaria-Solano J.P. y Rodríguez-Pérez J.E. (2007). Diversidad genética en poblaciones de agaves pulqueros (*Agave* spp.) del nororiente del Estado de México. *Revista Fitotecnia Mexicana* 30(1): 1-12, <https://doi.org/10.35196/rfm.2007.1.1>
- Álvarez-Ríos G.D., Figueredo-Urbina C.J., y Casas A. (2020a) Sistemas de manejo de maguey pulquero en México. *Revista Etnobiológica* 18(2): 3-23. <https://revistaetnobiologia.mx/index.php/etno/article/view/377>
- Álvarez-Ríos G.D., Pacheco-Torres F., Figueredo-Urbina C.J. y Casas A. (2020b). Management, morphological and genetic diversity of domesticated agaves in Michoacán, México. *Journal of Ethnobiology and Ethnomedicine* 16(3): 1-17, <http://doi.org/10.1186/s13002-020-0353>.
- Arévalo R.A., Bertoncini E.I., Guirado N., Chaila S. (2006). Los términos cultivar o variedad de caña de azúcar (*Saccharum* spp.) *Revista Chapingo Serie Horticultura* 12(1):5-9. <http://doi.org/10.5154/r.rchsh.2004.04.0267>
- Arnold S.E. J., Elisante F., Mkenda P.A. Tembo Y.L.B., Ndakidemi P.A. Gurr G.M. Darbyshire I.A. Belmain S.R. y Stevenson P.C. (2021) beneficial insects are associated with botanical rich margins with trees on small farms. *Scientific reports* 11(15190): 1-11, <http://doi.org/10.1038/s41598-021-94536-3>.
- Barrera J.F., Montoya P. y Rojas J. (2006). Bases para la aplicación de sistemas de trampas y atrayentes en manejo integrado de plagas. *In: Simposio sobre trampas y atrayentes de detección, monitoreo y control de plagas de importancia económica.* Barrera J.F. y Montoya P. (eds.). Sociedad Mexicana de Entomología y El Colegio de la Frontera Sur. Colima, México, pp: 1-16.
- CABI, Centre for Agricultural Bioscience International (2022). *Invasive Species Compendium.* Additional resources: *Scyphophorus acupunctatus* (agave weevil). Wallingford, UK. <https://www.cabi.org/isc> (February 2022).
- Castillo Q.D y Cano P.A. (2006). Establecimiento y manejo de plantaciones comerciales de maguey para la extracción de aguamiel en el sureste de Coahuila. INIFAP, México, D.F. 23p.

- Castañeda-Nava J.J., Rodríguez-Domínguez J.M., Camacho-Ruiz R.M., Gallardo-Valdez J., Villegas-García E. y Gutiérrez-Mora A. (2019). Morphological comparison among populations of *Agave salmiana* Otto ex Salm-Dyck (Asparagaceae), a species used for mezcal production in Mexico. *Flora* 255:18-23, <http://doi.org/10.1016/j.flora.2019.03.019>.
- Cervera Herrera J.C., Leirana-Alcocer J.L. y Navarro Alberto J.A. (2018). Factores ambientales relacionados con la cobertura de *Agave angustifolia* (Asparagaceae) en el matorral costero de Yucatán, México. *Acta Botánica Mexicana* 124:1-12, <https://doi.org/10.21829/abm124.20181252>
- Chávez-Güitrón L.E., Salinas-Pérez F.C., Pérez-Salinas E.A., Caballero J., Vallejo-Zamora A. y Sandoval-Zapotitla E. (2019). Variación de caracteres epidérmico-foliare de *Agave salmiana* subsp. *Salmiana* (Asparagaceae) en el centro de México, *Botanical Sciences* 97 (4):711-724, <https://doi.org/10.17129/botsci.2159>
- Colunga-García M. P., Torres-García I., Casas A., Figueredo-Urbina C.J., Rangel-Landa S., Delgado-Lemus A., Vargas O., Cabrera-Toledo D., Zizumbo-Villarreal D., Aguirre-Dugua X., Eguiarte L.E. y Carrillo-Galván G. (2007a) Capítulo 11: Los agaves y las prácticas mesoamericanas de aprovechamiento, manejo y domesticación 1. *In: Domesticación en el continente americano Vol.2.* Casas A., Torres-Guevara J. y Parra R.F. (eds.) UNAM/UNALM. https://www.researchgate.net/publication/316883938_los_agaves_y_las_practicas_mesoamericanas_de_aprovechamiento_manejo_y_domesticacion_1
- Colunga-García P., Zizumbo-Villarreal D. y Martínez-Torres J. (2007b). Tradiciones en el aprovechamiento de los agaves mexicanos: una aportación a la protección legal y conservación de su diversidad biológica y cultural. *In: En lo ancestral hay futuro: del tequila, los mezcales y otros agaves.* Centro de Investigación Científica de Yucatán: Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad: Instituto Nacional de Ecología (eds.). Mérida, Yucatán: Centro de Investigación Científica de Yucatán A.C.402 p.
- Cuervo-Parra A.J., Pérez-España V.H., Pérez P.A., Morales-Ovando M.A., Arce-Cervantes O. (2019). *Scyphophorus acupunctatus* (Coleoptera: Dryophthoridae): A weevil Threatening the Production of Agave in Mexico. *Florida Entomologist* 102(1):1-9, <https://doi.org/10.1653/024.102.0101>
- Eguiarte LE, Souza V, y Silva-Montellano A. 2000. Evolución de la familia Agavácea: filogenia, biología reproductiva y genética de poblaciones. *Boletín de la Sociedad Botánica de México*, 66: 131-151. <http://doi.org/10.17129/botsci.1618>.
- Enríquez-Salazar I.M., Veana F., Aguilar C.N., de la Garza-Rodríguez I.M., López M.G., Rutiaga-Quñones O.M., Morlett-Chávez J.A. y Rodríguez-Herrera R. (2017). Microbial diversity and biochemical profile of aguamiel collected from *Agave salmiana* and *A. atrovirens* during different seasons of year. *Food Science Biotechnology*, 26(4): 1003-1011, <https://doi.org/10.1007/s10068-017-0141-z>

- Figueredo-Urbina C.J., Álvarez-Ríos G.D., García-Montes M.A. y Octavio-Aguilar P. (2021). Morphological and genetic diversity of traditional varieties of agave in Hidalgo State Mexico. PLOS ONE 16(7): e0254376. <https://doi.org/10.1371/journal.one.0254376>
- Figueredo-Urbina C.J., Casas A., Martínez-Díaz Y., Santos-Zea L. y Gutierrez-Urbe J.A. (2018). Domestication and saponins contents in a gradient of management intensity of agaves: *Agave cubreata*, *A. inaequidens* and *A. hookeri* in central México. Genetic Resources and Crop Evolution 65:1133-1146, <https://doi.org/10.100/s10722-017-0601-6>
- Figueroa-Castro P., Solís-Aguilar J.F., González-Hernández H, Rubio-Cortés R., Herrera-Navarro E.G., Castillo-Márquez L.E. y Rojas J.C. (2013). Population dynamics of *Scyphophorus acupunctatus* (Coleoptera: Curculionidae) on blue agave. Florida Entomologist 96(4): 1454-1462, <https://doi.org/10.1653/024.096.0425>.
- García-Herrera J., Méndez G.J. y Talavera M.D. (2010). El género *Agave* spp. en México: principales usos de importancia socioeconómica y agroecológica. Salud Pública y Nutrición, 5: 109-129.
- García Mendoza A.J. (2007). Los agaves de México. Ciencias 87:14-23, <http://www.revistas.unam.mx/index.php/cns/article/view/12113>
- García-Mendoza A. y Galván R. (1995). Riqueza de las familias Agavácea y Molinaceae en México. Boletín de la Sociedad Botánica de México 56: 7-24, <https://doi.org/10.17129/botsoci.1461>
- García-Núñez R.M, Galán-Reséndiz M., Cuevas-Sánchez J.A. y Álvarez-Hernández R. (2020). Identificación y caracterización morfológica de agaves en sistemas agroforestales con metepantle en tierras campesinas. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas 11(4):917-929, <http://doi.org/10.29312/remexca.v11i4.2468>
- Giordani P., Brigida Ferraro M. y Martella F. (2020). An introduction to clustering with R. Okada A (eds.) Behaviormetrics: Quantitative Approaches to Human Behavior. Italia. <https://doi.org/10.1007/978-981-13-0553-5>.
- Geilfus F. (2002). Herramientas para el desarrollo participativo: diagnóstico, planificación, monitoreo, evaluación. IICA. San José, Costa Rica. 217p.
- Giuliano A.B., Montes V. FD. Y Gorgatti Z.P.H.(2009). Aggregation pheromone in Curculionidae (Insecta: Coleoptera) and their taxonomic implication. Quimica Nova 42(8):2151-2158.
- González-Hernández H., del Real Laborte J.I. y Solís Aguilar J.F. (2007). Manejo de plagas del agave tequilero. Texcoco. Sauza y Colegio de Postgraduados.
- INEGI, Instituto Nacional de Estadística y Geografía (2010^a). Compendio de información geográfica municipal 2010. Axapusco, México. México. <https://www.inegi.org.mx> (Mayo 2022)
- INEGI, Instituto Nacional de Estadística y Geografía (2010^b). Compendio de información geográfica municipal 2010. Otumba, México. México. <https://www.inegi.org.mx> (Mayo 2022)

- INEGI, Instituto Nacional de Estadística y Geografía (2010c). Compendio de información geográfica municipal 2010. Teotihuacán, México. México. <https://www.inegi.org.mx> (Mayo 2022)
- Kassambara A. (2017). Practical guide to cluster analysis in R: unsupervised machine learning (Vol 1). STHDA. 187 p, <http://www.sthda.com>
- Kelly J. and Olsen M. (2006). Problems and Pest of Agave, Aloe, Cactus and Yucca, Arizona: The University of Arizona cooperative extension, <http://extension.arizona.edu/sites/extension.arizona.edu/files/pubs/az1399.pdf>
- León-Sicard T.E., Toro-Calderón J., Martínez-Bernal L-F., y Cleves- Leguizamo J.A. (2018) The Main Agroecological Structure (MAS) of the agroecosystems: Concept, Methodology and Applications. Sustainability 10(3131): 2-21. <https://doi.org/10.3390/su10093131>
- Lescourret F., Magda D., Richard G., Adam-Blondon A.F., Bardy M., Braudy J. Doussan I., Dumont B., Lefèvre F., Litrico I., Martin-Clouaire R., Montuelle B., Pellern S., Plantegenest M., Tancoigne E., Thomas A., Guyomard H. y Soussana J.F. (2015) A social-ecological approach to managing multiple agro-ecosystem services. Current Opinion in Environmental Sustainability 14: 68-75. <https://doi.org/101016/j.cosust.201504.001>
- Mandujano-Bueno, A., Pons Hernández, J. L., Paredes Melesio, R. y García Meza, P., (2018). Diversidad genética de maguey (*Agave spp.*) en las sierras y llanuras del norte de Guanajuato. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas 9(3):511-523, <https://doi.org/10.29312/remexca.v9i3.1212>
- Moreno-Terrazas R., Escalante A., Verdugo-Valdez A.G., De la Rosa M., Ortiz Basurto R.I., Orantes García C., Palafox-González L., Castro Díaz A.S. y Lappe-Olveras P. (2017). Bebidas Refrescantes y alcohólicas de agave *In*: Panorama del aprovechamiento de los agaves en México. Anne Christine Gschaedler Mathis. (ed.). CIATEJ, AGARED CONACYT. 302 p.
- Molina D. M. (2013). Contribución al conocimiento de la distribución actual de la especie invasora *Scyphophorus acupunctatus* Gyllenhal, 1838 (Coleoptera: Dryophthoridae) en la Península Ibérica. Revista Gaditana de Entomología 4 (1): 11-16, <https://www.biotaxa.org/RGDE/article/view/3294>
- Narváez-Suárez A., Jiménez Velázquez M., Martínez S. T. y Cruz G. B. (2016). Maguey pulquero (*Agave salmiana* Otto ex Salm-Dyck): Opción para desarrollo rural. Agroproductividad 9 (10):56-62, <https://revista-agroproductividad.org/indez.php/agroproductividd/article/view/832>
- Nicolls C.I. y Altieri M.A. (2004) Chapter 3. Agroecological bases of ecological engineering for pest management *In*: Ecological Engineering for Pest Management: Advances in Habitat Manipulation for Arthropods. Gurr G.M. Wratten S.D. y Altieri M.A. (eds.). CSIRO PUBLISHING. Australia, 225p.

- Nieto-Aquino R. (2016). El cultivo de maguey pulquero (*Agave salmiana*) en el valle del Mezquital. 1ª. Ed. Francisco I. Madero, Hidalgo: Universidad Politécnica de Francisco I. Madero. Hidalgo.
- Olvera-Carranza, Clarita, Angela Ávila-Fernandez, Gustavo R Bustillo-Armendáriz, y Agustín López-Munguía(2015). Processing of Fructans and Oligosaccharides from Agave Plants. *In: Processing and Impact on Active Components in Food*, Preedy V.(ed). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-404699-3.00015-9>
- Palestina-González M. I., Carranza-Cerda I., López-Reyes L., Torres E., Silva-Gómez S.E. (2021). Sustainability Assessment of Traditional Agroecosystems in the High Region of Yaonáhuac, Puebla, Mexico. *Environments* 8(40): 2-21, <https://doi.org/10.3390/environments8050040>
- Peña-Álvarez A., Díaz L., Medina A., Labastida C., Capella S. y Vera L.E. (2004). Characterization of three *Agave* species by gas chromatography and solid-phase microextraction-gas chromatography-mass spectrometry. *Journal of Chromatography A*. 1027(1-2):131-136. <https://doi.org/10.1016/j.chroma.2003.10.082>.
- Pérez-López A.V., and Simpson J.(2020).The sweer taste of adapting to the desert: fructan metabolism in Agave species. *Frontiers in Plant Science: Crop and product physiology* 11(324):1-5, <https://doi.org/10.3389/fpls.2020.00324>
- Pérez-Zavala L.M., Hernández-Arzaba J.C., Bideshi D.K. y Barboza-Corona J.E. (2020). Agave: a natural renewable resource with multiple applications, *Journal of the Science of Food and Agriculture* 100(15): 5324-5333, <https://doi.org/10.1002/jsfa.10586>
- Pinos-Rodríguez J. M., Zamudio M. y González S. S. (2008). The effect of plant age on the chemical composition of fresh and ensiled *Agave salmiana* leaves. *South African Journal of Animal Science* 38: 43-50, <https://doi.org/10.4314/sajas.v38i1.4108>
- Piñero Jaime C. y Ruíz-Montiel C (2019) Ecología química y manejo de picudos (Coleóptera: Curculionidae) de importancia económica. *In: Temas selectos en ecología química de insectos*. J. C. Rojas y E. A. Malo(eds.): El Colegio de la Frontera Sur, San Cristóbal de las Casas, Mexico, pp: 361-400.
- Poder Ejecutivo del Estado de México. (2016). Reglamento de la ley para la protección del maguey en el Estado de México. Toluca de Lerdo México. <https://legislacion.edomex.gob.mx/node/14391> (Mayo 2021)
- Porter M. M. y Nikslar P. (2018). Multidimensional mechanics: Performance mapping of natural biological systems using permutated radar charts. *PLoS ONE* 13 (9): 1-18, <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0204309>
- Porrás-Ramírez E.S., Sosa-Marcos Y., Palma-Cruz F. y Cisneros A. (2016). Phenotyping the genetic diversity of wild *Agave* species that coexist in the same spatial region. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca*, 44(2): 640-648. <https://doi.org/10.15835/nbha44210586>

- Puente-Garza C., Espinosa-Leal C., y García-Lara S. (2018). Steroidal Saponin and Flavonol Content and Antioxidant Activity during Sporophyte Development of Maguey (*Agave salmiana*). *Plant Foods Hum Nutritional* 73(4): 287-294, <https://doi.org/10.1007/s11130-018-0684-z>
- R Core Team (2021). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. <https://www.R-project.org/>
- Rodríguez-Rebollar H. (2011). "Trampero del picudo del agave *Scyphophorus acupunctatus* Gyll. (Coleóptera: curculionidae) con feromonas de agregación y volátiles del agave. Tesis de doctorado, Colegio de Postgraduados, Texcoco, Estado de México.
- Romo A. y Morrone J. J. (2012). Especies mexicanas de Curculionidae (Insecta: Coleoptera) asociadas con agaves (Asparagaceae: Agavoideae). *Revista Mexicana de Biodiversidad* 83:1025-1035, <https://doi.org/10.7550/rmb.30633>
- Ruiz-Corral J. A. Medina-García G., González-Acuña I. J., Flores-López H.E., Ramírez O. G., Ortiz-Trejo C., Byerly M., Martínez-Parra R.A. (2013). Agave Pulquero. En: Requerimientos agroecológicos de cultivos. Tepatitlán de Morelos, Jalisco, México: INIFAP-CIRPAC-Campo Experimental Centro Altos de Jalisco. 564 p.
- Ruiz-Montiel C., Ramón-Dominguez C.I., Domínguez-Reyes L., Ainsa-Zarate R. y Mendoza-López M.R. (2017). Efecto de la trampa y atrayente sobre *Scyphophorus acupunctatus* en Agave. *Southwestern Entomologist* 42(1):237-247, <http://dx.doi.org/10.3958/059.042.0121>
- Santos-Zea L., Leal-Díaz A.M., Cortés-Ceballos E., Gutiérrez-Urbe y Janet Alejandra. (2012) Agave (*Agave* spp.) and its traditional products as a source of bioactive compounds. *Current Bioactive Compounds* 8:1-15,
- Sarandón S. J., y Flores C.C. (2009). Evaluación de la sustentabilidad en agroecosistemas: una propuesta metodológica. *Agroecología* 4: 19-28 (2009), <https://revistas.um.es/agroecologia/article/view/117131>
- Setliff G. and Anderson J. (2011). First record of the agave snout weevil, *Scyphophorus acupunctatus* Gyllenhal (Coleoptera: Curculionidae: Dryophthorinae), in Puerto Rico. *Insecta Mundi*, 152: 1-3. <https://digitalcommons.unl.edu/insectamundi/671/>
- Shegute T. y Yared W. (2020). Antibacterial Activity and phytochemical components of leaf Extracts of *Agave americana*. *Journal of Experimental Pharmacology* 12: 447-454 <https://doi.org/10.2147/gep.s258605>
- SIAP, Servicio de Información Pesquera y Alimentaria. (2018). Producción agrícola. . http://infosiap.siap.gob.mx:8080/agricola_siap_gobmx/AvanceNacionalSinPrograma.do (Mayo 2022).
- Sidana J., Singh B. y Sharma O.P. (2016). Saponins of *Agave*: chemistry and bioactivity. *Phytochemistry* 130:22-46, <http://dx.doi.org/10.1016/j.phytochem.2016.06.010>

- Silos-Espino H., González-Cortés N., Carrillo-López A., Guevara-Lara F., Valverde-González M. y Paredes-López O. (2007). Chemical composition and in vitro propagation of *Agave salmiana* 'Gentry'. *Journal of Horticultural Science y Biotechnology* 82(3): 355-359, <https://doi.org/10.1080/14620316.2007.11512242>
- Smith G., Figueredo E., Klopper R., Crouch N., Janion Ch., Chown S. (2012). A new specific plant host for the agave snout weevil, *Scyphophorus acupunctatus* Gyllenhal, 1838 (Coleoptera: Curculionidae) in South Africa: a destructive pest of species of *Agave* L. (Agavaceae). *Bradleya* 30: 19-24, <https://doi.org/10.25223/brad.n30.2012.a6>
- SNICS, Servicio Nacional de Inspección y Certificación de Semillas (2014). Guía técnica para la descripción varietal del *Agave* (*Agave* spp.). Tlalnepantla, Estado de México: <https://www.gob.mx/snics/acciones-y-programas/forrajas-e-industriales>
- Solís-Aguilar J. F., González-Hernández H., Leyva-Vázquez J. L., Equihua-Martínez A., Flores-Mendoza F. J., Martínez-Garza A. (2001). *Scyphophorus acupunctatus* Gyllenhal, Plaga del agave tequilero en Jalisco, México. *Agrociencia* 35(6): 663-670. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?Id=30200609>
- Terán-Vargas A. y Azuara-Domínguez A. (2013). El picudo *Scyphophorus acupunctatus* Gyllenhal y su manejo en el agave tequilero (*Agave tequilana* F.A.C. Weber) variedad azul. Tamaulipas. INIFAP México D.F. 28 p.
- Trejo L., Reyes M., Cortés-Toto D., Romano-Grande E. y Muñoz-Camacho L. (2020). Morphological diversity and genetic relationships in pulque production *Agaves* in Tlaxcala, Mexico, by means of unsupervised learning and gene sequencing analysis. *Frontiers in Plant Science* 11: 524812, <https://doi.org/10.3389/fpls.2020.524812>
- Vaurie P. (1971). Review of *Scyphophorus* (Curculionidae: Rhynchophorinae). *The Coleopterists Bulletin*. 25(1):1-8, <https://www.jstor.org/stable/3999585>
- Vicente-Magueyal J., Bautista-Méndez A., Villanueva-Tierrablanca H.D., García-Ruíz J.L., Jiménez-Islas H. y Navarrete-Bolaños J.L. (2020). Novel process to obtain agave sap (aguamiel) by directed enzymatic hydrolysis of agave juice fructans, *Food Science and Technology*, 127: 1-9, <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.109387>
- Vivanco M. (2005). *Muestreo Estadístico Diseño y Aplicaciones*. Editorial Universitaria. Chile. 210 p.
- Waring G.L. y Smith R.L. (1986). Natural history and ecology of *Scyphophorus acupunctatus* (Coleoptera: Curculionidae) and its associated microbes in cultivated and native agave. *Annals of the Entomological Society of America*. 79 (2):334-340, <http://doi.org/10.1093/aesa/79.2.334>