

DIVERSIDAD DE AGAVES UTILIZADOS PARA LA PRODUCCIÓN DE JARABE DE AGUAMIEL EN EL ESTADO DE HIDALGO, MÉXICO

DIVERSITY OF AGAVES USED TO PRODUCE AGUAMIEL SYRUP IN THE STATE OF HIDALGO, MÉXICO

Figueredo-Urbina, Carmen Julia; Oscar Arce-Cervantes y Araceli Castañeda-Ovando
DIVERSIDAD DE AGAVES UTILIZADOS PARA LA PRODUCCIÓN DE JARABE DE
AGUAMIEL EN EL ESTADO DE HIDALGO, MÉXICO
DIVERSITY OF AGAVES USED TO PRODUCE AGUAMIEL SYRUP IN THE STATE OF
HIDALGO, MÉXICO



Diversidad de agaves utilizados para la producción de jarabe de aguamiel en el estado de Hidalgo, México

Diversity of agaves used to produce aguamiel syrup in the state of Hidalgo, México

Carmen Julia Figueredo-Urbina;
Oscar Arce-Cervantes
y Araceli Castañeda-Ovando

DIVERSIDAD DE AGAVES
UTILIZADOS PARA LA
PRODUCCIÓN DE JARABE
DE AGUAMIEL EN EL
ESTADO DE HIDALGO,
MÉXICO

DIVERSITY OF AGAVES
USED TO PRODUCE
AGUAMIEL SYRUP IN THE
STATE OF HIDALGO,
MÉXICO

POLIBOTÁNICA

Instituto Politécnico Nacional

Núm. 58: 265-290. Julio 2024

DOI:
10.18387/polibotanica.58.19

Carmen Julia Figueredo-Urbina: *Autor de correspondencia:* figueredocj@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0003-0906-8821>

*Investigadora por México CONAHCYT, Instituto de Ciencias Agropecuarias,
Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, Tulancingo de Bravo, Hidalgo, México*

Oscar Arce-Cervantes

<https://orcid.org/0000-0002-3388-2973>

*Instituto de Ciencias Agropecuarias, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo,
Tulancingo de Bravo, Hidalgo, México*

Araceli Castañeda-Ovando

<https://orcid.org/0000-0003-0759-3198>

*Área Académica de Química, Instituto de Ciencias Básicas e Ingeniería,
Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo.
Mineral de la Reforma, Hidalgo, México*

RESUMEN: Los agaves son plantas de importancia biocultural para los mexicanos, con una larga historia de interacción con los humanos, además de ser consideradas plantas clave de los ambientes en donde crecen. Actualmente, muchos de sus usos antiguos siguen vigentes, reportándose más de 100 diferentes usos, que se agrupan en 22 categorías, donde las bebidas destiladas son *económicamente* importantes, existiendo otros usos que cobran auge, como es el jarabe de aguamiel. El objetivo de este estudio fue describir los sistemas productivos de los agaves empleados para la extracción de savia o aguamiel para la producción de jarabe de aguamiel, caracterizar de las variedades tradicionales de agaves manejados en el estado de Hidalgo. El estudio se realizó en cinco municipios del estado de Hidalgo, se consideró un total 12 localidades. En cada uno de los sitios de muestreo se realizaron visitas de prospección y se seleccionaron ocho sistemas productivos, en los cuales se realizó la evaluación etnobotánica con recorridos temáticos, entrevistas abiertas y semiestructuradas. Además, se caracterizaron morfológicamente las variedades tradicionales de agaves y se realizaron análisis genéticos con el uso de 10 microsatélites de núcleo. Los sistemas productivos que se registraron fueron los *metepantles*, los *Ñu'ta*, las *magueyerías* y *magueyes en cerca viva* o *linderos* que limitan espacios productivos. En estos sistemas productivos se mantienen 28 variedades tradicionales de agaves pulqueros, pertenecientes a cuatro especies de agaves. Se encontró que los sistemas productivos de *metepantle* en La Gaspateña (Singuilucan, Hidalgo), Jardín de Mayahuel (La Raya de Singuilucan) y los sistemas de producción *Ñu'ta* del Cardonal fueron los más agrobiodiversos (11, 8 y 9 variedades tradicionales de agaves pulqueros respectivamente). Estas regiones se diferencian por las variedades preferidas, el *Manso* en la zona de la Altiplanicie Pulquera y *Xaminí* el Valle del Mezquital. La diversidad genética osciló entre 0.020 a 0.200, estos valores están en el intervalo de lo reportado para otras variedades en el estado de Hidalgo y México. Se concluye que la agrobiodiversidad de los agaves usados en esta actividad, junto con la diversidad que se encuentra en los espacios productivos y los conocimientos de manejadores, hacen de la producción de jarabe de aguamiel en el estado de Hidalgo una actividad que mantiene elevada diversidad biológica y cultural.

Palabras clave: agrobiodiversidad de agaves, aguamiel, savia, morfometría, diversidad genética.

ABSTRACT: Agaves are plants of biocultural importance to Mexicans with a long history of interaction with humans, in addition to being considered key plants in the environments where they grow. Many of their historic uses continue to be relevant, with more than 100 different uses reported, grouped into 22 categories, among which the production of alcoholic beverages is *economically* important and other uses are on the rise, such as the production of agave syrup. The objective of this study was to describe the production systems of the agaves used for the extraction of sap for the production of agave syrup and to characterize the traditional varieties of agaves that are managed in the state of Hidalgo. The study was performed in five municipalities in the state of Hidalgo, considering a total of 12 localities. At each of the sampling sites, we performed pilot visits and selected eight production systems in which to perform ethnobotanical evaluations through thematic tours and open and semi-structured interviews. In addition, we morphologically characterized the traditional agave varieties and performed genetic analyses using 10 nuclear microsatellites. The production systems recorded were *metepantles*, *Ñu'ta*, *magueyeras* and *magueyes en cerca viva* or *linderos* that delimit production spaces. In these productive systems, 28 traditional varieties of pulque agaves were kept, belonging to four agave species. We found that the *metepantle* production systems in La Gaspareña (Singuilucan, Hidalgo) and Jardín Mayahuel (La Raya de Singuilucan) and the *Ñu'ta* production systems of Cardonal were the most agrobiodiverse (11, 8 and 9 traditional varieties of pulque agaves, respectively). These regions differ in their preferred varieties, with *Manso* preferred in the zone of the Altiplanicie Pulquera region and *Xamini* preferred in the Mezquital Valley. The genetic diversity ranged from 0.020 to 0.200; these values are within the range reported for other varieties in Hidalgo and Mexico. We concluded that the agrobiodiversity of the agaves used for this activity, together with the diversity in the productive spaces and knowledge of managers make the production of agave syrup in the state of Hidalgo an activity that maintains high biological and cultural diversity.

Key words: agave agrobiodiversity, *aguamiel*, sap, morphometry, genetic diversity

INTRODUCCIÓN

Los agaves, o magueyes como también son conocidos, pertenecen a la familia Asparagaceae (Bremer *et al.*, 2009; Chase *et al.*, 2016), son plantas rosetófilas con metabolismo ácido de las crasuláceas (MAC) y suculentas. Estas características les ha permitido habitar diferentes tipos de ambiente. En la actualidad, se distribuyen naturalmente en el continente americano, aunque es posible encontrar agaves en otros continentes, cultivados y también naturalizados. Los agaves crecen en ambientes diversos y a diferentes altitudes. El centro de origen de este grupo de plantas son las zonas semiáridas de México, donde se han reconocidos cerca de 200 especies, además es el lugar de mayor riqueza de especies y de endemismos (García-Mendoza *et al.*, 2019). Uno de los hechos más fascinante de este grupo de plantas, es la continua interacción que ha tenido el ser humano desde hace unos 9,000 años, y se ha evidenciado a través de los restos arqueológicos e históricos (Callen, 1967; MacNeish, 1967; Smith, 1967). En los últimos años se han documentado cerca de 100 usos diferentes para los agaves, mismos que se agrupan en 22 categorías (Colunga-GarcíaMarín *et al.*, 2017; Trejo *et al.*, 2022). Se cuenta con registro arqueológico del uso de los agaves como alimento, la base de las hojas y el cormo central o tallo de los agaves se cocía y se consumía, se ha encontrado tejido de estas partes de la planta que fueron masticados para extraer sus jugos y escupidos en algunas cuevas en Oaxaca, Tamaulipas y Puebla. Estos restos cuentan con marcas de dentadura humana y tienen una antigüedad de 6,000 años (Vela *et al.*, 2014). Asimismo, se ha evidenciado a través de coprolitos la existencia de polen y tejido de agaves, la cual sugiere su consumo hace unos 7,000 años, principalmente en zonas áridas de México (Callen, 1967). Existe también evidencia que da cuenta del uso de la savia de algunos agaves para la obtención de una bebida fresca, conocida como *aguamiel*, la cual se fermenta y se obtiene el *pulque*, bebida de importancia biocultural con registro de consumo desde hace unos 2,000 años a la fecha (Álvarez Palma *et al.*, 1998; Goncalves de Lima, 1986). Otro de los usos de la savia de

los agaves es para realizar un tipo de arrope, jarabe o concentrado de aguamiel, el cual se menciona también en los registros históricos escritos acerca de los usos de los agaves (Sahagún, 1999).

La savia se obtiene de realizar una oquedad en el centro de la planta de los magueyes maduros, la cual se conoce con el nombre de “cajete” (Álvarez-Ríos *et al.*, 2020). Para una extracción óptima se realizan múltiples prácticas como el capado, añejamiento y picado del maguey (Buccio Peña *et al.*, 2022), además de contar con un amplio conocimiento ecológico tradicional para manejar los agaves y realizar las artes pulqueras, estas labores se mantienen por generaciones a través de la tradición oral. Una vez abierto el cajete diariamente se extrae la savia de los magueyes, el cual es un líquido de color ámbar a cristalino, con una concentración de sólidos disueltos que va de 8 a 17 °Brix (Escalante *et al.*, 2016; Álvarez Ríos, 2019). La savia colectada se lleva a cocción de manera artesanal, obteniendo así el concentrado de aguamiel, jarabe de aguamiel o miel de maguey, y que no debe confundirse con el jarabe de agave, el cual se obtiene de *Agave tequilana*, a través de procedimientos diferentes, principalmente industriales. Con esta técnica de concentración de un líquido por evaporación, se obtiene un producto que permite aprovechar y conservar la savia de los agaves, además de obtener un producto para la comercialización en los mercados locales y nacionales, siendo que también ha tenido aceptación en el público internacional.

Recientemente se ha reportado cerca de 40 especies de agaves que se utilizan en México para extraer la savia o aguamiel y producir el pulque (Álvarez-Ríos *et al.*, 2022), de las cuales en el estado de Hidalgo se han documentado cinco especies (Figueredo-Urbina *et al.*, 2021). Los productores de maguey identifican diferencias en los agaves pulqueros, rasgos distintivos que dan cuenta de otros niveles de diversidad como son las variedades tradicionales de agaves pulqueros y que forman parte de la agrobiodiversidad de los sistemas de producción de esta región. Estas variedades tradicionales de agaves pulqueros, además de lucir diferentes a nivel morfológico, la gente percibe también diferencias en características del aguamiel y de los productos obtenidos a partir de estos, como son el pulque y el jarabe de aguamiel.

Esta diversidad en la morfología y otros rasgos de los agaves pulqueros son resultado del manejo, el cual son el conjunto de acciones o intervenciones, las prácticas que se aplican a las plantas y las funciones del sistema, las adecuaciones de los espacios en donde se encuentran o donde se mantienen estas plantas. Tiene la particularidad de ser intencional o deliberado y es motivado principalmente por la incertidumbre de la disponibilidad del recurso y conlleva a procesos evolutivos de selección artificial continuos como la domesticación. Los agaves pulqueros se mantienen en diversos sistemas, que se han denominado sistemas de manejo (Álvarez-Ríos *et al.*, 2020), otros autores y dependiendo del enfoque o la disciplina, los denominan sistemas agrícolas, sistemas productivos o agroecosistemas, con algunas variaciones, pero que en sí definen un socioecosistema o sistema socioecológico en donde el elemento principal son los agaves. Los sistemas productivos de agave pulquero o sistemas de manejo, es un concepto amplio que incluye el espacio geográfico definido, donde el agave es el elemento central, y además de los componentes bióticos, abióticos, socioeconómico, los procesos y el flujo de energía que allí se dan, destacan los siguiente elementos: 1) las variedades tradicionales de agave pulquero, 2) el cúmulo de conocimientos y prácticas asociadas a la propagación, mantenimiento y aprovechamiento de los agaves, 3) las herramientas y espacios requeridos para llevar a cabo las actividades y 4) las personas encargadas del funcionamiento del sistema, como son los productores, las personas con el conocimiento específico para realizar las artes pulqueras como los tlachiqueros, capadores, mayordomo, entre otros (Álvarez-Ríos *et al.*, 2020). Los agaves son manejados de diversas formas y podemos encontrar varias categorías de manejo, existe un manejo *in situ*, con plantas aprovechadas de los ambientes naturales, otro tipo de manejo es *ex situ*, donde hay tolerancia de variedades silvestres existente en esos espacios y además hay prácticas de trasplante y cultivo de variedades en sistemas productivos tradicionales como huertas, terrazas o metepantles y milpa (Figueredo-Urbina *et al.*, 2021; Torres-García *et al.*, 2019)

Los sistemas productivos son los principales medios de provisión de recursos, por lo tanto, la estructura, dinámica y evolución, resultan fundamentales para procesos clave como la seguridad alimentaria de la población y la conservación de la biodiversidad. Desde hace miles de años los agaves se mantienen en sistemas productivos tradicionales antiguos como las terrazas y los metepantles, de los cuales existe evidencia arqueológica e histórica que datan de más de 2,000 años (González Jácome, 2016). Entre los siglos 19 y 20, el cultivo de maguey pulquero tuvo un auge, pues diversos acontecimientos del momento permitieron establecer grandes plantaciones, como por ejemplo espacios que hoy son conocidas como las haciendas pulqueras (González Jácome, 2016; Ramírez Rodríguez, 2018). Posteriormente, estos sistemas productivos se vieron amenazados, algunos desaparecieron y otros se combinaron con cultivos comerciales como el trigo y la cebada (González Jácome 2016). En la actualidad es posible encontrar un gradiente de manejo de los agaves y con ello diversos sistemas de manejo: magueyerías extensivas, magueyerías remanentes, metepantles, magueyes en lindero, manejo de magueyes silvestres (Álvarez-Ríos *et al.*, 2020), en donde se mantienen vigentes diversas prácticas de manejo y ocurre la domesticación, procesos que han tenido consecuencias en términos de la diversidad de los agaves. Se ha documentado una elevada agrobiodiversidad, hasta 62 variantes de agaves pulqueros registradas en el Altiplano Meridional de la región centro-norte de México (Mora-López *et al.*, 2011) con evidentes consecuencias del manejo, plantas de rosetas más grandes y una disminución de los mecanismos de defensa (dientes laterales y espinas terminales). Asimismo, los niveles de variabilidad genética han sido estudiados, indicando que no presenta una disminución tan drástica como el caso de otros agaves intensamente manejados como *A. tequilana* var. *azul* (Figueredo-Urbina *et al.*, 2021; Trejo *et al.*, 2018)

El estado de Hidalgo es importante en el centro de México, de acuerdo con las estadísticas del SIAP (2022), ocupa el primer lugar en cultivo de agave pulquero con 4,814.7 hectáreas, además en el 2022 produjo 107,052.08 miles de litros de pulque. En la región los agaves se mantienen en sistemas productivos tradicionales que albergan elevada agrobiodiversidad y que son clave en la economía de muchas familias (Vega-García *et al.*, 2023). Los agaves son especies multipropósito (Torres-García *et al.* 2019), en el estado se usan principalmente para producir pulque, pero en los últimos años la producción de derivados como el jarabe de aguamiel, representa una alternativa para el aprovechamiento de la savia de los agaves en la región. A diferencia del pulque, el cual se ha trabajado en lograr y optimizar el almacenamiento por largo tiempo con las mismas propiedades, la savia concentrada resulta una estrategia ideal de almacenamiento, además de obtener un alimento con propiedades nutricionales importantes. A pesar de la importancia de este derivado para la economía campesina y rural, las investigaciones que documenten la diversidad de agaves pulqueros en el estado son escasas, y estas son fundamentales para entender el estado actual de los agaves, además de identificar amenazas a este valioso recurso.

En este sentido, el propósito de esta investigación fue describir los sistemas productivos y las variedades tradicionales de agaves pulqueros que son empleadas en la extracción de savia o aguamiel para la producción del jarabe de aguamiel, así como caracterizar etnobotánica, morfológica y genéticamente estas variedades.

MÉTODOS

Área de estudio

El estudio se llevó a cabo entre el 2022 al 2023 en 12 localidades de los municipios de Zempoala, Cardonal, San Agustín Tlaxiaca, Epazoyucan y Singuilucan en el estado de Hidalgo, México. La elección de estos municipios se debió a que figuran en las estadísticas del SIAP como los principales en cuanto hectáreas cultivadas de maguey pulquero, productores de pulque y por la trayectoria de vinculación entre el grupo de trabajo académico y los productores de las regiones bioculturales: Altiplanicie pulquera, Comarca minera y el Valle de Mezquital, desde hace más de cinco años. La metodología de investigación consistió en protocolos ya establecido de las disciplinas etnobotánica, ecología y genética de poblaciones. Se realizaron visitas de prospección

a cada una de las localidades, se convocó a reuniones con las autoridades y/o los grupos de trabajo, y se indagó acerca de la producción de jarabe de aguamiel en estas localidades. Del total de los lugares visitados sólo fue posible realizar los estudios de los Sistemas Productivos de Agaves Pulqueros en los municipios de: Singuilucan (Rancho La Gaspareña y Tinacal Los Tuzos), Zempoala (El Ranchito y el Llano) en la Altiplanicie pulquera, y en el Cardonal (Sistemas productivos 1, 2, 3 [El Mezquite] y 4) del Valle del Mezquital.

Evaluación etnobotánica

Se hicieron recorridos para identificar diferentes variedades tradicionales de agaves pulqueros que se emplean para la extracción de savia. Al inicio se realizaron entrevistas abiertas sobre los tipos de agaves pulqueros, posteriormente se realizaron entrevistas semiestructuradas (Bernard Russell, 2017) a los manejadores de los Sistemas Productivos de Agave Pulquero para conocer y precisar las características distintivas de cada variedad, su nombre común, tamaño de la planta en relación con otras, el tamaño de las hojas, de los dientes laterales y la espina terminal y aspectos organolépticos del aguamiel y de la producción de jarabe de aguamiel. Se tomaron fotografías y se realizó su identificación taxonómica (Gentry, 1982; Thiede, 2020).

Análisis morfológico

En cada Sistema Productivo de Agaves Pulqueros de las localidades seleccionados para los análisis morfológicos y genéticos, se escogieron plantas que estuvieran próximas a estar listas para extraer su savia, esto siguiendo los criterios e indicaciones de las personas que reconocen estas características como son el o la tlachiquera y los productores. En cada una de las plantas seleccionadas se midieron las siguientes características: Altura de la roseta, diámetro de la roseta, número de hojas, largo de la hoja, ancho medio de la hoja y número total de dientes laterales, características morfológicas vegetativas que han sido empleadas para evaluar la diversidad morfológica en agaves pulqueros (Álvarez-Ríos *et al.*, 2020; Figueredo-Urbina *et al.*, 2017, 2021). Estas características son fundamentales para corroborar los rasgos distintivos que identifican los productores en cada una de las variedades tradicionales de agaves pulqueros.

Análisis genético

Colecta de las muestras, almacenamiento y extracción de ADN

Se colectó tejido de hojas jóvenes de los agaves, se limpiaron con agua destilada y alcohol al 70%, luego se procedió a deshidratarlas en gel de sílice. Posteriormente, se almacenaron en bolsas de plástico con algunas esferas de sílice gel hasta la extracción del ADN. El ADN total se extrajo utilizando el protocolo de extracción CTAB, ampliamente usado para plantas con modificaciones a los protocolos de (Doyle y Doyle (1987)). Luego de la extracción se midieron las concentraciones de ADN obtenidas en espectrofotómetro y se realizaron geles de agarosa al 0.8-1% para corroborar la calidad del ADN genómico total. Las muestras se almacenaron a -20°C hasta su uso.

Amplificación cruzada de microsatélites de núcleo

Se emplearon 16 loci de microsatélites de núcleo (Byers *et al.*, 2014; Lindsay *et al.*, 2012) para realizar las amplificaciones cruzadas en las especies y variedades de agave. Para cada reacción en cadena de la polimerasa (PCRs) se usó de 10 a 50 ng/μL de ADN genómico (2 μL), 0.5 μL de dH₂O y 5.7 μL de *Master Stock* (2.3 μL de Buffer para PCR, 1.6 μL de MgCl₂ a 2 mM, 0.3 μL de dNTP's a 200 μM), 0.6 μL del *primer forward*, 0.6 μL del *primer reverse* entre 10 a 25 μM, además de 0.3 μL (1U) de *Taq* DNA polimerasa para un total de 8.2 μL por tubo de reacción. La amplificación se llevó a cabo en termociclador *Thermo Scientific* ajustando la temperatura de alineamiento y el número de ciclos de acuerdo con lo indicado por los autores de los microsatélites. Los productos de PCR se visualizaron en geles de acrilamida al 1.5%, una vez obtenidos los genotipos se procedió al cálculo de la Heterocigosidad Observada (Ho) como parámetro de diversidad genética en el complemento de Excel Genalex (Peakall & Smouse, 2012) de acuerdo con la Ecuación 1.

$$H_o = \text{Heterocigosidad observada} = \frac{\text{Número de Heterocigotos}}{\text{Número total de individuos}} \quad (1)$$

Este parámetro de diversidad genética de las variedades tradicionales de los agaves pulqueros permitirá conocer el *pool* de genes con el cual cuentan, cuales son vulnerables y comparar con otros agaves pulqueros en México.

RESULTADOS

Sistemas productivos de agave pulquero

Se entrevistó a un total a 18 personas en las 12 localidades que se visitaron (Figura 1). Los principales Sistemas Productivos de Agave Pulquero fueron los *Metepantles* en la zona de la Altiplanicie pulquera, en lengua Hñahñu en el Valle del Mezquital, ambas son líneas de magueyes intercalados con espacios denominados “melgas” destinadas al cultivo de temporal de maíz, frijol, calabaza, también cebada, avena y trigo, con algunos árboles frutales y para sombra, además de vegetación natural. El sistema metepantle ya fue documentado en esta región, en donde se ha registrado que hay un manejo intensivo, debido a las prácticas que aplican a sus cultivos y los volúmenes de producción (Álvarez-Ríos *et al.*, 2020, Vega-García *et al.*, 2023). La principal diferencia entre el metepantle y el *Nu'ta*, fue el tamaño de la melga, en el Valle del Mezquital las melgas son de un ancho que supera los seis metros de los metepantles, hasta 15 metros, los cual ha permitido el uso de maquinaria.

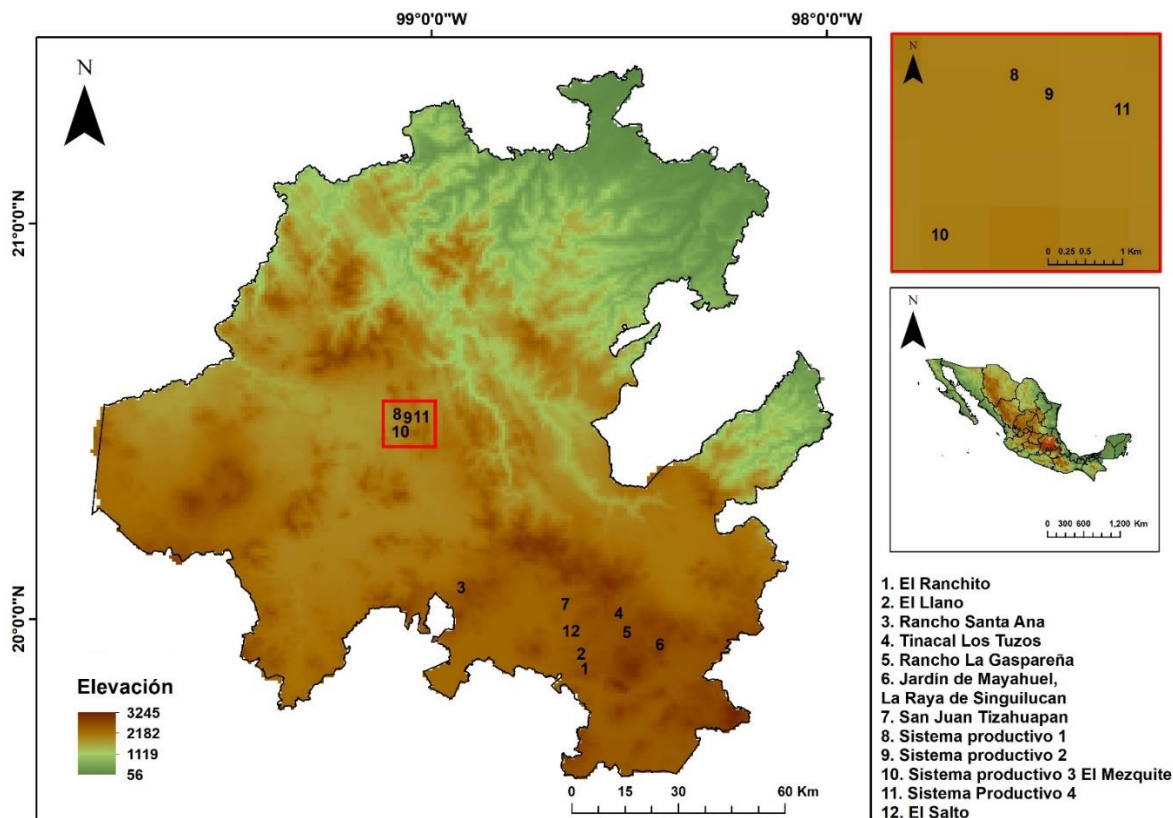


Figura 1. Ubicación de las 12 localidades visitas para este estudio en los municipios de Cardonal, Epazoyucan, Singuilucan, San Agustín Tlaxiaca y Zempoala en el estado de Hidalgo (Realizado por: Rafael Canales Pérez).

Figure 1. Location of the 12 localities visited for this study in the municipalities of Cardonal, Epazoyucan, Singuilucan, San Agustín Tlaxiaca and Zempoala in the state of Hidalgo (Created by: Rafael Canales Pérez)

En algunas localidades, los espacios productivos son denominados *Magueyeras*, donde predomina el cultivo de los magueyes pulqueros, en estos espacios se ha removido la vegetación natural, no se cuida la disposición de las plantas de acuerdo con las prácticas tradicionales de los metepantles (González Jácome 2016), en otros lugares se emplean los agaves como *cerca viva* o *linderos* para delimitar espacios extensivos de cultivo (Figura 2, Tabla 1).

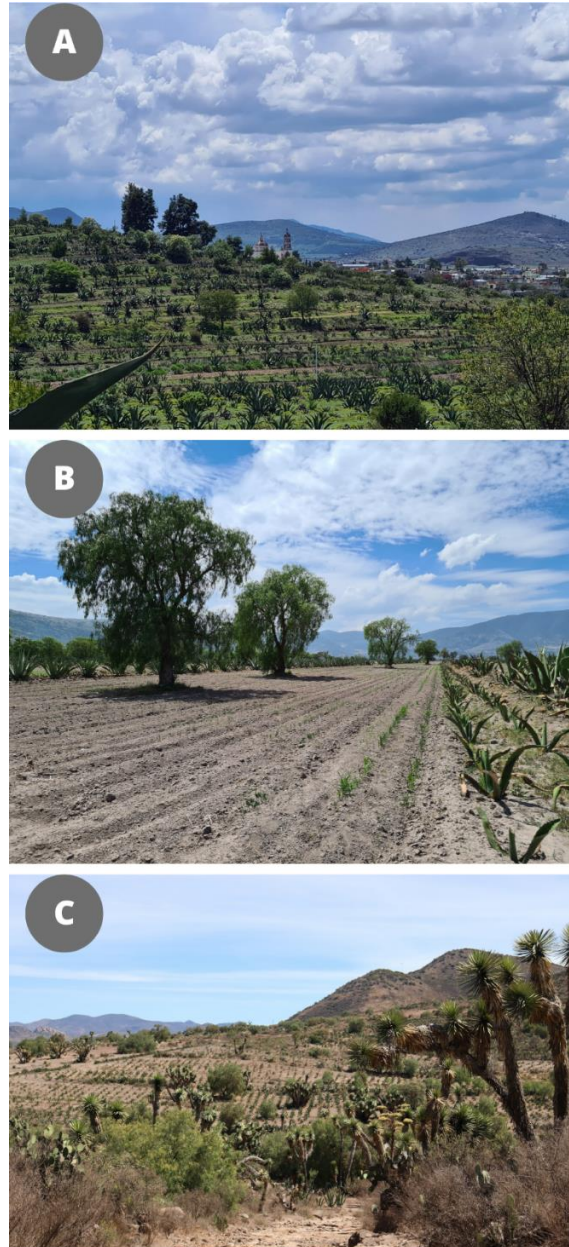


Figura 2. Sistemas productivos registrados en las localidades de estudio en el estado de Hidalgo. A) Metepantle en el municipio de Singuilucan, se aprecian las líneas de los agaves dispuestos en contra pendientes siguiendo curvas de nivel, dejando un espacio de melga de cuatro a seis metros, también se observan árboles nativos como tepozanes (*Buddleja cordata*) Tejocotes (*Crataegus mexicana*) y capulines (*Prunus serotina*), B) Ñu'tá en el municipio del Cardonal, líneas de magueyes combinado con árboles como el pirul (*Schinus mole*) tunas (*Opuntia* spp.) y espacios de cultivo de aproximadamente 10 metros de ancho y C) Magueyeras en el municipio de Epazoyucan, son monocultivos de alta densidad de plantas dispuestos en el espacio sin considerar la pendiente, además hubo remoción de la vegetación natural.

Figure 2. Production systems recorded in the study localities in the state of Hidalgo. A) *Metepantle* in Singuilucan municipality, where lines of agaves are arranged parallel to elevational contour lines, leaving a 4–6 m gap between lines. Native trees are also present, including tepozanes (*Buddleja cordata*), tejocotes (*Crataegus mexicana*), and capulines (*Prunus serotina*), B) *Ñu'tá* in Cardonal municipality, where lines of maguey are combined with lines of trees such as pirul (*Schinus mole*), prickly pears (*Opuntia* spp.) and spaces for cultivation approximately 10 m wide, and C) *Magueyerías* in Epazoyucan municipality are monocultures with a high density of plants arranged in the space without considering the slope and natural vegetation has been removed.

Los sistemas productivos varían en su extensión, desde menos de una ha hasta más de 10 ha. En Singuilucan, los agaves son usados principalmente para producir pulque o para la extracción de penca para la venta a los “barbacoyeros” (personas que se dedican a la preparación y venta de barbacoa), sólo en las localidades del Cardonal el uso principal es para la producción de jarabe de aguamiel. El manejo de los agaves en su mayoría es *ex situ*. Se cultivan o propagan a través de los hijuelos o mecuates, las plantas pueden tomar entre 15 a 20 años en estar listas para extraerse su aguamiel, momento en el cual se limita la reproducción sexual de la planta. En la localidad de Rancho La Gaspareña, el productor Rogelio Moreno Montiel y su familia, realizan acciones de bien común y de conservación, al dejar ciertos individuos para que realicen la reproducción sexual, hechos que son fundamentales para mantener un equilibrio en los ecosistemas.

La producción de jarabe de aguamiel se realiza por una de las siguientes razones: 1) Es una manera de conservar el aguamiel cuando la venta de pulque es baja, 2) porque le hacen pedidos de cierta cantidad del producto, 3) lo hacen para tener producto para la venta y obtener un ingreso económico extra. Algunos de los cultivos de agaves de la Altiplanicie pulquera aún no están en producción o son muy pocas las plantas de agaves que se encuentran listas para extraer el aguamiel, por esta razón los productores se ven en la necesidad de comprar agaves que estén próximos a poder usarse para extraer la savia o comprar el aguamiel a tlachiqueros para producir el jarabe. En Singuilucan, Zempoala y Cardonal, los productores se han organizado en asociaciones (ver Tabla 1), sin embargo, suelen trabajar de manera individual por unidades familiares.

Agrobiodiversidad de agaves pulqueros

En total se registraron 28 variedades tradicionales de agaves pulqueros, siendo la variedad más diversa el *manso* con los tipos: hembra, macho, chico, mediano, grande, colorado. La localidad con el mayor número de variedades, once en total, fue el Rancho La Gaspareña, en el municipio de Singuilucan, seguido de los sistemas productivos del Cardonal con nueve. Otras localidades como el Rancho Santa Ana, los productores no poseen conocimiento de las variedades tradicionales de agaves pulqueros, no se indagó en este sentido, pero las personas provienen de otras localidades cercanas, donde la cultura del maguey y el pulque no es tan importante, ni arraigada.

Diversidad morfológica

Las variedades tradicionales son diversas morfológicamente, difieren principalmente en el tamaño de la roseta. En cuanto a las más comunes, el *Chalqueño* fue la más grande de todas, con cerca de cuatro metros de altura y más de cinco metros de diámetro, asimismo presentó el mayor número de hojas y sus pencas son más largas. En segundo lugar, en tamaño se ubica el *Ayoteco*, luego se ubican los *mansos* y en último lugar se encuentra *Xamini*, el más pequeño y que junto con el *Ayoteco* poseen el mayor número de dientes laterales (Tabla 2).

Diversidad genética

Del total de loci que se probaron, sólo diez amplificaron, los cuales fueron APAR3-11, APARC20, APARC21, BYU3268, BYU3674, BYU4012, BYU4463, BYU4988, BYU5164 y BYU9897. Se estimó la diversidad genética de cada una de las variedades, se obtuvieron valores que oscilaron entre los 0.033 para la variedad *Coronilla* del Rancho La Gaspareña, a los 0.200 de *Ho* para las

variedades *Hoc'uadá* y Amarillo del Cardonal. No obstante, es importante mencionar que el número de individuos analizados en algunas variedades tradicionales de agaves pulqueros, resultaron de solo dos y este hecho pueden tener un efecto en las estimaciones de variabilidad genética realizada, pero que también nos habla de la importancia de esas variedades en términos productivos.

Tabla 1. Descripción de los sistemas productivos de agaves pulqueros de 12 localidades en el estado de Hidalgo.

Table 1. Description of the agave production systems of the 12 localities in the state of Hidalgo.

Localidad	Organización social de producción de jarabe de aguamiel	Características de los Sistema productivo	Variedades tradicionales de agaves pulqueros	Tipo de caracterización realizada a los agaves
El Ranchito, San Gabriel Azteca, municipio Zempoala.	Grupo El Néctar de los Dioses. Compra aguamiel para preparar el concentrado de aguamiel debido a que sus magueyes aún no están en producción.	Posee 10 ha de agaves pulqueros en linderos y metepantles, con frutales y vegetación natural. Destina un espacio para vivero. Antes sembraba maíz, intercalado con las líneas de agaves pulqueros. Actualmente, cultiva cebada y avena que se emplea para forraje. Cuenta con siete variedades tradicionales de agaves pulqueros.	1. Manso macho 2. Manso hembra 3. Cenizo 4. Xaminí 5. Penca ancha 6. Verde 7. Pintos, Rayados o Chichimecos	Caracterización etnobotánica, morfológica y genética.
El Llano, San Gabriel Azteca, municipio Zempoala.	Grupo El Néctar de los Dioses. Se dedica principalmente a la venta de penca para barbacoa, eventualmente destina algunas de sus plantas para la extracción de aguamiel y producir jarabe de aguamiel.	Su sistema productivo consta de ocho ha de cultivo de agaves en monocultivo, con líneas muy próximas entre sí, no realiza siembra de otros rubros, poca vegetación natural, no hay árboles. Destina espacio para viveros o almácigos, cuenta con seis variedades.	1. Manso 2. Chalqueño 3. Xaminí o Púa grande 4. Carricillo 5. Ayoteco 6. Arroqueño (traída de Oaxaca)	Caracterización etnobotánica, morfológica y genética.
Rancho La Gaspareña, municipio Singuilucan.	Ometoxtloctli A.C. Los agaves del sistema productivo se destinan para la extracción de aguamiel que es empleada para producir pulque y jarabe de aguamiel.	Poseen 12.5 ha de cultivo de agaves pulqueros principalmente en metepantles destinan parte del espacio para los viveros o almácigos. También hay áreas con solo cultivo de magueyes. En los espacios entre las hileras de magueyes realizan cultivo de milpa de temporal y cebada para forraje. Existe árboles frutales nativos y algunas especies para sombra. Mantienen en sus sistemas productivos 11 variedades tradicionales de agave pulquero.	1. Manso 2. Manso colorado 3. Penca ancha 4. Coronilla 5. Oreja de liebre 6. Cenizo 7. Chalqueño 8. Ayoteco 9. Rayado o chichimeco 10. Palmilla 11. Xaminí	Caracterización etnobotánica, morfológica y genética.
Tinacal Los Tuzos, municipio de Singuilucan.	Ometoxtloctli A.C. Para producir el jarabe de aguamiel compra los aguamieles a los tlachiqueros de la zona, compra plantas para	Poseen menos de una hectárea de terreno con cultivo sólo de agaves, no hay vegetación natural, algunos árboles y nopales para delimitar el terreno. Sólo cuentan con una	1. Manso	Caracterización etnobotánica, morfológica y genética.

	extraer su aguamiel y cuenta con pocas plantas en producción.	variedad tradicional de agave pulquero. Se dedica a comprar los agaves para extraer su aguamiel.		
Jardín de Mayahuel, La Raya de Singuilucán, municipio de Singuilucan	Ometoxtlactli A.C. Para producir el jarabe de aguamiel compra plantas para extraer su aguamiel y no cuenta con pocas plantas en producción.	Es un espacio de una y media hectárea de terreno en donde se mantienen ocho variedades tradicionales de maguey pulquero pero que no está aún en producción. En ese espacio además mantienen otras especies de agaves de interés cultural y biológico. Los agaves pulqueros se encuentran creciendo en hileras que se combina con árboles de pino y encino y la huerta de traspatio.	1. Manso 2. Tempranillo 3. Púa larga 4. Colorado 5. Cenizo 6. Cimarrón 7. Chalqueño 8. Ayoteco	Ninguna
San Juan Tizahuapan, municipio de Epazoyucan	Sin Organización No produce concentrado de aguamiel, apenas inició un monocultivo de agaves en líneas.	Son espacios de cultivo que sólo tienen tres años de haberse iniciado, aún no están en producción. Cuenta con tres variedades tradicionales de agaves pulqueros.	1. Manso 2. Xaminí 3. Verde	Ninguna
El Salto, municipio de Epazoyucan	Sin Organización En esta localidad la producción de jarabe estuvo limitada a dos productores, la cual la realizan de manera esporádica.	Hay pocos agaves en toda la zona, destinados principalmente para la producción de pulque.	1. Manso 2. Maguey de monte	Ninguna
San Andrés Daboxtha, municipio de Cardonal	Cooperativa Alegría de maguey, conformada principalmente por mujeres. La producción del jarabe de aguamiel se realiza en un espacio común de la cooperativa. El aguamiel es recolectado de al menos cuatro predios diferentes.	En general poseen espacios de cultivos pequeños, entre una a cuatro hectáreas. Los sistemas de cultivo son denominados en lengua Hñähñu Ñu'ta, son similares a los metepantles, allí se siembra maíz y frijol de temporal, hay vegetación natural y árboles en las líneas de los agaves. En conjunto reconocen nueve variedades de agaves pulqueros.	1. Xaminí 2. Maye o Penca larga 3. Bonza'uada 4. Xí'ñu 5. 'Bo'ta 6. Maguey amarillo 7. Hoc'uada 8. It'ui Blanco 9. Manso medianos y grandes	Caracterización etnobotánica, morfológica y genética.
Rancho Santa Ana, municipio de San Agustín Tlaxiaca	Sin organización. Extrae el aguamiel de sus propios agaves para producir el jarabe de aguamiel.	Es un rancho cinegético con un total de 300 ha, en el pasado en el rancho se cultivaban agaves pulqueros y se dedicaban a la producción de pulque. En la actualidad sólo existen algunos remanentes de los metepantles de hace unos 80 años. Desde el 2021 iniciaron con el cultivo de agaves pulqueros y la producción de jarabe de aguamiel.	Los productores y manejadores de agaves no reconocen las variedades tradicionales de agaves pulqueros.	Ninguna

A continuación, se realiza una descripción etnobotánica, morfológica y genética de los agaves pulqueros que son más usados en las localidades del estado de Hidalgo. De acuerdo con los resultados etnobotánicos, los agaves poseen características distintivas, principalmente en color, tamaño y forma de la roseta y características de la espina terminal (*púa*) y los dientes laterales (*mechichihuales*) de las hojas, estas características morfológicas a su vez parecen tener relación con otras características fisicoquímicas asociadas a los aguamieles, principalmente el dulzor y la acidez, pero que no fueron corroboradas en esta investigación. Además, distinguen los tipos de agaves por su reproducción, identificando aquellos que producen muchos hijuelos y otros agaves que en corto tiempo llegan a su madurez y que presentan rasgos distintivos que indican que emergerá el quiate o inflorescencia.

Manso

Identidad taxonómica: *Agave salmiana* subespecie *salmiana*. *Nombres comunes:* manso de zoqui (Proveniente de la localidad de Zoquizoquipan, Hidalgo), maguey fino. *Morfotipo dentro de esta variedad:* manso colorado (pencas u hojas con márgenes de color rojo); manso penca ancha (hojas o pencas muy anchas), manso hembra (más anchos en la base, produce mayor cantidad de hijuelos), mansos machos (menos anchos en la base, nula o menos producción de hijuelos), también se distingue mansos grandes, medianos y chicos. *Categoría de manejo:* Manejada *ex situ*, se encuentra en sistemas productivos de metepantle, milpa, terrazas, ñu'ta, huertas de traspatio y también en hileras o linderos limitando espacios de cultivo. *Uso específico:* aguamiel y mixiote. *Descripción etnobiológica:* es el maguey que mayormente se siembra en el altiplano pulquero, es dócil, de allí su nombre común, lo cual está relacionado con la facilidad al manejarlos por estar menos armados (espina terminal y dientes laterales) y producir nulo o menos *güixe* (dermatitis de contacto) y menos fibras que facilita el corte. El maguey tiene una forma simétrica, es de medio porte, el “meyolote” es grueso (corresponde al centro del maguey, deriva del náhuatl y significa “corazón de maguey”), los “mechichihuales” son estéticos, uniformes y pequeños, el color es un verde claro (Figura 3). Es reconocido por la calidad de aguamiel, pues es más dulce, lo cual conlleva a pulques de mejor calidad. Los productores del municipio Cardonal afirman que esta variedad llega a la región a través de programas de gobierno. De acuerdo con su percepción se está perdiendo porque no da hijuelos, es ideal para los animales, “no cuesta para arrancarlo”.



Figura 3. Individuo de la variedad tradicional de agave pulquero *Manso*, en sistema productivo metepantle.
Figure 3. Individual of the traditional pulque agave variety *Manso* in a *metepantle* production system.

En la Tabla 2 se muestran resultados de la morfología y diversidad genética de las diferentes variedades tradicionales de agave pulquero.

Tabla 2. Análisis morfológico y diversidad genética de las variedades tradicionales de agaves pulqueros principalmente usados en las localidades estudiadas.

Table 2. Morphological analysis and genetic diversity of the most used traditional agave varieties in the study localities.

Variedad	Característica						Diversidad genética (H ₀)
	Altura de la roseta (cm)	Diámetro de la roseta (cm)	Número de hojas (Conteo)	Largo hoja (cm)	Ancho medio de la hoja (cm)	Número de dientes laterales (Conteo)	
Manso	223 ± 32	350 ± 60	27 ± 5	168 ± 22	32 ± 3	58 ± 8	0.180 (n = 6; La Gaspareña) 0.133 (n = 3; Cardonal)
Manso colorado	255 ± 49	390 ± 115	28 ± 6	176 ± 33	31 ± 4	49 ± 0	0.180 (n = 3)
Chalqueño	310 ± 41	510 ± 108	35 ± 9	242 ± 33	32 ± 3	52 ± 11	0.117 (n = 4)
Ayoteco	288 ± 36	420 ± 78	23 ± 2	223 ± 38	32 ± 1	76 ± 8	0.100 (n = 3)
Xamini	209 ± 20	271 ± 48	19 ± 4	156 ± 10	33 ± 3	60 ± 7	0.100 (n = 25)

Chalqueño

Identidad taxonómica: *Agave salmiana* subespecie *salmiana*. *Nombres comunes:* ningún otro registrado hasta ahora. Los productores comentan que el nombre proviene del lugar de donde fue traído, es decir, del Valle de Chalco en el estado de México. *Morfotipo dentro de esta variedad:* sólo se reconocen un tipo. *Categoría de manejo:* Manejada *ex situ*, se encuentra en sistemas productivos de metepantle, milpa, terrazas, ñu'tá, huertas de traspatio y también en hileras o linderos limitando espacios de cultivo. *Uso específico:* aguamiel. *Descripción etnobiológica:* es el maguey que mayor cantidad de aguamiel produce, pero un tanto desabrida, no es muy común encontrarlo en el altiplano pulquero, generalmente son magueyes de gran tamaño, con gran cantidad de pencas u hojas y de hijuelos, las hojas son muy largas, la púa es puntiaguda y larga y los *mechichihuales* son más espaciados entre sí (Figura 3). En la Tabla 2 se muestran resultados de la morfología y de la diversidad genética de esta variedad.



Figura 4. Individuo de la variedad tradicional de agave pulquero *Chalqueño*, en sistema productivo metepantle.
Figure 4. Individual of the traditional pulque agave variety *Chalqueño* in a *metepantle* production system.

Ayoteco

Identidad taxonómica: *Agave salmiana* subespecie *salmiana* *Nombres comunes:* ningún otro registrado hasta ahora. *Morfotipo dentro de esta variedad:* ninguno otro registrado hasta ahora. *Categoría de manejo:* Manejada *ex situ*, se encuentra en sistemas productivos de metepantle, milpa, terrazas, ñu'tá, huertas de traspatio y también en hileras o linderos limitando espacios de cultivo. *Uso específico:* aguamiel. *Descripción etnobiológica:* es un tipo de maguey que junto con el manso y el Chalqueño, son los que mayormente se siembran en el altiplano pulquero. La característica que distingue a esta variedad es su crecimiento inclinado, aun cuando la planta se siembre de forma recta (Figura 5). Esta variedad es conocida por tener espinas laterales color negro. El crecimiento de la planta es lento, las hojas o pencas pueden ser caedizas y no produce tantos hijuelos como otras variedades, además de que tarda en llegar a su madurez, cerca de unos 15 a 20 años. Los resultados del análisis morfológico y diversidad genética se muestran en la Tabla 2.



Figura 5. Individuo de la variedad tradicional de agave pulquero *Ayoteco*, en sistema productivo metepantle.
Figure 5. Individual of the traditional pulque agave variety *Ayoteco* in a *metepantle* production system.

Xamini

Identidad taxonómica: *Agave salmiana* subespecie *crassispina*. *Nombres comunes:* ningún otro registrado hasta ahora. *Morfotipo dentro de esta variedad:* ningún otro registrado hasta ahora. *Categoría de manejo:* Manejada *ex situ*, se encuentra en sistemas productivos de metepantle, milpa, terrazas, ñutá, huertas de traspatio y también en hileras o linderos limitando espacios de cultivo. *Uso específico:* aguamiel. *Descripción etnobiológica:* esta variedad posee más *mechichihuales* o dientes laterales, además son robustas comparadas con otras variedades y en forma de gancho, es de color verde oscuro (Figura 5). El análisis morfológico y la diversidad genética se muestran en la Tabla 2.




Figura 6. Individuo de la variedad tradicional de agave pulquero *Xaminí*, en sistema productivo *Ñu'ta*.
Figure 6. Individual of the traditional pulque agave variety *Xaminí* in a *Ñu'ta* production system.

En la Tabla 3 se realiza la descripción de otras variedades tradicionales de agaves pulqueros que se usan en menor medida debido a que son poco abundantes y además producen aguamiel de menor calidad, de acuerdo con la percepción de los productores.

Tabla 3. Descripción de las variedades tradicionales de agaves pulqueros registrados durante el estudio en las 12 localidades abordadas en el estado de Hidalgo.

Table 3. Description of the traditional pulque agave varieties recorded during the study in 12 localities in the state of Hidalgo.

Nombre común	Identidad taxonómica	Descripción	Imagen
Coronilla (n = 3)	<i>Agave salmiana</i> subsp. <i>salmiana</i>	Se caracteriza por presentar una gran cantidad de dientes laterales en las hojas o penca, hojas se posicionan de tal manera que simulan una corona con las espinas terminales. <i>Morfología:</i> Altura de la roseta: 221 ± 30 cm, Diámetro de la roseta: 354 ± 48 cm, Número de hojas: 30 ± 5 , Largo hoja: 176 ± 9 m, Ancho medio hoja: 36 ± 2 cm, Número de dientes laterales: 67 ± 7 . <i>Diversidad genética:</i> $H_o = 0.033$.	

Oreja de liebre (n = 2) *Agave salmiana* subsp. *salmiana*

La hoja, que asemeja una oreja de liebre y sus hojas presentan una coloración grisácea. *Morfología:* Altura de la roseta: 168 ± 8 cm, Diámetro de la roseta: 251 ± 16 cm, Número de hojas: 32 ± 8 , Largo hoja: 143 ± 4 cm, Ancho medio hoja: 28 ± 0 cm, Número de dientes laterales: 39 ± 1 . *Diversidad genética:* $H_o = 0.100$.



Cenizo o colibrí cenizo (n = 7) *Agave salmiana* subsp. *salmiana*

Presenta hojas glaucas, que los productores le dan nombre por su color verde grisáceo a blanco. *Morfología:* Altura de la roseta: 167 ± 23 cm, Diámetro de la roseta: 240 ± 65 cm, Número de hojas: 25 ± 6 , Largo hoja: 125 ± 20 cm, Ancho medio hoja: 28 ± 4 cm, Número de dientes laterales: 43 ± 5 . *Diversidad genética:* $H_o = 0.020$.



Penca ancha *Agave salmiana* subsp. *salmiana*

Presenta pencas planas y anchas



Rayado *Agave salmiana*





Conocido con los nombres comunes de chichimeco, meco y pinto. Es apreciado para uso ornamental, también se reconoce cualidades medicinales tanto para humanos principalmente para tratar cáncer, anemias y para animales domésticos para tratar golpes y heridas. La característica distintiva es su coloración amarilla en los márgenes o en toda la hoja.



Palmilla *Agave salmiana*

La característica distintiva de esta variedad es la forma de las hojas, estas se doblan hacia el meyolote de la planta y la púa o espina terminal es más larga comparada con la variedad manso.



Cimarrón, It'ui	<i>Agave salmiana</i> subsp. <i>crassispina</i>	Generalmente se encuentra manejada <i>in situ</i> , en algunos lugares se encuentran plantas en espacios productivos. Otros nombres que recibe son: corriente, bronco, verde de monte. Hay morfotipos dentro de esta variedad, cimarrones con penca colorada, cimarrones cenizos, espina chica, penca ancha y penca larga. Es la variedad que crece en el cerro, también le llaman silvestres, se distingue porque son plantas pequeñas, con hojas o pencas duras, son más difíciles de cortar y pueden llegar a producir más <i>güixe</i> que las variedades cultivadas. <i>Morfología</i> : Altura de la roseta: 151 ± 23 cm, Diámetro de la roseta: 174 ± 39 cm, Número de hojas: 10 ± 3 , Largo hoja: 119 ± 11 cm, Ancho medio hoja: 25 ± 3 cm, Número de dientes laterales: 36 ± 6 .	
Bonza Uada (n = 7)	<i>Agave salmiana</i>	Es un tipo de agave que se identifica porque presenta gran cantidad de hojas o pencas, las cuales son acanaladas como una "canoa". <i>Diversidad genética</i> $H_o = 0.200 \pm 0.113$	
Penca Larga, Carricillo o Maye	<i>Agave mapisaga</i>	Es la variedad que se distingue por la mano o penca larga. <i>Morfología</i> (n = 3): Altura de la roseta: 267 ± 7 cm, Diámetro de la roseta: 380 ± 34 cm, Número de hojas: 27 ± 3 , Largo hoja: 220 ± 8 cm, Ancho medio hoja: 25 ± 3 cm, Número de dientes laterales: 85 ± 5 . <i>Diversidad genética</i> (n = 19): $H_o = 0.094 \pm 0.058$	
Xi'nu (n = 11)	<i>Agave salmiana</i>	Es una variedad de penca o hoja ancha, color amarilla o verde manzana, posee pocas <i>manitas</i> o espinas espaciadas (dientes laterales). <i>Morfología</i> (n = 2): Altura de la roseta: 216 ± 13 cm, Diámetro de la roseta: 298 ± 58 cm, Número de hojas: 24 ± 11 , Largo hoja: 168 ± 11 cm, Ancho medio hoja: 33 ± 4 cm, Número de dientes laterales: 57 ± 3 . <i>Diversidad genética</i> : $H_o = 0.143 \pm 0.101$	

Hoc Uada (n = 4) Posiblemente *Agave americana* También llamado mexicano. $Ho = 0.200 \pm 0.133$



Maguey Amarillo (n = 3) *Agave salmiana* Variedad que se reconoce por la coloración de las pencas u hojas de color verde amarillento. $Ho = 0.200 \pm 0.133$



Blanco o cenizo (n = 3) Posible *A. americana* Se reconoce por la coloración blancuzca de las pencas u hojas. *Morfología* (n = 1): Altura de la roseta: 220 cm, Diámetro de la roseta: 307 cm, Número de hojas: 31, Largo hoja: 182 cm, Ancho medio hoja: 34 cm, Número de dientes laterales: 62. *Diversidad genética*: $Ho = 0.160 \pm 0.100$



Botha (n = 8) *Agave salmiana* Es una variedad de penca o hoja delgada y larga, posee un color moreno, también le llaman negrito. Es una variedad que crece mucho. *Diversidad genética*: $Ho = 0.117 \pm 0.100$



Arroqueño	No identificado La variedad Arroqueño de Oaxaca corresponde a <i>Agave americana</i> var. <i>oaxacensis</i> , este individuo registrado difiere en las características distintivas.	No es variedad de la región, fue traída desde Oaxaca.
------------------	--	--



DISCUSIÓN

La agrobiodiversidad de agaves empleados para la producción de jarabe de aguamiel en el estado de Hidalgo fue alta, comparado con los registros de otras entidades en la república mexicana. Asimismo, se encontraron sistemas productivos tradicionales como el Metepantle y Ñu'tá, ambos sistemas mantienen elevada agrobiodiversidad de agaves. Con los registros de variedades tradicionales de este estudio, se eleva a 28 variedades de agaves pulqueros que son empleados en esta región de México, siendo la variedad *Manso* (*Agave salmiana* subespecie *salmiana*), la de mayor importancia en los municipios de Singuilucan y Zempoala; y la variedad *Xamini* (*Agave salmiana* subespecie *crassispina*) en el municipio del Cardonal.

Los sistemas productivos y la agrobiodiversidad de los agaves pulqueros

En México se han registrado 40 especies que son empleadas para la producción de pulque, las cuales pueden ser manejadas en sus ambientes naturales como es el caso de *A. marmorata* en parte de Oaxaca, o también agaves que se manejan en monocultivos extensivos de la especie *A. salmiana* y *A. mapisaga*, como en el Rancho San Isidro en Nanacamilpa en el estado de Tlaxcala, y existen casos intermedios en el gradiente de intensidad de manejo (Álvarez-Ríos *et al.*, 2020). El estado de Hidalgo es reconocido por la diversidad de agaves pulqueros que posee. Se ha documentado cinco especies de agaves con 20 variedades tradicionales que son empleados para la producción de pulque principalmente, y son las que también se emplean para la producción de jarabe de aguamiel en varias comunidades de la altiplanicie pulquera y el Valle del Mezquital (Figueredo-Urbina *et al.*, 2021; Vega *et al.*, 2023). En este estudio se eleva la cantidad de variedades tradicionales de agaves pulqueros a 28 para el estado de Hidalgo, lo cual lo posiciona no solo como la entidad con la mayor cantidad de terreno cultivado de estas plantas, el estado con la mayor producción en litros de pulque, sino también de variedades tradicionales de agaves pulqueros, mantenidos en sistemas productivos tradicionales.

Los agaves pulqueros son diversos, para el altiplano meridional se han registraron 62 variedades (Mora-López *et al.*, 2011). De igual forma, previamente para el estado de Hidalgo, encontraron que las comunidades mestizas y Hñahñü del Valle del Mezquital cultivan entre 15 a 21 variedades, respectivamente, sugiriendo un manejo de mayor agrobiodiversidad en el caso de comunidades de pueblos originarios (Reyes-Agüero *et al.*, 2019). En el centro de México, otras regiones con elevada agrobiodiversidad son el estado de Tlaxcala, donde se han documentado al menos ocho variedades tradicionales en la comunidad Nahua de San Pedro Tlalcuapan, seis para *A. salmiana* subsp. *salmiana* y dos para *A. americana* (Muñoz-Camacho *et al.*, 2023). Tendencia similar registraron Figueredo *et al.*, (2021) donde el sistema productivo manejado por el productor de mayor edad y de origen Hñahñü, mantenía variedades tradicionales poco comunes y que no fueron registradas en otros sistemas productivos, como por ejemplo: *Xamini*, *Guanté*, *Muthá* y *Penca larga*. Con estos antecedentes junto con lo reportado por Reyes-Agüero *et al.*, (2019); se evidencia que los sistemas productivos tradicionales son espacios que albergan elevada

agrobiodiversidad, lo cual representa que son importantes reservorios de biodiversidad y son por lo tanto bancos de germoplasma *in situ* que deben conservarse. Además de la elevada agrobiodiversidad de agaves también albergan otras plantas útiles, además de flora y fauna nativa, que en su conjunto hacen de estos espacios productivos clave no solo en términos de mantenimiento de biodiversidad, si no también para lograr la soberanía y seguridad alimentaria de la región a la vez que se desarrollan espacios productivos sustentables.

Por otro lado, en otros estados de la república mexicana también se han registrado diferentes números de variedades tradicionales de agaves pulqueros, pero todos los casos están por debajo de lo registrado para Hidalgo. Por ejemplo, en el estado de Puebla, se han registrado siete variedades tradicionales y a diferencia de los trabajos anteriores, los productores de esta zona mantienen en sus cultivos la especie *A. applanata*, la cual fue ampliamente usada en el pasado, aunque no queda claro los propósitos de manejo (Álvarez-Duarte *et al.*, 2018). En el estado de Tlaxcala, se han identificado entre 9 a 12 variedades de agaves pulqueros (Trejo *et al.*, 2020). En el Estado de México, encontraron seis variedades tradicionales de agaves pulqueros (Alfaro-Rojas *et al.*, 2007), mientras que en el estado de Michoacán se han registrado cinco (Álvarez-Ríos *et al.*, 2020).

Varios autores coinciden en que el género *Agave* es muy variable, con una elevada plasticidad, que se debe principalmente a la gran cantidad de ambientes que existen en México y también debido a que en su evolución han intervenido factores como la aridificación de los ambientes y características de historia de vida de los agaves como es su polinización (Granados, 1993; Palomino *et al.*, 2012). En el caso de los agaves pulqueros, el manejo ha conllevado también a una elevada agrobiodiversidad, la cual es debida a diversas motivaciones culturales de mantener estos agaves en sus sistemas productivos, porque son multipropósitos y proveen de muchos beneficios con pocos cuidados. Gentry (1982) define a esta relación como una simbiosis humano-agave, relación de miles de años en donde los agaves han proveído de alimento y recursos a los humanos, y los productores han manipulado las poblaciones naturales de estas plantas, seleccionando las de interés y trasplantándolas a sus sistemas productivos. Este proceso de selección artificial y las prácticas de trasplante de los agaves, junto con la hibridación entre diferentes especies cercanas ha dado como resultado la gran variedad de agaves que es posible encontrar en los sistemas productivos, que los productores y personas que manejan estas plantas reconocen con facilidad, pero desafían la clasificación científica (Bye, 1993) y representa un reto en la actualidad.

Aun cuando podemos encontrar elevada agrobiodiversidad en el altiplano mexicano, en otras localidades del estado de Hidalgo, los productores han cambiado a otros rubros agrícolas, como ocurrió históricamente con los espacios productivos en Apan, en donde hubo una conversión de los sistemas tradicionales de cultivo hacia una agricultura comercial y mecanizada (González Jácome, 2016). Estos hechos han traído como consecuencia pérdida de la agrobiodiversidad de agaves, para tener espacio para el cultivo, se retiran las líneas de los agaves para que puedan entrar la maquinaria y con ello se pierden algunas variedades tradicionales, lo cual a su vez tienen consecuencia en la diversidad genética, pues también se pierden variantes genotípicas particulares.

También se han establecido sistemas productivos con una o pocas variedades de agaves pulqueros, generalmente las más rendidoras, con un aumento en la intensidad de manejo (Álvarez-Ríos *et al.*, 2020; Vega *et al.*, 2023), puesto que son cultivos de gran extensión de terreno, muy intensivos; donde se usa tecnología agrícola y maquinaria, así como la aplicación de herbicidas y fertilizante inorgánicos para maximizar rendimiento, y también la remoción de la vegetación natural para establecer nuevos cultivos, lo cual amenaza la biodiversidad de la región. El manejo por varias generaciones de estas especies ha conducido a que experimente selección de ciertas características de interés para los humanos, es decir domesticación a diversos niveles, incluso es un proceso que se mantiene en estos espacios y que ha dado como consecuencia la diversidad morfológica y fisiológica que se puede apreciar hoy en día. La interacción constante

de los manejadores de los agaves permite la selección de rasgos distintivos como son el tamaño, conllevando a variedades con rosetas más grandes que a su vez producen más cantidad de aguamiel, las espinas y los dientes laterales son características que no parecen estar bajo selección. Los rasgos reproductivos de la planta como son la producción de hijuelos y tiempo de la planta para alcanzar la reproducción sexual son de mayor importancia, a determinadas variedades se le asocian nombres que denotan baja producción de hijuelos como es la variedad “Manso macho” o la variedad “Ayoteco” que según comentan los manejadores tarda entre 20 a 25 años para alcanzar la madurez.

Es importante mencionar que en el caso de las especies que hemos registrado en esta investigación, se ha identificado que pueden exhibir diversos niveles de ploidía, por ejemplo; para *A. americana* se han encontrado plantas diploides, tetraploides y hexaploides, *A. mapisaga* presenta pentaploides estériles, en *A. salmiana* se han registrado plantas tetraploides y hexaploides (6x) (Palomino *et al.*, 2007; Robert *et al.*, 2008). Esta característica de los agaves está asociada a los tamaños de las rosetas en estas variedades cultivadas, comparado con los agaves de poblaciones silvestres que se encuentran en ambientes naturales, que suelen ser más pequeñas. Este hecho también se relaciona con los procesos de domesticación, pues estos rasgos fenotípicos en las plantas son seleccionados a favor, pues hay un interés en plantas más grandes, así se ha observado en diversos casos de plantas, donde hay una tendencia hacia el gigantismo. (Colunga-GarcíaMarín *et al.*, 2017).

En general, los agaves exhiben niveles similares de diversidad genética ($H_S = 0.190$; Eguiarte *et al.*, 2013), comparado con angiospermas monocotiledóneas a nivel isoenzimático ($H_{ES} = 0.158$; Hamrick & Godt, 1996) y a nivel de RAPD ($H_{POP} = 0.190$; Nybom & Bartish, 2000), y en el presente estudio se encontraron valores de diversidad similares a los reportados en estos trabajos, sin embargo; en estas comparaciones debe considerarse que se trata de marcadores moleculares diferentes. También se ha evaluado la diversidad genética usando microsatélites de núcleo, de cinco variedades de agaves pulqueros en sistemas de manejo en linderos en Michoacán, en el cual registraron valores de diversidad genética (H_o) a nivel de especies (Álvarez-Ríos *et al.*, 2020), superiores a lo que se registra en este trabajo, pero esto puede deberse a las diferencias metodológicas en cuanto a la visualización de los datos.

La baja diversidad genética en agaves pulqueros puede deberse a un conjunto de características intrínsecas de la planta, así como el hecho de que los cultivos en su mayoría han sido propagados de forma vegetativa y de acuerdo con las evidencias arqueológicas, esta actividad ya lleva miles de años practicándose, es decir cerca de 4,000 años de sistemas tipo terraza y metepantles donde aún en la actualidad prevalece su cultivo de esta forma (González Jácome, 2016; Torres-García *et al.*, 2019) Además, el manejo de las plantas y la eliminación de la posibilidad reproducción sexual, también cancela la recombinación genética. Todos estos hechos conllevan a valores bajos de los parámetros de diversidad, la cual a su vez puede tener consecuencias negativas, pues las plantaciones no cuentan con las variaciones que le permitirían hacer frente a problemas ambientales como es la presencia de plagas. Otros agaves han sido afectados de manera significativa a nivel genético cuando se propagan de forma vegetativa en monocultivos, como es el caso de *A. tequilana*, en cual ha experimentado pérdida de diversidad genética y afectaciones irreversible por enfermedades y plagas (Trejo *et al.*, 2018).

CONCLUSIONES

Los agaves pulqueros en el estado de Hidalgo son mantenidos en metepantles, ñu'tá, linderos y magueyeras, la diferencia principal es en los componentes del agroecosistema, la agrobiodiversidad de magueyes y la disposición de las plantas, predominando el arreglo en línea con espacio entre estas para el cultivo de otros rubros. Para la producción de jarabe de aguamiel en el estado de Hidalgo se utiliza una elevada agrobiodiversidad, con 28 tipos diferentes de plantas que poseen características distintivas principalmente de tamaño, forma y color de las

rosetas, así como características organolépticas de la savia o aguamiel, junto con características reproductivas de las plantas. Además, estas plantas se mantienen en sistemas productivos tradicionales como los *Metepantles* y los *Nu'tá*. A pesar de que se encontró bajo niveles de diversidad genética para algunas variedades tradicionales de agave pulqueros, esto puede ser sopesado por el hecho de que los manejadores tienen la motivación de mantener en sus espacios productivos diferentes tipos de agaves, manteniendo así elevada agrobiodiversidad. Adicionalmente, algunos productores tienen conciencia de que la planta es de importancia para ellos, pero también para otros organismos y el medio en el que se encuentran, por lo que dejan que se reproduzcan sexualmente, así los polinizadores aprovechan el néctar y de esa manera obtienen semillas, estrategia que puede ser favorable para las poblaciones de estas plantas. Sin embargo, también existe un manejo con prácticas poco adecuadas, como fue la instalación de nuevos cultivos de agaves, en donde se remueve la vegetación natural, se cultivan de formas inapropiadas los agaves, conduciendo a la erosión del suelo, además para lograr un alto rendimiento se usan agroquímicos que representan efectos negativos al ambiente. En este sentido, es pertinente establecer estrategias de manejo y conservación de estos espacios y las plantas. Desde hace más de una década, se ha tratado de implementar una ley de protección de los agaves, sin embargo, hasta el momento no se ha consolidado, debido principalmente a los cambios políticos que se han dado, además del desinterés de algunos productores. Consideramos que una ley tal vez no sea la solución definitiva, hemos propuesto como parte de la estrategia de conservación, la visibilización y revalorización tanto de la planta como de los sistemas productivos metepantles, y que el público en general, productores y las nuevas generaciones, vean en ellos un sistema económico redituable y forma de vida sustentable.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a los manejadores de magueyes y las familias que nos la realización de este trabajo. Esta investigación es parte del Proyecto Investigadoras e Investigadores por México CONACYT CIR/0010/2022, con financiamiento del proyecto CONACYT 317510. Agradecemos al maestro Mario A. García-Montes y el doctor Pablo Octavio Aguilar, por el apoyo recibido para la realización de la sección de genética de poblaciones.

LITERATURA CITADA

- Álvarez Palma, A., Cassiano, G., & Villa Kamel, A. (1998). La explotación del maguey pulquero en la zona de Metztitlan: datos etnográficos y arqueológicos. *Dimensión Antropológica*.
- Álvarez Ríos, G. D. (2019). *Influencia de la microbiota y el manejo sobre la calidad del pulque*. Tesis de Maestría [Tesis de Maestría]. UNAM.
- Álvarez-Duarte, M., García-Moya, E., Suárez-Espinosa, J., Luna-Cavazos, M., & Rodríguez-Acosta, M. (2018). Conocimiento tradicional, cultivo y aprovechamiento del maguey pulquero en los municipios de Puebla y Tlaxcala. *Polibotánica*, 45, 205–222.
- Álvarez-Ríos, G. D., Figueredo-Urbina, C. J., & Casas, A. (2020). Sistemas de manejo de maguey pulquero en México. *Etnobiología*, 18(2), 3–23. <https://revistaetnobiologia.mx/index.php/etno/article/view/377>
- Álvarez-Ríos, G. D., Pacheco-Torres, F., Figueredo-Urbina, C. J., & Casas, A. (2020). Management, morphological and genetic diversity of domesticated agaves in Michoacán, México. *Journal of Ethnobiology and Ethnomedicine*, 16(1), 1–17. <https://doi.org/10.1186/S13002-020-0353-9/FIGURES/6>
- Álvarez-Ríos, G., Vallejo, M., Figueredo-Urbina, C. J., & Estremo, S. (2022). *Agaves pulqueros de México. Mapa distribución y uso*. UNAM.
- Bernard Russell, H. (2017). *Research methods in anthropology: qualitative and quantitative approaches*.
- Bremer, B., Bremer, K., Chase, M. W., Fay, M. F., Reveal, J. L., Bailey, L. H., Soltis, D. E., Soltis, P. S., Stevens, P. F., Anderberg, A. A., Moore, M. J., Olmstead, R. G., Rudall, P. J., Sytsma,

- K. J., Tank, D. C., Wurdack, K., Xiang, J. Q. Y., & Zmarzty, S. (2009). An update of the Angiosperm Phylogeny Group classification for the orders and families of flowering plants: APG III. *Botanical Journal of the Linnean Society*, 161(2), 105–121. <https://doi.org/10.1111/J.1095-8339.2009.00996.X>
- Buccio Peña, R., Figueredo Urbina, C. J., Jiménez López, M. M., & Moreno Montiel, R. (2022). Los usos y costumbres gastronómicas de la planta de las mil maravillas: Los Magueyes. *Memorias 8vo Congreso Nacional Del Maguey y El Pulque*, 15–23.
- Bye, R. (1993). The role of humans in the diversification of plants in Mexico. In T. Ramamoorthy, R. Bye, A. Lot, & J. Fa (Eds.), *Biological Diversity of México: Origins and Distribution*. Oxford University Press.
- Byers, C., Maughan, P. J., Clouse, J., & Stewart, J. R. (2014). Microsatellite Primers in *Agave utahensis* (Asparagaceae), a Keystone Species in the Mojave Desert and Colorado Plateau. *Https://Doi.Org/10.3732/Apps.1400047*, 2(9). <https://doi.org/10.3732/APPS.1400047>
- Callen, E. (1967). Analysis of the Tehuacan coprolites. In Byers D (Ed.), *The Prehistory of the Tehuacan Valley* (First, Vol. 1, pp. 261–289). University of Texas Press.
- Chase, M. W., Christenhusz, M. J. M., Fay, M. F., Byng, J. W., Judd, W. S., Soltis, D. E., Mabblerley, D. J., Sennikov, A. N., Soltis, P. S., Stevens, P. F., Briggs, B., Brockington, S., Chautems, A., Clark, J. C., Conran, J., Haston, E., Möller, M., Moore, M., Olmstead, R., ... Weber, A. (2016). An update of the Angiosperm Phylogeny Group classification for the orders and families of flowering plants: APG IV. *Botanical Journal of the Linnean Society*, 181(1), 1–20. <https://doi.org/10.1111/BOJ.12385>
- Colunga-García, Marín, P., Zizumbo-Villarreal, D., Torres, I., Casas, A., Figueredo-Urbina, C. J., Rangel-Landa, S., Delgado-Lemus, A., & Carrillo-Galván, G. (2017). Los agaves y las prácticas mesoamericanas de aprovechamiento, manejo y domesticación. In A. Casas, J. Torres, & F. Parra (Eds.), *Domesticación en el Continente Americano* (1st ed., Vol. 2). UNAM-UNALM.
- Doyle, J. J., & Doyle, J. L. (1987). A rapid DNA isolation procedure for small quantities of fresh leaf tissue. *Phytochemical Bulletin*. <https://worldveg.tind.io/record/33886>
- Eguiarte, L. E., Aguirre-Planter, E., Aguirre, X., Colín, R., González, A., Rocha, M., Scheinvar, E., Trejo, L., & Souza, V. (2013). From Isozymes to Genomics: Population Genetics and Conservation of *Agave* in México. *Botanical Review*, 79(4), 483–506. <https://doi.org/10.1007/S12229-013-9123-X/METRICS>
- Escalante, A., López Soto, D. R., Velázquez Gutiérrez, J. E., Giles-Gómez, M., Bolívar, F., & López-Munguía, A. (2016). Pulque, a Traditional Mexican Alcoholic Fermented Beverage: Historical, Microbiological, and Technical Aspects. *Frontiers in Microbiology*, 7(JUN), 1026. <https://doi.org/10.3389/FMICB.2016.01026>
- Figueredo-Urbina, C. J., Álvarez-Ríos, G. D., García-Montes, M. A., & 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.PONE.0254376>
- Figueredo-Urbina, C. J., Casas, A., & Torres-García, I. (2017). Morphological and genetic divergence between *Agave inaequidens*, *A. cupreata* and the domesticated *A. hookeri*. Analysis of their evolutionary relationships. *PLoS ONE*, 12(11), 1–24. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0187260>
- García-Mendoza, A. J., Martínez, I. S. F., & Gutiérrez, D. S. (2019). Cuatro especies nuevas de *Agave* (Asparagaceae, Agavoideae) del sur de México. *Acta Botánica Mexicana*, 126(126), 1–18. <https://doi.org/10.21829/ABM126.2019.1461>
- Gentry, H. Scott. (1982). *Agaves of continental North America*. University of Arizona Press. https://books.google.com/books/about/Agaves_of_Continental_North_America.html?hl=es&id=TdgUAQAIAAJ
- Goncalves de Lima, O. (1986). *El maguey y el pulque en los códigos mexicanos* (Primera). FCE.
- González Jácome, A. (2016). Sistemas agrícolas en orografías complejas: las terrazas de Tlaxcala. In A. I. Moreno Calles, A. Casas, V. Toledo, & M. Vallejo (Eds.), *Etnoagroforestería en México* (Primera, pp. 111–144). UNAM.
- Granados, D. (119 C.E.). *Los agaves en México*. Universidad Autónoma de Chapingo.

- Hamrick, J. L., & Godt, M. J. W. (1996). Effects of life history traits on genetic diversity in plant species. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series B: Biological Sciences*, 351(1345), 1291–1298. <https://doi.org/10.1098/RSTB.1996.0112>
- Lindsay, D. L., Edwards, C. E., Jung, M. G., Bailey, P., & Lance, R. F. (2012). Novel microsatellite loci for *Agave parryi* and cross-amplification in *Agave palmeri* (Agavaceae). *American Journal of Botany*, 99(7), e295–e297. <https://doi.org/10.3732/AJB.1200033>
- MacNeish, R. (1967). A summary of the subsistence. In D. Byers (Ed.), *The Prehistory of the Tehuacan Valley*. (Vol. 1, pp. 290–310). University of Texas Press.
- Mora-López, L., Reyes-Agüero, A., Flores-Flores, L., Flores-Flores, B., & Aguirre-Rivera, R. (2011). *Variación morfológica y humanización de la sección Salmianae del género Agave*. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-31952011000400006
- Muñoz-Camacho, L. L., Bello-Cervantes, E., Romano-Grande, E., & Trejo, L. (2023). Diversidad y conocimiento tradicional de agaves pulqueros en la comunidad de San Pedro Tlalcuapan, Tlaxcala, México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 94, e944979–e944979. <https://doi.org/10.22201/IB.20078706E.2023.94.4979>
- Nybohm, H., & Bartish, I. V. (2000). Effects of life history traits and sampling strategies on genetic diversity estimates obtained with RAPD markers in plants. *Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics*, 3(2), 93–114. <https://doi.org/10.1078/1433-8319-00006>
- Palomino, G., Martínez, J., Cepeda-Cornejo, V., & Pimental-Barrios, E. (2012). Nuclear genome size and cytotype analysis in *Agave cupreata* Trel. & Berger (Agavaceae). *Caryologia*, 65(4), 281–294. <https://doi.org/10.1080/00087114.2012.752915>
- Palomino, G., Martínez, J., & Méndez, I. (2007). Variación inter e intraespecífica en especies de *Agave* por citometría de flujo y análisis de sus cromosomas. In P. Colunga-García Marín, A. Larqué, L. Eguiarte, & D. Zizumbo-Villareal (Eds.), *En lo ancestral hay futuro: del tequila, los mezcales y otros agaves* (1st ed.). CICY, CONACYT, CONABIO, INE y SEMARNAT.
- Peakall, R., & Smouse, P. E. (2012). GenAIEx 6.5: genetic analysis in Excel. Population genetic software for teaching and research—an update. *Bioinformatics*, 28(19), 2537. <https://doi.org/10.1093/BIOINFORMATICS/BTS460>
- Ramírez Rodríguez, R. (2018). *La querrela por el pulque. Auge y ocaso de una industria mexicana, 1890-1930*. El Colegio de Michoacán, A. C.
- Reyes-Agüero, J. A., Peña-Valdivia, C. B., Aguirre-Rivera, J. R., & Mora-López, J. L. (2019). Variación intraespecífica de *Agave mapisaga* Trel. y *Agave salmiana* Otto Ex Salm-Dyck. (Asparagaceae) relacionada con los usos ancestrales en la región Hñähñu en el Centro de México. *Agrociencia*, 53(4), 563–579. <https://agrociencia-colpos.org/index.php/agrociencia/article/view/1828>
- Robert, M. L., Lim, K. Y., Hanson, L., Sanchez-Teyer, F., Bennett, M. D., Leitch, A. R., & Leitch, I. J. (2008). Wild and agronomically important *Agave* species (Asparagaceae) show proportional increases in chromosome number, genome size, and genetic markers with increasing ploidy. *Botanical Journal of the Linnean Society*, 158(2), 215–222. <https://doi.org/10.1111/J.1095-8339.2008.00831.X>
- Rojas, G. A., Porfirio, J., Solano, L., & Rodríguez Pérez, J. E. (2007). Diversidad genética en poblaciones de agaves pulqueros (*Agave* spp.) del nororiente del estado de México. *Revista Fitotecnica Mexicana*, 30(1), 1–1. <https://doi.org/10.35196/RFM.2007.1.1>
- Sahagún, B. (1999). *Historia general de las cosas de la Nueva España* (1st ed.). Porrúa.
- Smith, E. (1967). Plant Remains. In *The Prehistory of the Tehuacan Valley. Environment and Subsistence* (pp. 220–255).
- Thiede, J. (2020). *Agave* AGAVACEAE. *Monocotyledons*, 21–311. https://doi.org/10.1007/978-3-662-56486-8_111
- Torres-García, I., Rendón-Sandoval, F. J., Blancas, J., Casas, A., & Moreno-Calles, A. I. (2019). The genus *Agave* in agroforestry systems of Mexico. *Botanical Sciences*, 97(3), 263–290. <https://doi.org/10.17129/BOTSCI.2202>
- Trejo, L., Limones, V., Peña, G., Scheinvar, E., Vargas-Ponce, O., Zizumbo-Villarreal, D., & Colunga-García Marín, P. (2018). Genetic variation and relationships among agaves related

Recibido:
27/febrero/2024

Aceptado:
20/junio/2024

- to the production of Tequila and Mezcal in Jalisco. *Industrial Crops and Products*, 125, 140–149. <https://doi.org/10.1016/J.INDCROP.2018.08.072>
- Trejo, L., Reyes, M., Cortés-Toto, D., Romano-Grande, E., & Muñoz-Camacho, L. 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/BIBTEX>
- Trejo, L., Velázquez, M. D. L. L., Vallejo, M., & Montoya, A. (2022). Differentiating Knowledge of Agave Landraces, Uses, and Management in Nanacamilpa, Tlaxcala. *Https://Doi.Org/10.2993/0278-0771-42.1.31*, 42(1), 31–50. <https://doi.org/10.2993/0278-0771-42.1.31>
- Vega-García, M. A., Álvarez-Ríos, G. D., & Figueredo-Urbina, C. J. (2023). Sistemas de manejo de agaves pulqueros en el estado de Hidalgo. *Pädi Boletín Científico de Ciencias Básicas e Ingenierías Del ICBI*, 10(20), 92–100. <https://doi.org/10.29057/ICBI.V10I20.9598>
- Vela, E., Montúfar A, Anzures, N., Martínez, E., Jarquín, A., & Hernández, F. (2014). El Maguey. *Arqueología Mexicana*, 57, 1–90.